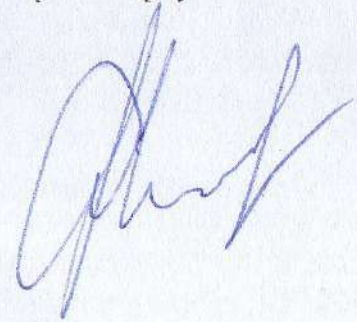


Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ЯКОВЛЕВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ



УДК 629.42

**ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ
ПРИСКОРЕНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Крашенінін Олександр Семенович,
Український державний університет
залізничного транспорту, кафедра
експлуатації та ремонту рухомого складу,
професор кафедри

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Горобченко Олександр Миколайович,
Державний університет інфраструктури та
технологій, факультет інфраструктури і
рухомого складу залізниць, в.о. декана

кандидат технічних наук, доцент
Очкасов Олександр Борисович,
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, кафедра локомотивів, доцент
кафедри

Захист відбудеться «17» грудня 2021 р. о 13³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: майдан Фейербаха 7, 61050, м. Харків

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

Автореферат розісланий «15» листопада 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.В.Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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;
- сформулювати 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 пропускної 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 оптимізаційної 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційного дослідження 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.

Як показали дослідження щодо аналізу основних показників роботи й надійності електропоїздів HRCS2 та EJ 675, 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, що також обумовлює актуальність дослідження.

В умовах загального погіршення технічного стану обладнання ПРС, який уже знаходиться на балансі парку АТ «Укрзалізниця», а також перспективи надходження нового сучасного тягового рухомого складу (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.

У нашій країні та за кордоном отримали розвиток наукові й прикладні розробки щодо удосконалення організації системи утримання ТРС. Направленість цих розробок спрямована на оптимізацію системи ТО і ПР ТРС, зниження витрат на підтримку технічного стану ТРС за рахунок переходу на обслуговування за технічним станом, впровадження систем автоматизації й діагностування в експлуатацію і ремонт ТРС та перехід до сервісного обслуговування ТРС.

Значний внесок у вдосконалення й підвищення ефективності утримання ТРС зробили 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., Калабухіна Ю.Є., Панченка С.В., Пузиря В.Г., Тартаковського Е.Д., Устенка О.В. та інших вчених.

За кордоном процедура створення та експлуатації ТРС носить комплексний характер взаємодії виробник – залізниця. Так, фірма «General Electric» (США) ставить перед собою задачі формування стратегії ТО і ПР відповідно до реальних витрат для кожної одиниці РС. Фірма «Alstom» (Франція) займається визначенням ефективності та економічності експлуатації РС за термін служби з урахуванням якості виконання ТО, стану інфраструктури й організації експлуатації. Результатом діяльності фірм «Ниппон Денс», «Тойота» є ефективна стратегія вибору технічних засобів і методів утримання РС за умови мінімізації показника вартості життєвого циклу (ЖЦ) виробу (product life cycle cost – LCC). Аналіз цих досліджень показав, що є невідкладною необхідність формування адаптивної системи утримання ПРС, який експлуатується на залізницях України.

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. Доцільність запровадження адаптивної системи утримання ПРС полягає в тому, що така технологія поєднує переваги використання сучасних вбудованих систем діагностування окремого обладнання, а також можливість проведення діагностування в стаціонарних умовах ремонтного господарства депо. Враховуючи, що задача формування адаптивної системи ТО, ПР має оптимізаційний характер, у якості цільової функції приймаються сумарні витрати на виконання планових ТО, ПР, позапланових (НР), а також витрат на діагностування обладнання ПРС в локомотивному депо. Відмови обладнання, які визначаються вбудованою системою діагностування ПРС, характеризуються раптовістю і невизначеністю часу відмови, тому для опису цих відмов використовувався експоненціальний закон розподілу відмов. А для обладнання, яке в процесі експлуатації зношується і одночасно на нього впливають інші фактори, використовувався закон Вейбулла-Гніденка.

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

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

Необхідно враховувати такі обмеження:

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

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 НР; $P_j(S)$ – ймовірність того, що за міжремонтний пробіг S виникне відмова j -го обладнання, що діагностується вбудованою системою діагностування електропоїзда; n_1 – кількість відмов обладнання, яке повинно контролюватися вбудованою системою діагностування і яке відновлюється за міжремонтний період S ; $H_i(S)$ – функція Хевісайда, яка приймає значення

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

m_i – кількість одиниць обладнання, для якого виконуються відновлювальні роботи на ТО-3; C_{HPi} – витрати на виконання заходів з відновлення i -го обладнання;

$P_i(S)$ – імовірність 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 $S_{зал.і}$ i -го обладнання; $C_{прот.лок.}^{ТО-3}$ – витрати, що пов'язані з проведенням планових заходів за технологією ТО-3.

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

$$Z_{ПР-1}^a = Z_{ТО-3}^a + C_{прот.лок.}^{ПР-1} \rightarrow \min \quad (3)$$

Реалізація пошуку оптимального значення витрат при запровадженні адаптивної системи утримання ПРС наведена в розділі III.

Із запровадженням ПРС в експлуатацію для ремонтних депо виникає необхідність проводити ремонтні роботи не тільки для ПРС приписного парку, а й для ПРС з інших депо, що передбачає забезпечення універсальності ремонтного обладнання в депо, коли депо ціною додаткових витрат здійснює заходи, які дозволяють адаптуватися до найрізноманітніших обставин експлуатації ПРС.

Відповідно до цього, розглянуто модель, у якій вибір обладнання здійснюється виключно між універсальним та не універсальним видами обладнання, що забезпечує виконання однакових функцій і вартість якого відповідно дорівнює c_1 та c_2 ($c_1 > c_2$). Витрати, пов'язані з відмовою від реорганізації ремонту, практично залежать тільки від стану ремонтної бази та стану РС. Тому можна привести у відповідність зі станом середовища дисконтовані втрати, що є різницею між експлуатаційними витратами при рішенні, заснованому на відмові від пристосування до організації ремонту, і витратами при рішенні про пристосування до організації ремонту.

У разі варіанта 1 сумарні дисконтовані витрати складуть

$$D_1 = c_1 + \int_0^{a_1} x dF(x) + \int_{a_1}^{+\infty} g_1(x) dF(x). \quad (4)$$

Відповідно вираз для варіанта 2 має такий вигляд

$$D_2 = c_2 + \int_0^{a_2} x dF(x) + \int_{a_2}^{+\infty} g_2(x) dF(x). \quad (5)$$

Оптимальне рішення відповідає найменшому з двох значень D_1 та D_2 .

Крім цього, для організації ТО, ПР не тільки приписного парку ПРС, а й, при необхідності, ПРС з інших депо необхідно обґрунтувати доцільність наявності

резервних ремонтних бригад. У якості цільової функції технологічної надійності ремонтної системи маємо

$$\theta = C_p \frac{\delta_p}{N} + a_p T_{cp} \rightarrow \min, \quad (6)$$

де C_p – заробітна плата одного виконавця із резервної бригади, грн/чол.; δ_p – число виконавців у резервній бригаді, осіб; N – програма ремонту за відповідний період, секцій; a_p – розрахункова вартість 1 год. простою ПРС в Р, грн/чол.; T_{cp} – середній час перебування ПРС в Р, годин.

Ще однією з необхідних вимог до створення адаптивної технології є поступовий перехід на сервісні принципи. Для цього розроблено алгоритм формування регіональних СЦ і закріплення за ними депо з ПРС. Роботу СЦ можна описати системою масового обслуговування (СМО) типу $M/M/V$. Модель обслуговування декількох депо групою СЦ можна представити n -канальною СМО типу $M/M/n^*$ (n -канальна СМО з пуасонівським вхідним потоком і експоненціальним розподіленням часу обслуговування) з дисципліною обслуговування $FIFO$ – обслуговування в порядку надходження заявок.

Для оцінки ефективності дислокації СЦ введено безрозмірний коефіцієнт навантаження цієї системи у вигляді

$$\rho = \frac{\Lambda}{\mu}, \quad (7)$$

Λ – інтенсивність заявок у зоні обслуговування, μ – інтенсивність обслуговування.

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{pyx} + \bar{t}_p} \quad (8)$$

де \bar{t}_{pyx} – середній час доставки ПРС до СЦ, \bar{t}_p – середній час ремонту ПРС.

Середній час очікування в такій системі

$$W = \frac{\Lambda}{\mu(\mu - \Lambda)} \quad (9)$$

Частота надходження заявок Λ і швидкість обслуговування μ залежать від радіуса зони обслуговування r . Для зони з радіусом r і рівномірним розподілом об'єктів на площі можна записати вираз для сумарної інтенсивності заявок у зоні як

$$\Lambda(r) = \lambda \pi r^2, \quad (10)$$

де λ – інтенсивність заявок Λ за годину на одиницю площі, а πr^2 – площа зони в тих же одиницях. Результати моделювання наведені в розділі III.

Ще однією умовою удосконалення системи утримання ПРС є визначення доцільності тимчасового резервування ремонтного обладнання в депо. Тимчасове резервування суттєво впливає на час напрацювання на відмову, час відновлення і коефіцієнт готовності, а також значно поліпшує ці показники на відміну від показників системи без тимчасового резервування.

У якості функції надійності резервованої системи утримання функція виду

$$H = f(n, \lambda_i, t, \mu_i, k, (\text{до}), m, (\text{вр}), (\text{ср}), (\text{ус})) \quad (11)$$

де μ_i – інтенсивність відновлення елементів, k – число обслуговуючих бригад, (до) – дисципліна обслуговування, m – кратність резервування, (вр) – вид резервування, (ср) – спосіб реалізації, (ус) – умови експлуатації.

Крім цього, запровадження принципів сервісного обслуговування передбачає врахування необхідності нової стратегії переходу від нерациональних форм взаємодії постачальник запасних частин – залізниця згідно з рис.1.

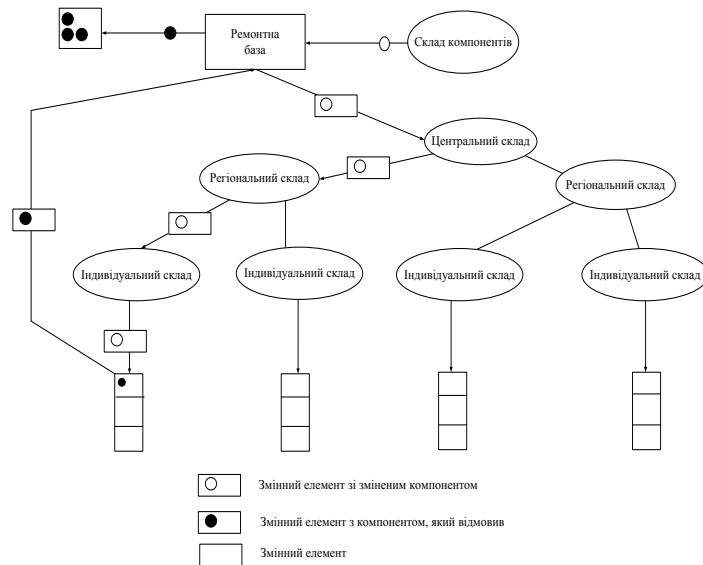


Рис. 1. Система постачання запасних частин та мережі складів

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

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

$$E = \frac{K_r(t)}{\bar{C}} \rightarrow \max \quad (12)$$

де \bar{C} – приведені середні витрати на проведення заходів з організації 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 функції (1) проведена оцінка адаптивної системи утримання ПРС HRCS2 Hyundai Rotem, яка вказує на економічну ефективність запропонованої адаптивної системи.

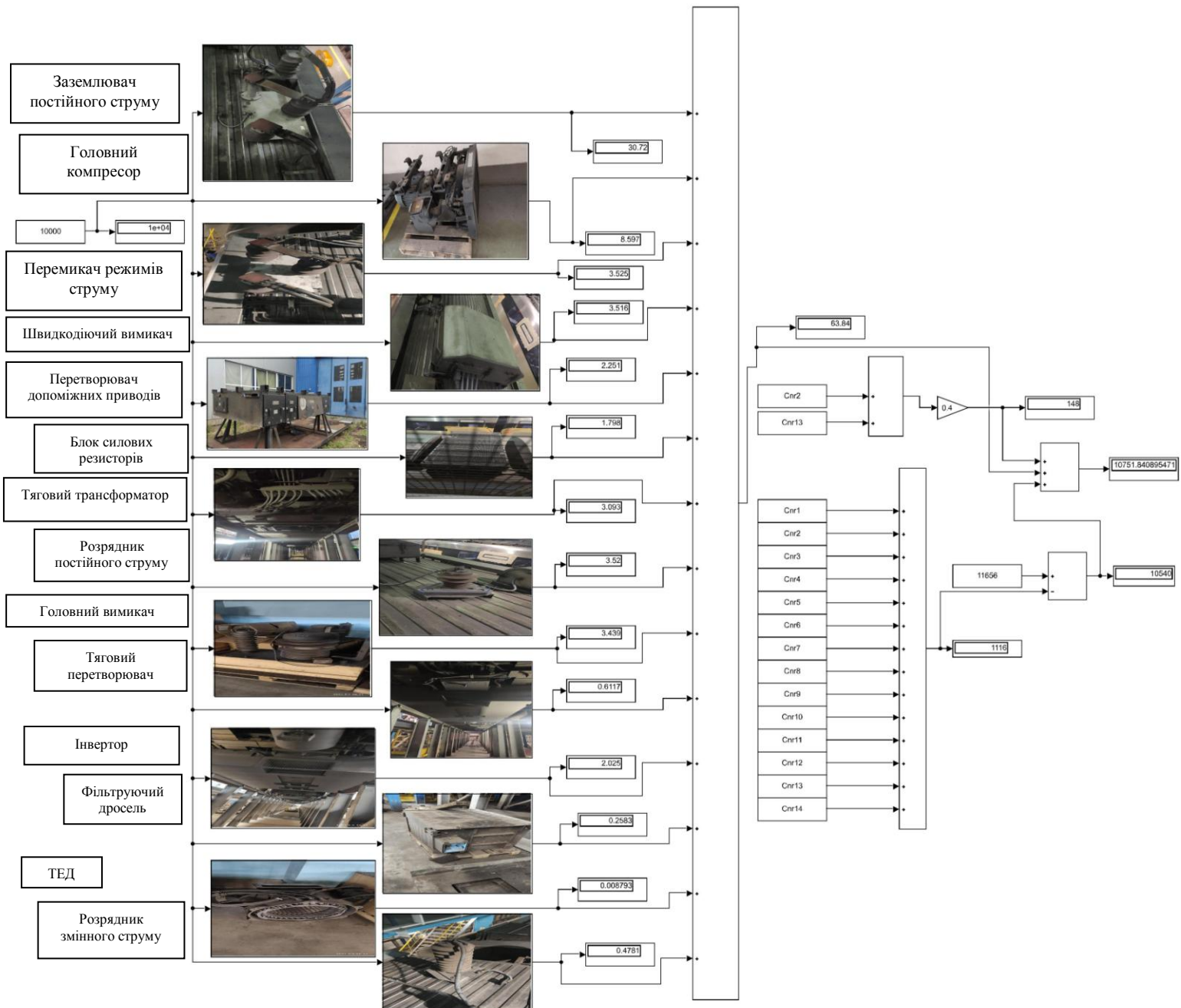


Рис. 2. Графічне моделювання розрахунку ефективності адаптивної системи утримання ПРС на прикладі ТО-3

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 за формулою 3.3. За цією цільовою функцією проведено моделювання кількості виконавців. Розрахунки значень середнього часу затримки РС в ремонті в залежності від кількості виконавців у ремонтній бригаді, середнього часу перебування РС в ремонті. Це дозволило визначити резерви ремонтних бригад для підвищення ймовірності виконання заявок на обслуговування в більшому діапазоні інтенсивності надходження заявок. Оптимальне значення C_p досягається в залежності від програми ремонту за відповідний період, числа позицій на ремонтній лінії, часу простою в ремонті на одній лінії, числа виконавців у резервній ремонтній бригаді.

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. Якість обслуговування характеризується двома основними факторами: затримкою підтвердження з боку головного СЦ того, що заявка на обслуговування прийнята і надіслана до відповідного СЦ, та часом обслуговування, що включає в себе час русі до СЦ і час, що витрачається власне на ремонтні процедури у відповідних депо. Змодельовано три варіанти розміщення СЦ.

Процедура пошуку оптимального розміру зон обслуговування проводиться згідно з алгоритмом, що наведений на рис. 3:



Рис. 3. Процедура пошуку оптимального розміру зон обслуговування

За даними розділу III згідно з формулою (4) проведені розрахунки напрацювання на відмову суттєво залежить від закону розподілу часу на відновлення та закону розподілу напрацювання на відмову. Причому найбільше значення напрацювання на відмову досягається при усіченому нормальному розподілі часу на відновлення, а найменше – при експоненційному. А коефіцієнт готовності досягає найбільшого значення при гамма-розподілі часу на відновлення, а найменше при розподілі Релея. За величиною напрацювання на відмову і коефіцієнту готовності кращий варіант досягається при гамма-розподілі часу на відновлення. Середній час відновлення системи досягає найменшої величини також при гамма-розподілі часу на відновлення. У всіх випадках розподілу часу на відновлення і часу напрацювання на відмову при тимчасовому резервуванні поліпшуються показники часу напрацювання на відмову, середнього часу відновлення та коефіцієнту готовності.

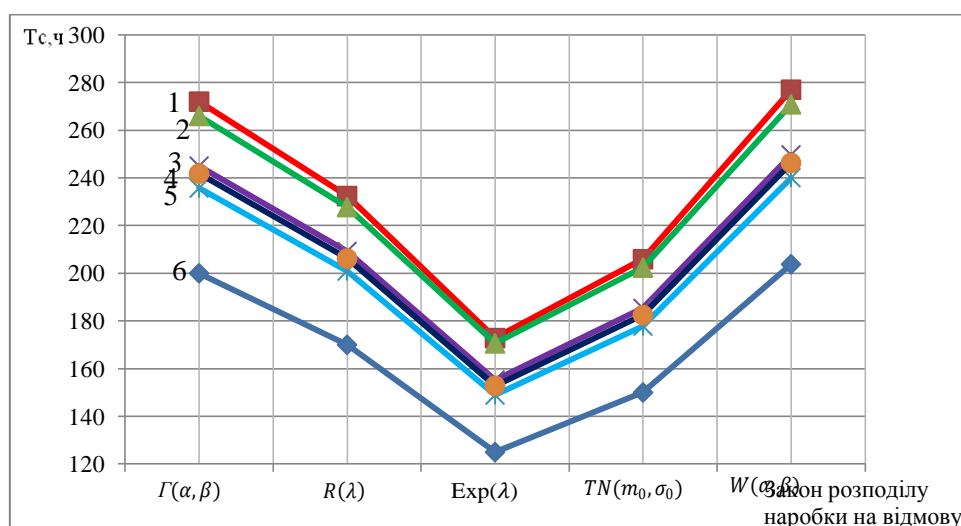


Рис.4. Значення напрацювань на відмову для різних законів відновлення при тимчасовому резервуванні роботи системи

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, $\text{Exp}(\lambda)$;
- 5 – функція розподілу часу на відновлення Вейбула, $W(\alpha, \beta)$;
- 6 – значення середнього часу напрацювання на відмову без тимчасового резервування.

Крім цього, при запровадженні адаптивної системи мінімізуються очікувані сумарні витрати на повне задоволення потреб депо в запасних частинах. Досягнення мінімальних очікуваних витрат на замовлення в різному ступені залежить від таких чинників: ймовірності виявлення несправного обладнання, яке постачається, величини замовленої партії продукції і додаткових витрат при повторному оформленні замовником. Таким чином, при запровадженні адаптивної системи утримання ПРС необхідно вирішувати в комплексі задачі технологічного, організаційного, постачального характеру.

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.

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 ПРС 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 $\Delta P_{\text{обс}}=0,1$, а при $K=7, \delta=2$ у цьому ж діапазоні $\Delta P_{\text{обс}}=0,5$ або вдвічі погіршується $P_{\text{обс}}$.

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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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*. Сєверодонецьк, 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. Крашенінін 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 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., 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.

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, Северодонецьк – 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.

АНОТАЦІЯ

Яковлев С.С. Формування адаптивної системи утримання прискореного рухомого складу. – Рукопис.

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

Дисертацію присвячено науковому обґрунтуванню формування системи утримання ПРС, який працює на залізницях України, з урахуванням її адаптації до умов експлуатації, технічного стану ПРС та удосконалення технології взаємодії ремонтних господарств депо, виробників і постачальників запасних частин. 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.

Розглядалося питання щодо доцільності запровадження адаптивної системи утримання ПРС на основі формування такої технології, яка поєднує як переваги сучасних вбудованих систем діагностування окремого обладнання, так і проведення діагностування в стаціонарних умовах ремонтного господарства депо на основі визначення ефективної функції сумарних витрат.

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

АННОТАЦІЯ

Яковлев С.С. Формирование адаптивной системы содержания ускоренного подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов (273 – Железнодорожный транспорт). – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена научному обоснованию формирования системы содержания ускоренного подвижного состава (УПС), работающего на железных дорогах Украины, с учетом ее адаптации к условиям эксплуатации, техническому состоянию УПС и усовершенствования технологии взаимодействия ремонтных хозяйств депо, производителей и поставщиков запасных частей.

В настоящее время Украина активно внедряет скоростное движение. В рамках Национальной транспортной стратегии Украины (на период до 2030 года) стоят задачи разработки и выполнения программы обновления железнодорожного подвижного состава, в том числе для высокоскоростных пассажирских перевозок. Это обуславливает необходимость создания соответствующей современной ремонтной инфраструктуры для обслуживания УПС, насыщенного наукоемким оборудованием.

Учитывая общее сокращение объемов перевозок в Украине и существования излишков локомотивных депо, а так же их ремонтных мощностей встает задача выбора вариантов: либо переоборудование существующих ремонтных мощностей на базе локомотивных депо для обслуживания ускоренного подвижного состава, либо постройки полностью новых ремонтных сервисных центров, либо выполнение крупных видов ремонта на мощностях изготовителя (поставщика) ускоренного подвижного состава в соответствующей стране. Этот факт обуславливает необходимость внедрения соответствующих современных принципов управления техническим состоянием подвижного состава.

В исследовании определены факторы, влияющие на обеспечение универсальности мощностей ремонтного хозяйства депо ускоренного подвижного состава для создания возможности проведения ремонтных мероприятий для УПС не только приписного парка депо, но и ускоренного подвижного состава из других депо. Произведена разработка научных аспектов формирования региональных сервисных центров и закрепление за ними депо. Проведено исследование оценки надежности работы ремонтных подразделений депо по ремонту ускоренного подвижного состава по критерию оптимального количества ремонтных бригад для обеспечения выполнения технического обслуживания и текущего ремонта приписного парка ускоренного подвижного состава, а также ускоренного подвижного состава из других депо. Определена зависимость изменения вероятности обслуживания заявки на ремонт от интенсивности потока заявок на ремонт, а также оптимальное количество исполнителей в ремонтных бригадах. Подтверждено, что создание резервов ремонтных бригад увеличивает возможность выполнения заявок на сервис в большем спектре интенсивности поступления заявок. Определена стратегия оптимального взаимодействия ремонтных хозяйств депо, производителей и поставщиков ремонтного фонда. Доказано, что достижение минимальных ожидаемых затрат на заказ в разной степени зависит от следующих факторов: вероятности выявления неисправной единицы продукции, величины заказанной партии продукции и дополнительных затрат при повторном оформлении заказчиком. Наибольшее влияние на расходы по заказу оказывает величина дополнительных расходов на оформление повторного заказа, что также влияет на величину заказа. Величина гарантии выплат поставщику за качественную продукцию также зависит от дополнительных затрат на заказ продукции и величины заказа, что определяется уменьшением вероятности обнаружения одной неисправной единицы продукции.

Рассмотрены вопросы влияния временного резервирования работы отдельного оборудования ускоренного подвижного состава на его надежность при различных законах распределения времени: работы, восстановления и временного резервирования. Доказано, что временное резервирование работы систем ускоренного подвижного состава оказывает существенное влияние на время наработки на отказ, время восстановления и коэффициент готовности, также значительно улучшает эти показатели в отличие от показателей системы без временного резервирования.

Целесообразно организовывать процесс восстановления таким образом, чтобы распределения времени на восстановление были близки к гамма-распределению. Значение коэффициента готовности существенно зависит от вида закона распределения наработки на отказ и вида закона распределения времени на восстановление.

Ключевые слова: адаптивная система содержания, ускоренный подвижной состав, эксплуатационная надежность, ремонтное хозяйство.

ANNOTATION

Yakovlev S.S. Formation of an adaptive system of holding accelerated rolling stock. - Manuscript.

The dissertation on obtaining of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.07 - Rolling stock of trains and traction of trains (273 - Railway transport). - Ukrainian State University of Railway Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the scientific substantiation of formation of the system of maintenance of the accelerated rolling stock working on the railways of Ukraine taking into account adaptation of local operating conditions that will allow to increase operational reliability and efficiency of use of the accelerated rolling stock. In the conditions of the general reduction in traffic in Ukraine and the existence of excess capacity of existing locomotive depots, the task is to form repair centers to service accelerated rolling stock on the basis of existing locomotive depots, or at the facilities of the manufacturer of accelerated rolling stock in the country.

The issue that was considered is related to expediency of introduction of adaptive system of accelerated rolling stock maintenance on the basis of formation of such technology which combines advantages of modern built-in systems of diagnostics of the separate equipment, and carrying out diagnostics in stationary conditions of repair economy of depot on the basis of definition of effective function of total expenses for definition of adaptive system of maintenance of the accelerated rolling stock.

The study identifies the factors influencing the universality of the facilities of the repair ability of the depot of accelerated rolling stock to create the possibility of repair measures for accelerated rolling stock not only the assigned fleet of the depot, but also accelerated rolling stock from other depots. The development of scientific aspects of the formation of regional service centers and the assignment of depots to them was implemented. There were considered issues related to of ensuring the technological reliability of the repair units of the depot for the repair of accelerated rolling stock by the criterion of the optimal number of performers in the repair crews.

The strategy devoted to optimal interaction of repair house holding depots, producers and suppliers of repair found, was determined. The question concerning the influence of temporary redundancy of work of separate equipment of the accelerated rolling stock on its reliability under the condition of various laws of distribution of working time, recovery time, time on temporary redundancy was considered.

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

ЯКОВЛЕВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

**ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ
УТРИМАННЯ ПРИСКОРЕНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



старший викладач, к.т.н. Обозний О.М.

Підписано до друку 13.11.2021 р.
Формат 60*90/16 Умов. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № _____

Друкарня «Аладдин-Принт»
ФО-П Ніценко А.О. ПІН: 2953000491
Свідоцтво про Держреєстрацію №24800170000043680 від 28.03.2003 р.
Тел.: (057) 717-09-99
<http://aladdin-print.ua>