

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЯКОВЛЕВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 656.07

ДИСЕРТАЦІЯ

ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПРИСКОРЕНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів
273 – Залізничний 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

 С.С. Яковлев

Науковий керівник

КРАШЕНІНІН Олександр Семенович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Яковлев С.С. Формування адаптивної системи утримання прискореного рухомого складу. – 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 формуванню адаптивної системи утримання, яка дозволить підвищити експлуатаційну надійність і ефективність використання ПРС, який уже працює в АТ «Укрзалізниця» та ще буде поставлений у рамках програми оновлення залізничного РС.

Проведено аналіз надійності основного обладнання електропоїздів HRCS2 «Hyundai Rotem», EJ675 Škoda Transportation. Як показали дослідження щодо аналізу основних показників роботи й надійності електропоїздів, показники надійності основних видів обладнання поїздів мають низькі значення і не відповідають вимогам нормативних документів. Це стосується струмоприймачів, компресора, тягового обладнання та деякого іншого обладнання. На жаль, два електропоїзди EJ 675 не експлуатуються (з грудня 2018 року перший та з січня 2019 року другий). Основною причиною припинення експлуатації цих електропоїздів EJ 675 стала відсутність належної організації сервісного обслуговування.

Наукова новизна полягає в розробці актуального наукового завдання формування адаптивної системи утримання ПРС, який експлуатується в АТ «Укрзалізниця», шляхом урахування технічного стану ПРС та вдосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин.

Вперше:

- сформовано оптимізаційну модель адаптивної системи утримання ПРС у залежності від експлуатаційних витрат і доходів від діяльності;

- встановлено залежність коефіцієнта готовності ПРС від технологічних потужностей ремонтного виробництва та характеру відмов обладнання ПРС.

Набуло подальшого розвитку:

- визначення впливу зміни резервів пропускнуї спроможності ремонтного господарства з урахуванням визначення оптимальної кількості ремонтних бригад, що дає можливість досягти необхідного рівня готовності та скоротити час простою на ТО та ПР;
- дослідження з обґрунтування необхідності універсальності ремонтного оснащення при організації ремонту ПРС;
- кореговані підходи щодо визначення оптимальної взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин.

Практичне значення одержаних результатів полягає в утворенні теоретичної основи системного підходу при формуванні адаптивної системи утримання ПРС. Вирішені задачі дозволили: науково обґрунтувати формування адаптивної системи утримання ПРС, який працює в АТ «Укрзалізниця»; визначити чинники, що впливають на забезпечення універсальності потужностей ремонтного господарства депо ПРС для створення можливості проведення ремонтних заходів для ПРС не тільки приписного парку депо; провести формування дислокації регіональних СЦ і закріплення за ними депо ПРС з надання їм відповідних послуг, у тому числі й в забезпеченні запасними частинами; оцінити надійність роботи ремонтних підрозділів депо з ремонту ПРС за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад, необхідних для забезпечення виконання ТО, ПР приписного парку ПРС, а також ПРС з інших депо.

Результати, одержані при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися й отримали схвалення на засіданнях та наукових семінарах УкрДУЗТ. Повністю результати дисертаційної роботи заслухано й схвалено на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу УкрДУЗТ.

За матеріалами дисертаційної роботи опублікована 21 наукова праця, з яких 11 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, 2 статті – у виданнях інших держав (одну з них включено до бази Scopus), 8 праць апробаційного характеру.

У вступі розкрито актуальність теми дисертації, визначено її мету, завдання, об'єкт, предмет, теоретичну й методологічну основу дослідження, охарактеризовано наукову новизну й практичне значення.

У першому розділі проведено аналіз надійності основного обладнання електропоїздів HRCS2 «Hyundai Rotem», EJ675 Škoda Transportation та сформовані основні напрямки дослідження. Основна увага приділена таким питанням: аналізу основних характеристик надійності сучасного ПРС, який експлуатується в Україні; аналізу особливостей організації системи утримання закордонного РС і ПРС; напрямкам удосконалення системи утримання ПРС в Україні. В умовах загального погіршення технічного стану обладнання ПРС, який уже знаходиться на балансі парку АТ «Укрзалізниця», а також перспективи надходження нового сучасного ТРС необхідно удосконалювати принципи управління технічним станом ТРС.

Природа подій відмов обладнання може бути раптовою та пов'язаною з різними зовнішніми факторами, що обумовлює доцільність переходу до змішаної системи ТО, ПР. Це передбачає необхідність удосконалення діючої планово-попереджувальної системи із запровадженням організації безперервного контролю за зміною стану обладнання ПРС, тобто впровадження системи утримання обладнання ПРС за станом, переходу на принципи сервісу та можливості виконання ТО, ПР РС не тільки свого приписного парку, а й інших депо, а також нові підходи до взаємодії ремонтних господарств депо і постачальників ремонтного фонду для забезпечення універсальності виробництва.

Таким чином, науково-практичним завданням, що вирішується в цьому дослідженні, є вдосконалення системи утримання ПРС шляхом комплексного

підходу до технології утримання, резервування ремонтного обладнання і ремонтних бригад і запровадження принципів сервісу.

У другому розділі наведено теоретичну оцінку ефективності різних систем організації ТО та ПР ПРС з урахуванням доцільності формування адаптивної системи утримання ПРС, обґрунтування необхідності універсальності ремонтного обладнання, формування оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства депо, визначення критерію ефективності експлуатації ПРС та моделювання територіального розміщення СЦ. Як показав досвід деяких депо, за допомогою існуючого ремонтного обладнання й засобів діагностування можлива організація виконання ТО та ПР для ПРС на основі рекомендованих технологій постачальників. Але, з іншого боку, це показало необхідність впровадження адаптивної системи утримання ПРС, а саме: модернізувати ремонтну базу підприємств (локомотивних депо) (стратегія 1); створювати окремі підприємства без залучення існуючої ремонтної інфраструктури для забезпечення ТО, Р ПРС на рівні певного регіону експлуатації цього ПРС (стратегія 2); експлуатувати ПРС без проведення великих видів ремонту, виконання яких покласти на постачальників та заводи-виробники відповідної країни (стратегія 3).

Як показали розрахунки, найбільш прийнятним варіантом на найближчу перспективу є запровадження стратегії 1. У свою чергу це вимагає необхідності нових підходів до формування системи утримання ПРС.

У третьому розділі наведено результати оцінки ефективності адаптивної системи утримання ПРС; аналіз і розрахунки резервів ремонтного обладнання з урахуванням різних законів отримання заявок і часу обслуговування; оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства, моделювання дислокації СЦ на залізниці; ефективності критерію приведених витрат, а також оцінка впливу тимчасового резервування ремонтного обладнання на надійність роботи ПРС та універсальності ремонтного господарства депо.

На підставі запропонованої цільової функції проведена оцінка адаптивної системи утримання ПРС HRCS2 Hyundai Rotem, яка вказує на економічну ефективність запропонованої адаптивної системи.

Визначено чинники, що впливають на забезпечення універсальності потужностей ремонтного господарства депо ПРС, і зону ефективності переходу на запровадження універсального обладнання в систему утримання ПРС.

Для обслуговування не тільки приписного парку, а й, при необхідності, ПРС з інших депо виникає необхідність мати деякий резерв ремонтних бригад. Це дало підставу на основі положень СМО провести розрахунки кількості виконавців, що проводять ТО, ПР, у залежності від інтенсивності вхідного потоку для різних значень кількості заявок на ТО, ПР

Для обґрунтування закріплення за локомотиворемонтними заводами депо і створення на їх базі СЦ розглянуто й проаналізовано витрати на організацію ТО, ПР на залізницях. Територія залізниць була певним чином розділена на райони (департаменти), на ній наявні технічні об'єкти (депо з локомотивами), у разі відмов яких надсилаються заявки на їх обслуговування. Завдання полягало в побудові таких зон обслуговування, щоб загальне число СЦ на всій території було мінімальним за умови, що якість обслуговування задовольняє заданим вимогам.

У четвертому розділі наведено розрахунок економічної ефективності адаптивної системи утримання ПРС і економії експлуатаційних витрат. Економічна ефективність експлуатаційних витрат від впровадження ПРС визначається шляхом порівняння капітальних та експлуатаційних витрат при різних варіантах експлуатації. Капітальні вкладення, які враховують у розрахунках при визначенні ефективності впровадження ПРС, складаються з капітальних вкладень у локомотивний парк, інфраструктуру локомотивного господарства, що передбачає переоснащення депо. Сумарний ефект від скорочення витрат на ТО, ПР-1 та експлуатацію ПРС за період п'яти років за розрахунками повинен скласти 950,8 млн. грн.

Ключові слова: адаптивна система утримання, прискорений рухомий склад, експлуатаційна надійність, ремонтне господарство

ABSTRACT

Yakovlev S.S. Formation of an adaptive system of accelerated rolling stock maintenance. – On the rights of manuscript.

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 is devoted to the formation of an adaptive maintenance system which will increase the operational reliability and efficiency of the use of accelerated rolling stock which already works in JSC "Ukrzaliznytsia" and will be delivered as part of the program of renewal of railway rolling stock.

The reliability analysis of the main equipment of electric trains HRCS2 "Hyundai Rotem", EJ675 Škoda Transportation is carried out. According to studies on the analysis of the main indicators of electric trains work and reliability, the indicators of reliability of the main types of train equipment are low and do not meet the requirements of certain regulations. This applies to electric current collectors, compressors, traction equipment and some other equipment. Unfortunately, two EJ 675 electric trains are not in use (the first one is from December 2018 and the second one is from January 2019). The main reason for this was the lack of proper repair service organization.

The scientific novelty consists of developing a relevant scientific task of forming an adaptive system of accelerated rolling stock maintenance which is operated in JSC "Ukrzaliznytsia" by taking into account the technical condition of accelerated rolling stock and improving the technology of interaction of repair facilities, manufacturers and spare parts suppliers.

For the first time:

- the optimization model of the adaptive system of the accelerated rolling stock maintenance is formed depending on operating costs and incomes from activity;

- the dependence of the coefficient of readiness of the accelerated rolling stock on the technological capacities of repair production and the nature of the accelerated rolling stock equipment failures is established.

Further developed:

- determining the impact of changes in the reserves of repair facility throughput taking into account the optimal number of repair crews which makes it possible to achieve the required level of readiness and reduce downtime for maintenance and repair;

- research on justification of necessity of repair equipment universality during the accelerated rolling stock repair organization;

- adjusted approaches to determine the optimal interaction of depot repair facilities, manufacturers and spare parts suppliers.

The practical significance of the obtained results lies in the formation of the theoretical basis of the system approach in the formation of an adaptive system of accelerated rolling stock maintenance. The solved problems allowed: to scientifically substantiate the formation of an adaptive system of accelerated rolling stock maintenance which works in JSC "Ukrzaliznytsia"; to determine factors influencing the universality of the depot repair facility capacities of accelerated rolling stock in order to create the possibility of carrying out repair measures for the accelerated rolling stock and not only the registered depot; to carry out the location formation of regional service centers and assigning to them the depots of accelerated rolling stock, and provide them of all kinds of services, including spare parts; to evaluate the reliability of depot repair units work for the criterion of the optimal number of repair crews required for securing of technical service maintenance, current repair of the registered accelerated rolling stock as well as accelerated rolling stock from other depots.

The results obtained during the thesis writing were reported and approved at meetings and scientific seminars of the Ukrainian State University of Railway Transport. The full results of the thesis were heard and approved at the extended meeting of the Department of Operation and Repair of Rolling Stock of the Ukrainian State University of Railway Transport.

21 scientific works were published based on the thesis materials. 11 of them were published in the specialized editions approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine. 2 articles were published in other countries (one of them was included to the Scopus database), 8 are approbation works.

The introduction reveals the relevance of the thesis, defines its purpose, objectives, object, subject, theoretical and methodological basis of the study, describes the scientific novelty and practical significance.

The first chapter analyzes the reliability of the main equipment of electric trains HRCS2 "Hyundai Rotem", EJ675 Škoda Transportation and forms the main areas of research. The main attention is paid to the following issues: analysis of the main characteristics of the reliability of modern accelerated rolling stock used in Ukraine; analysis of the organization of the foreign rolling stock and accelerated rolling stock maintenance system; directions of improvement of the accelerated rolling stock maintenance system in Ukraine. In terms of general deterioration of the technical condition of the accelerated rolling stock equipment which is already on balance of JSC "Ukrzaliznytsia" and also perspectives for the arrival of a new modern traction rolling stock it is necessary to improve principles of management of a technical condition of the accelerated rolling stock.

The nature of equipment failures can be sudden and associated with various external factors which makes it appropriate to switch to a mixed system of maintenance and repair. This implies the need to improve the existing planning and warning system with the establishment of continuous monitoring of accelerated rolling stock equipment condition, i.e. the implementation of a system of accelerated rolling stock equipment maintenance, transition to the principles of service and maintenance of not only registered rolling stock but also from other

depots, as well as new approaches to the interaction of repair facilities and spare parts suppliers in order to provide the universality of production.

Thus, the scientific and practical task to be solved in this thesis is to improve the system of maintenance of accelerated rolling stock by a comprehensive approach to the technology of maintenance, reservation of repair equipment and repair crews and the implementation of repair service principles.

The second chapter provides a theoretical assessment of the effectiveness of various systems for service organization and repair of accelerated rolling stock, taking into account the expediency of forming an adaptive system for accelerated rolling stock maintenance, justification of the need for universal repair equipment, formation of optimal stocks for repair facilities, determination of the criterion of the accelerated rolling stock operation efficiency and modeling of territorial location of service centers. As the experience of some depots showed, with the help of existing repair equipment and diagnostic tools it is possible to organize maintenance and repair for accelerated rolling stock based on the recommended technologies of suppliers. But on the other hand it showed the need to implement an adaptive system of accelerated rolling stock maintenance, namely: to update the repair basis of enterprises (locomotive depots) (strategy 1); to create separate enterprises without involving the existing repair infrastructure to provide maintenance and repair of accelerated rolling stock at the level of a certain region of operation of this accelerated rolling stock (strategy 2); operate the ARS without major repairs which are entrusted to suppliers and manufacturers of the country (strategy 3).

As calculations have shown, the most acceptable option for the near future is the implementation of strategy 1. This requires the need for new approaches to the formation of a system of accelerated rolling stock maintenance.

The third chapter presents the effectiveness of the evaluating results of the accelerated rolling stock adaptive maintenance system; analysis and calculation of repair equipment reserves taking into account the different laws of receiving applications and service time; optimal sizes of stocks for repair facilities, modeling

of service centers location on the railway; efficiency of the given expenses criterion and also an influence estimation of temporary reservation of the repair equipment on reliability of the accelerated rolling stock work and universality of repair facilities.

Based on the proposed target function, the evaluation of the adaptive system of HRCS2 Hyundai Rotem maintenance was held which indicates the economic efficiency of the proposed adaptive system.

The factors were defined which influence the universality of the capacities of the accelerated rolling stock repair facility and the area of transition efficiency to the implementation of universal equipment in the system of maintenance of accelerated rolling stock.

There is a need to have some reserve of repair crews for service of not only registered rolling stock but also if necessary accelerated rolling stock from other depots. This gave grounds to calculate the number of contractors performing maintenance, current repairs, depending on the intensity of the input flow for different values of the number of requests for maintenance, current repairs, based on the provisions of the queuing system.

The expenses for the organization of maintenance and current repairs on the railways were considered and analyzed to justify the assignment of locomotive repair depots and creation of service centers on their basis. The territory of the railways was divided into districts (departments), there are technical objects (depot with locomotives), and applications for their repair are sent in case of their failure. The task was to build such repair areas so that the total number of service centers throughout the territory was minimal, provided that the quality of service meets the specified requirements.

The fourth chapter presents the calculation of the economic efficiency of the adaptive system of accelerated rolling stock maintenance and operating costs savings. The economic efficiency of operating costs from the implementation of accelerated rolling stock is determined by comparing capital and operating costs for different operating options. Capital investments which are taken into account

during the calculations of the implementation of accelerated rolling stock effectiveness consist of capital investments in the locomotive depot, the infrastructure of the locomotive industry, which involves the re-equipment of the depot. The total effect of the reduction of maintenance costs, current repairs of the first volume and operation of accelerated rolling stock for a period of five years is estimated at 950.8 million UAH.

Keywords: adaptive restraint system, accelerated rolling stock, operational reliability, repair facilities.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у післянормативний період. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 167. С. 25-33.
2. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 174. С. 96-105.
3. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Забезпечення ремонтного господарства депо оптимальним розміром запасів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєвєродонецьк, 2017. № 3. С. 95-100.
4. Ровенський О.І., Зюмбровський О.В., Яковлев С.С. Оцінка працездатності об'єктів рухомого складу та інфраструктури залізничного транспорту за результатами прямих вимірювань. *Надійність та менеджмент якості. Залізничний транспорт України*. Київ, 2017. № 4. С. 46-51.
5. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Вплив організації технічного обслуговування на ефективність експлуатації тягового рухомого

складу. *Транспортні системи і технології*. Київ: ДУІТ, 2018 № 32. С. 103-114.

6. Крашенінін О.С., Клименко О.В., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Обґрунтування маневреності ремонтного господарства локомотивного депо. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2018. № 181. С. 15-23.

7. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О., Турубара О.О. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. № 5. С.10-22.

8. Яковлев С.С. Забезпечення технологічної надійності роботи підрозділів ремонтного господарства локомотивного депо. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2019 № 4. С. 27-39.

9. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Дослідження впливу тимчасового резервування на надійність обладнання локомотивів. *Транспортні системи і технології*. Київ: ДУІТ, 2019 № 34. С. 4-18.

10. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Задесенець В.І. Обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020, № 4. С 10-14.

11. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Обґрунтування стратегії організації технічного обслуговування, поточного ремонту швидкісного рухомого складу в умовах України. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2021, № 3. С 7-11.

Публікації у виданнях інших держав:

12. Krashenin O., Klymenko O., Ponomarenko O., Yakovlev S. (2018) Justification of statutory service life extension of locomotives on the basis of theory of aging. *International Journal of Engineering & Technology*. № 7 (43). P. 174-178.(видання індексується в базі Scopus).

13. Крашенинин А.С., Шапатина Е.А., Яковлев С.С. Оценка годности оборудования локомотивов при достижении посленормативного срока эксплуатации. *World science. Poland. Warsaw*, 2019, № 4 (44) Vol.1, С.16-29.

Праці апробаційного характеру:

14. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Перспективи розвитку сервісного обслуговування рухомого складу в умовах ремонтних депо і підприємств України. Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.). *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 169 (додаток). С. 55-56

15. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у після нормативний період. Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.). *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 169 (додаток). С. 66-68.

16. Krashenin O., Ponomarenko O., Yakovlev S. Provision of the maintenance service of the depot with the optimal size of repair stocks. *Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects. Theses of the international scientific conference on May 3-12, 2017, Dresden (Germany)-Paris (France).*-Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2017. P96-97.

17. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (Львів 18-19 червня 2018 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2018.С. 59-60.

18. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ої міжнародної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». (м. Харків, 24-26 жовтня 2018 р.) *Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. 2018. № 4 (додаток). С. 36-37.

19. Крашенінін О.С., Шпатіна О.О., Яковлев С.С. Обґрунтування системи утримання локомотивів при продовженні терміну експлуатації понад нормативний. *Актуальні питання сучасної науки* (частина II): V Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ 21-22 квітня 2019 р.). Київ: МЦНД, 2019. С. 24-25.

20. Крашенінін О.С., Шпатіна О.О., Яковлев С.С. Оцінка впливу тягово-енергетичних характеристик локомотивів на потужності ремонтного господарства *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць за матеріалами IX-ї Міжнародної науково-практичної конференції, Сєвєродонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ (22-24 травня 2019 р.)* Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 79-81.

21. Бутько Т.В., Крашенінін О.С., Обозний О.М., Яковлев С.С. Впровадження ефективної системи утримання прискореного рухомого складу в умовах України *Прогресивні технології засобів транспорту* Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції (23-24 вересня 2021 р.) Харків – Миргород: УкрДУЗТ, 2021. С.59-60.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ I. ОГЛЯД ПІДХОДІВ З ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТО, ПР ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	
1.1 Характеристики техніко-економічних показників сучасного ШРС	25
1.2 Аналіз досвіду організації системи утримання закордонного ШРС	27
1.2.1 Особливості організації ТО, ПР ШРС в азійських країнах	30
1.2.2 Аналіз організації ТО, ПР ШРС в Європейських країнах	31
1.3. Аналіз надійності основного обладнання електропоїздів HRCS2 «Hyundai Rotem», EJ675 Skoda Transportation	37
1.4 Перспективи використання ПРС в умовах України	38
1.5 Напрямки удосконалення системи утримання ПРС	40
1.6. Техніко-економічна ефективність ТО і Р	43
Висновки до розділу I	47
РОЗДІЛ II. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПРИСКОРЕНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ УКРАЇНИ	
2.1 Оцінка ефективності різновидів організації ТО, ПР для ПРС	48
2.2 Обґрунтування системи утримання ПРС в умовах АТ «Укрзалізниця»	53
2.3 Формування адаптивної системи утримання прискореного рухомого складу	55
2.4 Обґрунтування універсальності ремонтного господарства депо	58
2.5 Обґрунтування резервів ремонтного господарства депо.	62
2.6 Моделювання територіального розміщення сервісних центрів	69
2.7 Вибір параметрів оцінки можливого резервування роботи обладнання ПРС	75
2.8 Обґрунтування оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства	80

2.9 Обґрунтування критерію ефективності експлуатації ТРС	83
Висновки до розділу II	86
РОЗДІЛ III. ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПРС	
3.1 Розрахунок показників надійності для різних законів відмов і часу відновлення	88
3.2 Моделювання системи утримання ПРС	93
3.3 Розрахунки витрат при адаптивній системі утримання ПРС	95
3.4 Оцінка універсальності ремонтного господарства депо	105
3.5 Розрахунок резервів ремонтного господарства депо	111
3.6 Результати моделювання дислокації сервісних центрів на залізниці	120
3.7 Оцінка впливу тимчасового резервування на надійність обладнання ТРС	132
3.8 Розрахунок оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства депо	139
3.9 Визначення критерію ефективності експлуатації ТРС	145
Висновки до розділу III	150
РОЗДІЛ IV. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРС НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	
Висновки до розділу IV	163
ВИСНОВКИ	164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	166
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	187
ДОДАТОК Б Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	192

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

1. ISO – Міжнародна організація по стандартизації;
2. ITIL – Information Technology Infrastructure Library;
3. JNR – «Японські національні залізниці»;
4. JR – група з 9 японських приватних залізничних підприємств, які утворилися на базі державної компанії «Японські національні залізниці»;
5. SBB – Федеральні залізниці Швейцарії;
6. SLA – Service Level Agreement;
7. SNCF – Національне товариство залізниць Франції;
8. АТ «Укрзалізниця» (Товариство, залізнична компанія) – акціонерне товариство «Українська залізниця» з 31.10.2018 р., публічне акціонерне товариство «Українська залізниця» з 25.06.2014 р., є правонаступником усіх прав і обов'язків державної адміністрації залізничного транспорту Укрзалізниці та підприємств залізничного транспорту;
9. ЖЦ – життєвий цикл;
10. КР – капітальний ремонт;
11. НР – позаплановий ремонт;
12. ПАТ «КВБЗ» – ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод»;
13. ПРС – прискорений рухомий склад;
14. Р – ремонт;
15. РС – рухомий склад;
16. СМЯ – система менеджменту якості;
17. СЦ – сервісний центр;
18. ТО – технічне обслуговування;
19. ТРС – тяговий рухомий склад;
20. УЗШК – Українська залізнична швидкісна компанія;
21. Цикл PDCA – принцип постійного поліпшення;
22. ШР – швидкісний рух;
23. ПРС – прискорений рухомий склад.

ВСТУП

Актуальність теми. У теперішній час Україна активно впроваджує швидкісний рух. Це обумовлює необхідність створення відповідної сучасної ремонтної інфраструктури для утримання прискореного рухомого складу (ПРС), який насичений наукоємним обладнанням. На фоні загального скорочення обсягів перевезень в Україні й існування надлишків локомотивних депо та їхніх ремонтних потужностей постає задача вибору варіантів: або переобладнання існуючих ремонтних потужностей на базі локомотивних депо для обслуговування ПРС, або побудови повністю нових ремонтних сервісних центрів (СЦ), або виконання великих видів ремонту на потужностях виробника (постачальника) ПРС у відповідній країні.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р схвалено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року. У рамках цієї стратегії стоять завдання розробки та виконання програми оновлення залізничного рухомого складу (РС), у тому числі для високошвидкісних пасажирських перевезень. Цей факт обумовлює необхідність впровадження відповідних сучасних принципів управління технічним станом РС.

Таким чином, актуальним є наукове завдання щодо формування адаптивної системи утримання, яка дозволить підвищити експлуатаційну надійність і ефективність використання ПРС, який уже працює в АТ «Укрзалізниця» та ще буде поставлений у рамках програми оновлення залізничного РС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р, Стратегії АТ «Укрзалізниця» на 2019-2023 роки, а також науково-дослідної роботи, у якій

автор брав безпосередню участь як виконавець, за темою: «Розробка підходів до формування стратегії технічного обслуговування, поточного ремонту тягового рухомого складу з урахуванням переходу на сервіс» (ДР № 0119U102455).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування необхідності формування адаптивної системи утримання ПРС, що використовується в АТ «Укрзалізниця», яка дозволить підвищити експлуатаційну надійність і ефективність використання ПРС.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання дослідження:

- дослідити та визначити основні показники роботи та надійності ПРС;
- формалізувати систему утримання ПРС з урахуванням її адаптації до технічного стану РС та удосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин;
- визначити технологію оптимальної взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин;
- визначити вплив організації технічного обслуговування (ТО) обладнання ПРС на надійність його експлуатації при різних законах розподілу відмов;
- сформувати дислокацію регіональних СЦ і закріпити за ними депо ПРС;
- провести дослідження та оцінку надійності роботи ремонтних підрозділів депо ПРС за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад для забезпечення виконання ТО, поточного ремонту (ПР) приписного парку ПРС і ПРС з інших депо;
- визначити чинники, які впливають на забезпечення універсальності обладнання ремонтного господарства депо для створення можливості проведення ремонтних заходів для ПРС не тільки приписного парку депо, а й ПРС з інших депо;

- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованої адаптивної системи утримання.

Об'єкт дослідження – система утримання прискореного рухомого складу.

Предмет дослідження – прискорений рухомий склад.

Методи дослідження. При вирішенні окремих задач і виконанні досліджень використовувалися сучасні математичні методи та положення таких теорій: імовірності та математичної статистики, надійності, масового обслуговування та інших. Методи теорії надійності використано для визначення впливу організації ТО на надійність і ефективність експлуатації ПРС. Методи теорії ймовірності та математичної статистики використано: при вивченні впливу організації ТО при різних законах розподілу відмов на ефективність експлуатації ПРС; при дослідженні впливу тимчасового резервування ремонтного обладнання на надійність ПРС; при визначенні нових підходів до забезпечення ремонтного господарства депо оптимальним розміром запасів. Методи теорії масового обслуговування використані при моделюванні територіального розміщення СЦ, а також при розрахунку ефективності ремонтного господарства депо за рахунок створення резервних ремонтних бригад.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає в розробці актуального наукового завдання формування адаптивної системи утримання ПРС, який експлуатується в АТ «Укрзалізниця», шляхом урахування технічного стану ПРС та вдосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин.

Вперше:

- сформовано оптимізаційну модель адаптивної системи утримання ПРС у залежності від експлуатаційних витрат і доходів від діяльності;
- встановлено залежність коефіцієнта готовності ПРС від технологічних потужностей ремонтного виробництва та характеру відмов обладнання ПРС.

Набуло подальшого розвитку:

- визначення впливу зміни резервів пропускну́ї спроможності ремонтного господарства з урахуванням визначення оптимальної кількості ремонтних бригад, що дає можливість досягти необхідного рівня готовності та скоротити час простою на ТО та ПР;
- дослідження з обґрунтування необхідності універсальності ремонтного оснащення при організації ремонту ПРС;
- кореговані підходи щодо визначення оптимальної взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати та рекомендації утворюють теоретичну основу системного підходу при формуванні адаптивної системи утримання ПРС. Вирішені задачі дозволили: науково обґрунтувати формування адаптивної системи утримання ПРС, який працює в АТ «Укрзалізниця»; визначити чинники, що впливають на забезпечення універсальності потужностей ремонтного господарства депо ПРС для створення можливості проведення ремонтних заходів для ПРС не тільки приписного парку депо; провести формування дислокації регіональних СЦ і закріплення за ними депо ПРС з надання їм відповідних послуг, у тому числі й в забезпеченні запасними частинами; оцінити надійність роботи ремонтних підрозділів депо з ремонту ПРС за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад, необхідних для забезпечення виконання ТО, ПР приписного парку ПРС, а також ПРС з інших депо.

Особистий внесок здобувача. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить:

- [1, 19, 15] – обробка результатів і визначення числа відновлень устаткування ПРС протягом деякого напрацювання;
- [2, 17] – обробка результатів щодо визначення конкурентоспроможності ПРС на підставі визначення вагових характеристик, споживчих та вартісних показників сучасного ПРС;

[3, 16] – визначення стратегії формування запасів для забезпечення ремонту;

[4] – обробка і опрацювання результатів вимірювання для оцінки працездатності ПРС;

[5] – визначення параметрів надійності для оцінки організації ТО ПРС;

[6] – методика прийняття рішення щодо адаптації ремонтного господарства депо до реальних ситуацій з надання ремонтних послуг;

[7, 18,14] – оцінка потужностей ремонтних підрозділів депо для закріплення за ними регіональних СЦ;

[9] – обробка статистичного матеріалу та результатів дослідження;

[10] – визначення ідеї обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів, у якості якої прийнятий приведений коефіцієнт ефективності;

[11] – обробка статистичного матеріалу та результатів дослідження;

[12] – моделювання варіантів організації системи ремонту (Р) і організації ТО при перевищенні встановленого терміну служби локомотивів;

[13, 20] – опрацьована критеріальна оцінка варіантів ТО, ПР при подовженні післянормативного періоду експлуатації РС;

[21] – проведено розрахунки згідно запропонованої оптимізаційої математичної моделі адаптивної системи утримання ПРС.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: 79-й міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25-27 квітня 2017 р.); International scientific conference «Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects» (Dresden (Germany)-Paris(France), on May 3-12, 2017); міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на

транспорті» (Львів 18-19 червня 2018 р.); 30-й міжнародній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 24-26 жовтня 2018 р.); V-й Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної науки» (Київ, 21-22 квітня 2019 р.); IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» (Одеса, 22-24 травня 2019 р.); першій міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології засобів транспорту» (Харків – Миргород, 23-24 вересня 2021 р.).

Результати, одержані при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися й отримали схвалення на засіданнях та наукових семінарах УкрДУЗТ. Повністю результати дисертаційної роботи заслухано й схвалено на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу УкрДУЗТ.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опублікована 21 наукова праця, з яких 11 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, 2 статті – у виданнях інших держав (одну з них включено до бази Scopus), 8 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, опису використаних джерел і додатків. Повний обсяг тексту дисертації становить 194 сторінки, обсяг основного тексту становить 150 сторінок. Робота містить 26 рисунків, 32 таблиці, список використаних джерел містить 198 найменувань, 2 додатки.

РОЗДІЛ І.

ОГЛЯД ПІДХОДІВ З ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТО, ПР ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

1.1 Характеристики техніко-економічних показників сучасного ШРС

Регулярний рух ШРС розпочався вперше в 1964 році в Японії, з 1981 року – у Франції, з 1984 року – в Італії [24]. У цих країнах, а також у Німеччині швидкісні пасажирські перевезення засновані на вітчизняному ШРС, тоді як у низці інших країн, як і в Україні, здебільшого використовується іноземний РС. Західну частину Європи нині об'єднує єдина швидкісна залізнична мережа Eurostar і Thalys. Найбільшою в світі мережею швидкісних і високошвидкісних залізниць володіє Китай. Середня швидкість руху становить 200 км/год. Проаналізувавши розподіл перевезень по швидкісних залізничних лініях у різних країнах, робимо висновок, що до трійки лідерів швидкісного руху входять Японія (39%), Китай (25%) та Франція (15%) (рисунк 1.1).

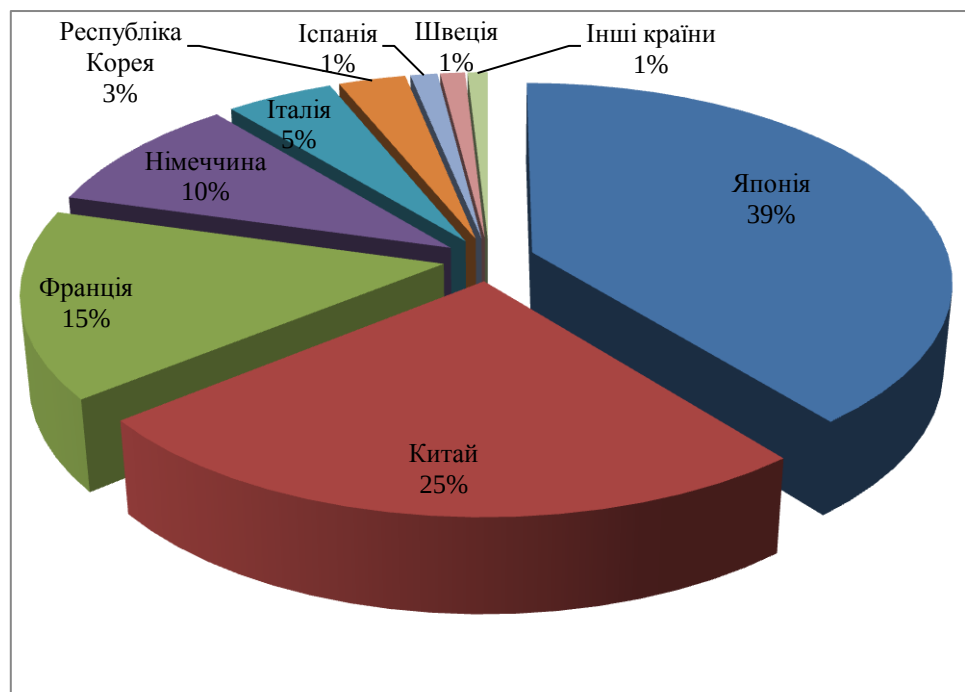


Рисунок 1.1 – Розподіл перевезень по швидкісних залізничних лініях різних країн

Для більшості країн найбільш часто обговорюваними питаннями щодо поліпшення якості організації поточного обслуговування ШРС є наступні:

1. впровадження комп'ютерної автоматизованої системи планування та управління процесами поточного обслуговування (IPS);
2. розширення функціональних можливостей IPS до рівня системи менеджменту обладнання (SAM);
3. розробка більш простих процесів обслуговування замовлень; створення електронних інформаційних систем; розробка більш прозорої структури аналізу виникаючих несправностей і необхідних для їх усунення витрат.

На даний час лише в деяких поодиноких випадках підприємство, яке здійснює операції поточного обслуговування та ремонт ШРС може обходитися без системи IPS. При наявності навіть кількох одиниць РС, які підлягають ТО, впровадження системи електронної обробки даних окупається вже протягом двох років. Цей інструмент дозволяє суттєво оптимізувати процеси поточного утримання.

По мірі того, як закордонні компанії-оператори прагнуть скоротити витрати на експлуатацію РС в розрахунку на весь термін служби і при цьому забезпечити його високу експлуатаційну готовність і надійність, вони намагаються перекласти відповідальність за технічний стан на завод-виробники, яким доручається його фірмове обслуговування, причому все це передбачається ще в процесі підготовки контракту на поставку нового ТРС [136]. Послуги з фірмового ТО і Р на контрактних засадах поступово стають одним з визначальних чинників в між- і внутрішньовидової конкуренції на транспорті. У багатьох країнах світу (перш за все в Європі і США) дерегулювання і приватизація залізничного транспорту змушують операторів віддавати пріоритет комерційним, організаційним і маркетинговим сторонам діяльності, а ТО та Р РС делегувати компаніям, які мають достатній досвід і компетенції в цій галузі. Контракти на ТО та інші пов'язані з ним послуги можуть передбачати як сприяння за змістом РС в експлуатації (коли завод-виготовлювач надає допомогу компанії оператору в роботі, підвищенні кваліфікації ремонтного персоналу і постачання запасних частин), так і

здійснення ТО і Р РС в повному обсязі на спеціалізованих для цього підприємствах. В останньому випадку компанія несе всю відповідальність за видачу на лінію необхідної кількості одиниць РС в обумовлений час відповідно до запитів оператора, а також за його надійність в експлуатації, самостійно визначаючи, якою має бути система ТО і Р і які ресурси для цього потрібні [87, 136]. В даний час найбільші компанії-виробники ТРС – це: Siemens Transportation Systems (Німеччина), Bombardier Transportation (Канада), Alstom Transport (Франція), General Electric (США). Ці компанії в тій чи іншій формі здійснюють ТО та Р ТРС на контрактних умовах більш ніж в 20 країнах світу [17, 87, 147]. Аналіз світового досвіду ТО і Р ТРС показує, що найбільш успішною є модель, при якій основну відповідальність за справний стан протягом всього терміну служби ТРС несе його виробник (т.зв. відповідальність протягом усього ЖЦ виробу). Даний підхід (сервіс) дозволяє комплексно вирішувати наступні завдання [17]: вдосконалення вузлів та агрегатів локомотивів; підвищення надійності ТРС в експлуатації; поставка сучасного технологічного обладнання та оснащення депо; мотивація персоналу з надання якісних послуг замовнику. Таким чином, сервісна система ТО і Р ТРС знайшла широке застосування за кордоном, як основна форма господарювання в локомотиворемонтний комплексі. В Україні така форма утримання ТРС ще не набрала належного розвитку. В цьому сенсі важливим є вивчення і адаптація сучасного досвіду організації ТО, ПР ТРС, ШРС до умов України.

1.2. Аналіз досвіду організації системи утримання закордонного ШРС.

Посилення конкуренції на залізничному транспорті вимагає підвищення експлуатаційної готовності РС, яке може бути досягнуто за рахунок скорочення простоїв в депо і прискореного усунення несправностей. Плановий простій РС в депо повинен скорочуватися до необхідно про мінімуму за рахунок ретельного планування заходів з ТО, включаючи витрати робочої сили, обладнання та матеріалів. ТО залізничного РС в

умовах все більш тісної співпраці між експлуатаційними компаніями і виробниками набуває нові аспекти. Компанії-виробники проявляють інтерес до передачі їм якомога більшої обсягу функцій, які поки ще виконують самі залізничні компанії, зокрема, в сфері ТО і Р РС. Чи готові оператори відмовлятися від якихось функцій – інше питання. У загальному бюджеті залізниць світу на сервіс припадає приблизно половина їх доходів від продажів, або близько 50 млрд. Євро на рік. Більша частина цього величезного ринку ще закрита для третіх сторін, інакше кажучи, ТО та Р нерухомого та рухомого майна, як і раніше знаходяться в руках традиційних національних операторів. Так, Національне товариство залізниць Франції щорічно витрачає більш ніж 2,2 млрд. Євро на утримання свого РС [109], залізниці сусідніх країн, разом узяті, – до 9 млрд. Євро. Однак ситуація потроху змінюється. Активними гравцями в цій сфері стали компанії – РС. Так, послуги компаній Bombardier Transportation, Alstom Transport і General Electric Transportation Systems оцінюються приблизно в 1 млрд. Євро на рік, компанії Siemens Mobility – трохи менше. Ринок залишається жорстко диверсифікованим і має значний потенціал зростання. Перші в Європі контракти на поставки нового РС, в яких було обумовлено його післяпродажне ТО силами виробника, мали місце в 1992 р в Іспанії щодо парку високошвидкісних електропоїздів сімейства AVE [137]. Деякі оператори вважали, що їх основний бізнес – це перевезення пасажирів або вантажів, але слід мати на увазі, що при цьому не менш важливим є забезпечення належного стану і економічно ефективного використання РС за рахунок його якісного ТО. Тому при придбанні нового РС оператори стали звертати все більше уваги на такий показник, як загальні витрати протягом всього терміну служби (витрати життєвого циклу). Деякий час назад на залізницях ряду країн функції експлуатації та ТО РС були розділені. В Іспанії, Швеції та Великобританії ремонтні підприємства стали публічними структурами, що зробило їх доступними для сторонніх організацій. В результаті сфера ТО і Р в цих країнах перетворилася на поле діяльності

декількох компаній, які працюють паралельно, часом заважаючи один одному, і кожна відповідає за парк РС певних типів і серій. У Великобританії цей сценарій ще більш ускладнився за рахунок включення в ланцюжок відповідальності ще однієї ланки – лізингових компаній. Коли відповідальність за стан РС беруть на себе компанії-виробники, ефективність цієї роботи набагато вище. Це не означає, що компанії – оператори не знають, як утримувати і ремонтувати РС; просто у них інша мотивація. Виробник орієнтується на пошук шляхів підвищення ефективності своєї діяльності: він прагне поліпшити баланс між попереджувальним ТО і коригуючим Р для усунення несправностей. Оператор, навпаки, буде шукати способи обмеження своїх поточних витрат і прагнути ремонтувати РС тільки при виникненні несправностей. Виробники пропонують операторам допомогу, висуваючи неспростовний аргумент: підвищення експлуатаційної готовності ТРС на 20% означає збільшення витрат на кілька відсотків, однак при цьому на 20% зростають доходи. Оператори і виробники повинні співпрацювати, щоб домогтися максимального використання РС протягом його терміну служби. Контракти на ТО дозволяють виробникам відстежувати стан РС протягом усього його ЖЦ. Дані про всі відхилення від нормальної роботи надходять в служби досліджень і розробок, що дозволяє поліпшувати характеристики виробів в реальному часі. У більшості випадків оператори зберігають, щонайменше частково, свою участь в ТО, щоб контролювати і оцінювати цю роботу. До того ж корисно зберегти деякі навички в даній області на випадок, якщо виникне необхідність знову зайнятися цією діяльністю або змінити партнера, якщо він не влаштовуватиме клієнта. Ухвалений відносно недавно термін MRO (maintenance, repair, overhaul – ТО, Р, КР/модернізація) має на увазі, що виконавець бере на себе просте зобов'язання – щоб користувач мав в своєму розпорядженні парк РС, точно обумовлена частина якого в певний час повинна бути готова до використання, тоді як контракти, в яких обумовлені певні експлуатаційні параметри, передбачають певний рівень надійності. Контракти типу MRO

традиційно планувалися на основі періодичності огляду і Р різного об'єму; їх умови, як правило, не переглядалися. Однак, як показує досвід, в середньому до 40% часу витрачається на усунення несправностей, а не на планове обслуговування. Оскільки на сучасному РС все менше уваги потрібно приділяти механічній частині і все більше електронного обладнання, регулярно виконуються операції з ТО та Р вже не є необхідною умовою оптимального використання РС. Нові моделі засновані на здійсненні ТО по фактичному стану, що дозволяє оптимізувати готовність РС та скоротити час, протягом якого він виводиться з експлуатації на обслуговування. Перевага віддається вже не плановому ТО, а практиці відстеження функціонування РС в експлуатації по надходженню сигналів, коли компонент або система виявляють певні ознаки зносу або наближення до відмови.

1.2.1. Особливості організації ТО, ПР ШРС в азійських країнах.

Перша ділянка швидкісного руху JR EastB в Японії була здана в комерційну експлуатацію в 1964 році з використанням на ній електропоїздів «SHINKANSEN» нульової серії. На даний момент потяги «SHINKANSEN» вже мають дуже багато серій [122].

Планово-попереджувальна система ТО, ПР поїздів «SHINKANSEN» працює таким чином (таблиця 1.1):

Таблиця 1.1 – Система ТО, ПР поїздів «SHINKANSEN»

№ з/п	Період виконуваних робіт	Найменування робіт	Орієнтовний перелік робіт, які виконуються
1.	Кожні 48 год.	інспекція	огляд ходової частини і струмоприймачів
2.	Через 30 тис. км пробігу	регулярна інспекція	контролюється стан струмоприймачів, механічної частини, електричних та електронних систем за допомогою бортової системи діагностування
3.	Через кожні 600 тис. км	інспекція візків	вагони встановлюються на домкратні позиції та викочуються візки; візки повністю розбираються

			і всі елементи проходять повну діагностику і ремонт.
4.	Через кожні 1 200 000 км пробігу	генеральна інспекція	вагони проходять підйомку на домкратах і розбірку, проводиться ремонт усіх вузлів і деталей поїзда

Питаннями розробки нормативної документації, організації, планування ТО і Р, норм міжремонтних періодів поїздів займається компанія, яка експлуатує поїзди – JR. Висока надійність РС забезпечується чіткою системою ТО, побудованою на принципах менеджменту якості, які прийняті в Європі, та розроблених в компанії JR.

Японська фірма вважає систему ТО нових одиниць ТРС ключовим моментом гарантії високого рівня надійності.

1.2.2. Аналіз організації ТО, ПР ШРС в європейських країнах

У Франції політику в області ТО і Р РС у SNCF реалізує централізована дирекція [135]. Вона визначає періодичність робіт з ТО і ПР, а також встановлює спільно зі своїми клієнтами умови придбання РС, координує його розробку і проводить приймальні випробування. Фахівці дирекції постійно шукають шляхи оптимізації співвідношення між попереджувальним (із заздалегідь визначеною періодичністю) і коригувальним (по фактичному стану) ТО і Р з метою визначення того, наскільки ефективна організація першого може зменшити потребу в другому. Відповідно до регламенту SNCF є п'ять ступенів ТО для РС, що приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Регламент SNCF

№	Ступінь	Перелік робіт
1.	I	Проводиться машиністом ТРС і включає перевірку пристроїв безпеки.
2.	II	РС не вилучають з обігу, а лише перевіряють, проводять миття і очищення на станційній або запасній колії.
3.	III	РС відправляють до ремонтних майстерень або депо, де змінюють гальмівні накладки.
4.	IV	Загальна ревізія з оновленням інтер'єру.
5.	V	Можуть вноситися конструктивні зміни і доопрацювання

		відповідно до останніх технічних вимог (так, на поїздах Thalys поряд з оновленням елементів їх інтер'єру встановлено необхідне обладнання, що дозволяє експлуатувати їх на лініях з ETCS рівня 2)
--	--	---

На першій стадії експлуатації поїздів TGV Duplex інжинірингова служба SNCF вивчала можливості підвищення їх експлуатаційної готовності. Для цього всі поїзди були обладнані системою дистанційної діагностики, що забезпечує можливість планування робіт з ТО для ШРС. Цей захід дозволив досягти найвищої експлуатаційної готовності ШРС.

На ситуацію з ТО і Р РС SBB впливають кілька факторів [123]: посилення конкуренції, зростаюче ціновий тиск, надлишок виробничих потужностей в загальноєвропейському масштабі, інтенсифікація експлуатації РС, що виявляється з кожною зміною графіка, зменшення тривалості простою і т.п. На цьому тлі посилюється прагнення до кращого використання наявних ресурсів і підвищення продуктивності. У службі ТО і Р РС SBB нараховуються два ремонтні заводи (в Івердоні і Ольтені), одне спеціалізоване ремонтне депо (в Цюріху) і дев'ять пунктів огляду і профілактичного ремонту (в Женеві, Лозанні, Бригу, Люцерні, Цюріху, Обервінтертурі, Вайнфельдені, Роршаха і Базелі). Загальна чисельність персоналу служби складає 1900 чол. Основними об'єктами виконуваних службою робіт є: У службі ТО і Р РС нараховуються два ремонтні заводи (в Івердоні і Ольтені), одне спеціалізоване ремонтне депо (в Цюріху) і дев'ять пунктів огляду і профілактичного ремонту (в Женеві, Лозанні, Бригу, Люцерні, Цюріху, Обервінтертурі, Вайнфельдені, Роршаха і Базелі). Основними об'єктами виконуваних службою робіт є:

- обслуговування з оглядом, обмивки і очищенням в середньому 600 пасажирських вагонів в день;
- ПР (з внесенням модифікацій у разі необхідності) до 120 од. РС в день;
- позаплановий ремонт до 40 од. РС в день;

– виконання до 550 ремонтних операцій на РС, тимчасово вилученому з експлуатації.

З урахуванням наявності конкурентного середовища відділення пасажирських перевезень SBV вибрало систему «Kaizen» [123, 30], яку компанія Toyota (Японія) застосовує і вдосконалює протягом вже більше 30 років (буквально слово «Kaizen» в перекладі з японської мови означає «покращення хорошого»). Система включає методи і засоби для систематичної ідентифікації та усунення зайвих невиробничих витрат і зосередження наявних ресурсів на діяльності, що приносить додаткові доходи. Вважається, що шляхом відповідного навчання персоналу і впровадження системи «Kaizen» можливе збільшення ефективності виробництва на 25 – 30%. Разом з тим система «Kaizen» вимагає підвищення виробничої культури, зміни мислення і повної підтримки на всіх рівнях менеджменту. Тільки при дотриманні цих умов можна здійснити процес поліпшень. Для навчання персоналу на місцях були створені робочі групи «Kaizen», які слідували принципом так званого ступеневої процесу (SS). Кожен працівник служби ТО і Р РС пройшов триденні курси, що охоплюють п'ять сторін вдосконалення виробничого процесу, а саме:

- впорядкування робочого місця;
- підтримання чистоти;
- розміщення всього інструментарію, оснащення, вимірювальних приладів і т. п. в певних місцях;
- стандартизація і типізація;
- самодисципліна.

Перші ж результати впровадження системи виявилися вражаючими. На двох заводах і в депо досягнуто 20 % підвищення продуктивності. Досвід показує, що система Kaizen дійсно ефективна тільки тоді, коли пошуки шляхів до постійного вдосконалення не припиняються, створюючи атмосферу прагнення до навчання і поліпшень у всій компанії.

Компанія Talgo виступає одночасно у ролі виготовлювача РС і ремонтного підприємства [59]. Система ТО РС розроблена компанією Talgo відповідно до законів, розпоряджень, національних і міжнародних стандартів, являє собою комбінацію планових заходів з роботами, які проводяться з урахуванням технічного стану комплектуючих. Важливим елементом системи при цьому є інструкції з ТО, складені за період багаторічного досвіду експлуатації, що постійно доповнюється практикою. Компанією взагалі приділяється велика увага приділяється фірмовому ТО, ПР РС. Компанія за рахунок цього гарантує досить тривалий термін служби, тому деякі поїзди досить давньої виробництва можна бачити на лініях і сьогодні. Потяги Talgo мають модульну конструкцію, всі заходи з ТО виконуються швидко і, як правило, з частковою заміною компонентів. Оптимальна експлуатаційна готовність РС забезпечується поділом планових робіт великого об'єму на окремі пакети заходів, в результаті чого не потрібно виводити поїзда або вагони з експлуатації на тривалий період.

Talgo проводить профілактичну заміну зношених вузлів тільки тоді, коли це необхідно із причин безпеки. В іншому виконується програма планового техогляду з метою визначення стану конструктивних елементів і вузлів. Завданням цих оглядів є розпізнавання відмов, що зароджуються, з наступним попередженням їх розвитку. Ці заходи проводяться з метою визначення моменту, коли необхідне проведення робіт з ТО. Цей момент визначають по наявним конкретним даним або шляхом прогнозування. У кожному поїзді Talgo є центральна бортова діагностична система, яка постійно взаємодіє з усіма основними компонентами, стан яких контролюється, а дані про їх стан в безперервному режимі реєструються і відображаються на екрані монітора. Ця інформація аналізується поїзним техніком. Основним компонентом заводського діагностичного обладнання є розроблена компанією Talgo система, розташована нижче рівня підлоги і служить для автоматичного збору даних про стан ходової частини. Іноді

проводять вимірювання у всьому складі при його проходженні над діагностичним пристроєм.

У кожному поїзді Talgo кваліфікований технік поїзної бригади несе відповідальність за технічний стан поїзда. Він підпорядковується не компанії-перевізнику, а ремонтному підрозділу компанії Talgo і тому вся увага приділяє технічного стану поїзда, що знаходиться на лінії. Завдання техника полягає в постійному контролі всіх компонентів і систем поїзда в експлуатації. Крім того, він реєструє недоліки в роботі, які можна розпізнати тільки під час руху поїзда і які не вдається виявити в депо, наприклад, незвичайні шуми. Технік проводить перевірки згідно з програмою ТО безпосередньо під час руху поїзда. Завдяки цьому до моменту наступного планового Р зазвичай вже відомий обсяг робіт, які необхідно виконати. Якщо під час поїздки трапляються неполадки, технік виконує відповідні коригувальні роботи прямо на місці. Для цього в поїзді є запасні частини і відповідний інструмент. Практика показує, що близько 75% спонтанних ушкоджень усувається техніком протягом 10 хв. після їх виникнення.

На думку керівництва підрозділу фірмового сервісу Siemens TS, сучасний РС потребує залучення до його ТО, ПР спеціально підібраного персоналу, який знає як конструктивні особливості поїздів тих чи інших серій, так і особливості їх експлуатації в реальних умовах залізниць [104]. Виконання цієї умови можливе в завчасно створених спеціалізованих депо, також спроектованих і оснащених з урахуванням конструктивних особливостей РС і прийнятої системи його ТО і Р, і при оптимальному наборі і підготовці необхідних працівників. В такому випадку забезпечується сприятливе поєднання технічної бази та кваліфікованого персоналу для фірмового сервісу з самого початку експлуатації поїздів на найвищому технічному рівні і з задовільними економічними показниками. Використання обладнання, призначеного для роботи з РС, його вузлами і деталями певних конструкцій, значно підвищує ефективність сервісу.

Компанія Siemens Transportation Systems з розумінням ставиться до бажання компаній-операторів виконувати роботи з ТО і Р РС своїми силами. У таких випадках доцільність пропозиції їм послуг компанії-виробника на контрактній основі визначається економічними факторами, причому ці послуги можуть варіюватися від надання технічної допомоги до повного взяття відповідних робіт, також в різному обсязі – від щоденного огляду і профілактичного ТО до КР, на свою відповідальність.

Alstom, використовуючи наявні виробничі потужності, розгорнули у Франції бізнес по фірмовому післяпродажного ТО і Р РС. Alstom на заводі в Бельфорі (Франція) організувала базу для робіт з ТО і Р великого обсягу і логістичну платформу для забезпечення запасними частинами по моделі компанії Ікеа, а також базу по модернізації РС на заводі в Решоффене (з проектуванням і частковим виконанням робіт субпідрядним методом). У практиці поточного утримання РС Alstom використовує методи дистанційного моніторингу. Стан і функціонування основних компонентів РС дистанційно відслідковуються і контролюються, деякі термінові операції виконуються роз'їзними бригадами. Природно, частина робіт поточного утримання, що не вимагають залучення компанії виробника, виконується силами компанії-оператора, наприклад щоденний контроль тиску в гальмівній системі. Як і вагону, локомотиву необов'язково кожен день витрачати час на візит в депо. Однак застосування такої моделі має свої межі. Компанія Alstom воліла б розгорнути діяльність по фірмовому обслуговуванню РС на французькій території, використовуючи виробничі потужності свого давнього покупця. Однак переговори з SNCF з цього питання не принесли істотних результатів. Розглядається й інший аспект співпраці – забезпечення запасними частинами. На відміну від звичайної практики придбання РС і лише згодом запасних частин для нього, більш цікавою видається ідея укладення одночасно контрактів і на поставки РС нових серій, і на його обслуговування. На виставці InnoTrans 2018 у Берліні між Alstom і АТ «Укрзалізниця» підписаний Меморандум, який передбачає

співробітництво в галузі поставок і обслуговування електровозів. В даний час оновлення електровозного парку є для АТ «Укрзалізниця» пріоритетною стратегічною метою [151, 158]. У найближчі 10 років загальна потреба українських залізниць в електровозах складе 495 од., В тому числі в вантажних локомотивах (працюють на струмі напругою 25 кВ, 3 кВ і двосистемних), а також в пасажирських двосистемних локомотивах, включаючи супутнє обслуговування та утримання на період до 25 років. У документі передбачається омолодження залізничної продукції на території України, а також надання відповідної документації з боку Alstom.

1.3. Аналіз надійності основного обладнання електропоїздів HRCS2 «Hyundai Rotem», EJ675 Skoda Transportation

Фахівцями Українського державного університету науки і технологій були проведені дослідження та аналіз основних показників роботи і надійності електропоїздів HRCS2, та EJ675 під час яких було виконано роботи «Дослідження і визначення основних показників роботи і надійності електропоїздів HRCS2 з пробігом до 500 000 км» та «Дослідження і визначення основних показників роботи і надійності електропоїздів EJ675 з пробігом до 500 000 км».

У результаті було встановлено, що значення середнього наробітку на відмову електропоїздів HRCS2 не відповідають вимогам технічного завдання. Серед систем електропоїзда найбільш низький рівень надійності мають гальмівна система; система управління пантографом; система опалення та кондиціонування кабіни машиніста; система очищення лобового скла кабіни машиніста; система водопостачання вагонів. Також у результаті виконаного дослідження електропоїздів EJ675 було виявлено, що тяговий електродвигун, головний вимикач, інвертор додаткового приводу, блок кондиціонування, агрегат компресора за своєю надійністю не відповідають встановленим вимогам.

Зокрема статистика зафіксованих зауважень по 2019 рік на один електропоїзд у приведенні на 1000 км пробігу така:

- на ЕКр1 «Тарпан» (ПАТ «КВБЗ») зафіксовано 1,6 зауважень;
- на HRCS2 («Hyundai Rotem») - 2,14;
- на EJ 675 («Skoda») - 2,25 (за станом на 2018 рік).

Два електропоїзди EJ 675 не експлуатуються вже майже три роки. Основною причиною припинення експлуатації двох електропоїздів EJ 675 стала неспроможність забезпечення належної організації обслуговування і ремонту в умовах України.

Електропоїзди HRCS2 обслуговують маршрути, які пролягають в межах всіх залізниць з загальною довжиною близько 2200 км і включають ділянки електрифіковані як на постійному, так і на змінному струмі. Співвідношення їх довжини становить 16 % та 84 % відповідно.

Електропоїзди EJ675 обслуговували маршрути в межах Придніпровської, Південної та Донецької залізниць, де переважають ділянки, електрифіковані на постійному струмі.

Обидві серії електропоїздів мають близькі експлуатаційні (функціональні) характеристики, але суттєво відрізняються параметрами, кількістю і виробниками тягового і допоміжного обладнання, а також схемою його розміщення в вагонах поїзда.

Відповідно з викладеним, дисертаційне дослідження є актуальним та направлене на удосконалення системи утримання прискореного рухомого складу, який використовується в АТ «Укрзалізниця», що дозволить підвищити його експлуатаційну надійність і ефективність використання.

1.4. Перспективи використання ПРС в умовах України

Розпорядженням Кабінету Міністрів України N 979-р від 31 грудня 2004 року [117] було схвалено Концепцію Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки. Цією Програмою, зокрема, визначалися основні етапи

впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки, в тому числі проведення якісного і своєчасного ТО та Р ПРС, планувалося будівництво поблизу м. Києва окремого депо для обслуговування електровозів типу ДС3 і ДС4 та поїздів з примусовим нахилом кузова у кривих. Також було заплановано будівництво ПТО ПРС на базі локомотивних депо Львів-Захід, Одеса-Застава, Полтава, Харків – Головне (або моторвагонного депо Харків), а також на Донецькому залізничному вузлі. Швидкісний рух пасажирських поїздів у нашій країні впроваджено, курсують поїзди з високотехнологічним обладнанням, яке потребує сучасного підходу до його ТО. 2012 рік взагалі став історичним для залізничного транспорту України, початком якісної та високотехнологічної модернізації інфраструктури галузі. Основним етапом цього процесу було створення УЗШК – першої в Україні компанії з перевезення пасажирів денними швидкісними поїздами ІНТЕРСІТІ+ [26]. УЗШК була заснована 22 лютого 2012 року для організації швидкісного руху на теренах України. Нині УЗШК – єдиний державний оператор пасажирських залізничних перевезень, в експлуатації якого знаходиться новітній РС: – 10 електропоїздів виробництва компанії Hyundai Rotem (Республіка Корея); – 2 поїзди локомотивної тяги виробництва ПАТ «КВБЗ»; – 2 двосистемні електропоїзди Екр-1 виробництва ПАТ «КВБЗ»; – 2 електоропоїзди Skoda виробництва Skoda Vagonka.

Намічені кроки [117] реалізовані частково, а необхідність у їх виконанні залишається не лише актуальною, але й потребує розширення заходів з їх реалізації. Насамперед, це пов'язано з необхідністю забезпечення ТО і Р РС не лише приписного парку, а і іншого РС, який на цей час потребує проведення ТО, ПР.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р схвалено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року [116]. В рамках цієї стратегії також стоять завдання розроблення і виконання програми (плану заходів) оновлення залізничного РС, у тому числі

для високошвидкісних пасажирських перевезень. Одним із пунктів завдань в рамках стратегії є створення умов для з'єднання обласних центрів мережею швидкісних (від 160 до 200 кілометрів на годину – до 2025 року) та високошвидкісних (від 250 до 400 кілометрів на годину – до 2030 року) залізниць.

1.5. Напрямки удосконалення системи утримання ТРС.

Управління технічним станом ТРС безпосередньо пов'язано з системою ТО і Р, яка, в свою чергу, повинна забезпечувати надійність ТРС в експлуатації. При цьому надійність забезпечується якістю виконуваних ТО і Р ТРС.

У світовій практиці глибоко науково і практично опрацьовані принципи управління надійністю обладнання, систем і процесів згідно з методологією СМЯ і бережливого виробництва.

Кращий досвід (Best Practice) закріплений на рівні ISO. Загальновизнаним основоположним є принцип постійного поліпшення, що має місце в усіх видах документів з якості [92, 89, 112, 125, 126, 127, 128]. Зараз, в умовах стагнації економіки, залізнична галузь України особливо потребує реалізації найкращого світового досвіду в області менеджменту.

Цикл PDCA входить в число восьми принципів управління міжнародного стандарту якості ISO-9000, є основою СМЯ (стандарт ISO-9001). Принцип постійного поліпшення – основа основ будь-якої СМЯ [54, 94, 97]. Практична реалізація циклу PDCA в системі сервісного обслуговування ТРС може бути ефективно здійснена з використанням положень міжнародного стандарту ITIL, розробленого стосовно до інформаційних систем, але застосовним практично в будь-якій області сервісного обслуговування, що відображено в міжнародному стандарті ISO 20000. ITIL являє собою бібліотеку рекомендацій (Best Practice), що складається з 10 книг, головними з яких для сервісного обслуговування є дві:

«Підтримка послуг» та «Надання послуг». Ці дві книги об'єднані в загальний розділ ITIL «Технічний супровід» (IT Service Management – ITSM) [96, 102].

Згідно з розділом ITSM для забезпечення надійної роботи системи необхідно реалізувати десять процесів сервісного ТО, головними з яких є (назва та опис процесів відповідають стандарту ITSM).

Управління інцидентами (Incident Management): реалізує функції технічної допомоги. Спрямований на швидке відновлення обслуговування шляхом усунення неполадок. Завдання процесу Управління інцидентами – звести до мінімуму випадки переривання обслуговування. Основні процеси: прийом звернень, реєстрація інцидентів, класифікація інцидентів, визначення пріоритетів, ізоляція неполадок, ескалація інциденту (всередині процесу і / або на рівень керівників), відстеження історії інцидентів, усунення неполадок, повідомлення клієнтів, закриття справи. Стосовно локомотивів повинна бути створена єдина комплексна система управління ТО і Р ТРС, в якій кожен ремонт і обслуговування (плановий або позаплановий) розглядається як Інцидент, ЖЦ якого повинен бути керованим і підконтрольним.

Управління Проблемами (Problems Management): направлено на зниження числа неполадок і інцидентів. Реалізується шляхом вивчення джерел їх виникнення (на основі інформації про минулі інциденти). Також включає аналіз тенденцій і контроль відомих помилок з розрахунком на усунення їх джерел в довготривалій перспективі. Тісно пов'язане з Управлінням інцидентами. Основні процеси: аналіз тенденцій у виникненні проблем, реєстрація проблем, виявлення джерела, відстеження історії проблем, аналіз відомих помилок, контроль відомих помилок, рішення проблем, закриття справ з проблем / відомих помилкам. Стосовно ТРС повинен бути реалізований факторний комплексний аналіз інформації про інциденти, виявлення та усунення витратних місць технологічного процесу.

Управління Рівнем Сервісу (Service Level Management): дозволяє організації встановлювати, обговорювати, вести моніторинг, складати звіти і

контролювати рівні обслуговування споживачів відповідно до показників обслуговування. Важливо взаємодія процесів планування послуг і управління рівнем сервісу. Процес управління рівнем сервісу може визначити вимірні цілі рівнів сервісу та їх потенційних споживачів, дозволяючи керівництву згодом взяти на себе зобов'язання за угодами про рівень сервісу SLA. Основні процеси: оцінка специфічних вимог до послуг, порівняння вимог зі стандартними послугами, визначення потреби в замовних послуг, переговори і складання угоди про рівень обслуговування, Установка циклу дослідження ефективності послуги, аналіз ефективності послуги з орієнтованим на споживача рівнем, створення звітів споживачів, проведення дослідження ефективності послуги, вироблення пропозицій про поліпшення послуги. Інші процеси ITSM [2].

Управління конфігурацією (Configuration Management) забезпечує централізовану реєстрацію і контроль інформації. Стосовно до системи управління технічним станом ТРС – база даних по ТРС, їх обладнання та системі ТО і Р.

Управління Змінами (Change Management): реєструє всі значні зміни у виробничому середовищі, координує порядок робіт, пов'язаних зі змінами, задає пріоритет запитам на їх внесення, дає повноваження на виробничі зміни та ін. Стосовно ТРС повинно бути налагоджене управління модернізаціями, заміною вузлів та агрегатів ТРС та ін.

Управління реліз (Release Management) – планування і контроль розгортання оновлень програмного і апаратного забезпечення. Стосовно ТРС повинен бути налагоджений облік сумісності обладнання (а у апаратно-програмних комплексів – і програмного забезпечення) для різних серій і модифікацій ТРС.

Управління Витратами (Cost Management) – відстеження фактичних витрат в розрізі сервісів і категорій користувачів. Стосовно до системи управління технічним станом ТРС – це оцінка собівартості сервісного обслуговування, пошук шляхів зниження витрат.

Управління Потужністю (Capacity Management) дозволяє визначати, відстежувати і контролювати потужність служб. Стосовно до системи управління технічним станом ТРС, перш за все, слід налагодити контроль відповідності потужності ремонтного комплексу обсягами ТО і Р, а також допустимість завантаження роботою самого ТРС.

Управління безперервної (Business Continuity Management, BCM) – підтримка функціонування сервісу при надзвичайних обставинах, відновлення сервісів, необхідних для продовження роботи бізнесу, в разі надзвичайних обставин (стихійне лихо тощо.).

Управління Доступністю (Availability Management) дозволяє організації визначати, відстежувати і контролювати доступність послуг.

Таким чином, система управління технічним станом ТРС, моніторингу його технічного стану повинна реалізовувати вищеописані процеси і підпроцеси і її необхідно покласти в основу структури моделі управління технічним станом ТРС при запровадженні сервісної системи ТО і Р.

1.6. Техніко-економічна ефективність ТО і Р

Техніко-економічний аналіз систем ТО і Р ТРС показує, що в сумі (за ремонтний цикл) найбільш трудомісткі поточні ремонти ПР-1, ПР-2 і технічне обслуговування ТО-3, на частку яких припадає до 85% трудових витрат, так як їх число значно більше, ніж інших обслуговувань і ремонтів. У той же час від технічних обслуговувань ТО-1, ТО-2 і ТО-3 в більшій мірі залежать темпи витрачання надійності і рівень експлуатаційної надійності та напрацювань на відмову. Капіталовкладення в механізацію, автоматизацію і в цілому у вдосконалення саме цих видів обслуговування повинні дати найбільшу віддачу. Додаткові витрати, що виникають в результаті відмови ТРС в процесі експлуатації, містять витрати на усунення самої відмови, тобто на заміну або ремонт вузла, що відмовив, втрати через порушення графіка руху поїздів, що приводить до збільшення загальної маси вантажів, що знаходяться поза сферою обігу.

Розглянемо деякі підходи з оптимізації системи утримання ПРС. Так, згідно з методикою [5] додаткові витрати, зумовлені відмовами ПРС під час перевезення за певний період експлуатації

$$Z_D = \left[\sum_1^{\tau} m_i(\tau_{\text{э}}) \right] e_{omi}, \quad (1.1)$$

де e_{omi} – втрати від однієї i -ої відмови, грн.;

$\tau_{\text{э}}$ – період експлуатації, який розглядається;

m_i – число i -их відмов ПРС.

Оптимальну періодичність ТО і ПР ПРС пропонується оцінювати графічним методом (рисунок 1.2).

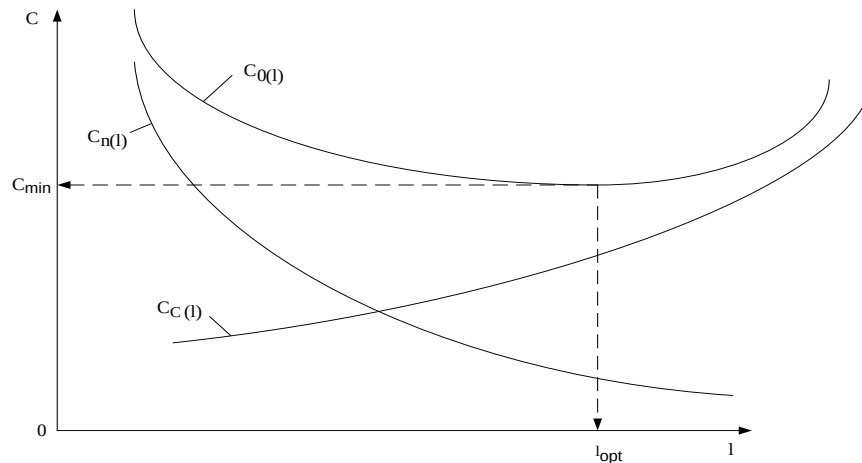


Рисунок 1.2 – Вибір оптимального пробігу l_{opt} між ТО чи ПР

де $C_n(l)$ – витрати на планові ремонти;

$C_c(l)$ – витрати на позапланові і надпланові ремонти;

$C_0(l)$ – сумарні витрати;

l_{opt} – оптимальний пробіг між ремонтами при мінімальних сумарних витратах C_{0min} .

В [5] для визначення оптимальної системи ТО, ПР ТРС пропонується наступна залежність відносних сумарних витрат $\mathfrak{E}_p$ від міжремонтного пробігу L_p , яка визначає систему ТО і ПР.

$$\mathfrak{E}_p = \frac{L_{cp}[1-(1-\gamma_3)] \times P(L_p)}{\int_0^{L_p} P(L_p) dL_p}, \quad (1.2)$$

де L_{cp} - математичне очікування пробігу до відмови досліджуваної деталі;

$P(L_p)$ - ймовірність безвідмовної роботи за пробіг L_p , км;

$\gamma_3 = \frac{\mathfrak{E}_\Pi}{\mathfrak{E}_0}$ - відношення середніх витрат при планових ремонтах $\mathfrak{E}_\Pi$ до

середніх витрат при позапланових ремонтах $\mathfrak{E}_0$.

Після підстановки в формулу 1.2 виразу ймовірності безвідмовної роботи $P(L_p)$, отримані конкретні розрахункові формули для визначення витрат $\mathfrak{E}_p$ у функції міжремонтного пробігу L_p і знайдене оптимальне значення L_p , що відповідає мінімуму $\mathfrak{E}_p$.

За дослідженнями [3] в загальному вигляді взаємозалежність пробігів до заміни всіх послідовно пов'язаних вузлів можна представити поліномом будь-якого ступеня в залежності від необхідної точності

$$a_0 + \sum_1^n a_i l_i + \sum_1^n a_{(n+i)} l_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} l_i l_j = 0 \quad (1.3)$$

де a_0 , a_i , $a_{(n+i)}$, a_{ij} - параметри полінома.

Для оптимізації наведеної цільової функції необхідно обмежити величину кожного l_i в реальних межах $0 < l_i \leq l_{i\max}$, де $l_{i\max}$ приймають на

основі статистичних даних, наприклад, 0,9 від величини найбільшого пробігу вузла до ремонту.

За даним [3] граничне значення параметра технічного стану, зносу залежить від періодичності заміन кожного з послідовно зв'язаних сполучень

$$S = a_0 + \sum_1^n a_i l_i + \sum_1^n a_{(n+1)} l_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} l_i l_j, \quad (1.4)$$

За допомогою багатофакторного управління, що враховує вплив на зміну технічного стану окремо взятого сполучення з числа послідовно пов'язаних, знижується помилка визначення граничних значень технічного стану деталей, отриманих в результаті рішення цільової функції $\Delta C_\Sigma = \frac{\Delta \sum l_i}{l_i} = 0$ з урахуванням обмежень $0 < l_i \leq l_{i\max}$ і взаємозв'язку пробігів.

Таким чином, питомі витрати на підтримку працездатності сполучення лінійно залежать від інтенсивності зношування його деталей. На інтенсивність зношування сполучення впливає знос всіх послідовно пов'язаних з ним сполучень. Знос сполучень агрегатів визначає технічно-економічні показники механічної системи. Граничну величину зносу деталей необхідно встановлювати з урахуванням взаємного впливу всіх сполучень агрегату.

Знаючи середній темп зміни показника якості (K_{cp}) [85] та початкові його значення (Π_{K1}), можна визначити реалізований показник якості на i -му інтервалі (пробіг, термін експлуатації) системи

$$\overline{\Pi}_{Ki} = \frac{\Pi_1 \left(1 + \sum_{i=1}^n K_{cp}^{i-1} \right)}{i}, \quad (1.5)$$

де i – рік відліку або номер інтервалу пробігу.

Розглянутий підхід дозволяє не тільки порівнювати стабільність різних показників однієї тягової одиниці, але однойменні параметри різних моделей і класів тягових одиниць.

В роботі [141] запропоновані нормативи витрат на ремонт j -ої техніки по i -ій операції ремонту

$$S_{ij}^H = \frac{C_{ij}}{N_{ij}}, \quad (1.6)$$

де C_{ij} – сумарні витрати на ремонт автомобілів i -ої марки по позиції, грн.; N_{ij} – кількість операцій ремонту автомобілів i -ої марки по j -ій позиції.

Розгляд методів організації системи ТО, ПР ПРС показав, що кожен має ті, чи інші недоліки, що вказує на потребу подальшого глибокого вивчення даного питання.

Висновки до розділу I

1. Дослідження показало, що в досвіді організації системи технічного обслуговування ПРС треба орієнтуватись на такі країни, як Японія, Франція Німеччина.

2. Існуюча в Україні планово-поперуждувальна система ремонту РС не відповідає реаліям при обслуговуванні сучасного швидкісного рухомого складу.

3. У світовій практиці глибоко науково і практично опрацьовані принципи управління надійністю обладнання, систем і процесів згідно з методологією СМЯ і бережливого виробництва. Кращий досвід (Best Practice) закріплений на рівні ISO.

4. Компанії-виробники проявляють інтерес до передачі їм якомога більшої обсягу функцій, які поки ще виконують самі залізничні компанії, зокрема, в сфері ТО і Р РС.

РОЗДІЛ II.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПРС УКРАЇНИ

2.1. Оцінка ефективності різновидів організації ТО, ПР ПРС.

В процесі експлуатації технічний стан ПРС, який представляє складну технічну систему, погіршується, технічні характеристики його вузлів, агрегатів і систем на фоні старіння як самого ПРС, так і системи його утримання.

ТО в кількісному обсязі робіт з утримання ПРС займає суттєвий сектор і призначене для усунення виникаючих в процесі експлуатації порушень технічного стану і проведення обов'язкового переліку заходів.

ТО забезпечує подовження часу експлуатації систем і агрегатів ПРС за умови, що інтенсивність їх відмов змінна величина.

В процесі експлуатації і старіння ПРС ТО забезпечує зменшення швидкості росту інтенсивності відмов $\lambda(t)$.

Протягом існування залізниць склалася планово-попереджувальна система ТО різних обсягів (ТО- i , де i – номер обслуговування, поточного ремонту (ПР- j , де j – номер Р та КР (КР- m , де m – номер КР).

Періодичність і обсяг ТО, ПР регламентуються заводами-виробниками і в процесі експлуатації частково корегуються за даними з відмов обладнання. Разом з цим, час між відмовами при різних законах розподілу відмов має велику дисперсію, що може приводити до розкиду термінів проведення ТО, ПР для конкретного ТРС.

В цих умовах, на фоні загального погіршення технічного стану обладнання ТРС, доцільно переходити до змішаної системи ТО, ПР, що передбачає організацію безперервного контролю зміни стану обладнання ТРС і впровадження системи утримання обладнання ТРС за станом.

У нашій країні і за кордоном отримали розвиток наукові і прикладні розробки з організації системи утримання ПРС. Направленість цих розробок спрямована на оптимізацію системи ТО і Р ПРС, зниження витрат на

підтримку технічного стану ПРС за рахунок переходу на обслуговування за технічним станом, впровадження систем автоматизації і діагностування в експлуатацію і Р ПРС, на перехід до сервісного обслуговування ПРС.

Значний вклад в удосконалення і підвищення ефективності утримання ПРС внесли дослідження Бабаніна О.Б., Басова Г.Г., Боднара Б. Є., Бутько Т. В., Голубенка О.Л. , Грищенка С.Г., Капіци М. І., Крашенініна О. С., Калабухына Ю.Є., Панченка С. В., Пузиря В. Г., Тартаковського Е.Д., Устенка О. В. та інших вчених.

Крім цього в дослідженнях [180] запропоновано оригінальний метод оцінки надійності складних систем, який дозволяє представити та розширити дерево несправностей складових систем у кольорових мережах Петрі. В роботі [176] представлені результати застосування різних моделей для оцінки надійності залізничних систем, що ремонтуються, та розроблено підхід щодо використання гомогенної моделі Пуассона (ГЕС) і неоднорідної моделі Пуассона (NHPP) для моделювання надійності технічних систем. В матеріалах [169] запропоновано алгоритм прийняття рішень для визначення відповідної моделі надійності для однотипних одиниць, що підлягають ремонту. Дослідження [183, 140, 179, 164] присвячені проблемам створення оптимальної системи постачання запасних частин і обладнання в систему ремонту. В роботі [182] запропоновано методологію системного підходу до організації обслуговування локомотивів на залізницях України. Дослідження [174] присвячені проблемам подовження терміну експлуатації локомотивів на основі математичних методів та положень таких теорій: надійність, ігри, ймовірність, старіння, розпізнавання образів тощо.

Аналіз наукових досліджень щодо утримання ТРС визначає необхідність комплексної оцінки термінів їх експлуатації, що базується на декількох принципово відмінних підходах: удосконалення існуючих технологічних процесів з урахуванням їх коректування в процесі ЖЦ; концепції заміни, коли собівартість їх роботи перевищує нормативні показники; концепції критичного збільшення витрат на утримання РС.

Таким чином, будь-яка система утримання ПРС повинна базуватися на врахуванні факторів досягнення граничних значень критеріїв їх утримання в умовах невизначеності зовнішніх впливів.

Надійність роботи вузлів і підсистем ПРС різна. Тому і період ТО, ПР повинен бути різний. Проте, якщо проводити ТО, ПР за станом елементів, то це зажадає великого загального часу за рахунок збільшення частоти ТО, ПР. Виникають складні математичні і технічні проблеми, пов'язані з вибором оптимальної частоти і глибини ТО, ПР для забезпечення високої надійності обладнання ПРС та її аналізу з урахуванням організації ТО, ПР. Припустимо, що випадковий час роботи обладнання ПРС (системи) розподілено за законом з щільністю $f(t)$. Протягом часу τ , поки ТО не проводилося, система втратила частину свого ресурсу. Якщо $t > \tau$, то без проведення ТО щільність розподілу часу до відмови залишилася б $f(t)$. При наявності ТО час до відмови матиме іншу щільність розподілу, що дорівнює $f(t - \tau)$. Це означає, що з точки зору надійності система "забуває" своє минуле – оновлюється.

Припустимо, що час функціонування обладнання ПРС розпадається на інтервали роботи, яким відповідають значення випадкової величини ξ_1 , і інтервали відновлення, яким відповідають значення випадкової величини η_1 . ТО проводяться через випадкові проміжки часу тривалістю ξ_2 , час проведення ТО позначимо через η_2 . Вважаємо, що під час Р системи ТО не проводиться. Часова діаграма роботи системи зображена на рисунку 2.1, з якої випливає неможливість відмови системи під час проведення ТО.

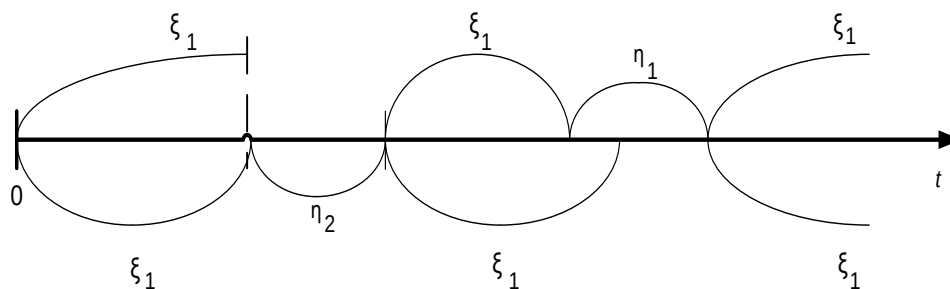


Рисунок 2.1 – Часова діаграма роботи системи з організацією ТО

Система має наступні можливі стани і відповідні їм шукані функції:

- обладнання справне і працює, ТО не проводиться, $y_0(S_1, S_2)$;
- обладнання відмовило і відновлюється, момент ТО не настав, $y_1(\tau_1, s_2)$;
- обладнання справне, проводиться ТО, $y_2(0, \tau_2)$;
- обладнання відновлюється, ТО не проводиться, $y_3(\tau_1, 0)$

Справним є стан (0), коли основне обладнання експлуатується згідно нормативним вимогам, незалежно від того, проводиться ТО чи ні. Стани (1), (2) і (3) є відмовними.

Будемо вважати, що ТО проводиться через певний час T_2 (частота ТО) та продовжується протягом часу T_{B2} (глибина ТО). Тоді закон розподілу часу між ТО є детермінованим з щільністю $f_2(t) = \delta_{T_2}(t)$.

Для коефіцієнту готовності $K_{ГС}$ маємо наступний вираз згідно [57]

$$K_{ГС} = \frac{m_1(T_2)}{m_1(T_2) + T_{B1}M_1(T_2) + T_{B2}K_{Г1}(T_2)}, \quad (2.1)$$

де $m_1(T_2)$ – середнє сумарне напрацювання системи за період часу T_2 ;

$M_1(T_2)$ – середнє сумарне число відмов системи за період часу T_2 .

Напрацювання на відмову і середній час відновлення відповідно дорівнюють

$$T_C = \frac{m_1(T_2)}{M_1(T_2) + K_{Г1}(T_2)}, T_{BC} = \frac{T_{B1}M_1(T_2) + T_{B2}K_{Г1}(T_2)}{M_1(T_2) + K_{Г1}(T_2)}, \quad (2.2)$$

На основі наведених співвідношень встановимо властивості системи, для якої передбачено ТО. Вихідними даними є параметри деяких розподілів відмов. Відповідні формули наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Зв'язок параметрів розподілення з першими двома моментами

Розподілення	m	σ
Експоненціальне $\text{Exp}(\lambda)$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
Рівномірне $U(a, b), a \geq 0$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$
Гама $\Gamma(\alpha, \beta)$	$\alpha\beta$	$\sqrt{\alpha\beta}$
Усічене нормальне $TN(m_0, \sigma_0)$	$m_0 + k\sigma_0$	$\sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2},$ $k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}}$ $C = \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right) \right)^{-1}$
Релея $R(\lambda)$	$\sqrt{\frac{\pi}{4\lambda}}$	$\sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda}}$
Вейбулла-Гнеденка $W(\alpha, \beta)$	$\beta\Gamma(1 + 1/\alpha)$	$\beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)}$
Нормальне $N(m, \sigma) m > 3\sigma$	M	σ

У таблиці $\Phi_0(t)$ – функція Лапласа, $\Gamma(t)$ – гама-функція.

Відповідно до викладеного постають наступні завдання:

1. Вибір параметрів надійності для оцінки організації ТО ПРС;
2. Для різних законів розподілу відмов обладнання визначення значень параметрів надійності;
3. Визначення впливу виду закону розподілу відмов обладнання на параметри надійності для оцінки ефективності організації ТО обладнання ПРС.

Реалізація приведена в наведеній методиці в п. 3.1. дисертації.

2.2 Обґрунтування системи утримання ПРС в умовах АТ «Укрзалізниця»

АТ «Укрзалізниця» отримала на свій баланс декілька одиниць електричного РС, який забезпечує швидкість руху на деяких ділянках від 140 до 160 км/год. Умовно його називають швидкісним рухомим складом (ШРС), що не відповідає загальній класифікації ПРС і високошвидкісного рухомого складу (ВПРС) [189,190]. Але це не головне, оскільки закордонний РС суттєво відрізняється від вітчизняного. Це стосується як особливостей конструкції, так і системи утримання, тобто організації ТО, ПР і КР та термінів його експлуатації. Наприклад, електропоїзди HRCS2, виробництва південнокорейської компанії Hyundai Rotem, були придбані у 2012 році, і для яких жодного разу не виконувались великі ремонти в силу відсутності необхідних потужностей. А електропоїзди EJ 675, чеського виробника Škoda Holding (Škoda Transportation), що поставлені в Україну, вже були в експлуатації на залізницях Чехії, мали налагоджену систему ТО, ПР і КР з урахуванням вимог щодо виконання обсягів робіт і середньодобового пробігу. В умовах України ці вимоги до ПРС EJ 675 не завжди виконувались, що призвело до вимушеної передислокації регіонів експлуатації і організації їх утримання, при початковому варіанті дислокації. Вітчизняний електропоїзд ЕКр1 «Тарпан», виробництва Крюковського вагонобудівного заводу, поки не може повноцінно конкурувати з закордонним рухомим складом і не завжди з об'єктивних причин.

Таке різноманіття РС, що експлуатується на АТ «Укрзалізниця», потребує прийняття нетривіальних і зважених рішень щодо стратегії утримання цього РС.

Як окрема задача, задача обґрунтування системи ТО, ПР ПРС в нашій країні комплексно не вирішувалася.

Окремим питанням запровадження системи ТО, ПР ПРС в Україні присвячені роботи [159, 80, 73], в яких розглядалися питання адаптації ремонтної бази депо до обслуговування РС інших депо; оцінка потужностей ремонтної інфраструктури депо для закріплення за ними регіональних

сервісних центрів з обслуговування ПРС; обґрунтування величини запасів для ремонтних підрозділів.

В роботі [79] проведена оцінка конкурентоспроможності ПРС різних постачальників.

Загальним питанням з оптимізації системи утримання ТРС в нашій країні були присвячені роботи [131, 132, 191].

В них розглядалися окремі задачі визначення балансу витрат на ТО, ПР ТРС і забезпечення надійності ТРС, запровадження в ремонт прогресивних технологій на базі механізації і автоматизації, технології випробувань і діагностування обладнання ТРС, оптимізації витрат за життєвий цикл експлуатації ТРС.

Ці підходи є основою розробки стратегії утримання закордонного ПРС і ТРС, який експлуатується на АТ «Укрзалізниця».

Метою цього дослідження було обґрунтування стратегії організації ТО, ПР ПРС в умовах України з урахуванням техніко-економічних аспектів варіантів цієї організації.

Для цього поставлені наступні завдання:

1. Визначити чинники, які впливають на ефективність стратегії організації ТО, ПР ПРС;
2. Розробити модель з оцінки різних варіантів стратегії організації ТО, ПР ПРС;
3. Отримати результати моделювання.

Організація ТО, ПР ТРС передбачає комплексне узгодження стратегії і тактики, тобто циклічності, періодичності і обсягів робіт на кожному конкретному виді ТО і ПР, з урахуванням розвинутої інфраструктури ремонту.

Крім цього потрібне зважене рішення щодо організації системи утримання ТРС. Для нашої країни багато років була основною планово-попереджувальна система ремонту, яка поступово удосконалювалася за рахунок запровадження засобів ремонту і діагностування.

Після надходження на залізниці, технічний стан ТРС повністю забезпечувався за рахунок проведення відновлювальних заходів на ТО, ПР, а при досягненні нормативних термінів КР направлявся для проведення капітальних ремонтів різних видів на локомотиворемонтні заводи.

На початку експлуатації закордонного ПРС діюча інфраструктура не могла бути напряму задіяна в процес утримання цього РС, що пов'язано з непристосованістю ремонтного господарства до проведення складних заходів з обслуговування і ремонту, насамперед, наукоємного обладнання. Закріплення ПРС за окремими депо передбачало умову, що ці депо здатні виконувати заходи з забезпечення безпеки експлуатації цього ПРС і підтримування їх технічного стану на базі діючого ремонтного виробництва.

Як показав досвід деяких депо, в рамках існуючого ремонтного обладнання і засобів діагностування можлива достатньо якісна організація виконання ТО, ПР для ПРС на основі рекомендованих технологій постачальників.

Але, з іншого боку, це показало, що для проведення великих видів ремонтів потрібно визначитися в наступному, а саме:

- модернізувати ремонтну базу підприємств (локомотивних депо) для можливості проведення усіх видів ТО, ПР для ПРС (стратегія 1);
- створювати окремі підприємства без залучення існуючої ремонтної інфраструктури для забезпечення ТО, ПР ПРС на рівні деякого регіону експлуатації цих ПРС (стратегія 2);
- експлуатувати поставлений ПРС без проведення великих видів ПР, а їх виконання покласти на постачальників на заводах-виробниках у відповідній країні (стратегія 3).

2.3 Формування адаптивної системи утримання прискореного рухомого складу

Українські залізниці поступово освоюють ПРС для організації міжміських сполучень. Нажаль при рішенні важливої задачі оновлення РС і

скорочення часу доставки пасажирів в процесі експлуатації цього ПРС виявлено досить багато недоліків. Перш за все – це неадаптована до умов України система утримання ПРС, що призвело до повної зупинки декількох з ПРС (електропоїзди EJ 675 Skoda Vagonka), а також ненадійної роботи окремого обладнання (електропоїзди HRCS2 Hyundai Rotem). Діюча планово-попереджувальна система утримання ТРС відносно ПРС, як на базі існуючого ремонтного господарства, так і стратегії ТО і Р не може забезпечити високої надійності і ефективності експлуатації ПРС. В дослідженні розглядалось питання щодо доцільності запровадження адаптивної системи утримання ПРС на основі формування такої технології, яка поєднує переваги сучасних вбудованих систем діагностування окремого обладнання, так і проведення діагностування в стаціонарних умовах ремонтного господарства депо на основі визначення ефективної функції сумарних витрат для визначення адаптивної системи утримання ПРС.

Запровадження швидкісного пасажирського руху на залізницях України потребує розбудови сучасної ремонтної інфраструктури на фоні значного скорочення обсягів перевезень і наявністю локомотивних депо, які не мають сучасної ремонтної інфраструктури. Різноманітний ПРС, що почав експлуатуватися на залізницях України в першу чергу потребує вирішення питання де і яким чином організувати ТО, ПР ПРС. Тобто організація прискореного руху потребує необхідної адаптації ремонтної інфраструктури локомотивних депо з урахуванням реального технічного стану ПРС, який контролюється вбудованою системою діагностики окремого обладнання, і проведення комплексу профілактичних і відновлювальних робіт, які забезпечують високу надійність і безпеку експлуатації ПРС.

На державному і галузевому рівнях прийнята програма з реформування і оновлення залізничного складу України [192,60], в якій прийняті стратегічні напрямки розвитку залізничної галузі. Реалізація цих завдань знайшла розвиток у серії заходів з закупівлі нового ТРС та у результаті багатьох досліджень, які направлені на удосконалення роботи залізничного

транспорту, науковому обґрунтуванні вибору стратегії і тактики ТО, ПР ПРС в тому числі з вибору оптимального життєвого циклу ПРС [131, 193, 194, 195]. Конкретні дослідження надійності закордонного тягового рухомого складу приведені в роботі [196], де проведено порівняння експлуатаційних показників тепловозів серії 2TE116 та TE33AC з метою аналізу впливу експлуатаційних факторів на систему організації ремонту локомотивів.

Теоретичні дослідження в сфері надійності техніки і моделі формування системи ТО, ПР технічних систем наведені в роботах [195, 50, 197], де розглядаються загальні принципи і методики оцінки надійності з урахуванням обраної стратегії утримання технічної системи.

Актуальні питання розглянуті в дослідженні ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна [198], де вперше отримані неупереджені результати оцінки надійності роботи електропоїздів серії HRCS2 та EJ 675 і зроблені висновки щодо необхідності удосконалення системи контролю і утримання цього рухомого складу. З урахуванням цього можна констатувати, що експлуатація і система ТО, ПР ПРС повинна відрізнятися від традиційної планово-попереджувальної системи ремонту і, зважаючи на сучасне наукоємне обладнання ПРС, доцільно запровадити адаптивну систему їх утримання.

Дослідження полягало в науковому обґрунтуванні запровадження адаптивної системи утримання прискореного рухомого складу в умовах України, що базується на інформації вбудованої системи діагностування окремого обладнання ПРС і проведенні діагностування в стаціонарних умовах ремонтного господарства депо при забезпеченні високої надійності і безпеки експлуатації.

Для реалізації мети поставлені наступні задачі:

1. Визначити закони розподілу відмов основного обладнання ПРС;
2. Розробити математичну модель адаптивної системи утримання ПРС;
3. Визначити ефективність запровадження адаптивної системи утримання ПРС в умовах України.

2.4 Обґрунтування універсальності ремонтного господарства депо

На фоні загальної стагнації галузі поки не вдається досягти суттєвих змін в поліпшенні ефективності роботи локомотиворемонтних підприємств [105].

Намічені кроки з реструктуризації підприємств і господарств локомотиворемонтних заводів і депо, що направлені саме на упорядкування і реформування підприємств Укрзалізниці, поки не набули необхідної динаміки.

В цих умовах потрібні обґрунтовані дії, що дозволять перейти на нову систему підтримки і відновлення діючого ТРС і підготовки до експлуатації нового ТРС.

Зараз розміщення основних і оборотних депо на залізничних напрямках визначає межі ділянок обігу ТРС L_0 при обслуговуванні потягів. Максимальна відстань між ними $L_{\max}$ не може бути більше допустимого за умовами забезпечення надійності ТРС, тобто більше пробігу між технічними обслуговуванням ТО-2 L_{TO-2} .

$$L_{\max} \leq L_{TO-2} \leq \alpha v_y (T_{TO-2} - \sum t_0)$$

α – коефіцієнт, що характеризує розміщення ПТОЛ;

v_y – середня дільнична швидкість, км\год;

T_{TO-2} – період між ТО-2;

$\sum t_0$ – сумарний час перебування ТРС в оборотних пунктах (депо), год.;

Оптимальне розміщення депо має сформувати такі по протяжності ділянки обертання ТРС, при яких забезпечуються мінімальні річні приведені витрати на перевезення

$$E_p = \mathfrak{A} + eK, \quad (2.3)$$

де, Σ , K – величини відповідно сумарних експлуатаційних витрат і загальних капіталовкладень на залізничному полігоні L , що залежать від розміщення депо на цьому напрямку, грн.;

e – нормативний коефіцієнт окупності капіталовкладень.

У реальних умовах на розміщення основних і оборотних депо впливають географічні, демографічні, і експлуатаційні фактори, такі, як розміри, напрямки та транзитність вантажопотоків, зміна маси поїздів і видів тяги, розташування сортувальних станцій та ін.

За кордоном провідні фірми з виробництва РС вважають за доцільне приділяти все більше уваги сектору по забезпеченню експлуатаційного РС комплектуючими вузлами і агрегатами і навіть виконання функцій з їх ремонту на власному виробництві. Крім того в деяких країнах, особливо там, де використовується ПРС, локомотивні депо забезпечують організацію Р не тільки для приписного парку ТРС, а і при необхідності ТРС з інших депо.

Звідси виникає задача забезпечення універсальності виробництва, коли підприємство ціною додаткових витрат здійснює заходи, які дозволяють адаптуватися до найрізноманітніших обставин експлуатації ТРС. В таких умовах функція витрат може зростати, але можна очікувати на її зменшення в деяких ситуаціях, що можуть виникнути в майбутньому.

Загальний і простий засіб додання універсальності будь-якому виробництву – це наявність ряду запасів, що дозволяє пристосуватися до таких ситуацій випадкового характеру, таких як непередбачене підвищення попиту, тимчасові порушення постачання, короточасні труднощі при придбанні запасів.

Інша форма забезпечення універсальності підприємства пов'язана зі створенням неспеціалізованого багатоцільового обладнання, пристосованого для обслуговування різних видів і обсягів роботи в залежності від можливостей постачання або існуючих ринкових цін.

Універсальність виробництва досягається також і в результаті створення універсального обладнання, що допускає переналагодження. В

інших випадках пристосування може полягати в можливості, наприклад, провести на місці внутрішню перебудову будь-якого виробничого підрозділу, коли структура підприємства змінилася.

Сучасні ремонтні господарства з ремонту ТРС в Україні багато років планували свою роботу орієнтуючись на стабільні умови експлуатації і господарювання без суттєвих технологічних і інфраструктурних змін. Зміни, що супроводжують нинішній стан ремонтної інфраструктури, потребують визначення нових підходів в організації роботи всіх ланок цієї складової утримання ТРС. Виходячи з цього, поставлена задача має значну практичну цінність і, наукове значення і актуальний характер.

Проблемам ефективного використання виробничих потужностей підприємств приділяється багато уваги як за кордоном, так і в нашій країні.

Виходячи з надзвичайної важливості цих задач в сучасних умовах, набули розвитку і реалізовані як логістичні, так і економічні методи оптимізації роботи підрозділів промислових підприємств [60, 95].

З математичних методів, що органічно описують роботу елементів виробництва, можемо відмітити методи теорії дослідження операцій, методи динамічного і нечіткого програмування і ін.

Так в роботах [134, 13, 93] дослідженні питання оптимізації управління підприємством з використанням цих методів.

Наводиться приклад ведення перспективного планування потреби в матеріальних ресурсах за укрупненими групами матеріалів для всієї номенклатури робіт і послуг, які виконуються залізничними підприємствами. Розрахунки можуть виконуватися як в натуральних, так і вартісних вимірниках. У вартісному вираженні загальну потребу в матеріально-технічних ресурсах можна визначити за формулою

$$P_{pi} = \sum_{i=1}^H (H_{pi} \cdot C_{pi} - B_{oi} \cdot C_{oi}) \cdot N_{\text{произ.}}, \quad (2.4)$$

P_{pi} – річна витрата i -го ресурсу, грн.;

H_{pi} – норма витрати i -го ресурсу на одиницю робіт (послуг);

C_{pi} – ціна i -го ресурсу;

B_{oi} – величина реалізованих відходів;

C_{oi} – вартість реалізованих відходів;

$N_{\text{произ.}}$ – річний об'єм робіт (послуг) в перспективному періоді;

H – перспективна номенклатура робіт (послуг).

При плануванні матеріальних ресурсів, крім річної потреби встановлюється також величина (норматив) виробничих запасів матеріалів. Розрахунки можна виконати одним із способів:

- 1) діленням річної потреби на число поставок матеріалів на рік;
- 2) множенням середньодобових витрат матеріалів на норму їхнього запасу (в днях).

Загальна потреба в i -му ресурсі буде визначатися за такою формулою

$$ПП_i = P_{pi} \pm \Delta Z_{ск}, \quad (2.5)$$

де P_{pi} – річна витрата i -го ресурсу;

$Z_{ск}$ – складські запаси i -го ресурсу;

Після визначення потреби в кожному виді матеріально-технічних ресурсів складається вільний бюджет закупівель. При розробці перспективного бюджету матеріальних ресурсів рекомендується особливо ретельно і детально розраховувати потребу в найважливіших і дефіцитних матеріалів. Як правило, номенклатура цих ресурсів обмежена, а вплив на ритмічну роботу залізниць украй велика.

В фахових вітчизняних виданнях приведені результати досліджень щодо оптимізації систем утримання РС [12, 174, 67].

Стоїть завдання на визначення чинників, що впливають на забезпечення універсальності потужностей ремонтного господарства локомотивних депо для створення можливості проведення ремонтних заходів для ТРС не тільки приписного парку депо, а і ТРС з інших депо. Це потребує визначення співвідношення цін на обладнання, що може забезпечувати чи не забезпечувати універсальність виробничих потужностей ремонтної інфраструктури, що потрібні для раціоналізації ремонтних потужностей. Ці співвідношення залежать від початкових капітальних вкладень, змінних експлуатаційних величин і ступеня можливості пристосування чи не пристосування до забезпечення універсальності виробництва.

2.5 Обґрунтування резервів ремонтного господарства депо

Розпорядженням Кабінету Міністрів України N 979-р від 31 грудня 2004 року [117] було схвалено Концепцію Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки (далі – Програма). Цією Програмою, зокрема, визначалися основні етапи впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки, в тому числі проведення якісного і своєчасного ТО та Р ПРС, планувалося будівництво поблизу м. Києва окремого локомотивного депо для обслуговування електровозів типу ДС3 і ДС4 та поїздів з примусовим нахилом кузова у кривих. Також було заплановано будівництво ПТО ПРС на базі локомотивних депо Львів-Захід, Одеса-Застава, Полтава, Харків – Головне (або моторвагонного депо Харків), а також на Донецькому залізничному вузлі. Швидкісний рух пасажирських поїздів у нашій країні впроваджено, курсують поїзди з високотехнологічним обладнанням, яке потребує сучасного підходу до його ТО. Однак намічені Програмою [117] кроки реалізовані частково, а необхідність у їх виконанні залишається не лише актуальною, але й потребує розширення заходів з їх реалізації. Насамперед, це пов'язано з необхідністю забезпечення ТО і Р РС не лише приписного парку, а і іншого РС, який на цей час потребує

проведення ТО, ПР. Для реалізації цих задач ремонтному підприємству необхідно мати резервні виробничі потужності і резервні ремонтні бригади.

Розвиток високошвидкісних залізничних сполучень спонукає спеціалістів усього світу досліджувати цей напрям з усіх точок зору. Так, в дослідженні [165] розглядаються проблеми, з якими зіткнулася Німеччина з появою великої кількості приватних операторів, які працюють на лініях, розташованих по великих територіях. Це призвело до створення нової інфраструктури ТО невеликих парків РС, тобто до збільшення числа депо з відповідним зниженням питомої кількості одиниць РС, що припадають на одне ремонтне підприємство. S. Baumann, H.W. Keßler [186] у зв'язку з посиленням конкуренції на залізничному транспорті, бачать як з одну з основних вимог – підвищення експлуатаційної готовності РС, яке може бути досягнуто за рахунок скорочення простоїв в депо і прискореного усунення несправностей шляхом підвищення якості організації поточного утримання ПРС, підвищення якості виконання планових ремонтних робіт, підвищення якості робіт при усуненні несправностей і т. ін. В дослідженнях вітчизняних фахівців приділена увага дослідженням щодо оптимізації Р РС [144, 145, 47, 131, 182], на основі різних підходів щодо формування системи утримання різних одиниць РС за ЖЦ.

Багато задач, що виникають при розвитку високошвидкісного руху, вирішуються на основі попереднього досвіду експлуатації РС. Разом з цим ряд задач неможливо вважати вирішеними остаточно без їх наукового обґрунтування. Необхідно залучити до їх вирішення як апробовані методи [150, 20, 26, 115], так і методи, що набули розвитку в сумісних галузях [6, 153, 86, 174].

На ефективність роботи сучасного ремонтного виробництва впливає нестабільність обсягів виконуваних робіт. Це негативно позначається, як на використанні трудових ресурсів, так і якості ремонтних робіт. З математичної точки зору ремонтне господарство можна розглядати як СМО з регламентованим часом перебування заявки (ремонтованої секції РС, вузла,

деталі) в системі, з упорядкованим обслуговуванням, на вхід якої подається найпростіший потік заявок A з інтенсивністю λ . На виході з системи утворюються два потоки: B – заявки, що обслужені з інтенсивністю λ_0 та C – заявки, що не обслужені з інтенсивністю λ_n .

Математичне очікування часу обслуговування ПРС визначається за формулою

$$\bar{t}_{обс} = \frac{\sum_{i=1}^K t_{обсi} n_{pi}}{\sum_{i=1}^K n_{pi}}, \quad (2.6)$$

Інтенсивність обслуговування є величиною, що зворотна середньому часу обслуговування заявки, тобто

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{обс}} = \frac{\sum_{i=1}^K n_{pi}}{\sum_{i=1}^K t_{обсi} n_{pi}}, \quad (2.7)$$

Параметр інтенсивності очікування є величиною, що зворотна середній тривалості очікування обслуговування, і визначається за формулою:

$$\nu = - \frac{1}{\bar{t}_{ож}} = \frac{\sum_{i=1}^K m_{pi}}{\sum_{i=1}^K t_{ожi} m_{pi}}, \quad (2.8)$$

де m_{pi} – число очікувань обслуговування, що спостерігалися на обраному інтервалі.

Якщо до моменту надходження заявки в систему (ремонтну ділянку) хоча б один з δ виконавців вільний, то ця заявка приймається до обслуговування тільки одним (будь-яким) з вільних виконавців. Якщо до моменту надходження заявки в систему всі виконавці зайняті, то дана заявка залишиться не обслуженою. На зайнятого виконавця діє пуассонівський потік з інтенсивністю

$$\mu^X = \mu + \nu, \quad (2.9)$$

де величина ν характеризує інтенсивність виходу заявок з системи, не чекаючи кінця обслуговування.

В будь-який момент часу t система ремонтного забезпечення може перебувати в одному з наступних станів:

X_0 – в системі немає жодної заявки (вільні всі виконавці);

X_1 – в системі знаходиться одна заявка і вона обслуговується одним (будь-яким) δ з виконавців;

X_K – в системі знаходиться K заявок, причому $1 < K < \delta$ і усі вони обслуговуються (кожна заявка одним виконавцем);

X_δ – в системі знаходиться така кількість заявок K , яка дорівнює δ виконавцям;

$X_{\delta+j}$ – в системі знаходиться $\delta + j$ заявок, причому δ заявок обслуговуються δ виконавцями, а j заявок очікують обслуговування.

Для оцінки стану зайнятої ремонтної ділянки запишемо наступну систему диференціальних рівнянь

$$\text{при } K = 0: \quad \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + (\mu + \nu)P_1(t), \quad (2.10)$$

$$\text{при } K = 1: \quad \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + \mu + \nu)P_1(t) + \lambda P_0(t) + 2(\mu + \nu)P_2(t), \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } 1 < K < \delta \\ &\frac{dP_K(t)}{dt} = -[\lambda + K(\mu + \nu)]P_K(t) + \lambda P_{K-1}(t) + (K + 1)(\mu + \nu)P_{K+1}(t), \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } K = \delta \\ &\frac{dP_\delta(t)}{dt} = -[\lambda + \delta(\mu + \nu)]P_\delta(t) + \lambda P_{\delta-1}(t) + \left[\delta\mu + \nu \left(\delta + \frac{\mu}{\nu} + 1 \right) \right] P_{\delta+1}(t), \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } K = \delta + j \\ &\frac{dP_{\delta+j}(t)}{dt} = -[\lambda + (\delta + j)\mu + (\delta + j)\nu]P_{\delta+j}(t) + \lambda P_{\delta+j-1}(t) + \\ &[\delta(\mu + 1) + j\mu + (\delta + j + 1)\nu]P_{\delta+j+1}(t) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Для рішення систем диференційних рівнянь приймаємо наступні початкові умови

$$P_0(0) = 1; \quad P_K(0) = 0, \quad K = 1, 2, 3, \dots, \delta.$$

При цьому у початковий момент часу при $t = 0$ система вільна і для будь-якого моменту часу t виконується умова

$$\sum_{K=0}^{\delta} P_K(t) = 1, \quad (2.15)$$

В умовах стаціонарного режиму роботи при $t \rightarrow \infty$ система диференційних рівнянь перетворюється в систему алгебраїчних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} -\lambda P_0(t) + (\mu + \nu)P_1(t) &= 0; \\ -(\lambda + \mu + \nu)P_1(t) + \lambda P_0(t) + 2(\mu + \nu)P_2(t) &= 0; \\ -[\lambda + K(\mu + \nu)]P_K + \lambda P_{K-1}(t) + (K + 1)(\mu + \nu)P_{K+1}(t) &= 0; \\ -[\lambda + \delta(\mu + \nu)]P_{\delta}(t) + \lambda P_{\delta-1}(t) + \left[\delta\mu + \left(\delta + \frac{\mu}{\nu} + 1\right)\right]P_{\delta+1}(t) &= 0; \\ -[\lambda + (\delta + j)\mu + (\delta + j)\nu]P_{\delta+j}(t) + \lambda P_{\delta+j-1}(t) + & \\ + [\delta(\mu + 1) + j\mu + (\delta + j + 1)\nu]P_{\delta+j+1}(t) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

З рішенням цієї системи рівнянь можна отримати значення імовірності стану в загальному вигляді, що визначається по формулі

$$P_K = \frac{1}{K!} \left(\frac{\lambda}{\mu + \nu} \right)^K P_0 \quad \text{при } K = 0, 1, 2, \dots, \delta, \quad (2.17)$$

де P_K – ймовірність того, що в системі зайняті всі δ виконавців, тобто $K = \delta$;

P_0 – ймовірність того, що в системі вільні всі δ виконавці, тобто $K = 0$.

Позначивши $\frac{\lambda}{\mu}$ через ρ , отримуємо вираз

$$P_K = \frac{1}{K!} \left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^K P_0 \quad \text{при } K = \delta, \quad (2.18)$$

Імовірність того, що обслуговуванням заявок зайняті всі δ виконавці і j заявок очікують обслуговування дорівнює

$$P_{\delta+j} = \frac{1}{\delta! \delta^j} \left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^K P_0 \quad \text{при } K = \delta + j, \quad (2.19)$$

Імовірність відсутності заявок в системі, тобто коли все δ – виконавці вільні, встановлюється з нормуючої умови (2.16).

Імовірність того, що всі δ виконавців вільні, дорівнює

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{K=0}^{\delta} \frac{1}{K!} \left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^K + \frac{1}{\delta!} \left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^{\delta} \sum_{j=1}^{\infty} \left[\frac{\rho}{\delta(1+\frac{\nu}{\mu})} \right]^j}, \quad (2.20)$$

Імовірність того, що заявка отримає відмову, дорівнює

$$P_{\text{відм.}} = \frac{\left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^{\delta+j}}{\delta! \delta^j} P_0, \quad (2.21)$$

Ймовірність обслуговування заявки, дорівнює

$$P_{\text{обс}} = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - \frac{\left(\frac{\rho}{1+\frac{\nu}{\mu}} \right)^{\delta+j}}{\delta! \delta^j} P_0, \quad (2.22)$$

При коливанні потоку заявок на Р і часу на організацію Р для підвищення ефективності роботи ремонтних підрозділів можна використовувати два шляхи: взаємодопомогу, яка можлива за умови взаємозамінності виконавців або створення резервної бригади з кількох виконавців. На підставі цього проведено розрахунки зміни кількості виконавців δ , що проводять ТО, ПР, в залежності від інтенсивності вхідного потоку λ при однаковому значенні кількості заявок K . Як видно з

розрахункових даних, що наведені в таблиці 3.8 і залежностей, що представлені на рис. 3.8 та 3.9 найбільш прийнятним є створення резервної бригади. Варіюючи чисельністю виконавців в бригаді можна визначити діапазон найбільшої імовірності обслуговування заявки (закінчення ремонтних робіт). Оптимальне число виконавців резервної бригади можна встановити, мінімізуючи приведені витрати на ремонт однієї секції локомотива на основі цільової функції оцінки технологічної надійності ремонтної системи, що визначається за формулою

$$\theta = C_p \frac{\delta_p}{N} + a_p T_{cp}, \quad (2.23)$$

де C_p – заробітна плата одного виконавця із резервної бригади, грн/чол.,

$$C_p = 5\,642 \text{ грн};$$

δ_p – число виконавців в резервній бригаді, осіб., $\delta_p = 4 \div 10$;

N – програма ремонту за відповідний період, секцій,

$$N = \{N_{\delta_p}\} = N_{\delta_p} = 10 \div 50;$$

a_p – розрахункова вартість 1 час простою секції локомотива в ремонті, грн./чол.;

T_{cp} – середній час перебування локомотива в ремонті, годин.

Таким чином, необхідно провести практичне дослідження оцінки надійності роботи ремонтних підрозділів депо з Р ПРС за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад, для забезпечення виконання ТО, ПР приписного парку локомотивів, а також ПРС з інших депо. Визначення залежностей зміни ймовірності обслуговування заявки на Р від інтенсивності потоку заявок на Р, а також визначення оптимальної кількості ремонтних бригад наведені у п. 3.5.

2.6 Моделювання територіального розміщення сервісних центрів

Традиційна система взаємодії локомотиворемонтних заводів, спеціалізованих майстерень і лінійних підприємств – локомотивних депо за останній час знизилася свою ефективність. В умовах стагнації галузі це супроводжується стрімким погіршенням технічного стану обладнання ТРС в цілому.

Спроба перекласти частину витрат на Р на депо за рахунок впровадження підсиленого Р в обсязі ПР-ЗП загалом себе не виправдала, оскільки навіть досить потужні депо не відповідають можливостям локомотиворемонтних заводів.

Тому потрібні нові підходи для відновлення ефективної взаємодії між всіма ланками ремонтного господарства залізниць.

Досвід розвинутих країн показує, що крупні фірми-виробники локомотивної техніки все частіше звертають увагу на взаємодію і розширення свого впливу в галузі роботи депо. Це пов'язано з великими перспективами освоєння ніші з утримання ТРС через представлення післягарантійних зобов'язань на основі моніторингу технічного стану обладнання ТРС. У виробників з'являється стимул в інвестуванні в удосконалення конструкції обладнання ТРС, підвищення його надійності, впровадження сучасного технічного обладнання.

Діапазон досліджень включає оптимізацію системи ТО і ПР ТРС на основі широкого впровадження в систему утримання ТРС засобів і технологій діагностування [39, 41, 87], оптимальної системи постачання запасних частин і обладнання в систему ремонту [183, 140, 179, 164], визначення оптимального терміну ЖЦ [131]. З'явилися роботи, що присвячені поступовому переходу на сервісне обслуговування [179]. Сформульовані умови і переваги відходу від традиційної системи до сервісного обслуговування.

Не отримала достатнього розвитку проробка питань транспортно-логістичного забезпечення, що включає місце розташування складів,

визначення розташування сервісних центрів і їх територіальне тяготіння до відповідних депо ПРС. Все це визначає актуальність розгляду питань територіального закріплення сервісних центрів за окремими депо ПРС.

Є необхідність в розробці наукових аспектів формування регіональних сервісних центрів і закріплення за ними депо ПРС на основі аналізу технічного стану парку ПРС і надання їм відповідних послуг, в тому числі і в забезпеченні запасними частинами.

Нехай на території, що розділена на райони (департаменти) деяким відомим чином, маються технічні об'єкти (ПРС), в разі відмов яких надсилаються заявки на їх обслуговування. Відома інтенсивність надходження заявок від кожного департаменту, яка визначається середнім числом відмов в одиницю часу. Передбачається, що один СЦ може обслуговувати кілька департаментів, хоча при високій щільності розподілу депо ПРС може знадобитися кілька СЦ для одного департаменту. Робота всіх СЦ в даній зоні обслуговування координується головним СЦ. Завдання полягає в побудові зон обслуговування таких, щоб загальне число СЦ на всій території було б мінімальним за умови, що якість обслуговування задовольняє заданим вимогам. Якість обслуговування будемо характеризувати двома основними факторами:

1. Затримкою підтвердження з боку головного СЦ того, що заявка на обслуговування прийнята і послана в відповідний СЦ; може бути така затримка, яка викликана зайнятістю усіх СЦ обслуговуванням інших депо в момент надходження заявок;

2. Часом обслуговування, що включає в себе час в русі до СЦ і часом, що витрачається власне на ремонтні процедури у відповідних локомотивних депо.

Зі збільшенням зони (території) обслуговування коефіцієнт використання СЦ зростає, проте в той же час погіршується якість обслуговування, зокрема зростає:

- можливість очікування початку обслуговування через черги;

– час в русі з СЦ до депо ПРС.

Для сусідніх департаментів з великим числом депо ПРС можливе створення однієї зони обслуговування з декількома СЦ.

Виникає задача визначення оптимальних зон обслуговування і оптимальної кількості СЦ в них за умови задоволення заданим вимогам по якості обслуговування. У разі низької інтенсивності відмов на одиницю зони, зони обслуговування в першу чергу визначаються фізичними можливостями СЦ з доставки запасних частин з СЦ за допустимий час до депо ПРС.

Нехай Λ є інтенсивність заявок в зоні обслуговування, а μ – інтенсивність обслуговування, яку можна приблизно визначити як

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{пyx}} + \bar{t}_p}, \quad (2.24)$$

де $\bar{t}_{\text{пyx}}$ – середній час доставки,

$\bar{t}_p$ – середній час ремонту.

Робота СЦ може бути описана системою масового обслуговування типу

$M/M/V$ (позначення системи масового обслуговування з пуасонівським вхідним потоком і експоненціальним часом обслуговування при одному обслуговуючому каналі).

Введемо безрозмірний коефіцієнт навантаження цієї системи масового обслуговування у вигляді

$$\rho = \frac{\Lambda}{\mu}, \quad (2.25)$$

Середній час очікування в такій системі

$$W = \frac{\Lambda}{\mu(\mu - \Lambda)}, \quad (2.26)$$

Частота надходження заявок (тобто інтенсивність відмов об'єктів) Λ , і швидкість обслуговування μ залежать від радіуса зони обслуговування r , коли обладнання доставляється автомобільними засобами. Для зони з радіусом r і рівномірним розподілом об'єктів по площі можна записати вираз для сумарної інтенсивності заявок в зоні як

$$\Lambda(r) = \lambda \pi r^2, \quad (2.27)$$

де λ – інтенсивність заявок Λ за годину на одиницю площі, а πr^2 – площа зони в тих же одиницях. Сумарна інтенсивність заявок в зоні може бути задана і на підставі реальних даних, за рахунок попереднього досвіду обслуговування в даній зоні.

Середня інтенсивність обслуговування депо ПРС в зоні дорівнює

$$\mu(r) = \frac{1}{\tau + \frac{r^*}{v}}, \quad (2.28)$$

де τ – середній час на виконання ремонту, r^* – середня відстань до СЦ в зоні обслуговування, а v – швидкість переміщення до депо ПРС. Величина r^* залежить від розміщення депо ПРС, що обслуговуються, по відношенню до бази СЦ.

Остаточно формула для часу очікування початку обслуговування запишеться у вигляді

$$W = \frac{\lambda \pi r^2 \left(\frac{r^2}{v} + \tau \right)}{\left(\frac{r^*}{v} + \tau \right)^{-1} - \lambda \pi r^2}, \quad (2.29)$$

Розглянемо ту ж зону обслуговування, що і раніше, припустивши, що наприклад, інтенсивність запитів зростає, що викликало необхідність збільшення числа СЦ. Фізичне обмеження на розміри зони зберігається.

Моделлю обслуговування об'єктів групою СЦ в цій зоні може бути n -канальна система масового обслуговування типу $M/M/n^*$ (n – канальна система масового обслуговування з пуасонівським вхідним потоком і експоненціальним розподіленням часу обслуговування) з дисципліною обслуговування *FIFO* – обслуговування в порядку надходження заявок (аббревіатура First In – First Out)).

Середній час обслуговування може бути записано як

$$W = \frac{\rho^n}{\mu(n-1)!(n-p)^2} P_0, \quad (2.30)$$

Стаціонарна ймовірність того, що n -канальна система обслуговування вільна (в даний момент не обслуговується жодної заявки)

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^k \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^{k+1}}{k!(k-p)}} \quad (2.31)$$

Процедура пошуку оптимального розміру зон обслуговування для визначення необхідного числа СЦ і розміщення головного СЦ в кожній із зон є багатокроковою і істотно інтерактивною процедурою. На кожному кроці процесу необхідно приймати рішення в залежності від вже одержаних поточних результатів. Процедура проводиться таким чином, як на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Процедура пошуку оптимального розміру зон обслуговування

Проілюструємо на прикладі процедуру пошуку регіонального закріплення депо ПРС за СЦ. Схема розташування і відстані між депо і ремонтними заводами наведена на рисунку 2.2.

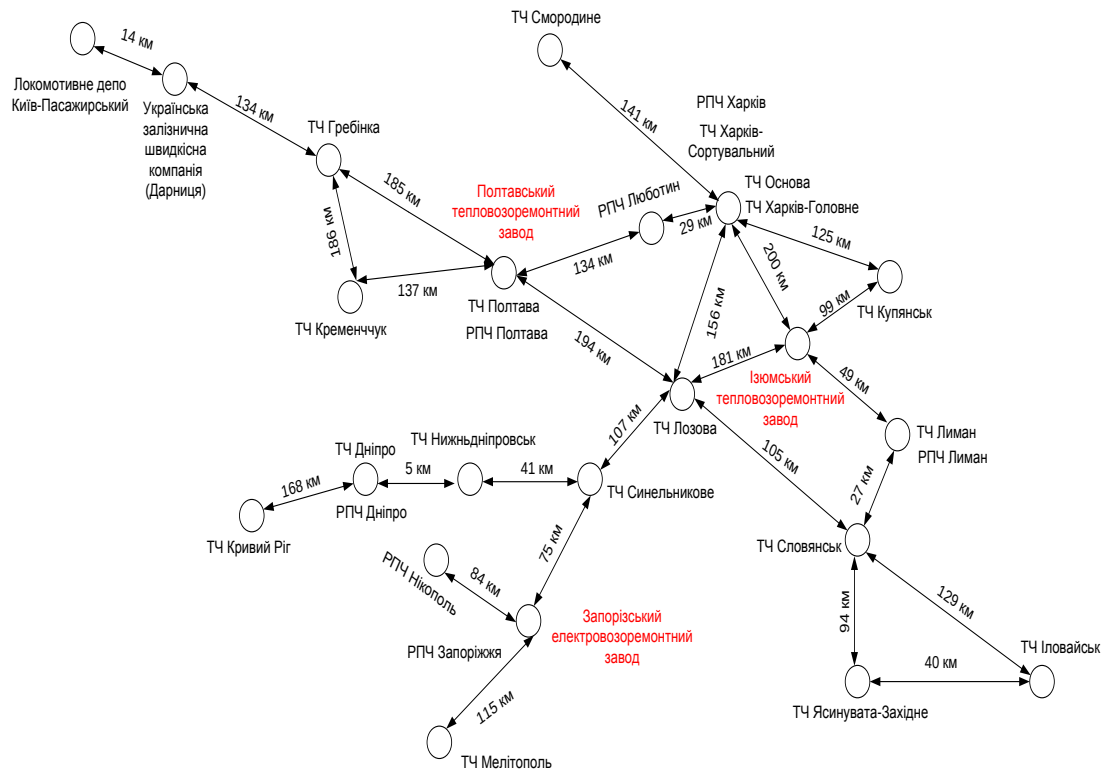


Рисунок 2.2 – Схема розташування ТЧ та РПЧ Південної, Придніпровської та Донецької залізниць

З територіальної точки зору місця розташування заводів дозволяють охопити компактно навколишні депо ТРС. Разом з цим депо ТРС мають у приписному парку різні серії і типи ТРС: тепловози і електровози. Це створює деякі незручності при виборі для депо ТРС локомотиворемонтного заводу для проведення великих видів Р як ТРС в цілому, так і Р окремого обладнання. Деякі з локомотиворемонтних заводів працюють не на повну потужність в силу ряду причин і для їх подальшого ефективного функціонування доцільно було б створити умови для спеціалізації на надання сервісних послуг з Р обладнання для депо ТРС. Реалізація викладеного підходу викладена в п. 3.6.

2.7 Вибір параметрів з оцінки можливого резервування роботи обладнання ПРС

За останні роки в нашій країні поступово набуває розвиток швидкісний залізничний рух [117]. У більшості ПРС, що експлуатується у країні, побудований за кордоном і не завжди режим його експлуатаційних навантажень відповідає рекомендаціям постачальників цієї техніки. Це приводить до зриву руху поїздів, великих простоїв на перегонах, що пояснюється, як загальним станом залізниць, так і інтенсивністю використання цього ПРС. Ще одним негативним чинником є проблема організації ТО, ПР даного РС. Сучасна ремонтна інфраструктура локомотивного господарства не була адаптована до проведення ТО, ПР ПРС [174, 83]. Організація великих видів Р можлива тільки в окремих депо ТРС, але і в цьому випадку виконується Р не всього обладнання ПРС. Але не тільки для ПРС виникають такі проблеми, тому що діючий ТРС досяг або перевищив нормативний термін використання, ремонтна база оновлюється повільно, технологічні процеси ТО, ПР не коректуються у період ЖЦ. Все це потребує як практичного так і теоретичного обґрунтування стратегії і тактики ТО, ПР ТРС. Намічені програми реструктуризації та розвитку галузі повинні втілювались у практику роботи локомотивного господарства і не ігноруватись. З наукової точки зору потрібні обґрунтуванні рішення щодо приведення у відповідність кроків із поліпшення роботи всієї інфраструктури залізниць із науковими досягненнями, що поки залишаються не реалізованими.

В ряді країн робота ПРС стала звичайним явищем. Разом з використанням ПРС в експлуатацію формувалася ідеологія системи його утримання, основою якої є обов'язкове діагностування роботи вузлів і агрегатів РС як в експлуатації, так при постановці в ремонт, моніторинг технічного стану обладнання, розвиток сервісу, створення нової ремонтної інфраструктури, яка спроможна освоювати Р не тільки для приписного парку, але і парку ТРС іншого депо.

Спектр досліджень в нашій країні включав пошук рішень створення оптимальної системи ТО, ПР ТРС, впровадження стаціонарного і вбудованого діагностування системи ТРС, оцінки ЖЦ ТРС [174, 83].

Разом з цим потребує глибокого розгляду питання впливу випадкової природи виникнення відмов з обґрунтуванням стратегії їх попередження.

Мета полягає в дослідженні впливу тимчасового резервування роботи окремого обладнання ПРС на його надійність.

Завданням дослідження є проведення розрахунку з урахуванням різних законів розподілу часу роботи до відмови, часу на відновлення, часу на тимчасове резервування.

Методи забезпечення і підвищення надійності техніки можна сформулювати і науково обґрунтувати, якщо проаналізувати функціональні зв'язки між показниками надійності і розрахункові співвідношення для показників надійності складних систем, яким є ПРС і ТРС.

Показниками надійності відновлюваних систем є: функція готовності $K_r(t)$, коефіцієнт готовності K_r , напрацювання на відмову T , параметр потоку відмов $\varpi(e)$. Основною формулою визначення коефіцієнта готовності є

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (2.32)$$

де T_B – середній час відновлення системи.

Напрацювання на відмову T залежить від показників надійності, таких як інтенсивність відмов елементів і складність системи. Середній час відновлення залежить від інтенсивності відновлення елементів μ_i , числа обслуговуючих бригад k і дисципліни обслуговування (do) . Таким чином, готовність системи є функцією тих же параметрів, що і ймовірність безвідмовної роботи, а також параметрів відновлення μ_i , k , (do) . Тоді

$H = f(n, \lambda, t, \mu, k, (\partial o))$. Звідси очевидно, що для підвищення готовності системи необхідно підвищувати її ремонтпридатність (збільшувати μ) і вибирати раціональну дисципліну обслуговування (число ремонтних органів, пріоритетність обслуговування). Сучасні технічні системи настільки складні, а вимоги їх надійності настільки високі, що перелічені методи часто недостатні для задоволення вимог на показники надійності. Доводиться вдаватися до крайніх заходів – вводити надмірність в структуру системи. Тоді надійність системи буде залежати від кратності резервування m , виду резервування (vp), способу реалізації (cp). Тоді функція надійності матиме вигляд

$$H = f(n, \lambda, t, \mu, k, (\partial o), m, (vp), (cp)) \quad (2.33)$$

З метою підтримання високої надійності техніки в процесі її експлуатації проводяться такі заходи, як ТО, Р, модернізація, продовження ресурсу. Ці заходи назвемо умовами експлуатації (yc). Тоді функція надійності має вигляд

$$H = f(n, \lambda, t, \mu, k, (\partial o), m, (vp), (cp), (yc)) \quad (2.34)$$

Розглянемо, зокрема, вплив резервування на надійність роботи систем ПРС.

Тимчасове резервування (тимчасова надмірність) є важливим засобом підвищення надійності технічних систем. Система має тимчасовий резерв, якщо для усунення відмови вона має певний запас часу. Тимчасової резерв може бути як постійною, так і випадковою величиною [50, 7, 118, 110, 21]. Якщо після будь-якого відмови системи тимчасової резерв має один і той же запас часу, то резерв є поповнюваним. Якщо в результаті відмови система продовжує "витрачати" резервний час, що залишився після попередньої

відмови, то резерв є не поповнюваним. Залежно від цього розрізняють системи з поповнюваним або не поповнюваний резервом часу [118, 110]. Припустимо, що система має поповнюваним резервом часу. Тоді стаціонарні показники надійності, такі як напрацювання на відмову, середній час відновлення і коефіцієнт готовності, визначаються наступними співвідношеннями

$$T_c = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) H(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t) h(t) dt}, \quad T_{BC} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t) \bar{H}(t) dt}{T + T_B} \quad (2.35)$$

де T – напрацювання на відмову системи при відсутності тимчасового резерву;

T_B – середній час відновлення системи при відсутності тимчасового резерву;

$G(t)$ – функція розподілу часу відновлення системи, $\bar{G}(t) = 1 - G(t)$;

$H(t)$ – функція розподілу резерву часу, $\bar{H}(t) = 1 - H(t)$.

Зокрема, при постійному резерві часу, рівному $t_{рез.}$, мають місце формули

$$T_c = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad T_{BC} = \frac{\Psi(t_{рез.})}{\bar{G}(t_{рез.})}, \quad K_r = \frac{T + T_B - \Psi(t_{рез.})}{T + T_B}, \quad (2.36)$$

$$\Psi(t) = \int_0^{\infty} \bar{G}(t+x) dx, \quad (2.37)$$

Показники надійності системи залежать від закону розподілу часу відновлення системи і величини тимчасового резерву і не залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Функція готовності системи з поповнюваним резервом часу визначається виразом

$$K_r(t) = \bar{F}(t) + (\bar{F} \cdot g + \bar{G}\bar{H}) \cdot \omega(t), \quad (2.38)$$

де $\bar{F}(t)$ – функція розподілу часу безвідмовної роботи системи,
 $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$;

$g(t)$ – щільність розподілу часу відновлення системи;

$\omega(t)$ – параметр потоку відмов нерезервованої системи

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f^{*(k+1)} \cdot g^{*(k)}(t), \quad (2.39)$$

* – позначення згортання функцій

$$f \cdot g(t) = \int_0^t f(t-x)g(x)dx, \quad (2.40)$$

$f^{*(k+1)}(t)$ – $(k+1)$ – коротке згортання функції $f(x)$;

$g^{*(k)}(t)$ – k – коротке згортання функції $g(x)$.

Імовірність безвідмовної роботи системи з поповнюваним резервом часу є рішення наступного інтегрального управління

$$\Gamma(\alpha, \beta), R(\lambda), Exp(\lambda), TN(m_0, \sigma_0), W(\alpha, \beta), M + \sigma \approx const, \quad (2.41)$$

Зауважимо, що тимчасові показники надійності залежать від закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Інтегруючи (2.41), отримаємо вираз для середнього часу безвідмовної роботи системи:

$$T_{1c} = \frac{\int_0^{\infty} (\bar{F}(t) + f \cdot (\bar{G}\bar{H})(t) dt)}{1 - \int_0^{\infty} (g\bar{H})(t) dt} = \frac{T + \int_0^{\infty} \bar{G}(t)\bar{H}(t) dt}{\int_0^{\infty} \bar{G}(t)h(t) dt}$$

З формули (2.36) випливає, що середній час безвідмовної роботи дорівнює напрацюванню на відмову: $T_{1c} = T_c$. В підрозділі п. 3.7. представлена реалізація наведеного.

2.8 Обґрунтування оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства

В нашій країні і за кордоном стратегія утримання РС (локомотивів і вагонів) спрямована на зниження всіх витрат при ТО, ПР протягом всього ЖЦ.

Так для забезпечення функціонування ремонтного господарства депо виконане розділення виробничої діяльності на експлуатаційну і ремонтну складові [131, 132, 76]. В свою чергу це передбачає, що ремонтні заводи поряд з виконанням «великих» ремонтів будуть забезпечувати запасними частинами локомотивні і вагонні депо. Разом з цим, як показує аналіз вітчизняного і світового досвіду, найбільш доцільною є модель, коли головну відповідальність за технічний стан ТРС і вагонів за весь їх ЖЦ повинен нести завод-виготовлювач [160, 161, 166]. Це дає можливість інвестувати зусилля на удосконалення їх конструкції, підвищення надійності, забезпечення сучасним ремонтним обладнанням, організувати гнучкий зв'язок між різними гілками ремонтного і виробничого господарства.

Функціонування ремонтного господарства можна буде вважати ефективним, коли воно буде базуватися на сучасних наукових дослідженнях, а різні новації будуть застосовуватись в бізнесі. В цьому плані перспективним напрямком є створення бази даних щодо передових наукових досліджень, що зацікавлять бізнес, в тому числі, в плані ефективної

організації роботи підрозділів залізничного господарства. Стратегія переходу від застарілих форм взаємодії постачальник – залізниця повинна враховувати функціональний принцип організації роботи господарств депо, що передбачає відокремлення ремонтних і експлуатаційних лінійних підприємств, створення сучасної системи управління ремонтними комплексами.

В УкрДУЗТ і ряді науково-дослідних організацій і ВУЗів виконані дослідження щодо обґрунтування оптимальної роботи ТО, ПР РС [131, 58, 76, 10]. Аналіз напрямків, зокрема, показує спрямованість досліджень на врахування особливостей розвитку інфраструктури для формування системи утримання РС. Значна увага приділяється оптимізації системи експлуатації РС, впровадження в ТО, ПР діагностичного забезпечення, засобів автоматизації і інформаційних технологій, ЖЦ РС, в тому числі можливості його подовження в понаднормативний період.

В умовах формування ринкових відносин виникає необхідність збалансованого забезпечення роботи системи виробництва і експлуатації РС.

Задача полягає в коректуванні підходів щодо визначення оптимальної взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників ремонтного фонду.

Традиційно локомотивні і вагонні депо отримують комплектуючі до РС при виконанні ремонтів від підприємств, що спеціалізовані на виробництво або ремонт відповідного обладнання. За останній час, коли значно підвищилися ціни за надані послуги, постає питання щодо оптимізації обсягів цих послуг. З одного боку можна створювати запаси більші, ніж необхідно, особливо на обладнання оригінальне та яке часто використовується. Однак може виникнути ситуація, коли не весь обсяг комплекту замовлень необхідний, і депо, звичайно, залишає його на складі, а, з іншого боку, поставлена продукція може в деякій мірі не повністю відповідати чи навіть виходити з ладу до початку експлуатації. В першому випадку при стабільній економічній ситуації витрати несе депо на

збереження поставленого замовлення, що перевищило потребу. Однак можлива ситуація, коли надані надлишки замовлень можуть бути не потрібні, і спроби його повернути постачальнику або неможливі або будуть реалізовані за меншою ціною. В другому випадку в будь-якій економічній ситуації потрібне додаткове постачання комплекту обладнання, що потребує додаткових витрат. В цих умовах треба вибрати правильну стратегію для визначення розміру комплектуючих запасів [63, 18].

Моделі управління запасами відносяться до числа операційних моделей, які досить рідко зустрічаються, для яких результуючі оптимальні рішення можуть бути реалізовані в режимі швидкої зміни ситуацій (коли, наприклад, умови змінюються щодня). Це пояснюється тим, що стосовно до управління запасами суть оптимального рішення полягає в тому, щоб сформулювати два наступних правила:

1) Правило, що дозволяє визначити, коли (тобто за наявності яких умов) запаси підлягають поповненню.

2) Правило, що дозволяє визначити обсяг поповнення запасів. Іншими словами, ця стратегія дає можливість розраховувати час і обсяг кожного чергового поповнення запасів, тобто основні параметри керуючого рішення. Незалежно від ступеня складності математичної моделі і алгоритму розв'язання задачі, за допомогою яких відшукується такого роду стратегія, її формулювання у вигляді правил зазначеного вище типу завжди легко інтерпретувати. У ряді випадків формують стратегію правила задаються у вигляді таблиць, і від керівника вимагається лише постановка значень різного роду показників, таких, як вартість одиниці складованої продукції або середній рівень попиту. Нерідко ж система є повністю автоматизованою; в цих випадках ЕОМ постійно стежить за поточним рівнем запасів і в належний час заповнює бланк замовлення на поставку необхідної продукції із зазначенням точних кількісних параметрів. Хоча моделі управління запасами і отримали досить широке поширення, все ще зустрічаються численні ситуації, в яких управлінські рішення з питань складування товарів

приймаються вольовим порядком, незважаючи на те, що негативні економічні наслідки помилок можуть виявитися вельми істотними. Основна причина того, що в ряді організацій запасами продовжують розпоряджатися навмання, полягає в тому, що умови функціонування такого роду організацій ще недостатньо посилено аналізуються фахівцями в галузі дослідження операцій. Якщо ж і вдавалося в деяких випадках домогтися рішення задачі, то воно виглядало набагато більш складним у порівнянні з рішеннями, що містять в собі лише два зазначених вище правила. Отже, практичне застосування такого роду рішення стикалося відповідно з великими труднощами. Завдання, як правило, надзвичайно ускладнюється тоді, коли спостерігається суттєва взаємозалежність між рівнями потреб у товарах різних найменувань (коли, наприклад, має місце взаємозамінність виробів різних видів), а також при наявності декількох місць складування одного і того ж виду виробів (коли, наприклад, є великий районний склад і кілька складських приміщень безпосередньо при торгових точках). Згодом дослідження операцій успішно впорається з рішенням і такого роду складних завдань. За даною методикою проведені конкретні розрахунки в п. 3.7.

2.9 Обґрунтування критерію ефективності експлуатації ТРС

Традиційна планово-попереджувальна система організації ТО, ПР ТРС потребує суттєвих змін, як у зв'язку з надходженням нового ТРС, так і необхідністю підтримки технічного стану ТРС, який продовжує експлуатуватися. До цього додається і проблема зношеності ремонтного фонду, який не справляється з ростом, кількістю і обсягів ремонтів. Як показує практика, система контролю і оцінки технічного стану ТРС, який експлуатується, так і ТРС, що буде надходити і надійшов на залізниці, не в повній мірі відповідає реальному стану РС. Крім того в системі показників надійності не враховується термін експлуатації ПРС і зміна динаміки витрат на проведення ТО, ПР.

Введення критерію комплексної оцінки ефективності експлуатації ТРС дозволить об'єктивно оцінювати його роботу з метою прийняття рішення щодо корегування термінів і обсягів ТО, ПР.

Нормативна документація, яка регламентує показники надійності, орієнтована на стабільні характеристики роботи технічних систем, але і включає в себе і такі властивості надійності, як безпека і живучість. Для кількісної оцінки цих властивостей використовується, зокрема, такі поняття як ризик, так і витрати від виникнення надзвичайних ситуацій.

За кордоном і, за останній час, в нашій країні поняття ризику набуло нового сенсу в зв'язку з надвеликими втратами, до яких може привести ігнорування правилами безпеки [187].

Зміни в системі утримання ТРС, що склалися при оновленні рухомого складу, в свою чергу потребують і нових підходів щодо оцінки ефективності використання ТРС.

Будь-яка технічна система в процесі експлуатації під дією різних факторів знижує якість і ефективність параметрів функціонування.

Проведення своєчасних і необхідних по обсягу і глибині технічних обслуговувань та поточних ремонтів забезпечує підтримання технічних характеристик і надійність роботи системи за призначенням.

Вибір оптимального терміну і обсягів ТО, ПР ТРС дозволяє використовувати системи в довготривалий термін поки ефективність їх функціонування не знизиться до деякого рівня, який обмежується нормативним терміном його використання. Ще з початку експлуатації залізничного ТРС виникала необхідність мінімізації витрат на його утримання або оптимізації інших критеріїв, які характеризували ефективність його використання. Слід відмітити, що специфіка роботи залізничного тягового і не тягового РС, чи не в першу чергу, передбачає забезпечення безпеки перевезень. Система ТО, ПР ТРС, що склалася з початку експлуатації, базувалася на принципах планово-попереджувальних робіт і дозволяла попереджувати виникнення небезпечних поїзних ситуацій.

За рахунок вибору відповідних термінів і обсягів планових ТО, ПР забезпечувалося досягнення оптимальних показників ефективності експлуатації ТРС.

Дослідження полягало в обґрунтуванні і визначенні оптимального значення критерію ефективності експлуатації локомотивів.

В якості основних показників оцінки якості експлуатації ТРС таких, наприклад, як показники надійності, обиралися: коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, параметри потоку відмов, а також і економічні показники: середній оптимальний прибуток від надання послуг на перевезення вантажів та населення та сумарні питомі витрати.

При надходженні в експлуатацію нового наукоємного ТРС планово-попереджувальна система ТО, ПР, яка реалізовувалася в локомотивних депо, вже не в повній мірі стала відповідати високим вимогам забезпечення надійності та ефективності використання обладнання ТРС.

З іншого боку, локомотивний парк майже вичерпав свій термін і не в змозі на високому рівні відповідати багатьом вимогам з забезпечення надійності.

Крім цього, ТРС представляє складну і, в деякому сенсі, унікальну енергетичну і механічну систему, до окремого обладнання якої необхідно запроваджувати індивідуальну стратегію утримання, яка базується на принципах моніторингу технічного стану ТРС.

Так, деякі комплектуючі або вузли агрегатів ТРС можна відновляти, використовуючи тактику аварійних ремонтів, бо вихід їх з ладу в цілому не шкодить роботі ТРС.

Разом з цим, при планово-попереджувальній системі, як показує практика, експлуатація ТРС супроводжується проведенням позапланових ремонтів (вимушених ремонтів), що, в деякому сенсі, не відповідає заводським вимогам з забезпечення надійності.

Поступовий розвиток як залізничної техніки, так і удосконалення системи контролю технічного стану обладнання ТРС, сприяв запровадженню

в організацію ремонту наукоємних технологій і моніторингу технічного стану систем ТРС.

А освоєння прискореного руху обумовлює перехід до запровадження системи організації ТО, ПР ПРС за технічним станом.

Висновки до розділу II

1. Для оцінки організації ТО обладнання ПРС доцільно визначити наступні показники надійності K_C, T_C, T_{BC} . Причому, якщо $T_2 \rightarrow \infty$, що означає не проведення ТО, коефіцієнт готовності, напрацювання на відмову і середній час відновлення збігаються зі своїми звичайними значеннями: $\frac{T_1}{T_1 + T_{B1}}$, T_1 та T_{B1} . Якщо інтенсивність відмови пристрою постійна, то ТО не дає виграшу в надійності, а, навпаки, коефіцієнт готовності системи зменшується в порівнянні з відсутністю ТО.

2. Для різних законів розподілу відмов обладнання визначені значення параметрів надійності. За рахунок скорочення часу на відновлення при дотриманні умови $m_1(T_1) < T_2$ зростає коефіцієнт готовності K_T , а при зростанні часу простою на ТО (T_{B2}) спостерігається динаміка зменшення K_T (згідно формули (2.1)).

3. При формуванні резерву ремонтного господарства оптимальне значення C_p регулюється в залежності від співвідношень $N, \Delta t_i, m_L, R, \delta_p$. Змінюючи ці значення, прийнявши за аргумент δ_p визначаються оптимальні значення сумарних витрат на Р з оптимальною кількістю виконавців в ремонтній бригаді. Таким чином, можна формувати і декілька ремонтних бригад, які складаються з необхідної кількості виконавців.

4. Переходу на сервісне обслуговування ТРС передбачає підготовку ремонтного господарства депо ТРС на стратегію універсальності при наданні послуг ТРС з ТО, ПР в інших депо.

5. Організація тимчасового резервування роботи систем ПРС суттєво впливає на час напрацювання на відмови T_C , час відновлення T_{BC} і

коефіцієнт готовності K_r і значно поліпшує ці показники на відміну від показників системи без тимчасового резервування.

6. Досягнення мінімальних очікуваних витрат на замовлення в різному ступені залежить від таких чинників: імовірності виявлення несправної одиниці продукції, величини замовленої партії продукції і додаткових витрат при повторному оформленні замовником.

7. Оптимізація дислокації центрів утримання ПРС повинна визначатися шляхом моделювання її як система масового обслуговування.

РОЗДІЛ III.

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПРС

3.1. Розрахунок показників надійності для різних законів відмов і часу відновлення

На основі положень, що наведені в пункті 2.1, розглянемо наступні ситуації. Покажемо це на визначенні показників надійності з приблизно рівними характеристиками статистичних законів. Припустимо спочатку, що час роботи системи до відмови підпорядкований розподіленню Вейбула-Гнеденка (В-Г) з параметрами $\alpha = 3$, $\beta = 100$ год., а час відновлення системи має експоненційне розподілення з параметром $\lambda = 0,005$ год.⁻¹ і ТО не передбачається. А також, коли середній час між ТО дорівнює $T_2 = 120$ год., середній час проведення ТО дорівнює відповідно $T_{B2} = 1,3$ і 5 годин (розглянуті три варіанти рішення). Для проведення розрахунків скористаємося формулами зв'язку початкових моментів з параметрами розподілення відмов. За таблицею 2.1 (п. 2.1) визначаємо математичне очікування часу безвідмовної роботи системи при значенні В-Г

$$m = \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (3.1)$$

А середнє квадратичне відхилення часу безвідмовної роботи

$$\sigma = \beta \sqrt{\Gamma \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)} \quad (3.2)$$

Значення параметрів розподілення Вейбула-Гнеденка, коли проведення ТО не передбачається ($W(\alpha, \beta) = W(\alpha = 3, \beta = 100)$), приймають такі величини:

Сумарне напрацювання

$$m = \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) = 100 \Gamma \left(1 + \frac{1}{3} \right) = 100 \Gamma(1,33) = 89,3 \text{ год.}$$

$$\sigma_1 = \sigma = \beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} = 100 \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{3}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 100 \sqrt{\Gamma(1,67) - \Gamma^2(1,33)} = 32,5 \text{ год.}$$

Тоді

$$T'_1 = m + \sigma = 89,3 + 32,5 = 121,8 \text{ год.}$$

$$K_{\Gamma 1} = \frac{T_1}{T_1 + T_{B1}} = \frac{89,3}{89,3 + 20} = 0,8170$$

Середній час і середнє квадратичне відхилення часу відновлення при проведенні ТО дорівнює

$$T_{B1} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,005} = 20 \text{ год.}, T_{B1} = \sigma_{B1} = 20 \text{ год.}$$

Кількість відмов системи протягом часу T_2 .

$$M_1(T_2) = \frac{t}{T_1 + \sigma_1} = \frac{T_2}{T_1 + \sigma_1} = \frac{120}{89,3 + 32,5} = 0,985$$

Параметри надійності системи з ТО

$$K_{\Gamma 1}(T_2) = \frac{m(T_2)}{m(T_2) + T_{B1}} = \frac{120}{120 + 20} = 0,857$$

$$T_c = \frac{m(T_2)}{M_1(T_2) + K_{\Gamma 1}(T_2)} = \frac{120}{0,985 + 0,857} = 64,6 \text{ год.}$$

Інші показники надійності роботи системи при різному часі проведення ТО проводяться аналогічно і наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Стаціонарні показники надійності системи

Показники надійності	Без ТО	З ТО		
		$T_{B2} = 1 \text{ год.}$	$T_{B2} = 2 \text{ год.}$	$T_{B2} = 3 \text{ год.}$
K_{Γ}	0,8170	0,857	0,8435	0,8332
$T_c, \text{ год.}$	89,3	64,6	64,6	64,6
$T_{BC}, \text{ год.}$	20	11,05	11,99	12,93

З таблиці 3.1 видно, що проведення ТО помітно підвищує коефіцієнт готовності системи $K_{ГС}$ для широкого діапазону часу його проведення. Якщо час ТО дорівнює 1 годині, то виграш складатиме:

$$G_{K_{Г1}} = \frac{0,8570 - 0,8170}{0,8170} \times 100\% = 4,5\%.$$

Разом з цим напрацювання на відмову не залежить від часу, визначеного на проведення ТО. Це ясно з фізичних міркувань, а також з таблиці і формули (3.1). Оскільки після ТО система оновлюється, то час її відновлення скорочується, а за рахунок цього відбувається збільшення коефіцієнта готовності $K_{ГС}$. Зменшення часу відновлення системи $T_{ВС}$ виходить з формули (3.2), якщо $T_{В2}$ менше $T_{В1}$.

Аналогічно проведемо розрахунки для інших видів розподілення відмов обладнання

нормального $N(m = 150, \sigma = 7)$;

рівномірного $U(a = 100, b = 150)$;

гама-розподілу $\Gamma(\alpha = 2, \beta = 100)$;

Релея $R(\lambda_1 = 0,0001)$.

Розподілення нормальне (без проведення ТО)

$$m = 150 \text{ год.}; \sigma_1 = \sigma = 7; T'_1 = m + \sigma = 150 + 7 = 157 \text{ год.};$$

$$K_{Г1} = \frac{150}{150 + 20} = 0,882.$$

$$M_1 \left(T_2 = \frac{t}{T_1 + \sigma_1} \right) = \frac{T_2}{T_1 + \sigma} = \frac{120}{150 + 7} = 0,764.$$

Розподілення рівномірне (без проведення ТО)

$$m = \frac{100 + 150}{2} = 125 \text{ год.}$$

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{150 - 100}{2\sqrt{3}} = \frac{50}{3,464} = 14,4 \text{ год.}$$

$$T'_1 = m + \sigma = 125 + 14,4 = 139,4 \text{ год.}$$

$$K_{Г1} = \frac{125}{125 + 20} = 0,862$$

$$M_1(T_2) = \frac{120}{125 + 144} = 0,860$$

Гама-розподілення (без проведення ТО)

$$m(T_1) = \alpha\beta = 2 \times 100 = 200 \text{ год.}$$

$$\sigma(\sigma_1) = \sqrt{\alpha} \times \beta = \sqrt{2} \times 100 = 141,2 \text{ год.}$$

$$T'_1 = m + \sigma = 200 + 141,4 = 341,4 \text{ год.}$$

$$K_{Г1} = \frac{200}{200 + 20} = 0,909$$

$$M_1(T_2) = \frac{t}{T_1 + \sigma_1} = \frac{T_2}{T_1 + \sigma_1} = \frac{120}{200 + 141,4} = 0,35$$

Розподілення Релея (без проведення ТО)

$$m = \sqrt{\frac{\pi}{4 \div \lambda_1}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \times 0,0001}} = 88,6 \text{ год.}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \times 0,0001}} = 46,37 \text{ год.}$$

$$T'_1 = 88,6 + 46,37 = 134,97 \text{ год.}$$

$$K_{Г1} = \frac{88,6}{88,6 + 20} = 0,816$$

$$M_1(T_2) = \frac{120}{88,6 + 46,37} = 0,869$$

Інші розрахунки параметрів надійності для цих розподілень зведені в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Розрахунки динаміки зміни часу відновлення надійності обладнання та зміни коефіцієнту готовності для різних законів відмов (без проведення ТО)

Показники надійності	Вейбулла – Гнеденка (W)	Нормальний (N)	Рівномірний U(a, b)	Гамма $\Gamma(\alpha, \beta)$	Релея R(λ)
$K_{Г}$	0,817	0,882	0,862	0,909	0,816
$T_{С}$, год.	89,3	150	125	200	88,6
$T_{ВС}$, год.	20	20	20	20	200

Таблиця 3.3 – Розрахунки динаміки зміни часу відновлення надійності обладнання та зміни коефіцієнту готовності для різних законів відмов (з проведенням ТО)

Показники надійності	Вейбулла – Гнеденка (W)			Нормальний (N)			Рівномірний U(a, b)			Гамма $\Gamma(\alpha, \beta)$			Релея R(λ)		
	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$	$T_{B2} = 1$	$T_{B2} = 3$	$T_{B2} = 5$
K_{Γ}	0,854	0,843	0,836	0,882	0,87	0,86	0,869	0,858	0,848	0,939	0,926	0,914	0,866	0,855	0,845
T_{Σ} , год.	65,1			7,4			69,9			99,3			68,73		
T_{BC} , год.	11,7	12,6	13,0	10	11	12	10,5	11,5	12,5	6,5	7,9	9,3	10,7	11,7	12,6

На підставі цих розрахунків $T_{BC} = f(T_{B2})$; $K_{\Gamma} = f(T_{B2})$ побудовані графічні залежності (рисунки 3.1, 3.2).

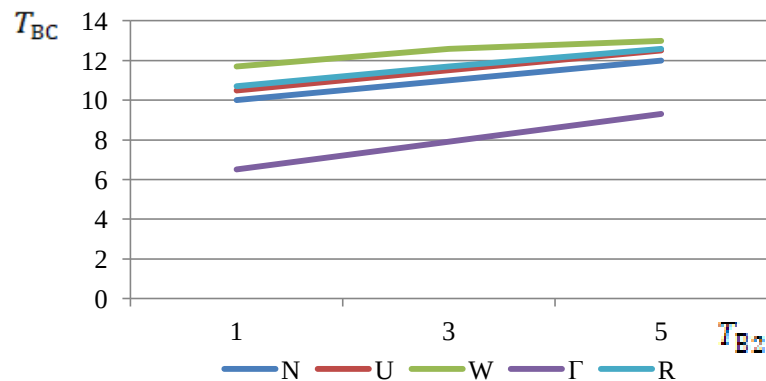


Рисунок 3.1 – Динаміка зростання часу відновлення надійності обладнання для різних законів відмов

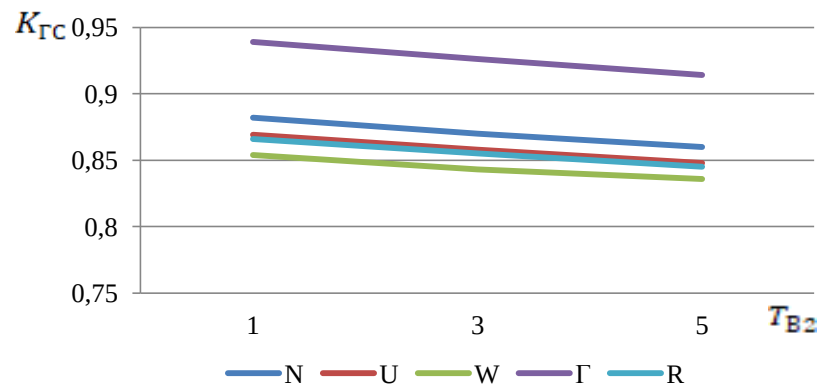


Рисунок 3.2 – Динаміка зміни коефіцієнту готовності для різних законів відмов

Проведені розрахунки показують, що при організації експлуатації ПРС обов'язково потрібно впроваджувати результати наведених досліджень з метою досягнення найкращих значень K_T , T_C , T_{BC} .

3.2 Моделювання системи утримання ПРС

Нехай на залізниці експлуатується ШРС в кількості N_e одиниць (експлуатаційний парк). Ціна однієї одиниці ШРС складає $C_{ШРС}$. Загальний добуток від експлуатації ШРС незалежно від прийнятої стратегії приймаємо однаковими $D = f(d, N_e, T_H)$,

де d – добуток від експлуатації однієї одиниці ШРС, N_e – експлуатаційний парк ШРС, T_H – нормативний термін експлуатації ШРС. Добуток d можна оцінити таким чином

$$d = C \times S_i \quad (3.3)$$

де C – тарифна ставка на надання послуг з перевезень, грн./пас.км;

S_i – обсяг перевізної роботи за різних стратегій, пас.км.

Витрати на придбання та експлуатацію ШРС включають: сумарну ціну закупівлі ШРС; витрати енергоресурсів на перевізний процес; витрати на ремонт, амортизацію, заробітну плату, накладні витрати, тощо.

Будемо вважати, що динаміка цих витрат незалежно від обраної стратегії ШРС однакова.

При виборі стратегії 1 первинні витрати складатимуть витрати на придбання ШРС ($N_e C_{ШРС}$) і модернізацію ремонтної інфраструктури, яку приймемо умовно на рівні $0,2 N_e C_{ШРС}$.

При запровадженні стратегії 2 первинні витрати складуть, як і раніше витрати на придбання ШРС і, на відміну від стратегії 1, будівництво

спеціалізованого підприємства, витрати на яке оптимістично приймемо на рівні $(0,5 \div 0,7)N_e C_{ШРС}$.

При реалізації стратегії 3 модернізація існуючих і будівництво нових підприємств не потрібна, але при організації великих ПР та КР різних обсягів ШРС відправляються на ремонтну базу постачальників ШРС. Витрати на ці заходи перевищують витрати на КР на місці експлуатації ШРС. За приблизною оцінкою витрати на КР складають до $0,8C_{ШРС}$ одного ШРС. За період експлуатації для ШРС, як і для іншого ТРС, передбачено два КР-1 і один КР-2. А з урахуванням витрат на перевезення ШРС на ремонтну базу постачальника витрати на всі КР складуть фактично три ціни ШРС.

Оскільки фактичні дані для точного розрахунку технічно-економічної оцінки ефективності різних стратегій недостатні, представимо якісну динаміку добутків і витрат у вигляді графічної залежності (рисунок 3.3).

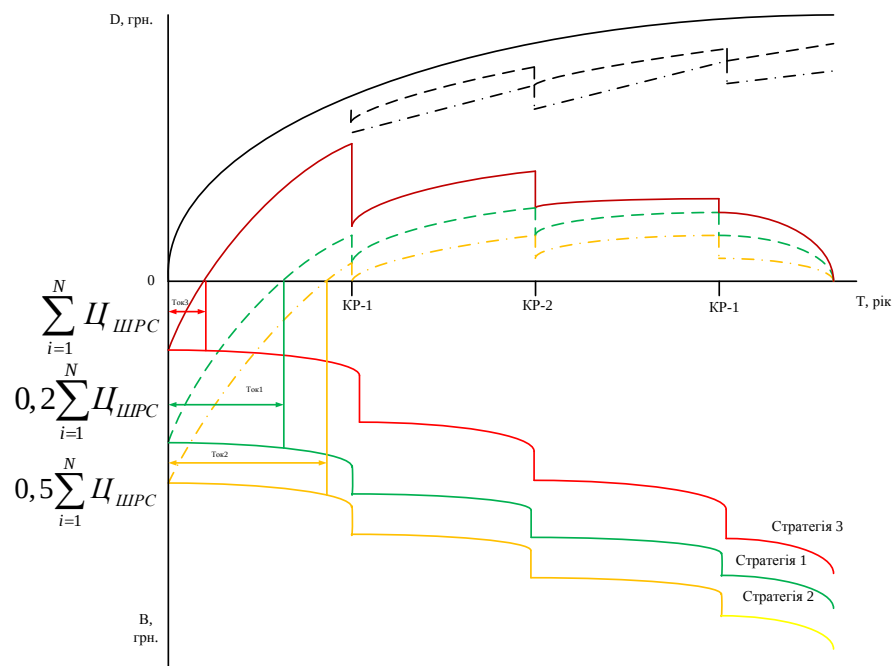


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни добутку і витрат від експлуатації ШРС за різними стратегіями

Як видно з наведеної залежності, на перший погляд стратегія 3 найпривабливіша, але це можливо лише за умови незмінної тенденції прийнятого припущення щодо динаміки добутку. Насправді, коли будуть організовані КР для частини експлуатаційного парку ШРС, ця залежність «просяде» на більшу величину, ніж для стратегії 1 і 2 (показано зеленим і помаранчевим кольором). Оскільки, на деякий період буде потрібно відкоригувати розклад руху ШРС, що знизить сумарну доходність від їх експлуатації.

Для стратегії 1 зменшення доходності на величину зменшення обсягу перевезень S_1 нижча, оскільки відремонтовані на КР ШРС швидше надійдуть до експлуатації:

$$S_1 = (N_e - N_{eKP-1}) C_{доб} P(N_e) T_{ек}, \quad (3.4)$$

де N_{eKP-1} – кількість ШРС, для яких виконується капітальний ремонт;

$P(N_e)$ – кількість перевезених пасажирів;

$C_{доб}$ – середньодобовий пробіг, км/доба;

$T_{ек}$ – термін експлуатації до проведення відповідного КР, діб.

Тобто приведений прибуток дещо скорочується в більшу сторону відносно стратегії 3.

Аналогічно і для стратегії 2 техніко-економічні показники по відношенню до стратегії 3 дещо поліпшуються.

3.3 Розрахунки витрат при адаптивній системі утримання ПРС

За період від початку експлуатації до завершення нормативного періоду експлуатації для електропоїздів HRCS2 виробництва Hyundai Rotem виконується технічне обслуговування в обсязі ТО-3: $n_{ТО-3} = 160$, поточних ремонтів в обсязі ПР-1: $n_{ПР-1} = 16$, в обсязі ПР-2: $n_{ПР-2} = 8$, в обсязі ПР-3:

$n_{\text{ПР-3}} = 4$, два капітальні ремонти в обсязі КР-1 і один в обсязі КР-2: $n_{\text{КР-1}} = 2$, $n_{\text{КР-2}} = 1$.

За весь період експлуатації до завершення нормативного терміну експлуатації сумарні планові витрати при планово-попереджувальній системі складатимуть

$$\sum C_{\text{пл}} = \sum_{K1}^{160} C_{\text{ТО-3}} + \sum_{K2=1}^{16} C_{\text{ПР-1}} + \sum_{K3=1}^8 C_{\text{ПР-2}} + \sum_{K4=1}^4 C_{\text{ПР-3}} + \sum_{K5=1}^2 C_{\text{КР-1}} + C_{\text{КР-2}}$$

Разом з цим, як показує практика, в міжремонтний період виникають, так звані, позапланові ремонти (НР), які для різних серій тягового рухомого складу можуть складати за кількістю до 30% від кількості технічних обслуговувань ТО-3, а витрати в розмірі (20÷40%) $C_{\text{ТО-3}}$. Зважаючи на це, сумарні витрати на ТО-3, ПР_i, КР_i орієнтовно можна прийняти як

$$\sum C_i = \sum_{i=1}^6 C_{\text{пл}} + \sum_{i=1}^{30} C_{\text{НР}}$$

Відповідно до попередньої інформації для прискореного рухомого складу, що експлуатується на залізницях України, планово-попереджувальна система ремонту потребує суттєвого удосконалення [7]. Перш за все це пов'язано з тим, що сучасний ПРС оснащений вбудованою системою діагностування його основного обладнання і можливістю оцінки залишкового ресурсу для проведення відповідних ремонтних заходів з ТО, ПР.

Враховуючи, що задача формування адаптивної системи ТО, ПР має оптимізаційний характер, в якості цільової функції приймаються сумарні витрати на виконання планових ТО, ПР, позапланових НР, витрати на діагностування обладнання, яке використовується в локомотивному депо.

Оскільки технічні обслуговування ТО-3 найбільш чисельні і в сумарному вигляді перевищують обсяги поточних ремонтів для запровадження адаптивної технології спочатку розглянемо її застосування при проведенні ТО-3.

Відмітимо, що відмова обладнання, яке контролюється вбудованою системою діагностування ПРС, характеризується раптовістю і невизначеністю часу відмови. Звідси для опису цих відмов доцільно використовувати експоненціальний закон розподілу відмов. Разом з цим для обладнання, яке в процесі експлуатації зношується і одночасно на нього діють інші фактори доцільно використовувати розподіл Вейбула-Гнеденка.

За даними обстежень надійності електропоїздів HRCS2 [7] були зафіксовані відмови 14 видів обладнання, згідно з якими визначені характеристики ймовірностей безвідмовної роботи, що наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Види і параметри законів відмов обладнання електропоїздів HRCS2.

№ з/п	Найменування та заводське позначення обладнання	Закон розподілу $P(t)$	Параметри закону розподілу
	1	2	3
1.	Заземлювач постійного струму (DCES)	$e^{-\lambda_1 t}$	$\lambda_1 = \frac{1}{27200} = 0,367 \times 10^{-4} \text{ км}^{-1}$
2.	Головний компресор (CM)	$e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^\beta}$	$t_0 = 48900 \text{ км}$ $\beta = 1,8$
3.	Перемикач режимів струму (ADCG)	$e^{-\lambda_2 t}$	$\lambda_2 = \frac{1}{79600} = 0,125 \times 10^{-4} \text{ км}^{-1}$
4.	Швидкодіючий вимикач (HSCB)	$e^{-\lambda_3 t}$	$\lambda_3 = \frac{1}{108000} = 0,92 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
5.	Перетворювач допоміжних приводів (APU)	$e^{-\lambda_4 t}$	$\lambda_4 = \frac{1}{127206} = 0,78 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
6.	Блок силових резисторів (DBRE)	$e^{-\lambda_5 t}$	$\lambda_5 = \frac{1}{215200} = 0,46 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
7.	Тяговий трансформатор (MT)	$e^{-\lambda_6 t}$	$\lambda_6 = \frac{1}{205400} = 0,48 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
8.	Розрядник постійного струму (DCAR)	$e^{-\lambda_7 t}$	$\lambda_7 = \frac{1}{217800} = 0,45 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$

9.	Головний вимикач (VCB)	$e^{-\lambda_8 t}$	$\lambda_8 = \frac{1}{282400} = 0,35 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
10.	Тяговий перетворювач (МС/І)	$e^{-\lambda_9 t}$	$\lambda_9 = \frac{1}{7100000} = 0,14 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
11.	Інвертор (І)	$e^{-\lambda_{10} t}$	$\lambda_{10} = \frac{1}{641150} = 0,15 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
12.	Фільтруючий дросель (FL)	$e^{-\lambda_{11} t}$	$\lambda_{11} = \frac{1}{725800} = 0,13 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$
13.	Тяговий електричний двигун (ТМ)	$e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^{\beta^2}}$	$t_0 = 989900 \text{ км}$ $\beta = 2,2$
14.	Розрядник змінного струму	$e^{-\lambda_{12} t}$	$\lambda_{12} = \frac{1}{1143300} = 0,08 \times 10^{-5} \text{ км}^{-1}$

З урахуванням цього цільову функцію сумарних витрат при використанні адаптивної системи утримання ПРС (на прикладі ТО-3) представимо таким чином

$$Z_{TO-3}^a = \sum_{j=1}^{n_1=12} m_j \times C_{HPj} \times P_j(S) + \sum_{i=1}^{n_2=2} (H_i(S) \times m_i C_{HPi} P_i(S) + m_i C_{іdiagн.}) + C_{прост.лок.}^{TO-3} \rightarrow \min$$

де Z_{TO-3}^a – сумарні витрати на виконання ТО-3 за адаптивною технологією;

m_j – кількість обладнання, що діагностується вбудованою системою діагностування електропоїзда, ціле число;

C_{HPj} – витрати на виконання заходів з відновлення j -го обладнання на позаплановому ремонті;

$P_j(S)$ – ймовірність того, що за міжремонтний пробіг S виникне відмова j -го обладнання, що діагностується вбудованою системою діагностування електропоїзда;

n_i – кількість відмов обладнання, яке повинно контролюватися власною системою діагностуються і яке відновлюється за міжремонтний період S ;

$H_i(S)$ – функція Хевісайда, яка приймає значення:

$$H_i(S) = \begin{cases} 0, S_{зам.i} \geq S_{ТО-3} \\ 1, S_{зам.i} \leq S_{ТО-3} \end{cases}$$

m_i – кількість одиниць обладнання, для якого виконуються відновлювальні роботи на ТО-3;

C_{HPi} – витрати на виконання заходів з відновлення i -го обладнання;

$P_i(S)$ – ймовірність того, що за мінімальний пробіг S виникне відмова i -го обладнання, яке контролюється в локомотивному депо;

n_2 – кількість вузлів, що визначають ресурс за міжремонтний період S ;

$C_{іdiagн.}$ – витрати на проведення діагностування для визначення залишкового ресурсу $S_{зал.i}$ i -го обладнання;

$C_{прост.лок.}^{ТО-3}$ – витрати, що пов'язані з проведенням планових заходів за технологією ТО-3.

Необхідно враховувати такі обмеження:

$$\begin{cases} 0,8S_{ТО-3} < S_{ТО-3} < 1,25S_{ТО-3}; 0,8S_{ПП-1} < S_{ПП-1} < 1,2S_{ПП-1} \\ C_{ТО-3} < C_{max TO-3}; C_{HP} < 0,3C_{ТО-3} \\ C_{2diagн.} \leq 40\%C_{ТО-3}; C_{13diagн.} \leq 40\%C_{ТО-3} \end{cases}$$

В розгорнутому вигляді цільова функція приймає вигляд

$$\begin{aligned} Z_{ТО-3} = & \left[C_{нд1} \times (1 - e^{-0,367 \times 10^{-4} S}) + C_{нд3} \times (1 - e^{-0,115 \times 10^{-4} S}) + C_{нд4} \times (1 - e^{-0,92 \times 10^{-5} S}) + C_{нд5} \times (1 - e^{-0,78 \times 10^{-5} S}) + \right. \\ & + C_{нд6} \times (1 - e^{-0,46 \times 10^{-5} S}) + C_{нд7} \times (1 - e^{-0,48 \times 10^{-5} S}) + C_{нд8} \times (1 - e^{-0,45 \times 10^{-5} S}) + C_{нд9} \times (1 - e^{-0,35 \times 10^{-5} S}) + \\ & \left. + C_{нд10} \times (1 - e^{-0,14 \times 10^{-5} S}) + C_{нд11} \times (1 - e^{-0,15 \times 10^{-5} S}) + C_{нд12} \times (1 - e^{-0,13 \times 10^{-5} S}) + C_{нд14} \times (1 - e^{-0,08 \times 10^{-5} S}) \right] + \\ & + \left[H_2(S) \times 3 \times C_{np2} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{S}{48900} \right)^{1,8}} \right) + H_{13}(S) \times 24 \times C_{np13} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{S}{989900} \right)^{2,2}} \right) \right] + \\ & + 3C_{2diagн.} + 24C_{13diagн.} + C_{прост.лок.}^{ТО-3} \rightarrow \min \end{aligned}$$

Для планово-попереджувальної системи витрати на одне ТО-3:

$$Z_{ТО-3}^{n-n} = \sum_{j=1}^{n_1} m_j C_{npj} + \sum_{i=1}^{n_2=2} m_i C_{nli} + C_{прост.лок.}^{ТО-3(П-П)}$$

Для поточного ремонту ПР-1 при адаптивній системі утримання цільова функція має вигляд

$$Z_{\text{ПР-1}}^a = Z_{\text{ТО-3}}^a + C_{\text{прост.лок.}}^{\text{ПР-1}}$$

А для планово-попереджувальної системи ремонту:

$$Z_{\text{ПР-1}}^{\text{П-П}} = Z_{\text{ТО-3}}^{\text{П-П}} + \Delta Z_{\text{ПР-1}}^{\text{ПП}}$$

Для інших видів ремонту передбачено повний цикл робіт згідно Правил ремонту [11] і тому для адаптивної і планово-попереджувальної системи ці витрати приймаються рівними.

Розрахунки витрат на ТО-3, ПР-1 для адаптивної і планово-попереджувальної систем зведені в таблиці 3.5 та 3.6.

Приймаємо:

$$C_{\text{прост.лок.}} = C_{\text{пл.}}^{\text{ТО-3(П-П)}} - \left(\sum_{j=1}^{n_1=12} C_{\text{пл.}j} + \sum_{i=1}^{n_2=2} m_i C_{\text{пл.}i} \right)$$

Таблиця 3.5 – Розрахунки витрат при адаптивній системі для ТО-3

№	Найменування обладнання	Нормо/год. на одиницю	Витрати, грн.	
1.	Заземлювач постійного струму (DCES)	0,5	100 (0,86%)	$C_{\text{нд1}} \times (1 - e^{-0,367 \times 10^{-4} s})$
				30,64
2.	Головний компресор (СМ)	0,77	154 (1,32%)	$C_{\text{нр2}} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{s}{48900}\right)^{1,8}} \right)$
				8,57
3.	Перемикач режимів струму (ADCG)	0,15	30 (0,26%)	$C_{\text{нд3}} \times (1 - e^{-0,115 \times 10^{-4} s})$
				3,25
4.	Швидкодіючий вимикач (HSCB)	0,2	40 (0,34%)	$C_{\text{нд4}} \times (1 - e^{-0,92 \times 10^{-5} s})$
				3,51
5.	Перетворювач допоміжних приводів (APU)	0,15	30 (0,26%)	$C_{\text{нд5}} \times (1 - e^{-0,78 \times 10^{-5} s})$
				2,24

6.	Блок силових резисторів (DBRE)	0,2	40 (0,34%)	$C_{нд6} \times \left(1 - e^{-0,46 \times 10^{-5} s}\right)$
				1,79
7.	Тяговий трансформатор (MT)	0,33	66 (0,57%)	$C_{нд7} \times \left(1 - e^{-0,48 \times 10^{-5} s}\right)$
				3,08
8.	Розрядник постійного струму (DCAR)	0,4	80 (0,69%)	$C_{нд8} \times \left(1 - e^{-0,45 \times 10^{-5} s}\right)$
				3,51
9.	Головний вимикач (VCB)	0,5	100 (0,86%)	$C_{нд9} \times \left(1 - e^{-0,35 \times 10^{-5} s}\right)$
				3,43
10.	Тяговий перетворювач (МС/І)	0,22	44 (0,38%)	$C_{нд10} \times \left(1 - e^{-0,14 \times 10^{-5} s}\right)$
				0,61
11.	Інвертор (І)	0,68	136 (1,17%)	$C_{нд11} \times \left(1 - e^{-0,15 \times 10^{-5} s}\right)$
				2,02
12.	Фільтруючий дросель (FL)	0,1	20 (0,17%)	$C_{нд12} \times \left(1 - e^{-0,13 \times 10^{-5} s}\right)$
				0,26
13.	Тяговий електричний двигун (ТМ)	1,08	216 (1,85%)	$C_{нр13} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{s}{989900}\right)^{2,2}}\right)$
				0,01
14.	Розрядник змінного струму	0,3	60 (0,51%)	$C_{нд14} \times \left(1 - e^{-0,08 \times 10^{-5} s}\right)$
				0,48
Всього		5,81	1 116 (9,57%)	63,40

Таблиця 3.6 – Розрахунки витрат при адаптивній системі для ПР-1

№	Найменування обладнання	Норм/год. на одиницю (відсоток робіт ПР-1)	Витрати	
			грн. (відсоток вартості робіт ПР-1)	
1.	Заземлювач постійного струму (DCES)	0,32	64 (0,3%)	$C_{нд1} \times (1 - e^{-0,367 \times 10^{-4} s})$
				19,61
2.	Головний компресор (СМ)	3,45	690 (3,19%)	$C_{нд2} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{s}{48900}\right)^{1,8}} \right)$
				38,41
3.	Перемикач режимів	0,8	160	$C_{нд3} \times (1 - e^{-0,115 \times 10^{-4} s})$

	струму (ADCG)		(0,74%)	17,33
4.	Швидкодіючий вимикач (HSCB)	0,2	40 (0,19%)	$C_{нд4} \times (1 - e^{-0,92 \times 10^{-5} s})$
				3,51
5.	Перетворювач допоміжних приводів (APU)	0,75	150 (0,69%)	$C_{нд5} \times (1 - e^{-0,78 \times 10^{-5} s})$
				11,22
6.	Блок силових резисторів (DBRE)	0,4	80 (0,37%)	$C_{нд6} \times (1 - e^{-0,46 \times 10^{-5} s})$
				3,59
7.	Тяговий трансформатор (MT)	1,7	340 (1,57%)	$C_{нд7} \times (1 - e^{-0,48 \times 10^{-5} s})$
				15,89
8.	Розрядник постійного струму (DCAR)	0,5	50 (0,46%)	$C_{нд8} \times (1 - e^{-0,45 \times 10^{-5} s})$
				2,19
9.	Головний вимикач (VCB)	0,57	114 (0,53%)	$C_{нд9} \times (1 - e^{-0,35 \times 10^{-5} s})$
				3,91
10.	Тяговий перетворювач (MC/I)	1	200 (0,93%)	$C_{нд10} \times (1 - e^{-0,14 \times 10^{-5} s})$
				2,77
11.	Інвертор (I)	1,83	366 (1,69%)	$C_{нд11} \times (1 - e^{-0,15 \times 10^{-5} s})$
				5,43
12.	Фільтруючий дросель (FL)	0,7	140 (0,65%)	$C_{нд12} \times (1 - e^{-0,13 \times 10^{-5} s})$
				1,8
13.	Тяговий електричний двигун (TM)	1,08	216 (1%)	$C_{нд13} \times \left(1 - e^{-\left(\frac{s}{989900}\right)^{2,2}} \right)$
				0,01
14.	Розрядник змінного струму	0,2	40 (0,19%)	$C_{нд14} \times (1 - e^{-0,08 \times 10^{-5} s})$
				0,32
Всього		13,5 (12,5%)	2 650 (12,5%)	125, 98

Розрахунки витрат на проведення ТО-3, ПР-1 ПРС HRCS2 Hyundai, структурна схема реалізації алгоритму розрахунку наведена на рисунку 3.5.

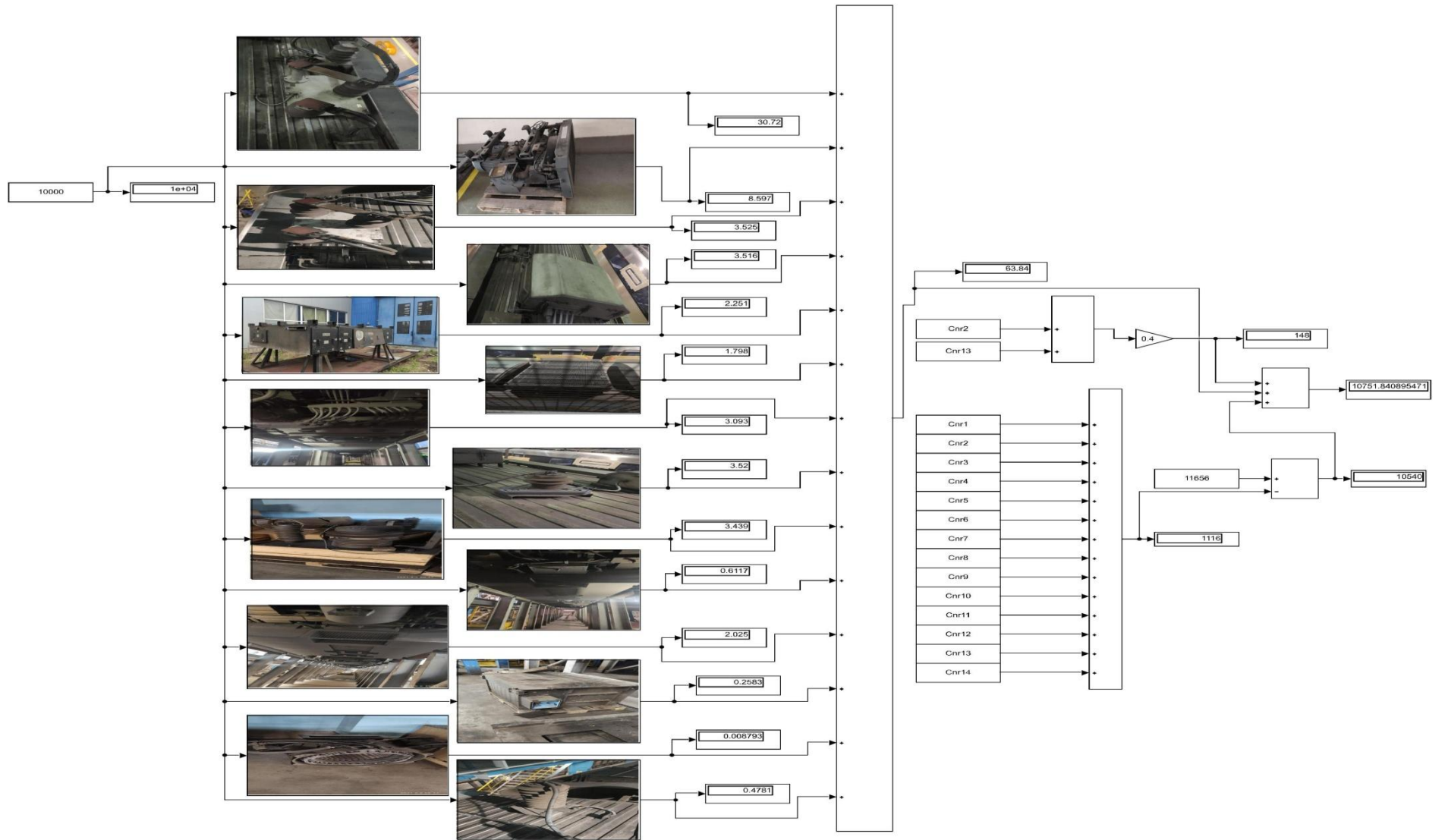


Рисунок 3.5 – Структурна схема розрахунку ефективності адаптивної системи утримання ПРС

Результати приведених витрат наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Порівняння витрат

Витрати, грн.	Адаптивна система утримання ПРС	Планово-попереджувальна система утримання ПРС
ТО-3		
Витрати на проведення усунення відмов при контролі вбудованою системою діагностування при ТО-3	54,82	746,00
Витрати на відновлення обладнання, яке контролюється системою діагностування в депо при виникненні відмов	8,58	370,00
Витрати на діагностування обладнання для визначення залишкового ресурсу	3,43	-
Витрати, що пов'язані з проведенням планових заходів на ТО-3	10 540	
Загальні витрати на проведення ТО-3 згідно правил ремонту та нормо./год.	10 606,83	11 656
Економія від застосування системи	1 049,17	0
ПР-1		
Витрати на проведення усунення відмов при контролі вбудованою системою діагностування при ПР-1	87,57	1 744,00
Витрати на відновлення обладнання, яке контролюється системою діагностування в депо при виникненні відмов	38,41	906,00
Витрати на діагностування обладнання для визначення залишкового ресурсу	15,37	-
Витрати, що пов'язані з проведенням планових заходів на ПР-1	18 884,00	
Загальні витрати на проведення ПР-1 згідно правил ремонту та нормо./год.	19 025,35	21 534,00
Економія від застосування системи	2 508,65	0

3.4 Оцінка універсальності ремонтного господарства депо

Необхідність забезпечення ТО, ПР ПРС приписного і не приписного парку вимагає від ремонтної системи також мати відповідну універсальність.

В продовження теоретичних положень, що викладені в пункті 2.3 розроблена модель роботи підприємства, в якій припущено, що вибір обладнання здійснюється виключно між універсальними (1) та неуніверсальними (2) видами обладнання, що забезпечують виконання однакових функцій і вартість якого відповідно дорівнює c_1 та c_2 ($c_1 > c_2$).

У ситуаціях, які виникають при організації роботи підприємства залізничного транспорту в умовах невизначеності ситуації щодо організації роботи ремонтних підрозділів з організації ТО, ПР виникають так звані «стани середовища» (ступінь оснащення підприємства) і «рішення підприємства» (вибір стратегії оснащення). У деякий початковий момент існує певний стан середовища, який визначає напрямок капіталовкладень, що здійснюються підприємством. Передбачається, що таке рішення приймається попередньо, до постановки задачі. Рішення, яке є предметом дослідження, полягає у виборі технічних характеристик об'єкта, у який робиться капіталовкладення. Крім того, у цій моделі припускається, що вибір полягає в простій альтернативі між неуніверсальною технікою і технікою універсальною. Маючи одну й ту ж форму і однакове місце розташування, обидва види обладнання 1 та 2 виконують одні й ті ж функції з урахуванням стану середовища (ремонтної бази і стану ТРС) в початковий момент P . І навпаки, витрати на капіталовкладення, експлуатацію, P і оновлення обладнання відрізняються: дисконтовані до початкового моменту, вони дорівнюють c_1 для рішення 1 та c_2 – для рішення 2.

Стан ремонтної бази між початковим моментом ремонту і моментом його закінчення передбачається незмінним. У момент закінчення ремонту виникають нові умови організації ремонту, які передбачаються визначеними і які породжують відому непристосованість x зовнішніх характеристик (вид

обладнання, його стан, розташування тощо) початкового капіталовкладення. Перед підприємством постає необхідність зробити вибір, який зводиться до альтернативи: пристосовуватися або не пристосовуватися (виконувати чи не виконувати ремонт). Цей вибір диктується зіставленням витрат при вимозі (не виконувати ремонт) та витрат при реадaptaції (організації Р). Причому як ті, так і інші витрати дисконтуються до одного й того ж моменту часу, який являється початковим моментом, що забезпечує порівнянність витрат з початковим вкладенням.

Витрати, що пов'язані з відмовою від реорганізації Р, практично залежать тільки від стану ремонтної бази і стану ПРС x , але не від початкового рішення, оскільки в варіантах 1 і 2 зовнішні характеристики обладнання є однаковими. Тому можна привести у відповідність зі станом середовища дисконтовані втрати $p(x)$, що є різницею між експлуатаційними витратами при рішенні, заснованому на відмові від пристосування до організації Р, і витратами при рішенні про пристосування до організації Р. За допомогою вибору змінної x , яка відображає стан середовища, завжди можна замінити $p(x)$ на x . Дисконтовані витрати, що пов'язані з реадaptaцією, дорівнюють $g_1(x)$ для рішення 1 і $g_2(x)$ для рішення 2, причому $g_1(x)$ і $g_2(x)$ являють собою зростаючі функції від x . У загальному випадку це повільно зростаючі функції, бо основні витрати визначаються фактом «переробки» обладнання, а ніж значимістю внесених змін.

Відкладемо значення x по осі абсцис і значення дисконтованих витрат $P(x)$ по осі ординат. Представимо вибір стратегії ремонтного господарства депо згідно з наведеного на рисунку 3.6 графіка.

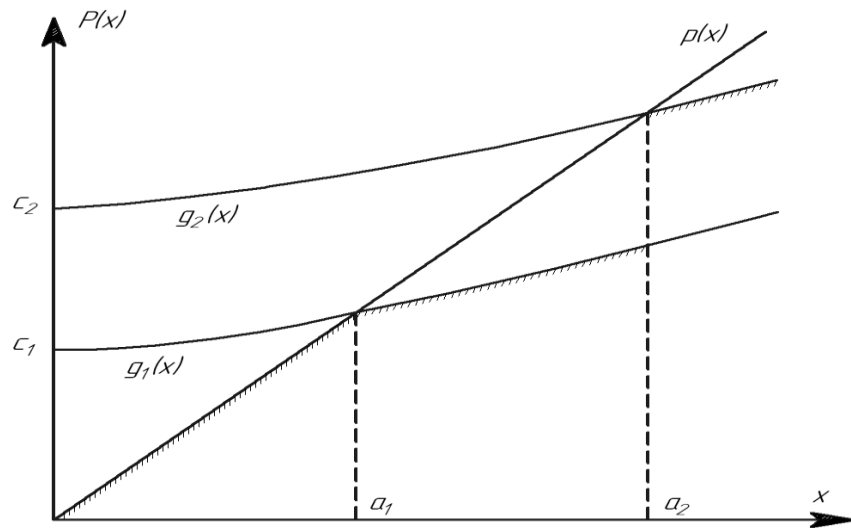


Рисунок 3.6 – Вибір стратегії універсальності ремонтного господарства

$P(x)$ – дисконтовані витрати; x – характеристика стану середовища;

$p(x)$ – функція дисконтованих витрат при відмові від універсальності

Як видно з наведеного графіку, для ремонтного господарства доцільніше прийняти на себе витрати, пов'язані з відмовою від пристосування до x , ніж витрати, пов'язані з реадaptaцією: $g_1(x)$ для капіталовкладення 1, $g_2(x)$ для капіталовкладення 2 при:

$$0 < x < a_1,$$

Для ремонтного господарства вигідніше пристосуватися до нових обставин, ніж нести витрати, пов'язані з відмовою від пристосування, якщо витрати на удосконалення обладнання становлять $g_1(x)$, тобто якщо воно з самого початку обрало універсальне обладнання за умови:

$$a_1 < x < a_2$$

Для ремонтного господарства вигідніше нести витрати, пов'язані з відмовою від пристосування до x , ніж нести витрати, пов'язані з пристосуванням до нових обставин, якщо ці останні дорівнюють $g_2(x)$, тобто

якщо підприємство в початковий момент вибрало неуніверсальне обладнання: $x < a_2$

Для ремонтного господарства в усіх випадках вигідно пристосуватися до нового становища, тобто до універсальності ремонтного обладнання.

Універсальність обладнання має дві переваги з точки зору початкових витрат. Вона зменшує витрати, пов'язані з пристосуванням до нових обставин у всьому діапазоні, де в будь-якій формі відбувається це пристосування, і розширює діапазоні, у якому має сенс пристосовуватися заново.

У початковий момент ступінь нездатності (відмови) до пристосування обладнання являє собою випадкову змінну x , щодо якої припускаємо, що їй можна приписати деяку функцію розподілу $F(x)$.

У разі варіанта 1 сумарні дисконтовані витрати складуть

$$D_1 = c_1 + \int_0^{+\infty} \min[x, g_1(x)] dF(x), \quad (3.5)$$

де $[x, g_1(x)]$ є найменшим з двох значень x і $g_1(x)$. Попередній вираз можна записати в явному вигляді

$$D_1 = c_1 + \int_0^{a_1} x dF(x) + \int_{a_1}^{+\infty} g_1(x) dF(x), \quad (3.6)$$

Відповідно вираз для варіанта 2 має такий вигляд

$$D_2 = c_2 + \int_0^{a_2} x dF(x) + \int_{a_2}^{+\infty} g_2(x) dF(x), \quad (3.7)$$

Оптимальне рішення відповідає найменшому з двох значень D_1 та D_2 .

Якщо, наприклад, $g_1(x) = a_1$, $g_2(x) = a_2$ та якщо закон розподілу ймовірностей x є рівномірним в інтервалі від 0 до b , то краще обрати універсальне обладнання, але при тому і тільки за тієї умови, що

$$D_1 < D_2,$$

де

$$D_1 = c_1 + \int_0^{a_1} x dF(x) + \int_{a_1}^{+\infty} a_1 dF(x) = c_1 + \frac{x^2}{2} \Big|_0^{a_1} + a_1 \cdot x \Big|_{a_1}^b = c_1 + \frac{a_1^2}{2} + a_1 b - a_1^2 = c_1 + a_1 b - \frac{a_1^2}{2};$$

$$D_2 = c_2 + a_2 - \frac{a_2^2}{2}$$

Тоді

$$\begin{aligned} D_1 - D_2 &= c_1 + a_1 b - \frac{a_1^2}{2} - c_2 - a_2 b + \frac{a_2^2}{2} = (c_1 - c_2) + b(a_1 - a_2) + \frac{a_2^2 - a_1^2}{2} = \\ &= (c_1 - c_2) + \left[b(a_1 - a_2) - (a_1 - a_2) \frac{a_1 + a_2}{2} \right] = (c_1 - c_2) + (a_1 - a_2) \left(b - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) = \\ &= (c_1 - c_2) + b(a_1 - a_2) \left(1 - \frac{a_1 + a_2}{2b} \right) = (a_1 - a_2) \left(b - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \end{aligned}$$

І остаточно повинна виконуватись умова

$$c_1 - c_2 < b(a_1 - a_2) \left(1 - \frac{a_1 + a_2}{2b} \right)$$

Для наглядності представимо виконання цієї умови у графічному вигляді на рисунку 3.7.

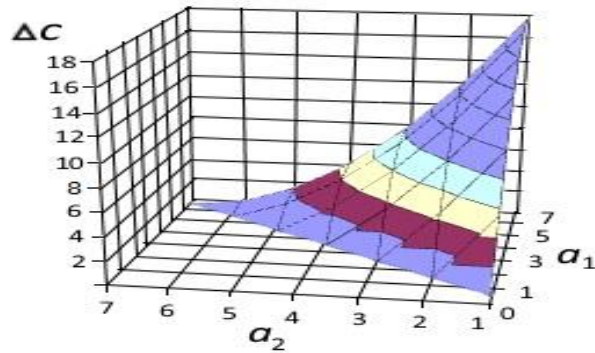


Рисунок 3.7 – Графік залежності $\Delta C = f(a_1, a_2)$ для рівномірного розподілу ступеня відмови від пристосування обладнання до зовнішнього середовища.

З цієї залежності можна попередньо оцінювати приведені витрати на універсальне ремонтне обладнання для контролю, діагностування і ремонту систем і агрегатів локомотивів.

Можна спробувати узагальнити попередній аналіз у різних напрямках. Найбільш просте узагальнення полягає в припущенні, що в початковий момент ремонтне господарство має можливість вибору більш-менш універсального обладнання. Охарактеризуємо ступінь неуніверсальності безперервною змінної y , якій відповідають дисконтовані витрати $c(y)$.

Якщо й далі позначати через x дисконтовані витрати, пов'язані з відмовою від пристосування ремонтної бази, то дисконтовані витрати, пов'язані з пристосуванням до нових обставин, будуть виражатися через $g(x, y)$, та вираз $x = g(x, y)$ буде еквівалентний виразу $x = a(y)$. Пристосування до нових обставин здійснюється в той момент у тому і тільки тому випадку, коли $x > a(y)$ (при умові, що g являє собою повільно зростаючу функцію x). Сумарні дисконтовані витрати складають

$$D(y) = c(y) + \int_0^{+\infty} \min[x, a(y)] dF(x) c(y) + \int_0^{a(y)} x dF(x) + \int_{a(y)}^{+\infty} g(x, y) dF(x).$$

Оптимальна стратегія визначається умовою: $\min_y D(y)$

У розглянутій моделі пристосування потенційно міститься в обраній стратегії. Тобто ремонтне господарство вже більше не має альтернативи пристосовувати або не пристосовувати своє обладнання. Вибір диктується, з огляду на той стан середовища, який наявний у цей момент.

3.5 Розрахунок резервів ремонтного господарства депо

Забезпечити універсальність ремонтного виробництва можливо за рахунок відповідних резервів. Так, при коливанні потоку заявок на Р і часу на організацію Р для підвищення ефективності роботи ремонтних підрозділів можна використовувати два шляхи: взаємодопомогу, яка можлива за умови взаємозамінності виконавців або створення резервної бригади з кількох виконавців. На підставі цього проведемо розрахунки щодо оцінки кількості виконавців δ_p , що проводять ТО, ПР, в залежності від інтенсивності вхідного потоку λ при однаковому значенні кількості заявок K . Оптимальне число виконавців резервної бригади можна встановити, мінімізуючи приведені витрати на Р однієї секції ПРС на основі цільової функції оцінки технологічної надійності ремонтної системи, що визначається за формулою

$$\theta = C_p \frac{\delta_p}{N} + a_p T_{cp}, \quad (3.8)$$

де C_p – заробітна плата одного виконавця із резервної бригади, грн./чол., $C_p = 5\,642$ грн;

δ_p – число виконавців в резервній бригаді, осіб., $\delta_p = 4 \div 10$;

N – програма Р за відповідний період, секцій,

$$N = \{N_{\delta_p}\} = N_{\delta_p} = 10 \div 50;$$

a_p – розрахункова вартість 1 час простою секції ПРС в Р, грн./чол.;

T_{cp} – середній час перебування ПРС в Р, годин.

Таблиця 3.8 – Вихідні дані і результати розрахунків параметрів ремонтної системи

Кількість виконавців (задано аналітичним способом)	Кількість заявок	Інтенсивність потоку заявок	Середня кількість заявок	Час очікування, годин	Час обслуговування, годин	Кількість заявок, що очікують обслуговування $j = K - \delta$	Ймовірність того, що усі виконавці вільні	Ймовірність того, що заявка отримає відмову	Ймовірність обслуговування заявки
δ_p	K	λ	ρ	ν	μ	j	P_0	$P_{відм.}$	$P_{обс.}$
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
5	7	0,25	2	0,125	0,125	2	0,3623	0,0001	0,9999
		0,875	2,5		0,350		0,1537	0,02	0,98
		1,13	4,28		0,264		0,0515	0,05	0,95
		2,75	2,79		0,985		0,0802	0,147	0,853
		3,25	12,846		0,253		0,0004	0,4631	0,5369
2		0,25	2		0,125	5	0,291	0,0045	0,9955
		0,875	2,5		0,350		0,0965	0,0123	0,9877
		1,13	4,28		0,264		0,0247	0,344	0,656
		2,75	2,79		0,985		0,0411	0,545	0,455
		3,25	12,846		0,253		0,0286	0,61	0,39

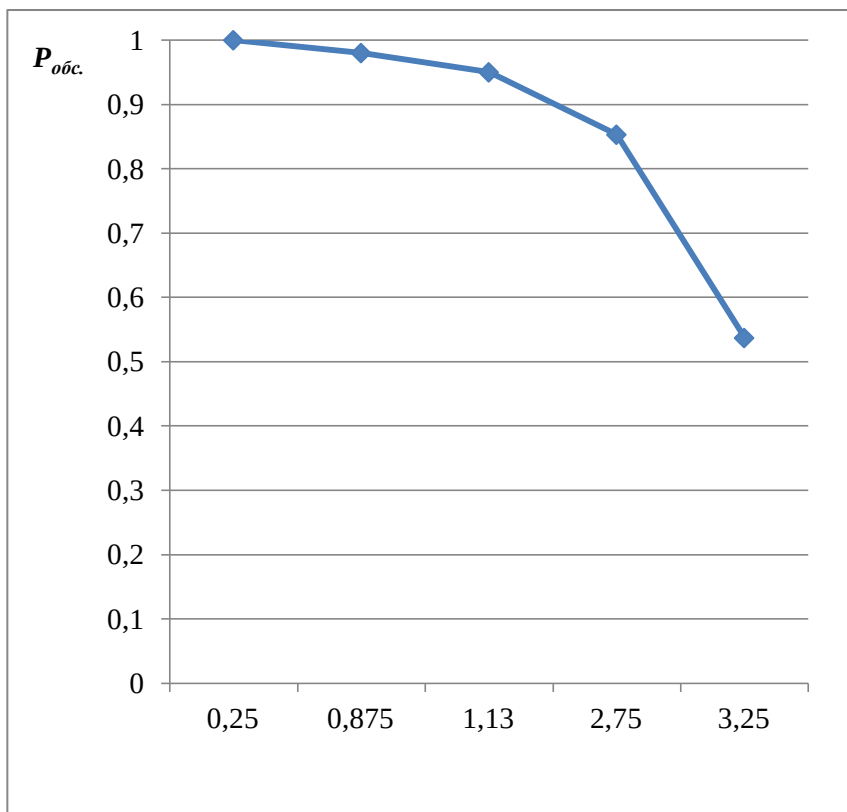


Рисунок 3.8 – Залежність ймовірності обслуговування заявки від інтенсивності потоку заявок при $K=7$ та $\delta=5$

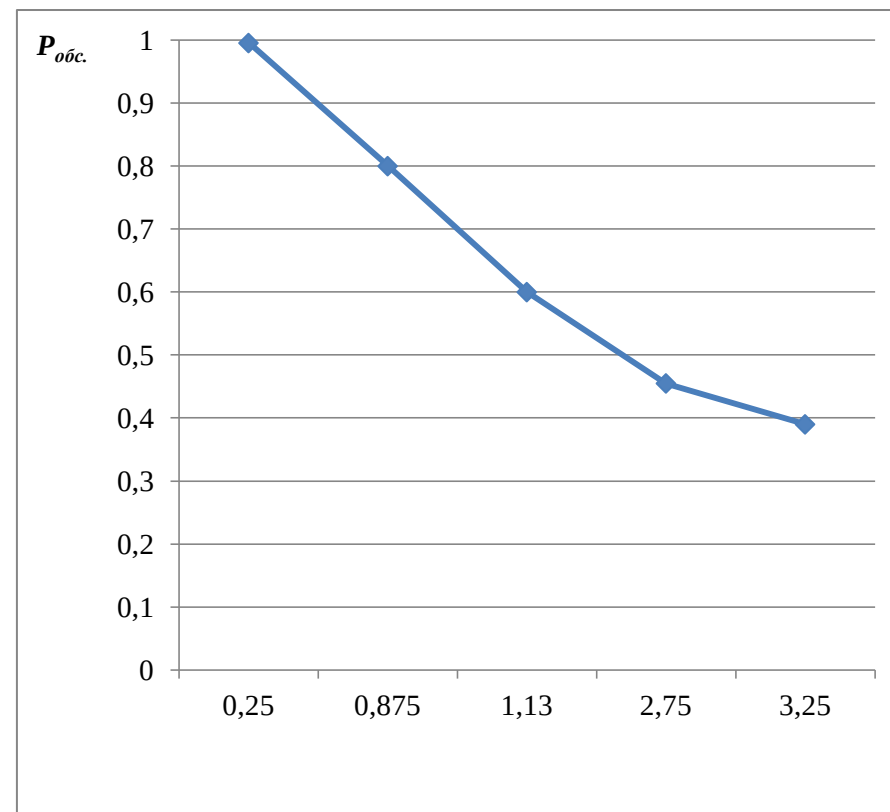


Рисунок 3.9 – Залежність ймовірності обслуговування заявки від інтенсивності потоку заявок при $K=7$ та $\delta=2$

Середній час перебування ПРС в Р визначимо за формулою

$$T_{\text{ср}} = (R + t_3)m_{\text{л}}, \quad (3.9)$$

де $m_{\text{л}}$ – число позицій на ремонтній лінії;

R – час простою ПРС в Р на одній позиції, год.;

t_3 – середній час затримки ПРС в Р для виконання необхідного обсягу робіт, годин

$$t_3 = \frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}} (q_{\text{ф}} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}}}{\delta_{\text{р}}}, \quad (3.10)$$

де $q_{\text{ф}}$ – фактична трудоємність Р ПРС, чол.год.;

$q_{\text{ср}}$ – середня трудоємність, чол.год.;

$N_{\text{отк}}$ – число секцій, які отримали відмову в обслуговуванні на ремонтній лінії, секції, $N_{\text{отк}} = 2 \div 5$.

Таким чином, цільову функцію можна представити як

$$\theta = C_{\text{р}} \frac{\delta_{\text{р}}}{N} + \alpha_{\text{р}} \left[m_{\text{л}} R + \frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}} (q_{\text{ф}} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}}}{\delta_{\text{р}}} \right], \quad (3.11)$$

Вирішуючи рівняння (3.9) при різній кількості виконавців $\delta_{\text{р}}$, можна визначити необхідну кількість виконавців у резервної бригаді, що забезпечить мінімальні витрати на Р.

За даною цільовою функцією проведено моделювання кількості виконавців $\delta_{\text{р}}$ (таблиця 3.8) Як видно з розрахункових даних, що наведені в таблиці 3.8 і залежностей, що представлені на рисунках 3.8 та 3.9, найбільш прийнятним є створення резервної бригади. Варіюючи чисельністю виконавців в бригаді можна визначити діапазон найбільшої імовірності обслуговування заявки (закінчення ремонтних робіт).

Розрахунок значень t_3 в залежності від кількості виконавців в ремонтній бригаді $\delta_{\text{р}}$ наведено в таблиці 3.8. З урахуванням цих розрахунків в таблиці 3.9 приведені розрахунки $T_{\text{ср}}$.

Таблиця 3.9 – Розрахунок середнього часу затримки локомотивів в ремонті, t_3

q_{ϕ} , осіб. год.	$q_{\text{ср}}$, осіб. год.	$N_{\text{отк}}$, шт.	δ_p , осіб	t_3 , год.
8,65	8,65	4	1	24,14
			2	12,07
9,93 (8,65+15%)			3	8,5
			4	6,21
10,81 (8,65+25%)			5	4,828
			6	4,02
11,245 (8,65+30%)			7	3,45
			8	3,02
11,68 (8,65+35%)			9	2,69

За наведеними в таблиці 3.10 даними на рисунку 3.10 наведена динаміка зміни середнього часу в Р при різних значеннях числа позицій на ремонтній лінії $m_{\text{л}}$. З ростом кількості виконавців в ремонтній бригаді δ_p , незалежно від величини $m_{\text{л}}$ спостерігається зменшення середнього часу простою в Р $T_{\text{ср}}$. Причому інтенсивність зменшення $T_{\text{ср}}$ найбільша при невеликих значеннях $m_{\text{л}}$. Тобто при збільшенні кількості виконавців δ_p вдається значно скоротити час простою в Р. Слід відмітити, що з ростом величини δ_p середній час простою в ремонті $T_{\text{ср}}$ майже не відрізняється, що може здаватися основним фактором, що впливає на величину $T_{\text{ср}}$.

Разом з цим при рості δ_p ростуть витрати на утримання ремонтних бригад, що добре видно з даних, наведених у таблицях 3.9 та 3.10.

Ці розрахунки реалізовані у вигляді графічних залежностей, що наведені на рисунку 3.11 і мають дві складові, які з ростом δ_p зростають, а інші з ростом δ_p зменшуються.

Таблиця 3.10 – Середній час перебування локомотивів в ремонті, T_{cp}

	R	δ_p	t_3	$(R + t_3)$	$m_{\text{л}}$	T_{cp} ($m_{\text{л}}=2$)	T_{cp} ($m_{\text{л}}=3$)	T_{cp} ($m_{\text{л}}=4$)	T_{cp} ($m_{\text{л}}=5$)	T_{cp} ($m_{\text{л}}=6$)
$T_{\text{cp}} = (R + t_3)m_{\text{л}}$	2	1	24,14	26,14	2 ÷ 6	52,28	78,42	104,56	130,7	156,84
		2	12,07	14,07		28,14	42,21	56,28	70,35	84,42
		3	8,5	10,5		21	31,5	42	52,5	63
		4	6,21	8,21		16,42	24,63	32,84	41,05	49,26
		5	4,828	6,828		13,656	20,484	27,312	34,14	40,968
		6	4,02	6,02		12,04	18,06	24,08	30,1	36,12
		7	3,45	5,45		10,9	16,35	21,8	27,25	32,7
		8	3,02	5,02		10,04	15,06	20,08	25,1	30,12
		9	2,69	4,69		9,38	14,07	18,76	23,45	28,14

Таблиця 3.11 – Розрахунок витрат

C_p	N	δ_p	$C_p \frac{\delta_p}{N}$	N	$C_p \frac{\delta_p}{N}$	N	$C_p \frac{\delta_p}{N}$	N	$C_p \frac{\delta_p}{N}$
5 642	5	1	1128,4	10	564,2	15	376,13	20	282,1
		5	5642		2821		1880,7		1410,5
		10	11284		5642		3761,3		2821
		15	16926		8463		5642		4231,5
		20	22568		11284		7522,7		5642
		25	28210		14105		9403,3		7052,5
		30	33852		16926		11284		8463

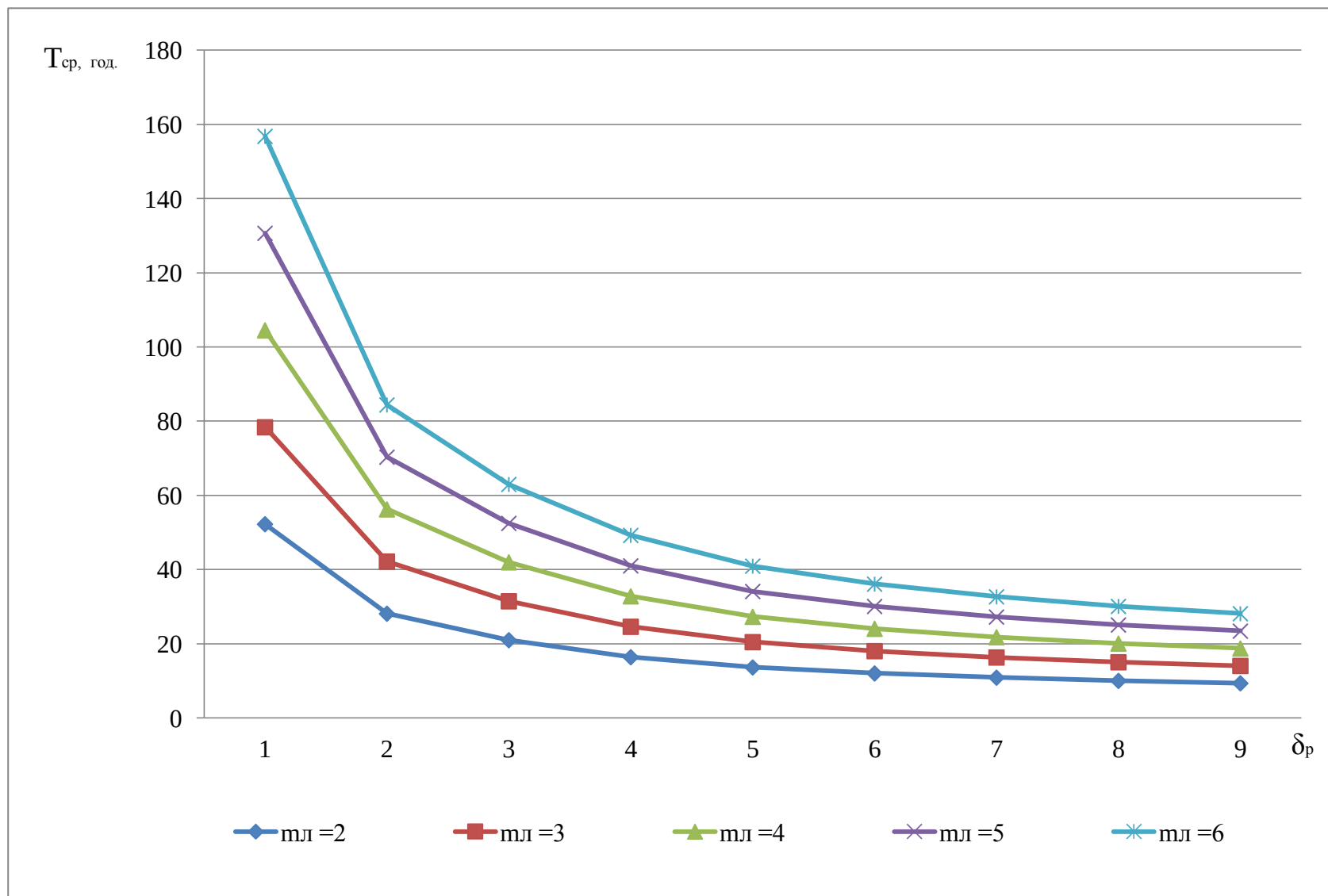


Рисунок 3.10 – Динаміка зміни середнього часу перебування ПРС в Р при різних m_l

Таблиця 3.12 – Розрахунок цільової функції

q_{ϕ} , осіб. год.	α_p	$m_{\text{л}}$	R	$q_{\text{ср}}$, осіб. год.	$N_{\text{отк}}$, шт.	δ_p , осіб	$\frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}}(q_{\phi} - q_{\text{ср}})N_{\text{отк}}}{\delta_p}$	$\alpha_p(m_{\text{л}}R + t_3)$	$N_{\text{отк}}$, шт.	$\frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}}(q_{\phi} - q_{\text{ср}})N_{\text{отк}}}{\delta_p}$	$\alpha_p(m_{\text{л}}R + t_3)$	$N_{\text{отк}}$, шт.	$\frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}}(q_{\phi} - q_{\text{ср}})N_{\text{отк}}}{\delta_p}$	$\alpha_p(m_{\text{л}}R + t_3)$			
8,65	105,41	4	6	8,65	5	1	45,325	7307,5	4	25,4	5074,4	3	10,32	3617,67	2	2,56	2799,69
9,93 (8,65+15%)						5	9,065	3485,38		5,08	3038,75		2,064	27547,41		0,512	2583,8
10,81 (8,65+25%)						10	4,5325	3007,61		2,54	2784,3		1,032	2638,62		0,256	2556,82
11,245 (8,65+30%)						15	3,022	2848,38		1,69	2699,55		0,688	2602,36		0,17	2547,76
11,68 (8,65+35%)						20	2,27	2769,12		1,27	2657,07		0,516	2584,23		0,128	2543,3

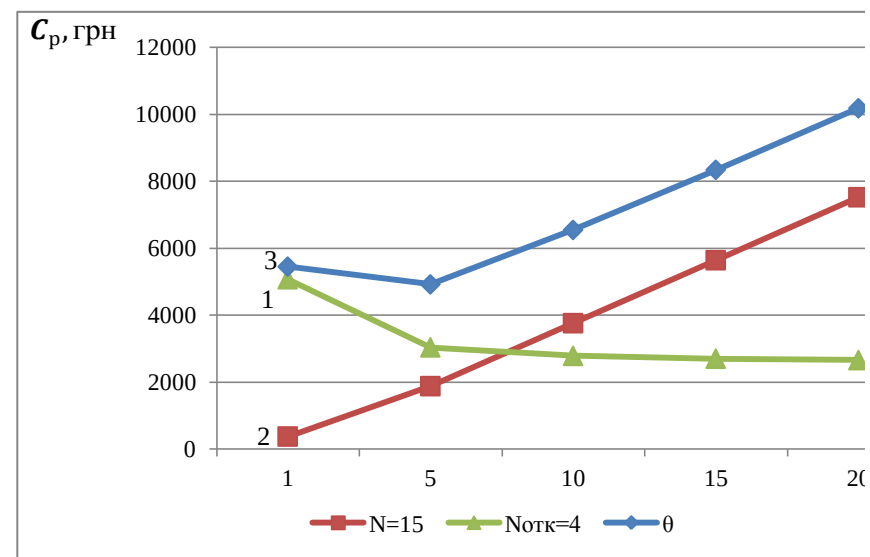
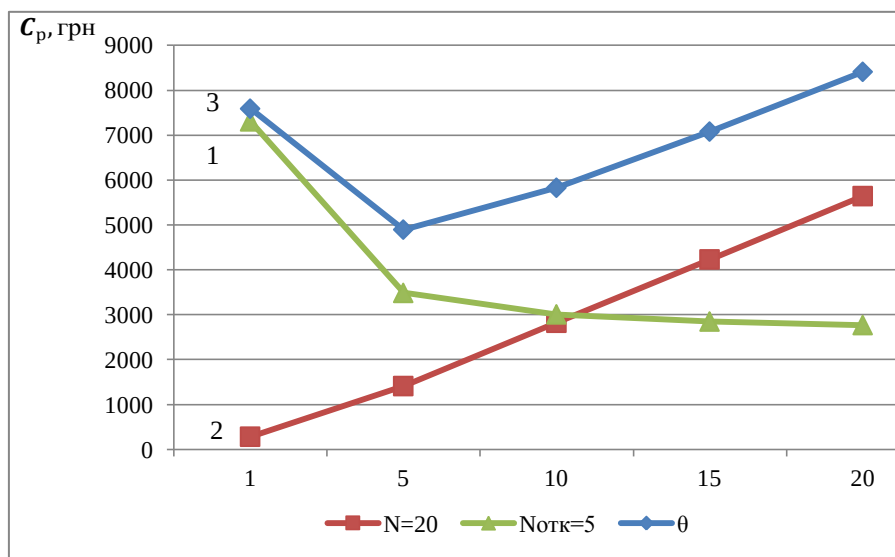


Рисунок 3.11 – Зміна сумарних витрат C_p в залежності від кількості виконавців в ремонтній бригаді δ_p

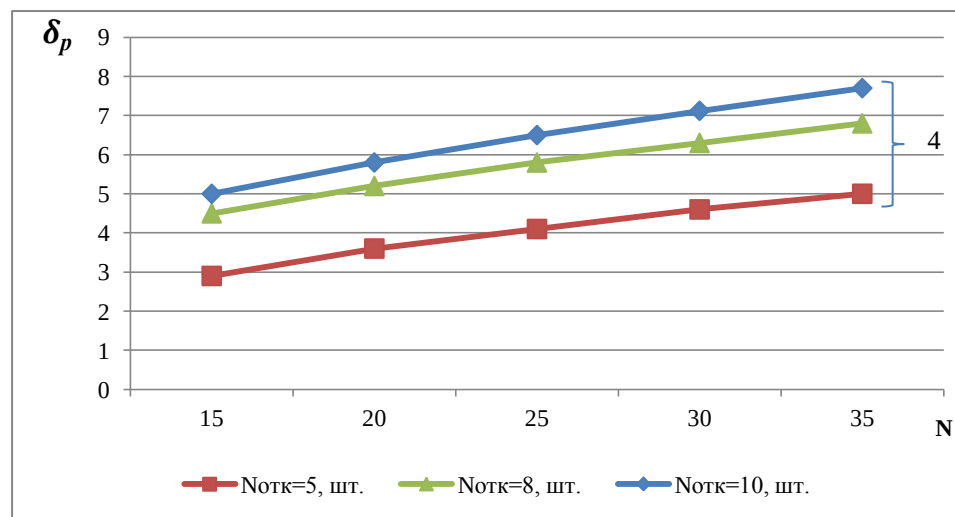


Рисунок 3.12 – Визначення оптимальної кількості виконавців δ_p для різних N та $N_{отк}$

$$\begin{aligned}
&\text{де } 1 - \alpha_p \left[m_{\text{л}} R + \frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}} (q_{\phi} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}}}{\delta_p} \right]; \\
&2 - C_p \frac{\delta_p}{N}; \\
&3 - \theta = C_p \frac{\delta_p}{N} + \alpha_p \left[m_{\text{л}} R + \frac{\sum_1^{N_{\text{отк}}} (q_{\phi} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}}}{\delta_p} \right]; \\
&4 - \delta_p = \sqrt{\frac{\alpha_p (\sum q_{\phi} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}} N}{C_p}}.
\end{aligned}$$

Можна відшукати оптимальне значення δ_p продиференціювавши функцію θ і прирівнявши її нулю. Тоді отримаємо наступний вираз $\delta_p = \sqrt{\frac{\alpha_p (\sum q_{\phi} - q_{\text{ср}}) N_{\text{отк}} N}{C_p}}$. Відповідно до рис. 3.8 (а, б) ці значення складають $\delta_p = (N = 20, N_{\text{отк}} = 5) = 5$, $\delta_p = (N = 15, N_{\text{отк}} = 4) = 5$. Для зручного представлення щодо вибору кількості δ_p на рис. 3.12 наведені значення $\delta_p \neq f(N, N_{\text{отк}})$.

3.6 Результати моделювання дислокації сервісних центрів на залізниці

Згідно з п. 2.6 проведемо моделювання дислокації СЦ.

Для обґрунтування закріплення за локомотиворемонтними заводами таких функцій і створення на їх базі СЦ розглянемо і проаналізуємо витрати на організацію ТО, ПР. В таблиці 3.13 наведені дані про витрати на організацію ТО, ПР деякими депо регіональної філії «Південна залізниця». Найбільш часто депо виконують ТО-3 та ПР-1, причому по тепловозному парку значно перевищуються норми простою і значні витрати приходяться на проведення позапланових ремонтів.

Саме це і визначає необхідність створення умов для сервісного обслуговування парку ТРС депо.

Для визначення потреби в сервісному обслуговуванні депо були виділені складові, що пов'язані з перевищенням норм простою на ТО-3, ПР-1 по тепловозному парку і витратам на НР. В табл. 3.14 систематизовані види

витрат по окремим серіям тепловозів і час в русі на одну поїздку з локомотиворемонтного заводу (сервісного центру) до депо ТРС.

Час в русі обчислювався за даними відстані між СЦ і депо ТРС згідно рис. 3.12 і середній технічній швидкості $v_{\text{тех}} = 40$ км/год (табл. 3.13) для варіантів, коли СЦ організований в Полтаві (при ПТРЗ) – 1-ий варіант, коли СЦ організований в Ізюмі (при ІТРЗ) – 2-ий варіант, визначений час в русі на доставку необхідного обладнання.

Таблиця 3.13 – Витрати на проведення ТО, ПР на регіональній філії «Південна залізниця» за 2017 рік

Вид ТО, ПР Депо		ТО-3				ПР-1				ПР-2				ПР-3				Загальний простій, годин		Позапланові ремонт
		Кількість локомотивів, яким виконано ТО-3	Середня тривалість, годин	Сумарна тривалість, годин	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-1	Середня тривалість, годин	Сумарна тривалість, годин	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-2	Середня тривалість, діб	Сумарна тривалість, діб	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-3	Середня тривалість, діб	Сумарна тривалість, діб	Норма	ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3		Загальна тривалість непланових ремонтів, годин
																		По серіям	Всього	
Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	ЧС2	27	12	324	12	19	24	456	24	-	-	-	2	2	5	10 (240 годин)	5	1 020	6 588	38
	ЧС7	92	12	1 104		88	24	2 112		2	4	8 (192 години)	4	5	10	50 (1 200 годин)	10	4 608		
	ВЛ11	-	-	-		-	-	-		-	-	-		4		40 (960 годин)		960		
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	2ТЭ116	50,5	76,04	3840,02	16	14	95,07	1330,98	48	-	-	-	8	-	-	-	10	5 171	18 412	6289 ,25
	ТЭП70, 150	95	72,02	6 841,9	12	34	124,95	4248,3	48	-	-	-	5	4	5, 03 (120,74 годин)	20,12 (482,96 годин)	6	11 573, 16		
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	77	12	924		16	24	384	24	-	-	-	4	3	5	15 (360 годин)	5	1 668		
де по П	ВЛ80Т	-	-	-	12	112	18,59	1041,04	24	3	2,12	2,12 (50,8	4	-	-	-	10	1 091,92	7 233,35	317,7

												8 годи н)								
	ВЛ80К	-	-	-				15,25		854				2,42	4,84 (116, 16 годи ни)			-		
	2ТЕ116	32	31,73	1 001,6	16	9	40,49	364,41	48	-	-	-	8	-	-	-		1 366,0 1		1028
	ТЕП70, 150	30	18,02	540,6	12	7	17,22	120,54	36	-	-	-	5	-	-	-	6	661,14		
	ЧМЕЗ	123	20,84	2 563,32		24	24,20	580,8	24	-	-	-	4	-	-	-	-	5	3 144,1 2	
Локомотивне депо Кременчук (ГЧ-6)	2ТЕ116	10	63,3	6 583,2	16	2	82,3	2057,5	48	-	-	-	8	-	-	-	10	8 640,7	8 640, 7	8371
	ЧМЕЗ	134			12	22	24		24	-	-	-	4	-	-	-	5			
	ТЕП70, 150	8			12	1	36		36	-	-	-	5	-	-	-	6			
Локомотивне депо Ромни (ГЧ-7)	ЧМЕЗ	49	12,8	627,2	12	7	24	168	24	-	-	-	4	-	-	-	5	795,2	795,2	2162
Локомотивне депо Сморозине (ГЧ-8)	ЧМЕЗ	158	11,81	1 865,98	12	25	24	600	24	-	-	-	4	-	-	-	5	2 465,9 8	2 752, 06	239
	ТЕП70, 150	24	11,92	286,08	12	-	-	-	36	-	-	-	5	-	-	-	6	286,08		
е де по де	2ТЕ116	3	86,95	260,85	16	1			48	-	-	-	8	-	-	-	10	260,85	38 054 ,57	96,2
	ЧМЕЗ	67	112,6	7 544,2	12	15	132,6	1989	24	-	-	-	4	12	81,4	976,8	5	18 864,		

															(777,6 годин)	(9 331,2 годин)		4		
	ВЛ11	72,5	82,6	5 988,5	12	72, 5	82,6	5988,5	24	6	4,5 (10 8 год ин)	27 (648 годи н)	4	3	87,56 (2 101, 44)	262,58 (6 304,32 годин)	10	18 929, 32		150, 7
Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ГЧ-10)	ЧМЕЗ	201	12	2 412	12	64	24	1536	24	-	-	-	4	7	-	-	5	3 948	4 356	178
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	8	12	96	12	4	24	96		1	4	4 (96 годи н)		1	5	5 (120 годин)	5	408		
Локомотивне депо Гребінка (ГЧ-12)	2ТЕ116	14,5	71,4	1 035,3	16	4	198,8	795,2	48	3	8	24 (576 годи н)	8	3	8,4	25,2 (604,8 годин)	10	3 011,3	13 094 ,4	1491
	ЧМЕЗ	50	87,9	4 395	12	11	133,1	1464,1	24	-	-	-	4	-	-	-	5	5 859,1		1583
	ВЛ80к ВЛ80т	-	-	-		94	24	2 256	24	3	4	12 (288 годи н)	4	7	10	70 (1 680 годин)	10	4 224		
Локомотивне депо Куп'янськ (ГЧ-15)	ВЛ82м	-	-	-	12	246	17,2	4231,2	24	12	2,6	31,2 (748, 8 годи н)	4	10	12,7	127 (3 048 годин)	10	8 028	12 740	227, 05
	ВЛ80к	-	-	-		61	19,1	573		2	2,5	5 (120 годи н)		7	9,4	28,2 (676,8 годин)		1 369,8		
	ВЛ80т	-	-	-			30,3	939,3		-	-	-			10,4	41,6 (998, 4 годин)		1 937,7		
	ЧМЕЗ	85	12	1 020		16	24	384		-	-	-		-	-	-	5	1 404		0

Таблиця 3.14

Таблиця 3.14 – Витрати локомотивних депо на ТО-3, ПР-1 і НР

Вид ТО Депо		ТО-3								ПР-1						
		Кількість локомотивів, яким виконано ТО-3	Середня тривалість, годин	Норма	Сумарна тривалість, годин	Сумарна норма, μ	Різниця	Час на НР	Час в русі на одну поїздку, год.		Кількість локомотивів, яким виконано ПР-1	Середня тривалість, годин	Норма	Сумарна тривалість, годин	Сумарна норма, μ	Різниця
									I варіант	II варіант						
1		2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	2ТЭ116	50,5	76,04	16	3 840,02	808	3 032,02	6 289,3			14	95,07	48	1 350,9	672	678,9
	ТЭП70, 50	95	72,02	12	6 841,9	1 140	5 701,9				34	124,9	48	4 284,3	1 632	2 652,3
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	77	12	12	924	924	0		3,98	5	16	24	24	384	384	0
Σ					11 605,92	2 688	8 733,9							6 019,2	2 688	3 339,2
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	2ТЕ116	32	31,73	16	1 001,6						9	40,49	48	364,41	432	- 67,6
	ТЕП70, 150	30	18,02	12	540,6			1 028	0		7	17,22	36	120,54	252	- 131,5
	ЧМЕЗ	123	20,84	12	2 563,3	1 476	1 087,3				24	24,2	24	580,8	576	4,8
Σ					4 105,5	2 348	1 757,5							1 065,7 5	1 260	- 194,25

Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	2ТЕ116	10	63,3	16	633	160	473	8 731			2	82,3	48	164,6	96	68,6
	ЧМЕЗ	134	63,3	12	8 482,2	1 608	6 874,2		3,43	12,8	22	24	24	528	528	0
	ТЕП70, 150	8	63,3	12	506,4	96	410				1	33	36	33	36	- 3
Σ					9 621,6	1 864	7 757,6							561	564	- 3
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	ЧМЕЗ	49	12,8	12	627,2	588	39,2	2 162	2,25	10,9	7	24	24	168	168	0
Σ					627,2	58,8	39,2							729	732	- 3
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	ЧМЕЗ	158	11,81	12	1 865,9	1 896	- 30,1	239	3,75	8,5	25	24	24	600	600	0
	ТЕП70, 150	24	11,92	12	286,1	288	- 1,9				-	16	16	0	0	0

Σ					2 152	2 184	-32							600	600	0
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	2ТЕ116	3	86,95	16	260,85	48	212,85	96,2	4,85	4,53	1	48	48	48	48	0
	ЧМЕЗ	47	112,6	12	7 544,2	564	6 980,2				15	132,6	24	1 989	360	1 629
Σ					7 805,05	612	7 193,05							2 037	408	1 629
Локомотивне депо Гребінка ТЧ-12)	2ТЕ116	14,5	71,6	16	1 035,3	232	803,3	1 491	4,62	13,5	4	198,8	48	795,2	192	603,2
	ЧМЕЗ	50	87,9	12	4 395	600	3 795				11	133,1	24	1 464,1	264	1 200,1
Σ					5 430,3	832	4 598,3							2 259,3	456	1 803,3

Таблиця 3.15 – Час руху на доставку обладнання з СЦ до локомотивних депо

І варіант – сервісний центр в Полтаві			І варіант – сервісний центр в Ізюмі		
Назва депо		Час в русі, год.	Назва депо		Час в русі, год.
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	185	4,62	Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	526	13,5
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	150	3,75	Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	341	8,5
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	0	0	Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	375	9,38
Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ТЧ-10)	159	3,98	Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ТЧ-10)	200	5,0
Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	159	3,98	Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	200	5,0
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	159	3,98	Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	200	5,0
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	194	4,85	Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	181	4,53
Локомотивне депо Куп'янськ (ТЧ-15)	288	7,2	Локомотивне депо Куп'янськ (ТЧ-15)	99	2,5
Локомотивне депо Лиман (ТЧ-1)	316	8,15	Локомотивне депо Лиман (ТЧ-1)	49	1,23
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	137	3,43	Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	512	12,8
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	90	2,25	Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	436	10,9

З урахуванням цих і попередніх даних в таблиці 3.16 визначено інтенсивність заявок на сервіс і на обслуговування. Вважаючи, що СЦ забезпечує високий рівень обслуговування, були прийняті нормативні витрати на ТО, ПР з урахуванням доставки обладнання для проведення сервісу (таблиця 3.16).

Таблиця 3.16 – Зведена таблиця втрат і інтенсивності заявок та інтенсивності обслуговування

Розрахунки Депо	Сумарний фактичний простій на ТО-3, П-1, год.	Сумарний нормативний простій на ТО-3, ПР-1, год.	Кількість НР, шт.	Час в русі на одну поїздку / на всі поїздки, год.		Сумарний час на ТО-3, ПР-1 і в русі		Інтенсивність обслуговування, μ , год ⁻¹		Сумарний час на різниці ТО-3, ПР-1, год.	Сумарний час ³ урахуванням НР, год.	Інтенсивність заявок λ , год. ⁻¹
				I варіант	II варіант	I варіант	II варіант	I варіант	II варіант			
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	17 625,12	5 560	79	3,98 / 316	5 / 395	5 876	5 955	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-4}$	12 065,1	6 289,3	$5,45 \times 10^{-5}$
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	5 171,25	3 608	18	0	9,4 / 109,2	3 668	3 777,2	$2,77 \times 10^{-4}$	$2,65 \times 10^{-4}$	1 563,25	1 028	$3,86 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	10 182,6	2 428	53	3,43 / 181,8	12,8 / 678,4	2 609,8	3 106,4	$3,83 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-4}$	7 754,6	8 371	$1,19 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	1 356,2	1 320	16	2,3 / 36,8	10,9 / 174,4	1 356,8	1 494,4	$7,37 \times 10^{-4}$	$6,69 \times 10^{-4}$	36,2	2 162	$4,55 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	2 752	2 784	3	3,8 / 11,4	8,5 / 25,5	2 795,4	2 809,51	$3,57 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-4}$	- 32	239	$4,83 \times 10^{-3}$
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	9 794	1 020	4	4,9 / 19,6	4,5 / 18	1 039,6	1 038	$9,62 \times 10^{-4}$	$9,63 \times 10^{-4}$	8 822,05	96,2	$1,12 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	7 689,6	1 288	52	4,6 / 239,2	13,2 / 686,4	1 527,2	1 974,4	$6,55 \times 10^{-4}$	$5,05 \times 10^{-4}$	6 401,6	1 491	$1,27 \times 10^{-4}$

Як видно з наведених в таблиці 3.16 даних, для депо Полтава та Смородине сервісне обслуговування доцільне тільки з СЦ Полтавського тепловозремонтного заводу (ПТРЗ).

Для інших локомотивних депо були проведені розрахунки по визначенню доцільності організації СЦ в Полтаві (на ПТРЗ) (таблиця 3.17) та в Ізюмі (на ІТРЗ) (таблиця 3.18), а також при одночасній організації сервісу в даних підприємствах (таблиця 3.19).

Таблиця 3.17 – Полтава (ПТРЗ) – сервісний центр (І варіант)

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок, λ_i , год. ⁻¹	Час в русі, $t_{рух}$, год.	Інтенсивність обслуговування, μ_i , год. ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування, $p = \frac{\lambda}{\mu}$	Час очікування, $W_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i(\mu_i - \lambda_i)}$, $\times 10^4$ год.	Сумарний час очікування, ΣW_i , год. $\times 10^4$
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	36,8	$7,37 \times 10^{-4}$	0,617	0,219	0,219
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	239,2	$6,55 \times 10^{-4}$	0,194	0,037	0,256
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	181,8	$3,83 \times 10^{-4}$	0,31	0,147	0,403
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-5}$	316	$1,7 \times 10^{-4}$	0,321	0,277	0,680
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	19,6	$9,67 \times 10^{-4}$	0,1158	0,0135	0,6935
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	793,4	$29,12 \times 10^{-4}$	1,558		$0,6935 \times 10^{-4}$

Таблиця 3.18 – Ізюм (ІТРЗ) – сервісний центр (ІІ варіант)

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок, λ_i , год. ⁻¹	Час в русі, $t_{рух}$, год.	Інтенсивність обслуговування, μ_i , год. ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування, $p = \frac{\lambda}{\mu}$	Час очікування, $W_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i(\mu_i - \lambda_i)}$, $\times 10^4$ год.	Сумарний час очікування, ΣW_i , год. $\times 10^4$
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	18	$9,63 \times 10^{-4}$	0,1163	0,0137	0,0137
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-4}$	395	$1,68 \times 10^{-4}$	0,324	0,286	0,299
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	174,4	$6,63 \times 10^{-4}$	0,686	0,481	0,779

Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	686,4	$5,06 \times 10^{-4}$	0,251	0,066	0,845
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	678,4	$3,22 \times 10^{-4}$	0,369	0,182	1,027
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	$1\ 952,2$	$26,22 \times 10^{-4}$	1,7463		$1,027 \times 10^{-4}$

Таблиця 3.19 – Два сервісних центри – Полтава, Ізюм

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок, λ_i , год. ⁻¹	Час в дорозі, $t_{рух}$, год.	Інтенсивність обслуговування, μ_i , год. ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування, $p = \frac{\lambda}{\mu}$
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	239,2	$6,55 \times 10^{-4}$	0,194
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	181,8	$3,83 \times 10^{-4}$	0,31
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	36,8	$7,37 \times 10^{-4}$	0,617
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-5}$	316	$1,7 \times 10^{-4}$	0,321
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	18	$9,63 \times 10^{-4}$	0,1163
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	791,8	$29,08 \times 10^{-4}$	1,5583

Як видно з розрахунків, найгірший варіант організації сервісного центру на ІТРЗ для всіх депо оскільки сумарний час очікування сервісу складає 10270 годин. У варіанті, коли СЦ організований на ПТРЗ цей показник значно менший і складає 6935 годин. Але найкращим варіантом є варіант з організацією сервісу одночасно на ПТРЗ і ІТРЗ. В цьому випадку сумарний час очікування складає 899 годин на рік.

Значення цього часу очікування обслуговування на двох СЦ визначалося таким чином

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{1,5583}{1!} + \frac{1,5583^2}{2!} + \frac{1,5583^{2+1}}{2!(2-1,5583)}} = 0,21$$

$$W = \frac{1,5583^2}{29,08 \times 10^{-4} (2-1)!(2-1,5583)^2} \times 0,21 = 899 \text{ год.}$$

$$\text{де } n = 2, k = 5, \rho = 1,5583, \mu = 29,08 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

3.7 Оцінка впливу тимчасового резервування на надійність обладнання ТРС

За положеннями п 2.7 тимчасове резервування є основою покращення надійності роботи систем ПРС. Тимчасове резервування можна трактувати, з одного боку, як додаткове дублююче обладнання або обладнання, що бере на себе функції іншого при відмові, а з іншого боку як додаткові резервні потужності ремонтного господарства депо чи сервісного підприємства.

Відповідно з цим наведена процедура оцінки тимчасового резервування на надійність роботи обладнання ПРС.

Для цього зведемо до табл. 3.20 результати розрахунків з визначення таких характеристик надійності: часу до відмови, часу на відновлення, закону розподілу часу на відновлення, функцію тимчасового резервування, функцію щільності розподілу відновлення для деяких законів розподілу випадкових величин.

Таблиця 3.20 – Розрахунок параметрів надійності ПРС при різних законах розподілу

Закон розподілу			Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$	Релея $R(\lambda)$	Експоненціальне $Exp(\lambda)$
Параметри					
1	2	3	4	5	6
1	Час до відмови	M, σ	$\alpha = 16, \beta = 12,5$ $M = \alpha\beta = 16 \cdot 12,5 = 200$ $\sigma = \sqrt{\alpha} \cdot \beta = \sqrt{16} \cdot 12,5 = 50$	$M = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 170$ $\sigma = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\lambda}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 89$ $\lambda = 0,0000271 \text{ ч}^{-1}$	$\lambda = 0,008$ $m = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$ $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,008} = 125$

2	Час відновлення	M_B, σ_B	$M_B = \alpha_1 \cdot \beta_1$ $M_B = 0,5 \cdot 20 = 10$ $\sigma_B = \sqrt{\alpha_1} \cdot \beta_1 = \sqrt{0,5} \cdot 20 = 14,14$ $t_B = M_B + \sigma_B = 10 + 14,14 = 24,14$	$M_B = \sqrt{\frac{\pi}{4\lambda_1}} = \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 10\text{ч}$ $\sigma_B = \sqrt{\frac{4-\pi}{4\pi}} = \sqrt{\frac{4-3,14}{4 \cdot 0,007854}} = 5,2\text{ч}$ $t_B = m_B + \sigma_B = 10 + 5,2 = 15,2\text{ч}$ $\lambda_1 = 0,007854\text{ч}^{-1}$	$\lambda_1 = 0,133$ $m_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $\sigma_B = \frac{1}{0,133} = 7,5$ $t_B = 7,5 + 7,5 = 15$
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G} = 1 - G$	$G_1 = 1 - I\left(\alpha_1; \frac{t_B}{\beta_1}\right)$ $G_1 = \bar{G}$ $\bar{G} = 1 - I\left(0,5; \frac{24,14}{20}\right) = 1 - I(0,5; 1,2) = 1 - 0,215 = 0,785$	$G_1 = \bar{G} = 1 - e^{-\lambda_1 t_B} = 1 - 2,71^{-0,007854(15,2)^2} = 0,835$	$G = e^{-\lambda_1 t} = e^{-0,133 \cdot 15} = 0,136$ $\bar{G} = 1 - G = 0,864$
4	Функція резервування	$\psi(t) = \int_0^t \bar{G}(t+x)$	$\psi(t) = \alpha_1 \beta_1 \left(1 - I\left(\alpha_1 + 1; \frac{t}{\beta_1}\right)\right) - t \left(1 - I\left(\alpha_1; \frac{t}{\beta_1}\right)\right); t = 5$ $\psi(t) = 0,5 \cdot 20 \left(1 - I\left(0,5 + 1; \frac{5}{20}\right)\right)$ $- 5 \left(1 - I\left(0,5; \frac{5}{20}\right)\right) = 0,5 \cdot 20 (1 - I(1,5; 0,25)) -$ $5 (1 - I(0,5; 0,25)) = 10 (1 - 0,814) - 5 (1 - 0,849) = 1,1$	$\varphi(t) = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda_1}} \left(0,5 - \Phi_0(\sqrt{2\lambda_1} \cdot t)\right) = \sqrt{\frac{3,14}{0,007854}}$ $(0,5 - \Phi_0(\sqrt{2 \cdot 0,007854} \cdot 5)) = 19,99 (0,5 - \Phi_0(0,6266)) =$ $19,99 (0,5 - 0,2348) = 5,31$	$\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t}, t = 5$ $\frac{1}{0,133} e^{-0,133 \cdot 5} = 3,87$
5	Плани функції розподілу відновлення	$g(t)$	$g = \frac{t_B^{\alpha_1-1} e^{-\frac{t_B}{\beta_1}}}{\beta_1^{\alpha_1} \Gamma(\alpha_1)}; \Gamma = (\alpha_1 = 0,5) = \frac{\Gamma(1,5)}{0,5} = \frac{0,8862}{0,5} = 1,77$ $g = \frac{24,14^{0,5-1} \cdot e^{-\frac{24,14}{20}}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{24,14^{-0,5} \cdot e^{-1,21}}{20^{0,5} \cdot \Gamma(0,5)} = \frac{\frac{1}{4,91} \cdot \frac{1}{3,33}}{4,47 \cdot 1,77} = 0,008$	$g = 2\lambda t e^{-\lambda t^2} = 2 \cdot 0,007854 \cdot$ $15,2 e^{-0,007854 \cdot 15,2^2} = 0,039$	$g = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} = 0,133 e^{-0,133 \cdot 15} = 0,018$

Продовження таблиці 3.20 – Розрахунок параметрів надійності ПРС
при різних законах розподілу

Закон розподілу			Усічене нормальне $TN(m_0, \sigma_0)$	Вейбула $w(\alpha, \beta)$
Параметри				
1	2	3	7	8
1	Час до відмови	M, σ	$m_0 = 150; \sigma_0 = 50$ $m = m_0 + k\sigma_0 = 150 + 50 \cdot 0,000016 = 150...$ $\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2} \approx 50$ $k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}} = \frac{1,007}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{150^2}{2 \cdot 50^2}} = 1,00 \cdot 0,000016$ $C = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{150}{50}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0(3)} = \frac{1}{0,5 + 0,49865} = 1,007$	$m = \rho \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \beta = 230, \alpha = 2$ $\sigma = \beta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}$ $m = 230 \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 230 \cdot 0,886 = 203,8$ $\sigma = 230 \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{2}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 230 \cdot 0,463 = 106,5$
2	Час відновлення	M_B, σ_B	$m_0 = 10, \sigma_0 = 5$ $m_B = 10 + 0,039 \cdot 5 = 10,19$ $\sigma_B = 5 \sqrt{1 + 0,039 \frac{10}{5}} = 5,19$ $C = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0(2)} = \frac{1}{0,5 + 0,97725} = 0,677$ $k = \frac{0,677}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{10^2}{2 \cdot 5^2}} = 0,677 \cdot 0,05369 = 0,039$	$\beta_1 = 10, \alpha_1 = 1,5$ $m_B = \beta_1 \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha_1}\right) = 10 \cdot 0,903 = 9$ $\sigma_B = 10 \cdot 0,612 = 6,12$ $t_B = 9 + 6,12 = 15,12$

			$t_B = 10,19 + 5,19 = 15,4$	
3	Закон розподілу часу на відновлення	$\bar{G} = 1 - G$	$P(t) = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{t - m_0}{\sigma_0}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)} = \frac{0,5 - \Phi_0\left(\frac{15,4 - 10}{5}\right)}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)} = \frac{0,5 - (1 - 0,8599)}{0,5 + 0,97725} = 0,2436$ $\bar{G}(t) = 1 - 0,2436 = 0,756$	$P = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}} = e^{-\left(\frac{15,12}{10}\right)^{1,5}} = 0,15$ $\bar{G} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}} = 1 - 0,157 = 0,843$
4	Функція резервування	$\bar{G}(t) = \int_0^{\infty} \bar{G}(t + \tau) d\tau$	$\sigma_0^2 g(t) - (t - m_0) \bar{G}(t) = 5^2 \cdot 0,03 - (5,1 - 10) \cdot 0,765 = 0,7538 - (-3,78) =$	$\psi(t) = \frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \left(1 - I\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right)$ $\frac{\Gamma(1,67)}{0,67} = \frac{0,9033}{0,67} = 1,348$ $I = (0,67; 0,354) = 0,423$ $\psi(t) = 5,19$
5	Плани функції розподілу відновлення	$g(t)$	$\frac{e^{-\frac{(t - m_0)^2}{2\sigma_0^2}}}{\sigma_0 \sqrt{2\pi} \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)\right)} = \frac{e^{-\frac{(15,4 - 10)^2}{2 \cdot 5^2}}}{5 \sqrt{2\pi} \left(0,5 + \Phi_0\left(\frac{10}{5}\right)\right)} = \frac{e^{-0,5832}}{5 \sqrt{2\pi} (0,5 + 0,97725)} = \frac{e^{-0,5832}}{12,53 \cdot 1,47725} = 0,03$	$g = \frac{\alpha t^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}}}{\beta \alpha} = \frac{1,5 (15,12)^{1,5-1} e^{-\left(\frac{15,12}{10}\right)^{1,5}}}{10^{1,5}} = \frac{1,5 \cdot 3,88 \cdot 0,1558}{51,62} = 0,0011$

В таблиці 3.20 прийняті такі позначення

$\Phi_0(t)$ – функція Лаплас;

$\Gamma(t)$ – гама-функція;

$I(\alpha, t)$ – неповна гама-функція.

На відміну від інших функцій, що наведені, насамперед, в [142], неповна гама-функція не наводиться у довідковій літературі, тому вона була розрахована з виразу [33]

$$I(\alpha, t) = (\alpha - 1)! e^{-t} \sum_{K=0}^{\alpha-1} \frac{t^K}{K!} \quad (3.12)$$

Розглянемо на прикладі розрахунків інших показників надійності. Нехай час до відмови підпорядковується гама-розподілу, середнє напрацювання на відмову складатиме $m = 200$ год., а час на відновлення розподілу Релея з параметрами $m_B = 10$ год., $\sigma_B = 5,2$ год., $t_B = 10 + 5,2 = 15,2$

год., з часом тимчасового резервування $t_{рез.} = 5$ год. Напрацювання на відмову з урахуванням розподілів (таблиця 3.18, 4 стовпець) складе

$$T_C = \frac{200 + 10 - 5,31}{0,835} = 245 \text{ год.},$$

$$\text{Середній час на відновлення } T_{BC} = \frac{5,31}{0,835} = 6,35 \text{ год.},$$

$$\text{Коефіцієнт готовності } K_G = \frac{200 + 10 - 5,31}{200 + 10} = 0,9747.$$

В таблиці 3.21 наведені ці розрахунки у порівнянні з даними роботи системи, що не має тимчасового резервування.

Таблиця 3.21 – Значення параметрів T_C, T_{BC}, K_G при гама-розподілі напрацювання на відмову і розподілі часу на відновлення по закону Релея

Наявність тимчасового резервування	$T_C, \text{ч}$	$T_{BC}, \text{ч}$	K_G
Є	245	6,35	0,9747
Немає	200	10	0,9523

Як видно з наведених розрахунків, за рахунок тимчасового резервування показники T_C, T_{BC}, K_G значно кращі, ніж при відсутності тимчасового резервування.

Інші розрахунки T_C, T_{BC}, K_G для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення наведені в таблиці 3.22.

Таблиця 3.22 – Розрахунки T_C, T_{BC}, K_Γ для різних законів розподілу на відмову і часу відновлення

Закон розподілу напрацювання на відмову Закон відновлення		Гама, $\Gamma(\alpha, \beta)$		Релея, $R(\lambda)$		Експоненціальне, $Exp(\lambda)$		Усічене нормальне, $TN(m_0, \sigma_0)$		Вейбула, $W(\alpha, \beta)$	
		Наявність тимчасового резервування									
		Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні	Є	Ні
Гама, $\Gamma(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	266	200	227,8	170	170,6	125	202,4	150	270,9	203,8
	T_{BC}	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10	1,4	10
	K_Γ	0,995	0,952	0,994	0,952	0,991	0,952	0,993	0,952	0,995	0,953
Релея, $R(\lambda_1)$	T_C	245	200	209,2	170	155,3	125	185,3	150	249,7	203,8
	T_{BC}	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10	6,35	10
	K_Γ	0,975	0,952	0,97	0,952	0,96	0,952	0,967	0,952	0,978	0,953
Експоненціальне, $Exp(\lambda_1)$	T_C	235,7	200	200,9	170	148,9	125	177,8	150	240,1	203,8
	T_{BC}	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5	4,48	7,5
	K_Γ	0,98	0,96	0,975	0,964	0,97	0,964	0,975	0,964	0,982	0,965
Усічене нормальне, $TN(m_0^B, \sigma_0^B)$	T_C	272,0	200	232,4	170	172,8	125	205,9	150	277	203,8
	T_{BC}	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2	5,99	10,2
	K_Γ	0,978	0,95	0,975	0,95	0,966	0,95	0,972	0,95	0,979	0,952
Вейбула, $W(\alpha_1, \beta_1)$	T_C	241,8	200	206,2	170	152,8	125	182,5	150	246,3	203,8
	T_{BC}	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9	6,2	9
	K_Γ	0,975	0,957	0,971	0,957	0,961	0,957	0,967	0,957	0,976	0,958

Значення напрацювання на відмову і дисперсії цих напрацювань для різних законів розподілу були підібрані таким чином, щоб величина $M + \sigma \approx const$

Звідки видно, що саме через це значення середнього напрацювання на відмову і коефіцієнти готовності для різних законів розподілу напрацювання на відмову суттєво відрізняються.

На рис. 3.13 приведені значення напрацювання на відмову для різних законів при тимчасовому резервуванні роботи системи.

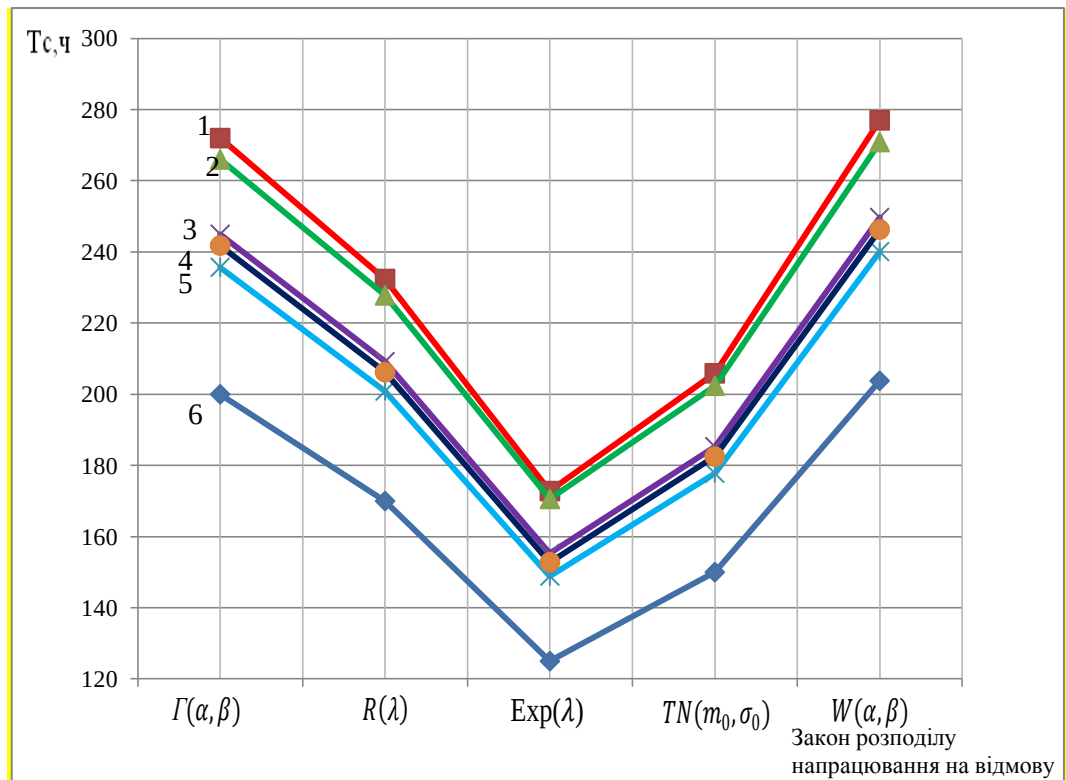


Рисунок 3.13 – Змінення середнього часу напрацювання на відмову при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Умовні позначення:

- 1 – функція усіченого нормального розподілу, часу на відновлення, $TN(m_0, \sigma_0)$;
- 2 – функція розподілу часу на відновлення, $\Gamma(\alpha, \beta)$;
- 3 – функція розподілу часу на відновлення Релея, $R(\lambda)$;
- 4 – функція експоненціального розподілу часу на відновлення, $Exp(\lambda)$;
- 5 – функція розподілу часу на відновлення Вейбула, $W(\alpha, \beta)$;
- 6 – значення середнього часу напрацювання на відмову без тимчасового резервування.

Зміна значень коефіцієнту готовності K_r при різних законах напрацювання на відмову і часу на відновлення при тимчасовому резервуванні наведені на рисунку 3.14.

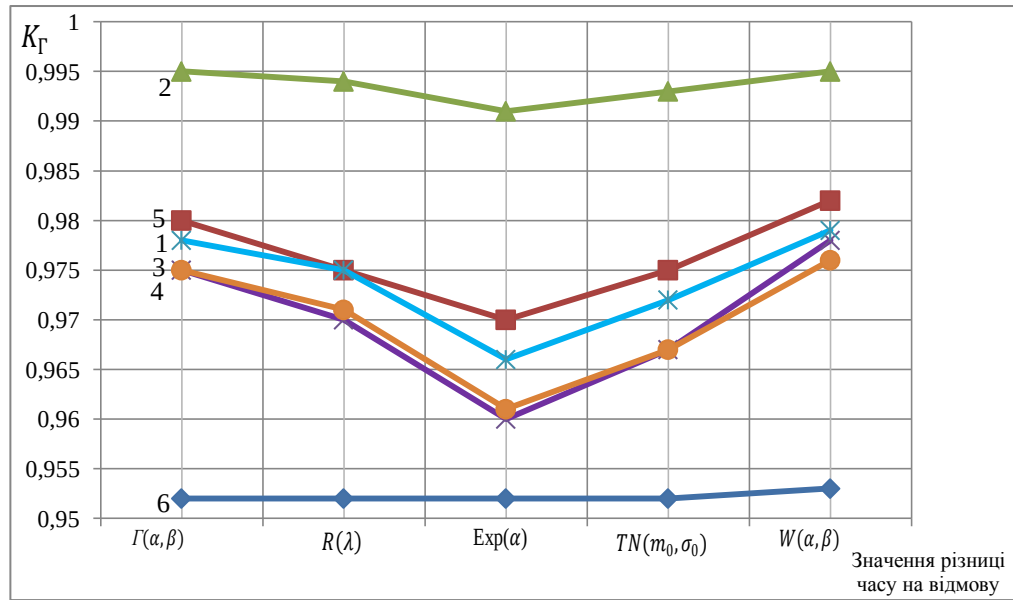


Рисунок 3.14 – Зміна K_r при різних законах розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні

Зміна часу на відновлення при різних значеннях розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні для різних законів розподілу напрацювання на відмову приведені на рисунку 3.12.

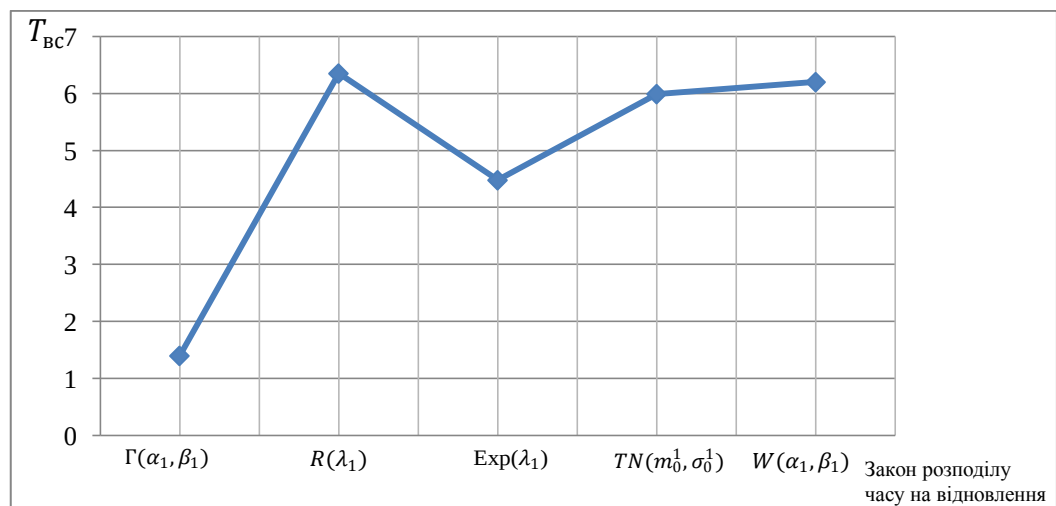


Рисунок 3.15 – Зміна часу на відновлення при різних значеннях розподілу часу на відновлення при тимчасовому резервуванні для різних законів розподілу напрацювання на відмову

Як видно з рисунку 3.13, середній час напрацювання на відмову суттєво залежить від закону розподілу часу на відновлення і закону

розподілу напрацювання на відмову. Причому найбільше значення середнього часу напрацювання на відмову досягається при усіченому нормальному розподілу часу на відновлення, а найменше – при експоненційному. Але, як видно з рисунку 3.14, коефіцієнт готовності має найбільше значення при гама-розподілі часу на відновлення, а найменше при розподілі Релея. За величиною T_C і K_T кращий варіант досягається при гама-розподілі часу на відновлення.

Час на відновлення T_{BC} досягає найменшої величини також при гама-розподілі часу на відновлення.

В усіх випадках розподілу часу на відновлення і часу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні поліпшуються показники T_C, T_{BC}, K_T .

3.8 Розрахунок оптимальних розмірів запасів для ремонтного господарства депо

Формалізуємо поставлені задачі в пункті 2.8 і введемо наступні позначення:

c – ціна одиниці замовленої продукції, що постачає даний постачальник;

v – ціна одиниці замовленої продукції, яка опинилася в надлишку (при цьому $0 \leq v \leq c$);

K – витрати, пов'язані з оформленням додаткового замовлення при виникненні такої необхідності;

$p_x(j)$ – ймовірність того, що з партії в x одиниць заказаної продукції j одиниць продукції виявляться непридатними для використання за результатами технічної перевірки ($p_x(j) < 1$).

Припустимо, що необхідне число справних (придатних для використання) одиниць продукції дорівнює N , а замовлення оформляється на x одиниць продукції ($x \geq N$). Якщо несправними виявляються j одиниць продукції, причому $j \leq x - N$, то потреби депо будуть виконані, але $N - (x - j)$

одиниць продукції залишаються не використаними. Якщо $j > x - N$, то невиконані потреби депо складуть $N - (x - j)$ одиниць продукції.

Таким чином, при $j > x - N$ буде потрібне повторне замовлення. При цьому завдання прийняття рішення носить такий же характер, що і в попередньому варіанті. Різниця полягає лише в тому, що тепер потрібне менше число одиниць продукції. У будь-якому випадку для прийняття рішення необхідна інформація щодо попередньої партії одиниць продукції, яка дозволяє визначити, яка кількість справних одиниць продукції потрібна депо додатково. Таким чином, відповідною змінною, що характеризує задовільнення депо, є додаткове число справних одиниць продукції, в яких депо відчуває потребу.

Оптимальною є стратегія, при якій мінімізуються очікувані сумарні витрати на повне задоволення потреб депо в одиницях продукції. Позначимо через n необхідне число одиниць продукції і проаналізуємо, чому будуть дорівнювати витрати, якщо замовити x одиниць продукції. При цьому з повної вартості x одиниць продукції потрібно відняти математичне очікування вартості несправних одиниць продукції, так як вони повертаються заводу-постачальнику за умовами компенсації. Якщо ж число несправних одиниць продукції виявиться настільки незначним, що потреби депо будуть повністю задоволені і навіть залишаться надлишки справних одиниць продукції, слід врахувати скорочення очікуваних сумарних витрат на величину вартості невитрачених одиниць продукції. Якщо ж число несправних одиниць продукції виявиться занадто великим і тому доведеться робити додаткове замовлення, в сумарні очікувані витрати необхідно додати величину витрат при повному замовленні K , що помножена на ймовірність виникнення потреби в повторному замовленні. Аналогічно враховуються очікувані витрати при повторному виникненні потреб в справних одиницях продукції.

Таким чином, позначивши через $f(n)$ мінімальні очікувані витрати в разі, коли потрібно n справних одиниць продукції, матимемо [64]

$$f(n) = \min_{x \geq n} \left\{ c \left[x - \sum_{j=0}^x j p_x(j) \right] - v \sum_{j=0}^{x-n} (x-n-j) p_x(j) + \sum_{j=x-n+1}^x [K + f(n-x+j)] p_x(j) \right\} \quad (3.13)$$

Значення $x(n)$, що визначає $f(n)$, представляє оптимальний розмір партії одиниць продукції. Послідовність $x(n)$, для $n=1, 2, 3, \dots, N$ представляє оптимальне правило для прийняття керуючого рішення. Якщо необхідно N одиниць продукції, то послідовно обчислюються $f(n)$ для $n=1, 2, 3, \dots, N$. Після спрощень співвідношення (3.11) приводиться до вигляду, зручного для отримання чисельного рішення

$$f(n) = \min_{x \geq n} [1 - p_x(x)]^{-1} \left\{ c \left[x - \sum_{j=0}^x j p_x(j) \right] - v \sum_{j=0}^{x-n} (x-n-j) p_x(j) + K \sum_{j=x-n+1}^x p_x(j) + \sum_{j=x-n+1}^{x-1} f(n-x+j) p_x(j) \right\} \quad (3.14)$$

в якому виключений член, що дорівнює $n=1$.

Прийmemo біномінальний розподіл виявлення несправних одиниць продукції [63, 18]

$$p_x(j) = \frac{x!}{j!(x-j)!} p^j (1-p)^{x-j}, \quad j = 0, 1, \dots, x, \quad (3.15)$$

де p представляє ймовірність виявлення несправної одиниці продукції. Тоді оптимальні розміри партії одиниць продукції $x(n)$, коли потрібно n одиниць продукції, наприклад, для випадків $p = \frac{1}{4}$, $p = \frac{1}{2}$,

Наприклад, розрахунок $f(n)$ при $K = 50$, $p = \frac{1}{4}$, $C = 10$, $v = 0$, $n = 1$,

виконується таким чином

$$P_2(0) = \frac{2!}{0!2!} \left(\frac{1}{4}\right)^0 \left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}.$$

$$P_2(1) = \frac{2!}{1!} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{8}.$$

$$P_2(2) = \frac{2!}{2!0!} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{4} = \frac{1}{16}.$$

$$P_1(1) = \frac{1!}{1!0!} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{4} = \frac{1}{4}.$$

$$f(n=1) = \left[1 - \frac{15}{16}\right]^{-1} \left[10 \left[2 - \sum_{j=0}^{x=2} 0 \cdot \frac{9}{16} + 1 \cdot \frac{3}{8} + 2 \cdot \frac{1}{16}\right]\right] +$$

$$+ 50 \sum_{j=2}^{x=2} \frac{1}{16} + \sum_{j=1}^{x=1} (1 - 2 + 2) \cdot \frac{1}{4} = 19,3.$$

Аналогічно виконані інші розрахунки для заповнення таблиці 3.21.

Наведені розрахунки представлені у вигляді графічних залежностей на рисунках 3.16 та 3.17.

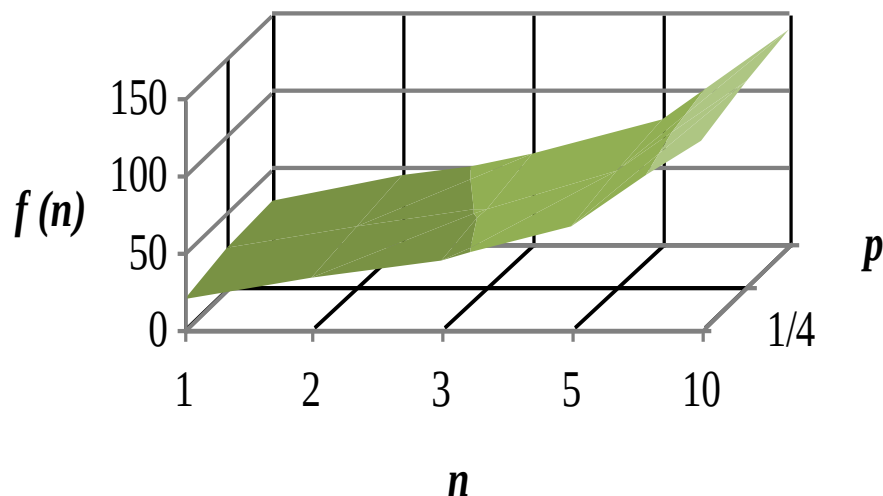


Рисунок 3.16 – Залежність функції витрат $f(n)$ від $n, x(n), p$ при $K=50$ у.е.

$p = \frac{3}{4}$, $K = 50$ у.о.і $K = 1000$ у.о., $C = 10$ у.о., $v = 0$ визначені в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23 – Визначення партій одиниць продукції

		$p = \frac{1}{4}$			$p = \frac{1}{2}$			$p = \frac{3}{4}$		
K	n	$x(n)$	$f(n)$	$f(n)-cn$	$x(n)$	$f(n)$	$f(n)-cn$	$x(n)$	$f(n)$	$f(n)-cn$
50	1	2	19,3	9,3	3	24,3	14,3	8	27,8	17,18
	2	3	33,5	13,5	6	38,3	18,3	13	42,7	22,7
	3	5	44,9	14,9	8	51,3	21,3	17	56,1	26,1
	5	8	68,3	18,3	12	75,7	25,7	26	80,9	30,9
	10	15	123,8	23,8	23	132,4	32,4	46	138,8	38,8
1000	1	4	34,0	24,0	7	43,1	33,1	17	50,4	40,4
	2	6	49,8	29,8	11	61,1	41,1	24	69,5	49,5
	3	8	64,4	34,4	13	76,7	46,7	30	86,2	56,2
	5	11	90,3	40,3	19	105,1	55,1	41	116,5	66,5
	10	19	151,7	51,7	31	170,5	70,5	67	184,5	84,5

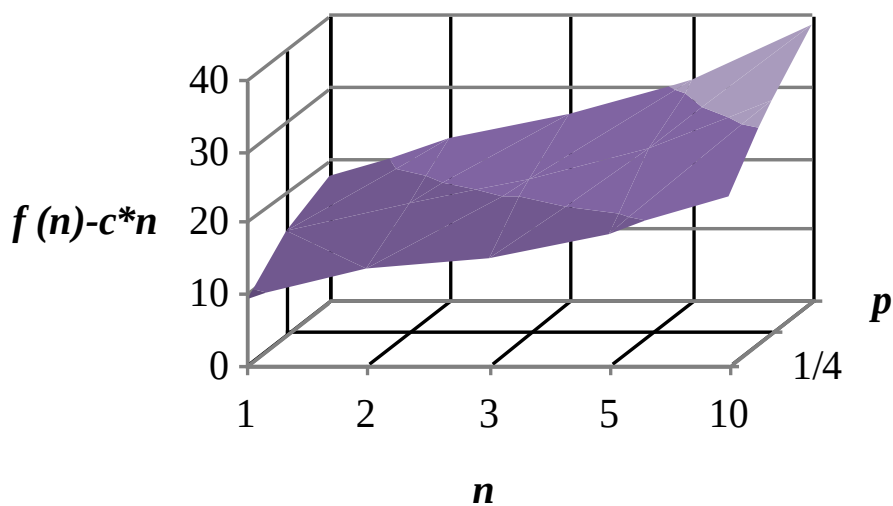


Рисунок 3.17 – Залежність гарантії постачальників $f(n) - cn$ від $n, x(n), p$ при $K=50$ у.е.

При збільшенні значень n, p, K значення $x(n)$ зростає. Зміна $x(n)$ в залежності від значень n і K при $p = \frac{1}{2}$ наведено в таблиці 3.24.

Таблиця 3.24 – Результати зміни партій одиниць продукції в залежності від значень n та K

		$p = \frac{1}{4}$		$p = \frac{1}{2}$		$p = \frac{3}{4}$	
K	n	$\bar{x}$	$x(n) - x$	$\bar{x}$	$x(n) - x$	$\bar{x}$	$x(n) - x$
50	1	1,33	0,66	2	1	4	4
	5	6,66	1,33	10	2	20	6
	10	13,33	1,66	20	3	40	6
1000	1	1,33	2,66	2	5	4	13
	5	6,66	4,33	10	9	20	21
	10	13,33	5,66	20	11	40	27

Якщо розмір замовленої партії продукції дорівнює $\bar{x}$, то очікувана кількість продукції придатної для використання, дорівнює $(1-p)\bar{x}$. Отже, при $\bar{x} = \frac{n}{1-p}$, очікувана кількість справних одиниць продукції збігається з необхідною кількістю n . У розглянутому прикладі значення $x(n)$ завжди перевищує $\bar{x}$. Значення різниці $x(n) - x$, тобто гарантійної частки партії, наведені в таблиці 3.25. Як видно з розрахунку різниці $x(n) - x$ зі збільшенням зростає n .

Один із способів оцінити економічні наслідки невизначеності спираються на порівняння значень $f(n)$ та cn (мінімальні затрати в разі придбання n справних деталей). Різниця $f(n) - cn$ можна інтерпретувати як максимум того, що готове було заплатити депо за гарантію постачальника поставляти тільки справну продукцію значення $f(n) - cn$ для задачі, яка розглядається приведені в таблиці 3.23. Як видно, вказана різниця збільшується з ростом n, K, p а відношення $\frac{[f(n) - c \cdot n]}{n}$ із ростом n зменшується.

Наведені розрахунки (таблицях 3.23 та 3.24) представлені у вигляді графічних залежностей на рисунках 3.18 та 3.19.

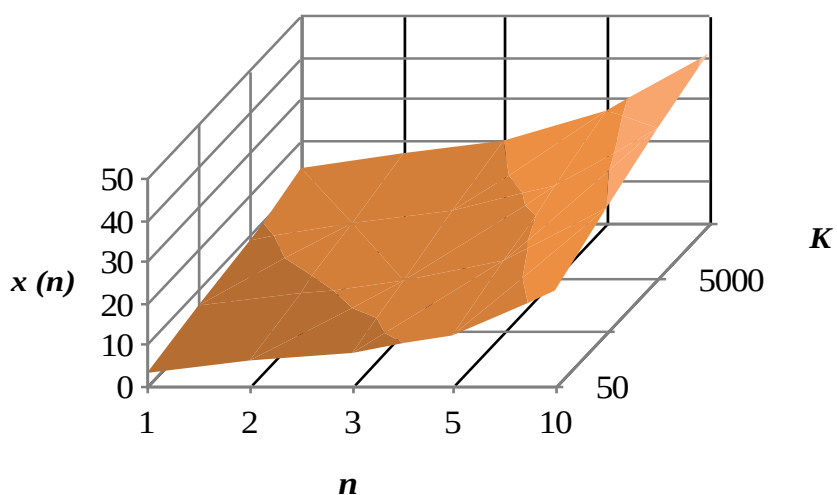


Рисунок 3.18 – Залежність величин замовлень $x(n)$ від n, p при $K=50$ у.е.

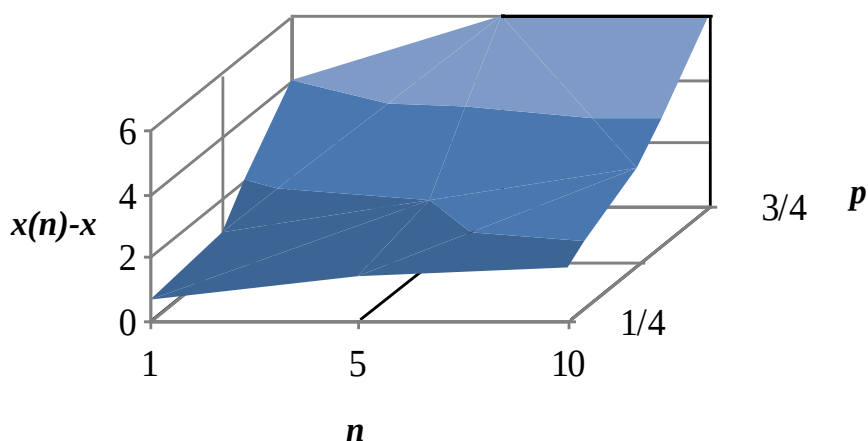


Рисунок 3.19 – Залежність гарантійної частки партії $x(n)-x$ від n, p при $K=50$ у.о.

3.9 Визначення критерію ефективності експлуатації ТРС

В умовах освоєння прискореного руху, переходу до запровадження системи організації ТО, ПР ПРС за технічним станом, неможливо забезпечити високу ефективність ТРС без залучення заводів і фірм з виробництва ТРС без переходу на взаємодію локомотивних депо і сервісних підприємств, які проводять моніторинг надійності ТРС і забезпечують

локомотивні депо запасними частинами і сучасними технологічними процесами.

З точки зору оцінки ефективності ремонтних підприємств це обумовлює необхідність створення автоматизованої систем управління надійністю ТРС і визначення узагальнюючого критерію ефективності.

В якості вихідних даних для розрахунку надійності і ефективності роботи обладнання ТРС необхідна така інформація:

знання виду функції розподілу часу роботи обладнання (окремої підсистеми) чи ТРС в цілому до відмови – $F(t)$; середнього часу роботи системи до відмови – T ; середнього часу на проведення планових ТО, ПР – $T_{пл}$; середнього часу на виконання позапланових ремонтів (НР) – T_B ; витрат на проведення ТО, ПР – $C_{на}$; витрат на проведення НР – C_B ; добутку від надання послуг на перевезення вантажів і пасажирів – Cq ; часу експлуатації ТРС до наступного ТО, ПР – t_0 .

Коефіцієнт готовності при аварійних замінах обладнання ТРС (проводяться тільки НР) можна визначити за формулою

$$K_{r_1} = \frac{T}{T + T_B}, \quad (3.16)$$

де T – середній час роботи до відмови обладнання і систем ТРС;

T_B – час на відновлення обладнання і систем ТРС під час проведення НР.

При стратегії виконання планово-попереджувальних робіт і виникненні НР коефіцієнт готовності згідно з [3] визначається за формулою

$$K_{r_2} = \frac{1}{1 + (T_B - T_{пл})\lambda(t)}, \quad (3.17)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмови обладнання за час t .

Помножимо чисельник і знаменник на T_i , маючи на увазі співвідношення $\lambda(t) = \frac{1}{t}$ і отримаємо наступний вираз

$$K_{r_2} = \frac{T}{T + T_B - T_{пл}} \quad (3.18)$$

Звідси зрозуміло, що діюча планово-попереджувальна система ТО, ПР ТРС дозволяє досягти більш надійної роботи обладнання, чим попередня.

Стратегія поєднання планово-попереджувальної системи ТО, ПР ТРС з проведенням вимушених НР і проведення спеціальних діагностичних процедур обладнання ТРС дає можливість покращувати надійність роботи ТРС в цілому. Згідно з цією стратегією коефіцієнт готовності можна оцінити за даними [3] за формулою

$$K_{r_3} = \frac{p(t)}{1 + (T_B - T_{пл}) f(t)}, \quad (3.19)$$

де $f(t)$ – щільність розподілу часу роботи систем ТРС до відмови.

Поділимо чисельник і знаменник на $p(t)$ і отримаємо вираз

$$K_{r_3} = \frac{1}{p^{-1}(t) + (T_B - T_{пл}) \frac{f(t)}{p(t)}} \quad (3.20)$$

або

$$K_{r_3} = \frac{1}{p^{-1}(t) + (T_B - T_{пл}) \lambda(t)} \quad (3.21)$$

В знаменнику формули (3.20) значення $p^{-1}(t) \geq 1$, тобто $K_{r_3} \succ K_{r_2} \succ K_{r_1}$.

Критерієм надійності нерезервованих відновлювальних систем, до яких відноситься ТРС, є функція готовності $K_r(t)$ або імовірність того, що будь-яка система готова до роботи в будь-який момент часу t [4].

Для випадку постійності інтенсивності відмов λ і інтенсивності відновлення систем ТРС μ функцію готовності можна представити у вигляді [3, 4]

$$K_r(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (3.22)$$

Маючи на увазі, що $\lambda = \frac{1}{\bar{T}}$, $\mu = \frac{1}{\bar{T}_B}$, де $\bar{T}$ і $\bar{T}_B$ відповідно середні значення наробітку на відмову і часу відновлення, перетворимо вираз (3.22) у вигляді

$$K_r(t) = \frac{\frac{1}{\bar{T}_B}}{\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}} + \frac{\frac{1}{\bar{T}}}{\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}} e^{-\left(\frac{1}{\bar{T}} + \frac{1}{\bar{T}_B}\right)t} \quad (3.23)$$

або

$$K_r(t) = K_r + (1 - K_r) e^{-\frac{t}{\bar{T}_B \times K_r}} \quad (3.24)$$

Цей вираз є зручним для оцінки динаміки зміни готовності систем ТРС у часі. Але разом з цим в повній мірі не відображає комплексного характеру оцінки ефективності роботи систем ТРС.

Доцільно ввести критерій приведених витрат, який враховує час і динаміку витрат на ТО,ПР ТРС, і оцінювати ефективність роботи систем ТРС у наступному вигляді

$$E = \frac{K_r(t)}{\bar{C}} \rightarrow \max, \quad (3.25)$$

де $\bar{C}$ – приведені середні витрати на проведення заходів з організації утримання ТРС

$$\bar{C} = \frac{\sum C_{\phi i}}{\sum C_i}. \quad (3.26)$$

Тут $\sum C_{\phi i}$ представляє собою фактичні сумарні витрати на проведення ТО,ПР ТРС за деякий час експлуатації ТРС, а $\sum C_i$ - сумарні витрати при ідеальних умовах експлуатації ТРС. Як показує практика, відхилення $\sum C_{\phi i}$ від $\sum C_i$ може досягати діапазону $0,8 \div 2,0$ [5].

При цьому час на проведення НР T_B можна оцінити за виразом

$$T_B = \bar{T}_{HB} + \alpha t, \quad (3.27)$$

де $\bar{T}_{HB}$ – середні витрати на проведення відновлення роботи обладнання ТРС;

α – коефіцієнт зростання витрат на проведення відновлення обладнання ТРС за час експлуатації t , $\frac{1}{2}$.

Для обчислення α треба приймати до уваги, що з часом напрацювання час проведення відновлення обладнання ТРС зростає. Так за статистичними даними це зростання може перевищувати нормативне значення на 30 % [5].

Згідно викладеного розглянемо на прикладі визначення оцінки ефективності роботи ТРС за таких умов

$$O < T < 10 \times 10^3 \text{ км}$$

(при v_q - дільничній швидкості 42 км/год. $O < T < 240$ г.);

$$\bar{T}_{HB} = 10 \text{ г.}; \alpha = 0,005; 0,8 < \bar{C} < 2; 0,8 < K_r < 0,95.$$

Оскільки цільова функція достатньо складна, розрахунки проведені для трьох випадків, що відповідають стратегії проведення ТО, ПР ТРС: $K_{Г1} = 0,8$; $K_{Г2} = 0,9$; $K_{Г3} = 0,95$;

На рисунку 3.20 наведені графічні залежності $E = f(K_{Г}, t, \bar{C}, \alpha, T_{HB})$

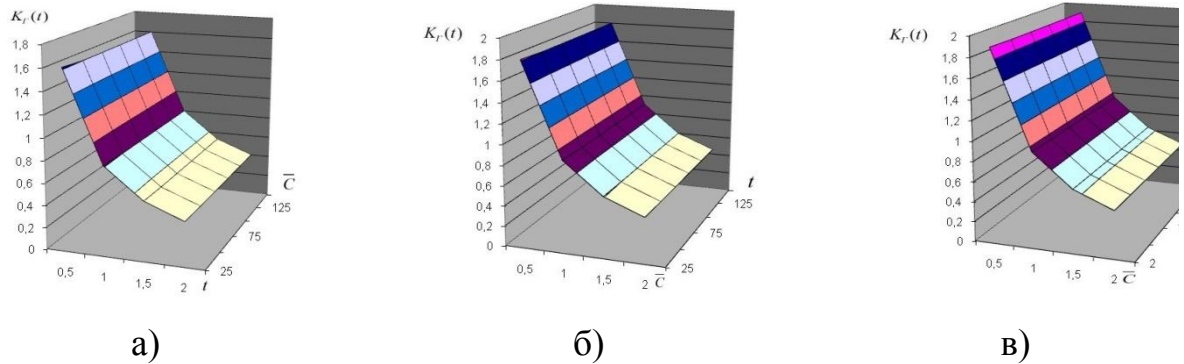


Рисунок 3.20 – Динаміка ефективності ТРС при а) $K_{Г} = 0,8$; б) $K_{Г} = 0,9$; в) $K_{Г} = 0,95$.

Отримані залежності динаміки зміни приведеної ефективності $E = f(K_{Г}, t, \bar{C}, \alpha, T_{HB})$ є основою запровадження адаптивних процедур корегування ТО, ПР ТРС під час експлуатації, в тому числі і при подовженні терміну експлуатації.

Висновки до розділу III

Згідно отриманих графічних залежностей в різному ступені спостерігається зростання часу відновлення надійності обладнання для різних законів відмов і навпаки протилежна динаміка зміни коефіцієнту готовності. Слід відмітити, що отримані при цьому співвідношення дозволяють визначати не тільки показники надійності системи, але і розраховувати оптимальну періодичність і терміни проведення ТО з метою підтримки надійності системи.

1. Створення резервів ремонтних бригад підвищує ймовірність виконання заявок на обслуговування в більшому діапазоні інтенсивності надходження заявок. Так при $K = 7$, $\delta = 5$ зменшення роботи в діапазоні

$\Delta\lambda = 0,25 \div 2$ складає $\Delta P_{\text{обс}} = 0,1$, а при $K = 7$, $\delta = 2$ в цьому ж діапазоні $\Delta P_{\text{обс}} = 0,5$ або вдвічі погіршується $P_{\text{обс}}$

2. Середній час простою в ТО, ПР в залежності від $(R + t_3)$ має тенденцію зменшення, причому незалежно від $m_{\text{л}}$ настає період коли $T_{\text{ср}}$ майже не змінюється, що пояснюється дуже повільною зміною t_3 . Разом з цим більш значний $m_{\text{л}}$ стабілізація починається раніше.

3. Зони ефективності і абсолютні значення величини ΔC показують, що з ростом експлуатаційних витрат потрібні більші капітальні вкладення в забезпечення універсальності ремонтного фонду локомотивного депо.

4. В умовах коливання динаміки витрат на утримання локомотивного парку депо доцільно створення спеціалізованих сервісних центрів, які проводять моніторинг організації ТО, ПР, витрат на них і спроможні значно покращити показники використання ПРС і скоротити витрати на ТО, ПР ПРС.

5. Значення коефіцієнту готовності суттєво залежить від виду закону розподілу напрацювання на відмову і виду закону розподілу часу на відновлення. Найменше значення досягається при розподілі напрацювання на відмову за експоненціальним законом і розподілу часу на відновлення Релея. Фактор, що впливає на цей показник є середнє напрацювання на відмову, яка найменша саме при експоненціальному розподілі напрацювання на відмову. Тобто тимчасове резервування дозволить підвищити надійність роботи обладнання ПРС, що позитивно впливає на ефективність роботи ПРС в цілому.

6. В умовах переходу галузі на принципи сервісного обслуговування слід враховувати вплив ряду наведених чинників в пункті 2.6 на величину витрат на забезпечення ремонтного господарства депо необхідним комплектуючим фондом, управління якістю і є можливість забезпечення гнучкого впливу на оптимізацію роботи ремонтних підрозділів.

7. Надійність роботи ТРС на пряму залежить від стратегії організації ТО, ПР, що виражається в зростанні коефіцієнта готовності. При

запровадженні стратегії ТО, ПР з моніторингом технічного стану і обов'язковим проведенням діагностичних обстежень досягається значне зростання приведеної ефективності використання ТРС і коефіцієнту готовності.

8. За час експлуатації ТРС проведення моніторингу зміни $E = \frac{K_r}{C}$ дозволяє впливати на формування оптимальної системи організації ТО, ПР.

РОЗДІЛ IV.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРС НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Підвищення ефективності і поліпшення якості роботи залізничного транспорту є важливою економічною задачею. Питання про доцільність створення і використання на залізничному транспорті нового рухомого складу, нових систем електропостачання і обладнання тягових підстанцій, реконструкції діючих підприємств та їх цехів, впровадження прогресивних технологічних процесів утримання та ремонту технічних засобів і інших заходів вирішується на основі результатів техніко-економічних розрахунків. Річний економічний ефект перелічених заходів представляє собою сумарну економію всіх видів виробничих ресурсів (живої праці, матеріалів, капітальних вкладень), що отримуються в результаті їх здійснення.

Задача визначення економічної ефективності впровадження ПРС вирішується за результатами аналізу техніко-експлуатаційних, натуральних і вартісних показників.

Капітальні вкладення, які враховують в розрахунках при визначенні ефективності впровадження ПРС складаються з капітальних вкладень в локомотивний парк, інфраструктуру локомотивного господарства, що передбачає переоснащення депо заводів.

Експлуатаційні витрати, які враховують в розрахунках, включають заробітну плату локомотивних бригад, витрати на ремонт ПРС, на екіпірування ПРС, амортизаційні відчислення на реновацію по парку ПРС, а також на утримання інфраструктури локомотивного господарства.

В третьому розділі приведений розрахунок ефективності запровадження адаптивної системи утримання ПРС, в даному розділі приведений розрахунок економічної ефективності від впровадження ПРС в процес перевезення пасажирів в умовах України.

Після аналізу техніко-експлуатаційних показників та виявлення переваги нового ПРС, його відповідність вимогам залізничного транспорту і

технічному озброєнню визначаємо капітальні і експлуатаційні витрати. Попередньо розрахуємо експлуатаційні показники використання рухомого складу.

Технічні та дільничні швидкості діючого і впроваджуемого ПРС зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні та дільничні швидкості діючого і впроваджуемого ПРС

Рухомий склад	Довжина ділянки, км	Загальний час руху по дільниці, год.	Технічна швидкість, км/год.	Дільнична швидкість, км/год.	Кількість пар поїздів, N
Електровоз ЧС2 (РС)	300	7	41	36,9	6
Електропоїзд EJ675 (ПРС)	300	4	75	67,5	2

Дільничну швидкість приймаємо $V_{дл} = 0,9V_T$

Повний оборот Ол визначається за формулою

$$O_{Л} = \frac{2L}{V_{уч}} + t_{осн} + t_{об} + Kt_{см}, \quad (4.1)$$

де L – довжина ділянки обертання, км;

$V_{уч}$ – дільнична швидкість;

$t_{осн}$ – час простою поїзда на станціях основного депо, враховуючи час на технічне обслуговування ТО-2, що приходить на один оберт, прийнято рівно 2 години;

$t_{об}$ – час простою поїзда на станціях, прийнято рівним 2,5 години;

$t_{см}$ – час простою поїзда в пунктах зміни бригад, прийнято рівним 20 хв.;

K – число змін за один оберт.

Відповідно значення повного обороту для пасажирського поїзда з електровозом і ПРС дорівнює

$$Q_{\lambda 1} = \frac{2 \cdot 300}{36.9} + 2 + 2.5 + \frac{20}{60} = 21, \text{ год.}$$

$$Q_{\lambda 2} = \frac{2 \cdot 300}{67.5} + 2 + 2.5 + \frac{20}{60} = 13.7, \text{ год.}$$

Потрібний інвентарний парк електровозів $M_{инв}$ складається з експлуатаційного парку M_e із локомотивів, які знаходяться в запасі $M_{зап}$, і локомотивів які знаходяться в ремонті $M_{рем}$

$$M_{инв} = M_e + M_{зап} + M_{рем}. \quad (4.2)$$

$$M_e = \frac{O_{\lambda}}{24} N, \quad (4.3)$$

де O_{λ} – оберт локомотива, год.

N – число пар поїздів за добу.

Відповідно кількість експлуатаційного парку РС і ПРС дорівнює

$$M_{\lambda 1}^{PC} = \frac{21}{24} 6 = 5,25 = 5$$

$$M_{\lambda 2}^{шПРС} = \frac{13.7}{24} 2 = 1.1 = 1$$

Число локомотивів що знаходяться в ремонті, визначається виходячи з середньодобового пробігу S_{λ} і питомого часу на ремонт t_p

$$M_{рем} = M_e S_{\lambda} t_p, \quad (4.4)$$

де S_{λ} – середньодобовий пробіг локомотива;

t_p – середній час простою в ремонті.

$$S_{\lambda} = \frac{48L}{O_{\lambda}}, \quad (4.5)$$

де L – довжина дільниці обертання, км;

O_{λ} – повний оберт дизель-поїзда.

$$t_p = \frac{t_{\text{КР-2}} + t_{\text{КР-1}} + t_{\text{ТР-3}} + t_{\text{ТР-2}} + t_{\text{ТР-1}}}{2400000}, \quad (4.6)$$

де $t_{\text{КР-2}}$, $t_{\text{КР-1}}$, $t_{\text{ТР-3}}$, $t_{\text{ТР-2}}$, $t_{\text{ТР-1}}$ – час простою на капітальних КР-1, КР-2 і поточних ТР-1, ТР-2, ТР-3 ремонтах, доба.

$$S_{\lambda 1} = \frac{48 \cdot 300}{21} = 686, \text{ км}$$

$$S_{\lambda 2} = \frac{48 \cdot 300}{13.7} = 1051, \text{ км}$$

$$t_p = \frac{20 \cdot 2 + 2 \cdot 15 + 3 \cdot 5 + 6 \cdot 3 + 152 \cdot 24}{2400000} = 9.9 \cdot 10^{-5}, \text{ доба/км}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок показників електропоїздів

Показники	Електропоїзди	
	РС	ПРС
1. Обороти ЕП, год	21	13,7
2. Число пар поїздів	6	2
3. Середньодобовий пробіг, км	686	1015
4. Інвентарний парк	6	2

Загальна ціна поїзда з електровозом при ціні локомотива Цл і середньої ціни одного вагона Цв і кількості вагонів Кв складає

$$C_{\text{пл}} = C_{\text{л}} + K_{\text{в}} C_{\text{в}} \quad (4.7)$$

Ціна електропоїзда EJ675 складає $U_{П2} = 19,9$ млн. Євро або $U_{П2} = 26$ млн. доларів.

1. Кількість витрат в локомотивному і вагонному парку

$$K_{\lambda 1} = U_{П1} \cdot M_{\Theta 1}^{PC} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ млн. дол.}$$

$$K_{\lambda 2} = U_{П2} \cdot M_{\Theta 2}^{ПРС} = 26 \cdot 2 = 52 \text{ млн. дол.}$$

$$K_B = U_B \cdot K \cdot n_1 = 0.25 \cdot 10 \cdot 6 = 15 \text{ млн. дол.}$$

2. Ефект від скорочення доставки пасажирів

$$\Delta K_{nac} = \frac{U_{KB}(П_1 + П_2)}{365 \cdot 24} \left(\frac{1}{V'_{уч}} - \frac{1}{V''_{уч}} \right) \cdot 365 \cdot 30, \quad (4.8)$$

де U_{KB} – середня ціна квитка, $U_{KB} = 230$ грн.

$П_1$ – пасажирський РС (туди і зворотно) $П_1 = 2K_{nac} \cdot n_1 = 2 \cdot 540 \cdot 6 = 6480$ пас.

$П_2$ – пасажирський ПРС (туди і зворотно)
 $П_2 = 2K_{nac} \cdot n_2 = 2 \cdot 656 \cdot 2 = 2624$ пас.

$$\Delta K_{nac} = \frac{230(6480 + 2624)}{1000000} \left(\frac{1}{36,9} - \frac{1}{67,5} \right) \cdot 365 \cdot 30 = -95,7 \text{ млн.грн.} = -3,68 \text{ млн.дол.}$$

В таблиці 4.3 приведені розрахунки капітальних витрат.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капітальних витрат

Витрати, млн. грн.	Поїзди	
	РС (млн.дол./млн.грн.)	ПРС (млн.дол./млн.грн.)
1. Капітальні витрати в локомотивний парк	30 (780)	52 (1352)
2. Капітальні витрати в вагонний парк	15 (390)	-

3. Ефект від прискорення доставки	–	-3,6 (95,7)
Всього млн.грн.	1170	1256,3

При визначенні експлуатаційних витрат знаходимо тільки ту частину витрат, яка змінюється в порівняльних варіантах. Розрахунок проводимо за укрупненими показникам.

Витрати на електроенергіє за оберти поїзда

$$A = \alpha_{\pi} \cdot (Q + P) 2L, \quad (4.9)$$

де α_{π} – питома витрата електроенергії на ділянці.

$$\alpha_{\pi 1} = \frac{2(3000 \cdot 1460) \cdot 10^{-3} \cdot 7}{(600 + 128) \cdot 2 \cdot 300} \cdot 10^4 = 1403.8 \text{ кВт*год./104 ткм}$$

$$\alpha_{\pi 2} = \frac{2(3000 \cdot 2200) \cdot 10^{-3} \cdot 4}{(284 + 172) \cdot 2 \cdot 300} \cdot 10^4 = 1929.8 \text{ кВт*год./104 ткм}$$

$$A_1 = [1403,8(600 + 128)2 \cdot 300] \cdot 1,1 = 67449,78 \text{ кВт*год.}$$

$$A_2 = [1929,8(284 + 172)2 \cdot 300] \cdot 1,1 = 58080 \text{ кВт*год.}$$

Сумарні грошові витрати на електроенергію

$$\Sigma A_1 = A_1 \cdot q_{\text{э}}, \quad (4.10)$$

де $q_{\text{э}}$ – тариф на електроенергію, $q_{\text{э}} = 2,10$ грн/кВт*год.

$$\Sigma A_1 = 6 \cdot 67449,78 \cdot 2,1 = 485638,4 \text{ грн.}$$

$$\Sigma A_2 = 2 \cdot 58080 \cdot 2,1 = 139392 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт

$$C_p = e_p \cdot S_{\text{л}} \cdot M_{\text{э}} \cdot 365, \quad (4.11)$$

де e_p – питомі витрати на ремонт на 1 км, грн. $e_p = 6,8$ грн.

$$C_{p1} = 6,8 \cdot 5 \cdot 366 = 6009360 \text{ грн.}$$

$$C_{p2} = 6,8 \cdot 1051 \cdot 1 \cdot 366 = 3068920 \text{ грн.}$$

Екіпірування

$$C_{\text{эк1}} = \frac{100 \cdot 686 \cdot 5 \cdot 365}{1000} = 150234 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{эк2}} = \frac{100 \cdot 1051 \cdot 1 \cdot 365}{1000} = 76723 \text{ грн.}$$

Витрати на змащувальні і обтирочні матеріали

$$C_{\text{зм}} = \frac{e_{\text{зм}} \cdot S_{\text{л}} \cdot M_{\text{э}} \cdot 365}{1000}, \quad (4.12)$$

де $e_{\text{зм}}$ – питомі витрати на змащувальні і обтирочні матеріали для локомотива на 1000 лок.км.

$$e_{\text{зм1}} = \frac{300 \cdot 686 \cdot 365 \cdot 5}{1000} = 225351 \text{ грн.}$$

$$e_{\text{зм2}} = \frac{300 \cdot 1051 \cdot 365 \cdot 5}{1000} = 115084,5 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання локомотивних бригад. Кількість локомотивних бригад визначаємо по формулі

$$N_{\text{бр}} = \frac{\Sigma MS_{\text{лин}}}{S_{\text{бр}} \cdot 12}, \quad (4.13)$$

де $\Sigma MS_{\text{лин}}$ – лінійний пробіг поїзних локомотивів за рік, км;

$S_{\text{бр}}$ – пробіг однієї бригади за місяць, км.

Лінійний пробіг поїзних локомотивів визначаємо по формулі

$$\Sigma MS_{\text{лин}} = 365 \cdot S_{\text{л}} \cdot M_{\text{л}}, \quad (4.14)$$

$$\Sigma MS_{\text{лин1}} = 365 \cdot 686 \cdot 5 = 1502340_{\text{лок.км.}}$$

$$\Sigma MS_{\text{лин2}} = 365 \cdot 1051 \cdot 1 = 767230_{\text{лок.км.}}$$

Місячний пробіг бригади визначається по формулі

$$S_{\text{бр}} = 2l \cdot k \quad (4.15)$$

де l – довжина шляху, км $l=300$ км;

k – кількість поїздок бригадою в місяць.

$$k = \frac{174,4}{\frac{2l}{V_{\text{діл}}} + t_{\text{нр}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{оч}}}, \quad (4.16)$$

де $t_{\text{нр}}$, $t_{\text{зд}}$ – час на прийняття і здачу локомотива, $t_{\text{нр}}=20$ хв.;

$t_{\text{оч}}$ – час очікування, $t_{\text{оч}}=1$ год.

$$k_1 = \frac{174,4}{\frac{2 \cdot 300}{36,9} + \frac{20}{60} + 1} = 9,9 = 10$$

$$k_2 = \frac{174,4}{\frac{2 \cdot 300}{67,5} + \frac{20}{60} + 1} = 17$$

$$S_{\text{бр1}} = 2 \cdot 300 \cdot 10 = 6000 \text{ км.}$$

$$S_{\text{бр2}} = 2 \cdot 300 \cdot 17 = 10200 \text{ км.}$$

$$N_{\text{бр1}} = \frac{1520340}{6000 \cdot 12} = 20.86 = 21 \text{ бр.}$$

$$N_{\text{бр2}} = \frac{767230}{10200 \cdot 12} = 6.26 = 7 \text{ бр.}$$

Витрати на утримання локомотивних бригад

$$C_{\text{лбр}} = e_{\text{лбр}} \cdot N_{\text{бр}}, \quad (4.17)$$

де $e_{\text{лбр}}$ — середньорічне утримання локомотивної бригади,
 $e_{\text{лбр}} = (5.65 \cdot 10^3) 20 = 113000 \text{ грн.}$

$$C_{\text{лбр1}} = 113000 \cdot 21 = 2373000 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{лбр2}} = 113000 \cdot 7 = 719000 \text{ грн.}$$

Відрахування на реновацію локомотивного і вагонного парків.
 Відрахування на реновацію електровоза

$$C_{\text{ел}}^{\text{рен}} = \alpha_{\text{рен}} \cdot K_{\text{л}} \cdot 10^{-2}, \quad (4.18)$$

де $\alpha_{\text{рен}}$ — норма амортизаційних відрахувань на реновацію електровозів,
 $\alpha_{\text{рен}} = 10\%$

$$C_{\text{ел}}^{\text{рен}} = 10 \cdot 780 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2} = 78000000 \text{ грн}$$

$$C_{\text{ваг}}^{\text{рен}} = \alpha_{\text{ваг}} \cdot K_{\text{в}} \cdot 10^{-2}. \quad (4.19)$$

$$C_{\text{ваг}}^{\text{рен}} = 10 \cdot 1256 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2} = 125000000 \text{ грн}$$

Розрахунки експлуатаційних витрат зведені в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Розрахунки експлуатаційних витрат

Витрати, грн.	Електропоїзди	
	РС	ПРС
Витрати на електроенергію	485638,4	139392
Витрати на ремонт	6009360	3068920
Витрати на екіпірування	150234	76723
Витрати на змащування	225351	115084,5
Утримання локомотивних бригад	2373000	719000
Амортизаційні відрахування на локомотивний парк	78000000	125000000
Амортизаційні відрахування на вагонний парк	58500000	-
Всього	1457535834	1291191195

Ефективність впровадження ПРС

Економічна ефективність впровадження визначається шляхом порівняння капітальних та експлуатаційних витрат

а) приведені витрати по варіантам визначаються по формулі

$$Z = C + E_n K, \quad (4.20)$$

де C – річні експлуатаційні витрати на виконання заданого об'єму робіт, тис.грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності: приймається рівним 0,15;

K – капітальні витрати тис.грн.

$$Z_1 = 1457435834 + 0,1 \cdot 1170 \cdot 10^6 = 1574435834$$

$$Z_2 = 1291191195 + 0,1 \cdot 1256 \cdot 10^6 = 1416821195$$

б) економічний ефект від впровадження в експлуатацію ПРС складе

$$\mathcal{E} = 1574435834 - 1416821195 = 157614639 = 157,61 \text{ млн.грн.}$$

В таблиці 4.5 приведені розрахунки економічного ефекту від впровадження ПРС замість РС.

Таблиця 4.5 – Розрахунок економічного ефекту від впровадження ПРС замість РС

Показники	Роки				
	2019	2020	2021	2022	2023
1. Річні витрати на експлуатацію до впровадження, млн.грн.	1457	1457	1457	1457	1457
2. Капітальні витрати на організацію перевезень пасажирів ПРС, млн.грн.	86,3	—	—	—	—
3. Річні витрати на експлуатацію після впровадження ПРС, млн.грн.	1291	1291	1291	1291	1291
4. Економічний ефект, млн.грн.	79,7	166	166	166	166
5. Коефіцієнт приведення	1,706	1,443	1,306	1,149	1
6. Приведені витрати, млн.грн.	135,96	239,5	216,8	190,7	166
7. Сумарний економічний ефект, млн.грн.	135,96	375,46	592,26	782,96	948,96

Висновки до розділу IV

Закордонний досвід ТО, ПР ПРС необхідно поступово впроваджувати в організацію ТО, ПР в Україні;

Найбільш ефективною системою організації ТО, ПР, ПРС є система з широким залученням бортові і стаціонарних систем контролю і діагностування ПРС;

Необхідно удосконалювати організацію ТО, ПР ПРС в умовах України.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання формування адаптивної системи утримання ПРС, який експлуатується в АТ «Укрзалізниця», шляхом: урахування технічного стану ПРС та удосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин.

Результати досліджень та моделювання дозволяють зробити такі висновки:

1. Отримано результати дослідження основних показників роботи та надійності ПРС в умовах існуючої системи утримання, які показують, що статистика зафіксованих відмов до 2019 року на один електропоїзд у приведенні на 1 000 км пробігу така: на ЕКр1 – «Тарпан» зафіксовано 1,6 відмов; на НRCS2 – 2,14; на EJ 675 – 2,25 (станом на 2018 рік), що не є задовільним.

2. Отримано оптимізаційну математичну модель адаптивної системи утримання ПРС, яка в якості цільової функції включає в себе сумарні витрати на проведення ремонтних заходів і систему обмежень з урахуванням технічного стану обладнання за даними з вбудованої системи діагностування ПРС, комплексу даних діагностичного обладнання в стаціонарних умовах депо і заходів, що забезпечують контроль і відновлення показників безпеки системи ПРС.

3. Визначено стратегії оптимальної взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників ремонтного фонду. Досягнення мінімальних очікуваних витрат на замовлення в різному ступені залежить від таких чинників: ймовірності виявлення несправної одиниці продукції, величини замовленої партії продукції та додаткових витрат при повторному оформленні замовником.

4. Визначено вплив організації ТО обладнання ПРС при різних законах розподілу їх відмов на надійність їх експлуатації. Для оцінки організації ТО обладнання ТРС доцільно визначити такі показники надійності: коефіцієнт

готовності, напрацювання на відмову і середній час відновлення. Відповідно до отриманих залежностей у різному ступені спостерігається зростання часу відновлення надійності обладнання для різних законів відмов і навпаки - протилежна динаміка зміни коефіцієнту готовності. Так, найкращі показники часу відновлення надійності обладнання та коефіцієнту готовності спостерігаються при гамма-законі розподілу відмов.

5. Проведено процедуру дислокації регіональних СЦ і закріплення за ними депо ПРС на основі аналізу технічного стану парку ПРС. Найкращим є варіант з організацією одночасно двох СЦ.

6. Проведено дослідження оцінки надійності роботи ремонтних підрозділів депо з ремонту ПРС за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад, для забезпечення виконання ТО, ПР приписного парку ПРС, а також ПРС з інших депо. Створення резервів ремонтних бригад підвищує ймовірність виконання заявок на обслуговування в більшому діапазоні інтенсивності надходження заявок. Так при $K = 7, \delta = 5$ зменшення роботи в діапазоні $\Delta\lambda = 0,25 \div 2$ становить $\Delta P_{обс} = 0,1$, а при $K = 7, \delta = 2$ у цьому ж діапазоні $\Delta P_{обс} = 0,5$ або вдвічі погіршується $P_{обс}$.

7. Визначено чинники, що впливають на забезпечення універсальності потужностей ремонтного господарства депо ПРС для створення можливості проведення ремонтних заходів для ПРС не тільки приписного парку депо, а і ПРС з інших депо. Для ремонтного господарства в усіх випадках вигідно пристосуватися до нового становища, тобто до універсальності ремонтного обладнання. Універсальність обладнання має дві переваги з точки зору початкових витрат. Вона зменшує витрати, пов'язані з пристосуванням до нових обставин, у всьому діапазоні, де в будь-якій формі відбувається це пристосування, і розширює в діапазоні, у якому має сенс пристосовуватися заново.

Приведені результати дослідження вказують на економічну ефективність запропонованої адаптивної системи утримання ПРС порівняно

з існуючою планово- попереджувальною. Так, з проведених розрахунків маємо, що при запровадженні адаптивної системи утримання ПРС на проведення одного ТО-3 витрачається на $1049,17 \times 10$ грн менше, а при проведенні ПР-1 менше на $2508,55 \times 10$ грн, а сумарний економічний ефект з урахуванням експлуатації за період п'яти повинен скласти 950,8 млн. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alinovi A., Bottani E., Montanari R. Reverse Logistics: A stochastic EOQ-based inventory control model for mixed manufacturing/remanufacturing systems with return policies. *International Journal of Production Research*. 2012. 50 (5), P. 1243–1264.
2. Аболмасов А.А. Статистические методы проверки достоверности исходных данных при диагностировании подвижного состава. *Транспортная инфраструктура Сибирского региона: труды пятой международной научно-практической конференции*, г. Иркутск : ИрГУПС, 2014. С. 542–548.
3. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей Москва: Транспорт, 1985. – 215 с.
4. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики. Киев: НАУ, 2004. 164 с.
5. Айзинбуд С.Я., Гутковский В.А., Кальперис П.И. и др. Локомотивное хозяйство. Москва: Транспорт, 1986. 263 с.
6. Алдохин И.П. Теория массового обслуживания в промышленности. Москва: Экономика, 1970. 207 с.
7. Александровская Л.Н., Афанасьева А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. Москва: Логос, 2003. 208 с.
8. Антоненко И.Н. Автоматизация управления ремонтом тягового подвижного состава. *Железнодорожный транспорт*. 2005. № 9. С. 52 – 55.

9. Бабков Ю.В., Перминов В.А., Белова Е.Е. Принципы усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта тепловозов 2ТЭ25А. *Локомотив*. 2013. № 9. С. 34 – 36.
10. Байнхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Москва: Радио и связь, 1988. 392 с.
11. Белинский А.А. Лакин И.К., Аболмасов А.А. Принцип «Встроенное качество» в информационных системах локомотиворемонтного комплекса. *Бюллетень результатов научных исследований*. 2015. № 3-4. С. 13 –28.
12. Беллман Р.Э. Динамическое программирование. Перевод с англ. под редакцией Н.Н. Воробьева. Москва: Издательство иностранной литературы. 1960. 420 с.
13. Беллман Р.Э., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. Перевод с англ. под редакцией А.А. Первозванского. Москва: «Наука» Главная редакция физико-математической литературы. 1965. 460 с.
14. Боднар Б.Є., Капіца М.І. Обґрунтування критерію ефективності функціонування ремонтного підрозділу депо промислового підприємства. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* (19.04 - 20.04.2012) : тези доповідей 72 Міжнародної науково-практичної конференції : Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені В. Лазаряна. 2012. С. 12
15. Боднар Б.Є., Капіца М.І., Коренюк Р.О. Структурно-функціональний аналіз системи ремонту рухомого складу промислових підприємств : *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. - Дніпропетровськ, 2012. Вип. 42. С. 70-79.
16. Бочаров В.М., Кузнецов С.М. Использование информации АПК «Борт» для изменения периодичности технического обслуживания (ТО-3) и текущего ремонта 150 маневровых тепловозов. *Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного*

- подвижного состава* : труды всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омск: ОмГУПС, 2011. С. 227–233
17. Буше Н.А. Некоторые соображения о технической политике в области эксплуатационной надежности . *Железные дороги мира*. 2006, № 7. С. 27 – 30.
 18. Вагнер С. Основы исследования операций. Москва: Мир, 1973. Том 3. 501 с.
 19. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.
 20. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Изд. Наука, 1969, 564 с.
 21. Власенко К.В., Грудкіна Н.С. Надійність технічних систем: методичні рекомендації до самостійної роботи студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю «Інформаційні технології проектування». Краматорськ: ДДМА, 2016. 41 с.
 22. Воробьев А.А. Оптимизация периодичности и объёмов плановых ремонтов ЭПС и прогнозирование его технического состояния: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. – Москва, 1992. 362 с.
 23. Воротилкин А.В. Преобразования локомотивного комплекса фундамент успешного развития. *Локомотив*. 2015. № 2. С. 2–3.
 24. Высокоскоростной наземный транспорт по странам. URL https://ru.wikipedia.org/wiki/Высокоскоростной_наземный_транспорт_по_странам
 25. Гапанович В.А., Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов. *Надежность*. 2011. № 1(36). С. 2– 8.
 26. Гнеденко Б.В., Ханчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятности. Москва: Наука, 1967. 406 с.
 27. Головаш А.Н. Проблемы и решения сервисного обслуживания локомотивов. *Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов*

: труды первой международной научнопрактической конференции. Москва: ООО «ТМХ-Сервис», 2014. С.141–143.

28. Горский А.В., Воробьёв А.А., Скребков А.В. Стратегия интеллектуального ремонта локомотивов. *Локомотив*. Москва: 2012, № 7. С. 56 - 59.

29. Горский А.В., Козырев В.А., Скребков А.В. Оптимизация сроков ремонта на основе интенсивности отказов. *Мир транспорта*. 201№ 5. С. 16 – 18.

30. Горюнова В. Кайдзен – система непрерывных улучшений. URL: <http://www.vigorconsult.ru/resources/kaydzen-sistema-nepreryivnyih-uluchsheniy/>

31. Грачев В.В., Валиев М.Ш. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления. *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2010, №1. С. 22 – 32.

32. Гриненко В.И., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным их бортовых микропроцессорных систем. *Железнодорожный транспорт*. 2015. № 4. С. 71–74.

33. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання. Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.

34. Давыдов Ю.А. Моделирование, оптимизация и контроль информационных потоков локомотивного депо. Хабаровск: ДВГУПС, 2001. 116 с.

35. Данько Н.И., Ломотько Д.В., Тартаковский Э.Д., Фалендыш А.П., Калабухин Ю.Е. Обновление подвижного состава с учетом жизненного цикла. *Железнодорожный транспорт*. 2011, №12. С.42-44.

36. Данько Н.И., Тартаковский Э.Д., Ломотько Д.В., Фалендыш А.П., Калабухин Ю.Е. Проблемы обновления подвижного состава железных дорог Украины и пути их совершенствования с учетом жизненного цикла. *Залізничний транспорт України*. 2011. №3. С.22-25.

37. Дацун Ю. М. Визначення ступеню впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2016. №1/7 (79). С 56-61.
38. Дацун Ю. Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. № 3(69). URL: <http://oaji.net/articles/2017/1555-1501053732.pdf>.
39. Дацун Ю.Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 1. С. 77-80.
40. Дистанционный контроль технического состояния электровозов НЭВЗ. Новочеркасск: Официальный сайт ЗАО «Локомотивные электронные системы» URL: <http://zaoles.ru/>.
41. Ерохин Е.А., Осинцев А.Н. Эволюция систем технического обслуживания и ремонта оборудования. *Организатор производства*. Воронеж, 2009. № 4. С. 37-41.
42. Євроінтеграція. URL <https://mtu.gov.ua/timeline/Evrointegraciya.html>
43. Жалкін Д.С. Удосконалення технології технічного обслуговування маневрових тепловозів. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*. Донецьк: ДонІЗТ, 2013. Вип. 36. С.148-152.
44. Житенёв Ю.А. Интеллектуальные системы на службе транспорту. *Локомотив*. Москва: 2010, № 7. С. 6-10.
45. Замышляев А.М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта: автореф. дис. ... доктора тех. наук. Москва. 2013.
46. Замышляев А.М. Технология анализа оценки рисков в эксплуатационной работе ОАО «РЖД» на основе показателей эксплуатационной надежности безопасности. *Ядерные измерительно-информационные технологии*. Москва: 2011 № 2. С. 86-100.

47. Иванова Н.Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте. *Локомотив*. 2007. № 8. С. 12–15.
48. Иньков Ю.М., Феоктистов В.П., Шабалин Н.Г. Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава магистральных железных дорог : учеб. пособие : под редакцией Ю.М. Инькова. Москва: МЭИ, 2011. 384 с.
49. Исикава К. Японские методы управления качеством. Москва: Экономика, 1988. 199 с.
50. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
51. Капіца М.І. Оцінка моделей технічного обслуговування та поточних ремонтів тягового рухомого складу при неповній інформації. *Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал*. 2013. № 3/4. С. 45-47.
52. Капіца М.І. Оцінка надлишковості в системі ремонту залізничного рухомого складу промислових підприємств. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (19.04 - 20.04.2012) : тези доповідей 72 Міжнародної науково-практичної конференції : Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені В. Лазаряна*. 2012. С. 13.
53. Капіца М.І., Коренюк Р.О. Комбінована система технічного обслуговування та ремонту локомотивів. *Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта : тези 71 междунар. науч.-практ. конф. (14.04.2011-15.04.2011) : Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Восточный научный центр транспортной академии Украины*. Днепропетровск, 2011. С. 46-47
54. Качество во главе угла. Официальный сайт газеты «Гудок» URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1359942> (дата обращения: 23.12.2016).

55. Киселёв В.И., Гапанович В.А., Лакин И.К. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава : Учеб. пособие под общей редакцией В.А. Гапановича Москва: ИРИС, 2012. 576 с.
56. Киселёв В.И., Лакин И.И. Опыт сервисного обслуживания локомотивов. *Железнодорожный транспорт*. 2014, № 4. С. 64 – 67.
57. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники. Москва: Советское радио, 1975. 472 с.
58. Колегаев Р.Н. Определение оптимальной долговечности технических систем. Москва: Советское радио, 1967. 112 с.
59. Компания Talgo на внутреннем и внешних рынках. *Железные дороги мира*. 2010. №3. С. 36-42.
60. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки. Київ, Укрзалізниця, 2008. 182 с.
61. Комплексная автоматизированная система управления железнодорожным транспортом : под редакцией Петрова А.П. Москва: Транспорт, 1977. 599 с.
62. Комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности. Москва: НИИАС. URL:<http://scbist.com/sistemy-centralizacii-iblokirovki/1570-kasant.html>
63. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Москва: Наука, 1978. 832 с.
64. Коссов Е., Бабел М., Шкода М. Анализ стоимости жизненного цикла (LCC) при оценке эффективности подвижного состава. *Вестник ВНИИЖТ*. 2013, № 6. С. 55 – 59.
65. Крашенинин А.С., Шапатина Е.А., Яковлев С.С. Оценка годности оборудования локомотивов при достижении после нормативного срока эксплуатации. *World science*. Poland. Warsaw, 2019, № 4 (44) Vol.1, С.16-29.
66. Крашенінін О. С., Гринів Ю. В., Максимов М. В. Методика оцінки терміну виробництва нового ТРС для заміни експлуатованого ТРС, ресурс

якого наблизився до граничного : *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2012. С. 247-250.

67. Крашенінін О.С. Вибір та оцінка параметрів системи утримання локомотивів. *Північно-східний науковий центр транспортної академії України*. УкрДАЗТ, 2014. Вип. 150. С. 121-124.

68. Крашенінін О.С. Вплив напрацювання локомотивів на коректування періодичності технічного обслуговування та поточного ремонту. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Вип. 1, 2015. С. 148-154

69. Крашенінін О.С., Клименко О.В., Яковлев С.С., Шпатіна О.О. Обґрунтування маневреності ремонтного господарства локомотивного депо. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2018. № 181. С. 15-23.

70. Крашенінін О.С., Костюченко М.М., Соколенко С.І. Обґрунтування резервів ремонтного господарства при переході на утримання ПРС. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків, 2016. Випуск 164. С. 170-177.

71. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у післянормативний період. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 167. С. 25-33

72. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у після нормативний період. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті : Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.)*. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 169 (додаток). С. 66-68

73. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Забезпечення ремонтного господарства депо оптимальним розміром запасів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєвєродонецьк, 2017. № 3. С. 95-100.

74. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Перспективи розвитку сервісного обслуговування рухомого складу в умовах ремонтних депо і підприємств України. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті* : Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.). *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 169 (додаток). С. 55-56
75. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П., Шапатіна О.О., Одегов М.М. Концепція розвитку і реструктуризації локомотивного депо : *Зб. наук. праць ДонІЗТ*. Донецьк: ДонІЗТ, 2011. С. 133-136.
76. Крашенінін О.С., Харламов О.П. Оцінка ефективності системи продовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку. *Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля*. Луганськ, 2012, № 3(174). С. 109-113.
77. Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Яковлев С.С. Обґрунтування системи утримання локомотивів при продовженні терміну експлуатації понад нормативний. *Актуальні питання сучасної науки* (частина II): V Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ 21-22 квітня 2019 р.). Київ: МЦНД, 2019. С. 24-25.
78. Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Яковлев С.С. Оцінка впливу тягово-енергетичних характеристик локомотивів на потужності ремонтного господарства *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: Збірник наукових праць за матеріалами IX-ї Міжнародної науково-практичної конференції, Сєвєродонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ (22-24 травня 2019 р.) Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 79-81.
79. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 174. С. 96-105.
80. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. *Інформаційно-керуючі системи на*

залізничному транспорті : Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ої міжнародної конференції. (м. Харків, 24-26 жовтня 2018 р.) *Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. 2018. №4 (додаток). С. 36-37

81. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (Львів 18-19 червня 2018 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2018.С. 59-60.

82. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у післянормативний період. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 167. С. 25-33.

83. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Вплив організації технічного обслуговування на ефективність експлуатації тягового рухомого складу. *Транспортні системи і технології*. Київ: ДУІТ, 2018 № 32. С. 103-114.

84. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О., Турубара О.О. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. № 5. С.10-22.

85. Кузнецов, Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей [Текст] / Е. С. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.

86. Кузнецов Е.С., Сорокин В.А. Исследование работы поточных линий технического обслуживания автомобилей. Москва: Транспорт, 1966, 83 с.

87. Лакин И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратнопрограмных комплексов. Москва: 2016. С. 11-42, 175-178.

88. Лакин И.И., Планово-предупредительный вид ремонта тягового подвижного состава с учётом его технического состояния *Эксплуатационная надёжность подвижного состава* : Материалы второй всероссийской

научно-технической конференции с международным участием. Омск: ОмГУПС, 2013. С. 23 – 27.

89. Лакин И.К. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта. *Транспорт РФ*. 2007. № 1. С.60 – 63.

90. Лакин И.К. Разработка теории и программно-технических средств комплексной автоматизированной справочно-информационной и управляющей системы локомотивного депо: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 Москва, 1997. 377 с

91. Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Модель управления рисками отказов локомотивов. *Мир транспорта*. 2013. № 4. С. 130 – 136.

92. Лакин И.К., Смирнов Ю.В., Тимченко А.Ю. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ. Москва: ОЦВ, 2002. 516 с.

93. Лебедев Ю.А., Овчинников Ф.Е., Ожаровский В.С. Сетевые модели при ремонте локомотивов. Москва: Транспорт, 1981. 254 с.

94. Лецкий Э.К., Тулупов Л.П., Шапкин И.Н., Самохвалов А.И. и др. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте. Москва: Транспорт, 2005. 407 с.

95. Липа К.В., Белинский А.А., Пустовой В.Н., Лянгасов С.Л., Лакин И.К. и др. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика. Москва: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. 212 с.

96. Липа К.В., Гриненко В.И., Лянгасов С.Л., Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Автоматизированная система управления надежностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис. Москва: ООО «ТМХ-Сервис», 2012. 160 с.

97. Липа К.В., Гриненко В.И., Лянгасов С.Л., Лакин И.К. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления. Москва: ООО «ТМХ-Сервис», 2013. 156 с.

98. Ломотько Д.В. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування великих динамічних систем залізничного транспорту : *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*: 2007. Т. 85. С. 25-34.
99. Луков Н.М., Космодамианский А.С. Автоматические системы управления локомотивов Москва: ГОУ «Учебнометодический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 429 с.
100. Макац В.Г., Яковлев С.С. Научные подходы к прогнозированию долговечности сложных технических систем транспорта. *Технические науки — от теории к практике*. Сборник статей по материалам XXXVI международной научно-практической конференции № 7 (32). Новосибирск: «СибАК», 2014. С. 86-93.
101. Мельников В.А., Аболмасов А.А., Лакин И.И. Алгоритмическая защита локомотивов. *Локомотив*. 2015. №3. С. 8 – 10.
102. Митрохин Ю.В., Алферов В.Ю., Катцын Д.В., Лакин И.К. Применение принципа постоянного улучшения на железнодорожном транспорте. Красноярск: ДЦВ Красноярской ж.д., 2010. 64 с.
103. Мозгалеvский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. Москва: Высшая школа, 1975. 207 с.
104. Мямлин В.В., Кутько А.В., Мямлин С.В., Кебал Ю.В. Особенности технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2010, № 5 (147). Частина 2. С. 86-96.
105. Наказ Укрзалізниці від 30.06.2010 р. № 093 – ЦЗ «Про затвердження Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів)».
106. Оголошення про проведення відкритих торгів : Капітальний ремонт в обсязі КР-1 двох електропоїздів EJ 675 Skoda. URL: [https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2019-07-01-001617-b?fbclid=IwAR09PIJ3sV12OZcX8iRS66K86A4F27AapcfgN1jU8xEomTVFWAdAarFCUEg].

107. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики (Применение вычислительных машин в исследованиях и управлении производством). Москва: Энергия, 1976. 464 с.
108. Перспективы оптимизации системы ремонта локомотивов. *Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов*. URL: <http://scbist.com/xx2/46917-11-2015-perspektivy-optimizacii-sistemyremonta-lokomotivov.html>
109. Политика SNCF в области подвижного состава и его технического обслуживания URL: <http://www.zdmira.com/arhiv/2010-god/zdm-2010-no-4#TOC-SNCF->
110. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
111. Пузанков А.Д. Методы расчёта и использования показателей надёжности в эксплуатации. Москва: МИИТ, 2004. 112 с.
112. Пузанков А.Д. Статистические методы обработки выборочных данных наблюдений или экспериментов. Методические указания. Москва: МИИТ, 2000, 52 с.
113. Пузанков А.Д. Управление качеством локомотивного хозяйства. Москва: МИИТ, 2009. 262 с.
114. Ровенський І.О., Зюмбровський О.В., Яковлев С.С. Оцінка працездатності об'єктів рухомого складу та інфраструктури залізничного транспорту за результатами прямих вимірювань. *Надійність та менеджмент якості. Залізничний транспорт України*. Київ, 2017. № 4. С. 46-51.
115. Розенберг В.Я., Прохоров А.И. Что такое теория массового обслуживания. Москва: Советское радио, 1965. 256 с.
116. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>

117. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. N 979-р «Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 - 2015 роки». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/979-2004-%D1%80>
118. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. Санкт-Петербург: Политехника, 2000. 248 с.
119. СВЛТР. Система мониторинга дислокации и технического состояния электровазов 2ЭС6 и 2ЭС10 (Синара). URL: <http://www.trans-ip.ru/svltr.html>.
120. Семенов А.П., Вайсбурд А.С., Головаш А.Н. На основе средств технического диагностирования и информационных технологий. *Железнодорожный транспорт*. 2012. № 7. С. 58 – 61.
121. Семченко В.В., Лакин И.К., Чмилев И.Е. Эксплуатация и техническое обслуживание электронных систем управления электровазов переменного тока. Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. 72 с.
122. Синкансэн – высокоскоростная сеть железных дорог в Японии. Материал из Википедии. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Синкансэн>
123. Система Kaizen на железных дорогах Швейцарии. URL: <http://www.zdmira.com/arhiv/2007-god/zdm-2007-no-03>
124. Скоркин В.Б., Аболмасов А.А. К вопросу об ожидании технического обслуживания локомотивов. *Наука МИИТа – транспорту*. Труды XII научнопрактической конференции. Москва: МГУПС, 2011. С. V-2.
125. СТК 1.10.010 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД». Термины и определения. Введ. 2009-10-01. Москва: ОАО «РЖД», 2009. 71 с.
126. СТК 1.10.011 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД» Основные принципы и положения. Введ. 2009-10-01. Москва: ОАО «РЖД», 2009. 50 с.

127. СТК 1.10.012 Корпоративная интегрированная система менеджмента качества ОАО «РЖД». Модель основных процессов. Введ. 2009-10-01. Москва: ОАО «РЖД», 2009. 50с.
128. СТК 1.10.013 Руководство по применению модели основных процессов. Введ. 2009-10-01. Москва: ОАО «РЖД», 2009. 71с.
129. Стрельников В.Т., Исаев И.П. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов. Москва: Транспорт, 1980, 207 с.
130. Сугак Е.В., Василенко Н.В. Надёжность технических систем. Красноярск: НИИ СУВПТ, 2000. 608 с.
131. Тартаковский Э.Д., Грищенко С.Г., Калабухин Ю.Е. и др. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография. Луганск: «Ноулидж», 2011. 174 с.
132. Тартаковський Е.Д., Устенко О.В., Крашенінін О.С. та ін. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці : *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 132. С. 5-11.
133. Тартаковський Е.Д., Чигирик Н.Д., Білецька Ю.В., Сумцов А.Л. Модель визначення ефективності технічної експлуатації тягового рухомого складу залізниць. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : Тези доповідей 73-ої міжнародної науково-практичної конференції, 23.05-24.05.2013. Дніпропетровськ: ДПТ, 2013. С.28-29.
134. Терёшина Н.П., Галабурда В.Г., Трихунков М.Ф. и др. Экономика железнодорожного транспорта. Москва: УМЦ ЖДТ. 2006. 801 с.
135. Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава во Франции : материалы компании SNCF. *Железные дороги мира*. 2011. № 3. С. 46–53.
136. Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава сторонними компаниями. *Железные дороги мира*. 2005. № 10. С. 47 – 51.
137. Техническое обслуживание подвижного состава в странах Европы URL: <http://www.zdmira.com/arhiv/2009/zdm-2009-no-4#TOC--5>

138. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. Москва: Машиностроение, 2003. 320 с.
139. Українська залізнична швидкісна компанія. URL http://intercity.uz.gov.ua/?page_id=25
140. Устенко М.О. Основні проблеми транспортної логістики. Проблеми транспортного комплексу України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2010. № 29. С. 236-238.
141. Ухарский В.Б. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям. Москва: Транспорт, 1990. 239 с.
142. Ушаков И.А., Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем. Москва: Радио и связь, 1985. 608 с.
143. Фалендиш А.П., Байков В.О., Клецька О.В. Атестація депо, як один із шляхів підвищення ефективності роботи моторвагонного рухомого складу : *Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ*, 2015. Вип.158. С.153-156.
144. Фалендиш А.П., Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Одегов М.М. Концепція розвитку і реструктуризації локомотивних депо : *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2011. 27. С. 133-136.
145. Фалендиш А.П., Сумцов А.Л., Білецький Ю.В. Модель оптимізації системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. № 207 (2). С. 45-49.
146. Феоктистов В.П., Тимченко А.Ю., Лакин И.К., Воробьев А.А., Горский А.В., Смирнов Ю.В. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством (АСУТ). Москва: МИИТ, 2001. 42 с.
147. Фирменное обслуживание подвижного состава. *Железные дороги мира*. 2005, № 5. С. 40 – 46.
148. Харламов П.О., Чигирик Н.Д., Сумцов А.Л. Порівняння критеріїв оцінки систем технічної експлуатації локомотивів. *Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи* :

Міжнародна науково-практична конференція логістичного управління та безпеки руху на транспорті (м.Трускавець, 11-17 квітня 2016г.). Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. С.174-176.

149. Харламов П.О., Шабанов Е.Л. Підвищення ефективності сервісного обслуговування поїздів метрополітену : *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 158(2). С. 149-152. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2015_158%282%29__29

150. Хинчин А.Я. Математические методы теории массового обслуживания. Москва: АН СССР, 1995. 123 с.

151. ЦТС на InnoTrans 2018. «Укрзалізниця» і Alstom підписали меморандум про взаєморозуміння з постачання електровозів. URL: <http://uga.ua/news/tsts-na-innotrans-2018-ukrzaliznitsya-alstom-pidpisali-memorandum-pro-vzayemorozuminnyya-z-postachannya-elektrovoziv/>

152. Чеські поїзди Skoda відремонтують на Україні URL: <http://sustainability.uz.gov.ua/2020/01/30/%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82/>

153. Четыркин Е.М. Теория массового обслуживания и её применение в экономике. Москва: Статистика, 1971. 103 с.

154. Шабалин Н.Г. Организация эксплуатации и технического обслуживания тягового подвижного состава с использованием современных – информационных технологий. Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук. Москва, МИИТ, 1999. 171 с

155. Шантаренко С.Г. Совершенствование технологической готовности технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава. Москва: Научная библиотека диссертаций и авторефератов.

156. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности. Москва: Советское радио, 1962. 553 с.

157. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.Н. Таблицы для анализа и контроля надёжности. Москва: Советское радио, 1968. 288 с.

158. Що привезли українські залізничники з InnoTrans 2018. URL: <https://info.uz.ua/articles/shcho-privezli-ukrainski-zaliznichni-z-innotrans-2018>

159. Яковлев С.С. Забезпечення технологічної надійності роботи підрозділів ремонтного господарства локомотивного депо. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2019 № 4. С. 27-39.
160. Basten R.J.I., van Houtum G.J. System-oriented inventory models for spare parts. *Surveys in Operations Research and Management Science*. 2014. № 19 (1), P. 34-55.
161. Cantos P., Pastor J., Serrano L. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways. *J. of Transport and Statistics*. 2000. № 3. P. 61–68.
162. Cohen M.A., Agrawal N., Agrawal V. Winning in the after market. *Harvard Business Review*. 2006. № 84(5), P. 129-138.
163. DeCroix G.A., Zipkin P.H. Inventory management for an assembly system with product or component returns. *Management Science*. 2005. № 51 (8), P. 1250–1265.
164. Dekker R Improving the management of spare parts stocks in the repair shop. *Omega (United Kingdom)*. 2015. 57 (01). P. 217-229.
165. Dwelk G., Habelmann D. Eisenbahntechnische Rundschau. 2005. 9. P. 519 – 525.
166. Feng Y., Viswanathan S. Heuristics with guaranteed performance bounds for a manufacturing system with product recovery. *European Journal of Operational Research*. 2014. № 232 (2), P. 322–329.
167. Fleischmann M., Bloemhof-Ruwaard J.M., Dekker R., Van Der Laan E., Van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove L.N. Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*. 1997. № 103 (1), P. 1–17.
168. Fleischmann M., Kuik R., Dekker R. Controlling inventories with stochastic item returns: A basic model. *European Journal of Operational Research*. 2002. № 138 (1), P. 63–75.
169. Garmabaki A.H.S., Ahmadi A., Block J., Pham H., Kumar U. Reliability A reliability decision framework for multiple repairable units. *Engineering and System Safety*. 2016. 150. P. 78-88.

170. Govindan K., Soleimani H., Kannan D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*. 2014. № 240 (3), P. 603-626.
171. Guide Jr., Srivastava R. Repairable inventory theory: Models and applications. *European Journal of Operational Research*. 1997. № 102 (1), P. 1-20.
172. Hughes M. Cost and capacity drive high speed train design. *Railway Gazette International*. 2010. № 5. P. 37–39.
173. Krasenin O., Ponomarenko O., Yakovlev S. Provision of the maintenance service of the depot with the optimal size of repair stocks. *Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects*. Theses of the international scientific conference on May 3-12, 2017, Dresden (Germany)-Paris(France).-Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2017. P. 96-97.
174. Krashenin O., Klymenko O., Ponomarenko O., Yakovlev S. (2018) Justification of statutory service life extension of locomotives on the basis of theory of aging. *International Journal of Engineering & Technology*. № 7 (43). P. 174-178.
175. Lomotko D., Alyoshinsky E., Zambrybor G. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*. 2016. 131 p.
176. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. Reliability analysis in railway repairable systems. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 2017. 34 (8). pp 1373-1398.
177. New technology center for temple mills train service Eurostar. *Railway Gazette International*. 2008. № 10. P. 820–821.
178. Rappold J.A., Van Roo B.D. Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity. *European Journal of Operational Research*. 2009. № 199 (3), P. 781-792.

179. Rodriguez M.A., Vecchietti A. Multicriteria optimization model for supply process problem under provision and demand uncertainty. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2011 50 (18). P. 10630-10642.
180. Song H., Schnieder E. Evaluating Fault Tree by means of Colored Petri nets to analyze the railway system dependability. *Safety Science* Volume 110, December 2018, P. 313-323.
181. Speranza M. Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*. 2018. P. 836.
182. Tartakovsky E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. System approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. *Studies in Systems Decision and Control. Ukrainian state university of railway transport*. 2017. № 87. P. 217-236.
183. Toporkova O.A., Zheludovych O.A. Logistics management in inventory system. *Proceedings of the Dnipropetrovsk National University of Railway*. 2014. № 7. URL: <https://doi.org/10.15802/pte.v0i7.32097>
184. Turki S., Hennequin S., Sauer N. Perturbation analysis for continuous and discrete flow models: A study of the delivery time impact on the optimal buffer level. *International Journal of Production Research*. 2013. № 51(13), P. 4011-4044.
185. V. Puzyr, Y. Datsun, O. Obozny. Design of algorithm for identification of locomotive electrical machine unit during repair. *International Journal of Engineering & Technolog*. Vol 7, No 4.3 (2018): Special Issue 3, P. 157-161. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19727/9154>
186. W. Kebler., S. Baumann, Glasers Annalen, 2004, Tagungsband SFT, Graz.
187. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності. 2011. 215 с.
188. Совершенствование системы и методов технического обслуживания и ремонта тепловозов. Труды ВНИИЖТ, вып. 637, 120 с.
189. Киселева И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс. Том 1, 2. Москва: 2014

190. Панченко С. В., Бабанін О. Б., Каграманян А. О., Дацун Ю. М. Теорія та конструкція рухомого складу високошвидкісного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 362 с.
191. Четвергов В.А., Киселев В.И., Данковцев В.Т. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов. Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. 2007. 558 с.
192. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки (затверджена Постановою КМУ від 16.12.2000 р. № 1390 зі змінами від 26.01.2011 р. № 1106);
193. Капиця, М. І., Коренюк Р. О. Стратегії експлуатації, технічного обслуговування та ремонту локомотивів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. Д., 2012. Вип. 40. С. 63-66.
194. Барзилович Е.Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. Москва: Советское радио, 1971. т. 8, С 272.
195. Галкин В.Г. Надежность тягового подвижного состава. Москва: Транспорт, 1981, 184 с.
196. Бондар Б.Є., Очкасов О. Б., Бондар Є. Б., Бобир Д.В., Очеретнюк М.В. Дослідження впливу системи обслуговування тепловозів на організацію роботи локомотивного депо. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2020 № 5 (89), с. 32-44.
197. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 702 с. ISBN: 5-94157-541-6.
198. Дослідження і визначення основних показників роботи і надійності електропоїздів HRCS2, EJ675з пробігом до 500 000 км. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації

Основні праці:

1. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у післянормативний період. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 167. С. 25-33.
2. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2017. № 174. С. 96-105.
3. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Забезпечення ремонтного господарства депо оптимальним розміром запасів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєвєродонецьк, 2017. № 3. С. 95-100.
4. Ровенський О.І., Зюмбровський О.В., Яковлев С.С. Оцінка працездатності об'єктів рухомого складу та інфраструктури залізничного транспорту за результатами прямих вимірювань. *Надійність та менеджмент якості. Залізничний транспорт України*. Київ, 2017. № 4. С. 46-51.
5. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Вплив організації технічного обслуговування на ефективність експлуатації тягового рухомого складу. *Транспортні системи і технології*. Київ: ДУІТ, 2018 № 32. С. 103-114.
6. Крашенінін О.С., Клименко О.В., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Обґрунтування маневреності ремонтного господарства локомотивного депо. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*: Харків, 2018. № 181. С. 15-23.
7. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О., Турубара О.О. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами.

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2018. № 5. С.10-22.

8. Яковлев С.С. Забезпечення технологічної надійності роботи підрозділів ремонтного господарства локомотивного депо. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 2019 № 4. С. 27-39.

9. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Дослідження впливу тимчасового резервування на надійність обладнання локомотивів. *Транспортні системи і технології*. Київ: ДУІТ, 2019 № 34. С. 4-18.

10. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Задесенець В.І. Обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020, № 4. С 10-14.

11. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Шапатіна О.О. Обґрунтування стратегії організації технічного обслуговування, поточного ремонту швидкісного рухомого складу в умовах України. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2021, № 3. С 7-11.

Публікації у виданнях інших держав:

12. Krashenin O., Klymenko O., Ponomarenko O., Yakovlev S. (2018) Justification of statutory service life extension of locomotives on the basis of theory of aging. *International Journal of Engineering & Technology*. № 7 (43). P. 174-178.(видання індексується в базі Scopus).

13. Крашенинин А.С., Шапатіна Е.А., Яковлев С.С. Оценка годности оборудования локомотивов при достижении посленормативного срока эксплуатации. *World science*. Poland. Warsaw, 2019, № 4 (44) Vol.1, С.16-29.

Праці апробаційного характеру:

14. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Перспективи розвитку сервісного обслуговування рухомого складу в умовах ремонтних депо і підприємств України. Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на

транспорті» (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.). *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. № 169 (додаток). С. 55-56.

15. Крашенінін О.С., Пономаренко О.В., Яковлев С.С. Визначення стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів у після нормативний період. Тези доповідей 79-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 25-27 квітня 2017 р.). *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. № 169 (додаток). С. 66-68.

16. Krashenin O., Ponomarenko O., Yakovlev S. Provision of the maintenance service of the depot with the optimal size of repair stocks. *Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects. Theses of the international scientific conference on May 3-12, 2017, Dresden (Germany)-Paris (France).*-Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2017. P96-97.

17. Крашенінін О.С., Яковлев С.С., Пономаренко О.В. Оцінка конкурентоспроможності швидкісного рухомого складу українського виробництва. *Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті*: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (м. Львів 18-19 червня 2018 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2018. С. 59-60.

18. Крашенінін О.С., Яковлев С.С. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ої міжнародної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». (м. Харків, 24-26 жовтня 2018 р.) *Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. 2018. № 4 (додаток). С. 36-37.

19. Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Яковлев С.С. Обґрунтування системи утримання локомотивів при продовженні терміну експлуатації понад нормативний. *Актуальні питання сучасної науки* (частина II): V Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ 21-22 квітня 2019 р.). Київ: МЦНД, 2019. С. 24-25.

20. Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Яковлев С.С. Оцінка впливу тягово-енергетичних характеристик локомотивів на потужності ремонтного господарства *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць за матеріалами IX-ї Міжнародної науково-практичної конференції, Сєвєродонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ (22-24 травня 2019 р.)* Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 79-81.

21. Бутько Т.В., Крашенінін О.С., Обозний О.М., Яковлев С.С. Впровадження ефективної системи утримання прискореного рухомого складу в умовах України *Прогресивні технології засобів транспорту* Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції (23-24 вересня 2021 р.) Харків – Миргород: УкрДУЗТ, 2021. С.59-60.

Відомості про апробацію результатів дисертації

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

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

International scientific conference «Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects» Dresden (Germany)-Paris(France), on May 3-12, 2017 (заочна участь);

міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті», м. Львів 18-19 червня 2018 р. (заочна участь);

30-й міжнародній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків, 24-26 жовтня 2018 р. (очна участь);

V-й Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної науки», м. Київ, 21-22 квітня 2019 р. (заочна участь);

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

першій міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології засобів транспорту» Харків – Миргород, 23-24 вересня 2021 р. (участь он-лайн на платформі Zoom).

Додаток Б

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Проректор з науково-педагогічної роботи

Українського державного університету
залізничного транспорту

А.О. Каграманян

2021 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Яковлева Сергія Сергійовича

на тему «Формування адаптивної системи

утримання прискореного рухомого складу» у навчальний процес

Українського державного університету залізничного транспорту

До основних результатів дисертації Яковлева С.С., які використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належить:

- формалізація системи утримання прискореного рухомого складу з урахуванням її адаптації до технічного стану рухомого складу;
- удосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин;
- визначення впливу організації технічного обслуговування обладнання прискореного рухомого складу на надійність його експлуатації при різних законах розподілу відмов;
- формування дислокації регіональних сервісних центрів і закріплення за ними депо прискореного рухомого складу;
- оцінка надійності роботи ремонтних підрозділів депо за критерієм оптимальної кількості ремонтних бригад для забезпечення виконання технічного обслуговування, поточного ремонту приписного парку прискореного рухомого складу, а також з інших депо;

- визначення чинників, що впливають на забезпечення універсальності обладнання ремонтного господарства депо для створення можливості проведення ремонтних заходів для прискореного рухомого складу не тільки приписного парку депо, а й рухомого складу з інших депо.

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

1. Під час підготовки бакалаврів усіх освітніх програм спеціальності «Залізничний транспорт» з дисципліни «Організація, планування та економіка виробництва», «Основи технології ремонту локомотивів», «Методологія інженерної та наукової роботи», «Надійність залізничного рухомого складу»;

2. Під час підготовки магістрів освітніх програм «Локомотиви та локомотивне господарство» та «Високошвидкісний рухомий склад» спеціальності «Залізничний транспорт»;

3. Під час виконання випускних кваліфікаційних робіт магістрів механіко-енергетичного факультету.

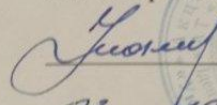
Завідувач кафедри експлуатації
та ремонту рухомого складу,
д.т.н., професор

В.Г.Пузир

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор філії «УЗШК»

АТ «Укрзалізниця»

 А.М. Уманець
03. 12 2021р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Яковлева Сергія Сергійовича

«Формування адаптивної системи

утримання прискореного рухомого складу»

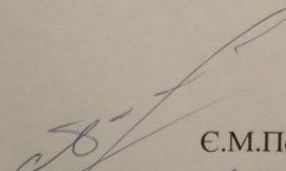
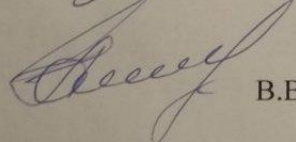
Комісія у складі: голова Уманець А.М., члени комісії: Попов Є.М. та Федорчук В.В. склали цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження Яковлева С.С. щодо оптимізації системи утримання прискореного рухомого складу на основі використання сучасних вбудованих систем діагностування окремого обладнання, а також діагностування в стаціонарних умовах ремонтного господарства депо, взято до уваги щодо впровадження в діюче Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу.

Члени комісії:

В.о заступника директора філії «УЗШК»

АТ «Укрзалізниця»

В.о. першого заступника директора
філії «УЗШК» АТ «Укрзалізниця»

 Є.М. Попов
 В.В. Федорчук