



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 158

ТОМ 2



Харків 2015

УДК 656.2

До збірника увійшли матеріали наукових досліджень вчених, спеціалістів та магістрів Українського державного університету залізничного транспорту, спеціалістів залізничного транспорту та промисловості, які присвячені вирішенню сучасних проблем з підвищення ефективності та удосконалення процесу перевезень вантажів, експлуатації та ремонту рухомого складу, інформаційної технології, зв'язку та телеуправління на залізничному транспорті і утримання споруд і колії залізниць України.

Збірник призначений для інженерно-технічних працівників залізничного транспорту та промисловості, науковців, аспірантів, магістрів та студентів.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща). Реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com/+++++++,p944,3.html>

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515-11415 ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням Вченої ради університету від 27 жовтня 2015 р., протокол № 7.

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.).

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА:

д.т.н., професор С.В. Панченко – голова Ради
д.т.н., професор С. І. Приходько – заступник голови
к.т.н., професор А.О. Каграманян – заступник голови
к.т.н., доцент С. В. Михалків – заступник голови
д.т.н., професор А.Б. Бойнік
д.т.н., професор Т.В. Бутько
д.т.н., професор В.С. Блиндюк
д.т.н., професор А.П. Фалендиш

д.т.н., професор С.В. Лістровий
д.т.н., професор Д. В. Ломотько
д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко
д.т.н., професор А.А. Плугін
д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський
д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва
д.т.н., професор Я.В. Щербак

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Рухомий склад залізниць

д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський – головний редактор
д.т.н., професор В.І. Кисельов МДУШС (Росія)
д.т.н., професор О.М. Грищенко ПДУШС (Росія)
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
д.т.н., професор О.Б. Бабанін
д.т.н., професор Я.В. Щербак
д.т.н., професор В.Г. Пузир
д.т.н., професор І.Е. Мартинов
д.т.н., професор Ю.Є. Калабухін

Теплові двигуни

д.т.н., професор А.П. Фалендиш – головний редактор
д.т.н., професор О.Є. Пудовиков МДУШС (Росія)
д.т.н., професор В.І. Мороз
д.т.н., професор А.П. Марченко
к.т.н., професор А.О. Каграманян
к.т.н., професор В.І. Могила
д.т.н., професор Д.С. Жалкін
д.т.н., професор Н.Б. Білецька-Чернецька (Східноукраїнський нац. ун-т ім. В.І. Даля)

За загальною редакцією к.т.н. А.О. Каграманяна

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.
у ISSN International Centre 20, Rue
Bachumont, 75002 PARIS, FRANCE

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2015

ЗМІСТ

Рухомий склад залізниць

<i>Бабанін О.Б., Яровий С.Е., Бульба В.І. Модель оцінки ресурсу тягової передачі моторвагонного рухомого складу</i>	5
<i>Бабійчук Ю.О. Підвищення паливної ефективності промислових тепловозів</i>	10
<i>Дацун Ю.М., Колесніченко Г.О. Визначення порядку діагностування буксових вузлів електровозів на основі даних про їх пошкодження в експлуатації</i>	16
<i>Равлюк В.Г., Равлюк М.Г., Чернієнко М.О., Чепурнов О.В. Використання четвертого центрального моменту для аналізу віброприскорень буксових підшипників рухомого складу</i>	21
<i>Ловська А.О., Шафунів Ю.Ю. Удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення його міцності при маневрових співударяннях</i>	29
<i>Борзилов І.Д., Рожков О.О., Моїсєєнко О.С. Підвищення ефективності роботи вагонного депо шляхом впровадження інноваційних технологій</i>	35
<i>Петухов В.М., Гайворонська О.О., Суханенко М.А. Система контролю якості технологічних параметрів ремонту колісних пар пасажирських вагонів</i>	41
<i>Чигирик Н.Д., Гаврилов В.Ю. Застосування гібридних технологій лазерного очищення у процесі ремонту ТРС</i>	48
<i>Маслієв В.Г., Кравченко С.О., Маслієв А.О. Дослідження перспектив розвитку конструкцій ресорної підвіски транспортних засобів</i>	52
<i>Машикін О.С. Удосконалення ремонту рам візків електровоза ВЛ8</i>	59
<i>Жалкін С.Г., Гуменюк Р.З. Підвищення енергетичної ефективності тепловозів типу М62</i>	66
<i>Жалкін Д.С., Таран А.В. Удосконалення методів контролю теплового стану тягових електричних двигунів електровозів</i>	74
<i>Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Кравченко С.О., Мельникова О.В., Хом'як І.Я. Дослідження впливу навантажень, що діють на циліндричні буксові підшипники вантажних вагонів</i>	82
<i>Антонович А.О. порушення поздовжнього контакту в зубчастих тягових передачах електропоїздів</i>	87
<i>Крашенінін О.С., Войтович-Левицький С.П. Оцінка оптимальних величин запасів для забезпечення ремонтного господарства депо</i>	92
<i>Крашенінін О.С., Миклащук М.О. Визначення оптимальної пропускної спроможності ремонтних ділянок з ремонту залізничних кранів</i>	97
<i>Крашенінін О.С., Бринський І.В., Пупій М.М. Оцінка надійності роботи струмоприймачів для швидкісного руху</i>	102
<i>Поротікова А.А., Крашенінін О.С. Оцінка життєвого циклу тягового рухомого складу з урахуванням його модернізації</i>	109

<i>Чигирик Н.Д., Чвала О.М.</i> Перспективи впровадження кріобластингу у процесі ремонту ТРС	115
<i>Візняк Р.І., Новіков О.Є.</i> Нові науково-технічні рішення з метою збереження і покращення експлуатації підвагонного генератора з редукторно-карданним приводом	120
<i>Візняк Р.І., Рєва І.В.</i> Упровадження та застосування високотехнологічного обладнання для проведення технічного обслуговування ходових частин пасажирських вагонів нового покоління в умовах вагонного депо «Запоріжжя-1» Придніпровської залізниці	123
<i>Зіньківський А.М., Гусєв В.О.</i> Підвищення працездатності тягових електродвигунів електровозів	128
<i>Бондаренко В.В., Данів Н.В.</i> Розроблення системи дистанційного моніторингу дислокації вантажних вагонів	131
<i>Устенко О.В., Рева А.В.</i> Удосконалення систем автоматизації віртуальних підприємств	135
<i>Устенко О.В., Пендюрін Р.В.</i> Розроблення моделей віртуальних підприємств	137
<i>Яцько С.І., Паршин Б.В., Ващенко Я.В.</i> Дослідження електромагнітних процесів при аварійних режимах у тяговому асинхронному електроприводі рухомого складу	140
<i>Харламов П.О., Шабанов Е.Л.</i> Підвищення ефективності сервісного обслуговування поїздів метрополітену	149

Теплові двигуни

<i>Фалендиш А.П., Байков В.О., Клецька О.В.</i> Атестація депо як один зі шляхів підвищення ефективності роботи моторвагонного рухомого складу	153
<i>Мельник І.В., Фалендиш А.П.</i> Визначення варіанта модернізації тепловозів ЧМЕЗ	157
<i>Каграманян А.О., Захарченко В.В.</i> Нормування твердих частинок у викидах забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів	161
<i>Ткаченко Є.О., Угольніков С.В.</i> Критерії проектування та спорудження біогазової установки в індивідуальному господарстві	167
<i>Зіньківський А.М.</i> Порівняння ефективності застосування гальмівних колодок типу W14 та МТРУЗ 38.90.712205 на локомотивах залізниць України	175

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

УДК 658.562:629.421.1

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, магістр С.Е. Яровий, асп. В.І. Бульба

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, магистр С.Э. Яровой, асп. В.И. Бульба

MODEL OF AN ESTIMATION OF A RESOURCE OF TRACTION TRANSFER OF A MOTOR CARLOAD ROLLING STOCK

Doct. of techn. sciences A. Babanin, master student S. Yarovoy, postgraduate V. Bulba

У статті розглянуто питання визначення ресурсу колісно-моторного блока тягової передачі моторвагонного рухомого складу. Визначені задачі прогнозування технічного стану відповідальних вузлів тягової передачі. Формалізовано модель зношення, у якій виділено періоди припрацювання, нормальної експлуатації, інтенсивного зношення та продовження терміну служби колісно-моторного блока моторвагонного рухомого складу за весь його життєвий цикл. Для кожного виділеного періоду запропоновано відповідні залежності швидкості й інтенсивності зносу. За даними залежностями проведено розрахунки й отримано аналітичні вирази зношення зубів шестерень силового редуктора тягової передачі, які дають змогу прогнозувати її ресурс в експлуатації.

Ключові слова: залежність, знос, інтенсивність, період, прогноз, ресурс, експлуатація.

В статье рассмотрены вопросы определения ресурса колесно-моторного блока тяговой передачи моторвагонного подвижного состава. Определены задачи прогнозирования технического состояния ответственных узлов тяговой передачи. Формализована модель износа, в которой выделены периоды приработки, нормальной эксплуатации, интенсивного износа и продления срока службы колесно-моторного блока моторвагонного подвижного состава за весь его жизненный цикл. Для каждого выделенного периода предложены соответствующие зависимости скорости и интенсивности износа. По данным зависимостям проведены расчеты и получены аналитические выражения износа зубьев шестерен силового редуктора тяговой передачи, которые позволяют прогнозировать его ресурс в эксплуатации.

Ключевые слова: зависимость, износ, интенсивность, период, прогноз, ресурс, эксплуатация.

In clause questions of definition of a resource of the wheel motor block traction transfer of a motor carload rolling stock are considered. Problems of forecasting of a technical condition of responsible units of traction transfer are certain. The model of deterioration in which the periods extra earnings are allocated, normal operation, intensive deterioration and prolongation of service life of the wheel motor block of a motor carload rolling stock is formalized for weigh his life cycle. For each allocated period meeting dependences of speed and intensity of deterioration are offered. According to dependences calculations are lead and analytical expressions of wear of points of cog-wheels of power reducing of traction transfer which allow to predict his resource in operation are received.

Keywords: dependence, deterioration, intensity, period, forecast, resource, operation.

Вступ. Продовження термінів служби моторвагонного рухомого складу змушує

шукати нові підходи й методи до оцінки його технічного стану. Цього можна досягти тільки

застосуванням у технології обслуговування й ремонту сучасних наукових методів, які дають змогу виявляти й запобігати відмовам, підтримувати експлуатаційні показники в заданих межах. Тягові зубчасті передачі електропоїздів посідають сьогодні друге місце за кількістю несправностей, поступаючись тільки тяговим електродвигунам. Тому рівень їх надійності в основному залежить від зносостійкості складових його деталей, до яких зокрема належить тягова зубчаста передача.

Постановка проблеми. Технічний стан колісно-моторних блоків (КМБ) моторвагонного рухомого складу визначають за величиною зношення основних сполучень і деталей. Для КМБ одним з таких сполучень є шестеренна пара зубчастої передачі. Якщо прийняти зношення всіх сполучень КМБ за 100 %, то на знос зубчастого редуктора припадає 70...80 %. Тому в процесі експлуатації дуже важливо знати його залишковий ресурс.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зубчасті передачі посідають вагомe місце у механічних системах. Тому це викликає велику кількість досліджень, які пов'язані з покращенням їх роботи. Так, у роботі [13] запропонована нова методика визначення надійності зуба і зубчастого колеса в цілому за умовами втомної міцності за обмеженням статистичної інформації про параметри їх роботи. У цьому ж напрямку істотне значення мають дослідження Міхліна В.М. [4], на основі яких запропоновано шляхи усунення вагoмoгo недоліку щодо існуючих методів визначення відхилень параметрів при технічному обслуговуванні машин. У дослідженнях [6] запропонована залежність для визначення числа циклів навантаження (довговічності) без появи ознак утомного руйнування для випадків лінійного контакту поверхонь зубів. За результатами досліджень Решетова Д.М. [7] отримано теоретичні і комп'ютерні моделі контакту у зубчастих передачах, які дають змогу розраховувати основні характеристики контактної взаємодії. У подальшому ці напрямки були розвинуті у дослідженнях Рудзита Я.А., Суслова А.Г. та ін. [8, 11]. Прогнозуванням відмов зубчастих передач на основі використання методів непараметричної

статистики присвячена робота Сизранцевої К.В. [12]. Разом із тим необхідно відмітити, що сучасна інженерна трибологічна практика зустрічається із значними труднощами у визначенні швидкості, інтенсивності та прогнозування зносу відповідальних вузлів, до яких зокрема належать зубчасті передачі КМБ моторвагонного рухомого складу.

Метою дослідження є створення моделі щодо оцінки ресурсу КМБ моторвагонного рухомого складу.

Матеріали та результати досліджень. Застосування методів прогнозування в період експлуатації КМБ дає змогу вирішувати ряд важливих завдань [4]:

- обґрунтувати раціональні терміни профілактичних робіт, тому що визначається час майбутньої відмови КМБ;

- оптимізувати програму пошуку несправностей у зв'язку з визначенням деталей, у яких очікується відмова;

- обмежити кількість обслуговуючого персоналу шляхом автоматизації процесу контролю й визначення технічного стану на деякий певний період часу;

- визначити кількість запасних частин, обчислюючи число деталей, у яких очікується відмова на заданому інтервалі експлуатації.

Тому основним показником, що регламентує надійну роботу КМБ (крім тягового електродвигуна), є знос його елементів, тобто зубчастого редуктора.

В умовах експлуатації знос вузлів тертя КМБ моторвагонного рухомого складу розвивається як випадковий процес із відносно великою дисперсією (коефіцієнт варіації перебуває в межах 0,3÷0,8). Тому для опису такого процесу найбільш сприйнятливою є імовірнісна математична модель на різних стадіях її життєвого циклу. При цьому визначалася зміна величини зносу δ , швидкості V і прискорення W у функції часу роботи t у періоди припрацювання (I), нормальної експлуатації (II), інтенсивного зносу (III) і продовження терміну служби (IV). Геометрична інтерпретація запропонованої моделі наведена на рис. 1.

Формалізацію оцінки зносу у періоді I запропоновано здійснювати виходячи із залежності

$$\delta_{np} = k \left(\frac{\sigma_H}{HB} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\chi}{h_m} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{RT}{Q} \right)^{\alpha_3} \left(\frac{v_{100}}{v_T} \right)^{\alpha_4}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості контактуючих поверхонь зубчастих коліс;

σ_H – контактна напружка, що допускається;

HV – площа поверхонь, що контактують між собою;

χ – наведений параметр шорсткості поверхонь, що контактують між собою;

h_m – товщина мастильного шару;

R – універсальна газова постійна;

T – температура у контактних поверхнях;

Q – теплота абсорбції мастильного матеріалу;

v_{100}, v_T – відповідно кінематична в'язкість мастила при 100 °C і робочій температурі.

Для формалізації періоду II запропоновано (якщо умови роботи досить стабільні й швидкість зносу можна вважати постійною) термін служби нормальної експлуатації визначати як

$$t_{max} = \frac{\delta_{max}}{\bar{V}}, \quad (2)$$

де δ_{max} – величина зносу, що допускається;

$\bar{V}$ – середня швидкість зносу.

Цю залежність можна застосувати, якщо знос досягає значення δ_{max} [6].

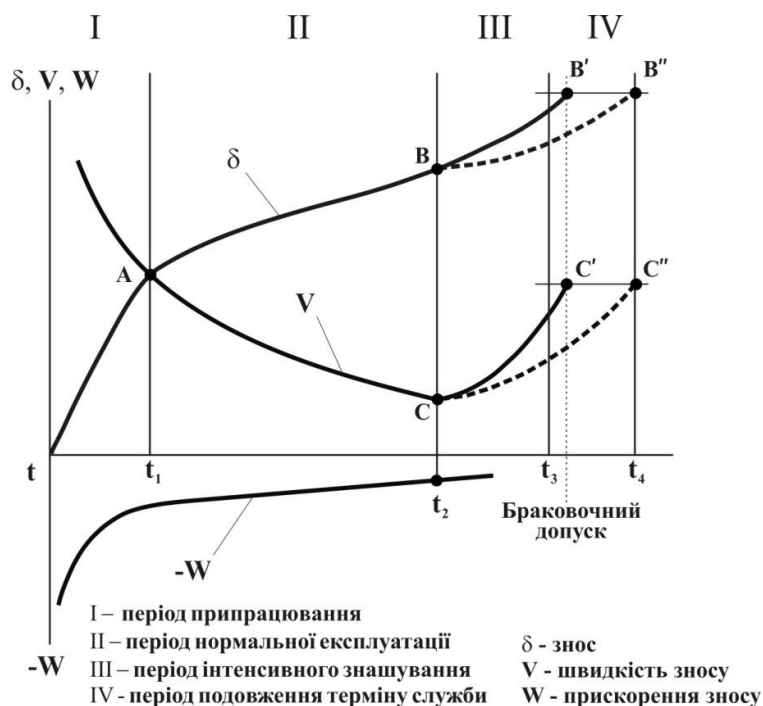


Рис. 1. Геометрична інтерпретація життєвого циклу КМБ моторвагонного рухомого складу

Якщо прийняти тривалість міжремонтного періоду t_p , то за цей час знос збільшиться на величину $(\bar{V} \cdot t_p)$ і КМБ необхідно замінити, якщо його знос буде перебувати у межах

$$\delta_{max} > \delta > (\delta_{max} - \bar{V} \cdot t_p). \quad (3)$$

Значення припустимого зносу, починаючи з якого при поточних ремонтах КМБ необхідно ремонтувати, визначимо так

$$\delta_{np} = \delta_{max} - \bar{V} \cdot t_p. \quad (4)$$

Якщо даний поточний ремонт є N -м з моменту останнього ремонту, то термін служби t_b КМБ для періоду II нормальної експлуатації пропонується визначати як

$$t_{\partial} = \frac{\delta_{np}}{V} = \frac{\delta_{max}}{V} \cdot \frac{N}{N+1}. \quad (5)$$

На підставі обробки статистичного матеріалу отримані аналітичні залежності верхнього $V_{Пв}$ і нижнього $V_{Пн}$ інтервалів зносу для періоду II

$$V_{Пв} = e^{0,0028t-1,96}, \quad (6)$$

$$V_{Пн} = 0,0357 - 1,65t. \quad (7)$$

Для періоду III інтенсивного зносу прийнята аналітична залежність

$$\bar{\delta} = (\bar{\delta}_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (8)$$

де A – коефіцієнт, який визначає форму кривої зносу (він вимірюється в одиницях напрацювання);

h – коефіцієнт, який визначає положення кривої відносно початку координат.

Припустимо, що на знос шестерень КМБ значний вплив здійснюють фактори, пов'язані з витратою електроенергії та витратами на поточний ремонт. З урахуванням нижнього $t_{нд}$ й верхнього $t_{ед}$ значень розвитку зносу за

часом була запропонована прогнозна залежність

$$\delta_n = \left[A \ln \left(\frac{t_{\partial\partial\partial}}{h + t_{ед} + t_{нд} \tau} \right) \right] k_p, \quad (9)$$

де $t_{\partial\partial\partial}$ – прогнозоване збільшення терміну служби;

k_p – коефіцієнт зносної рівномірності;

τ – поправковий коефіцієнт.

На підставі цього для IV періоду (у функції L , 10^3 км) отримані аналітичні залежності верхнього δ' й нижнього δ'' інтервалів зносу

$$\bar{\delta}' = 0,113 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038; \quad (10)$$

$$\bar{\delta} = 0,098 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038; \quad (11)$$

$$\bar{\delta}'' = 0,011 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038. \quad (12)$$

За цими рівняннями побудовані графічні залежності (рис. 2), які дають змогу прогнозувати знос тягового редуктора КМБ.

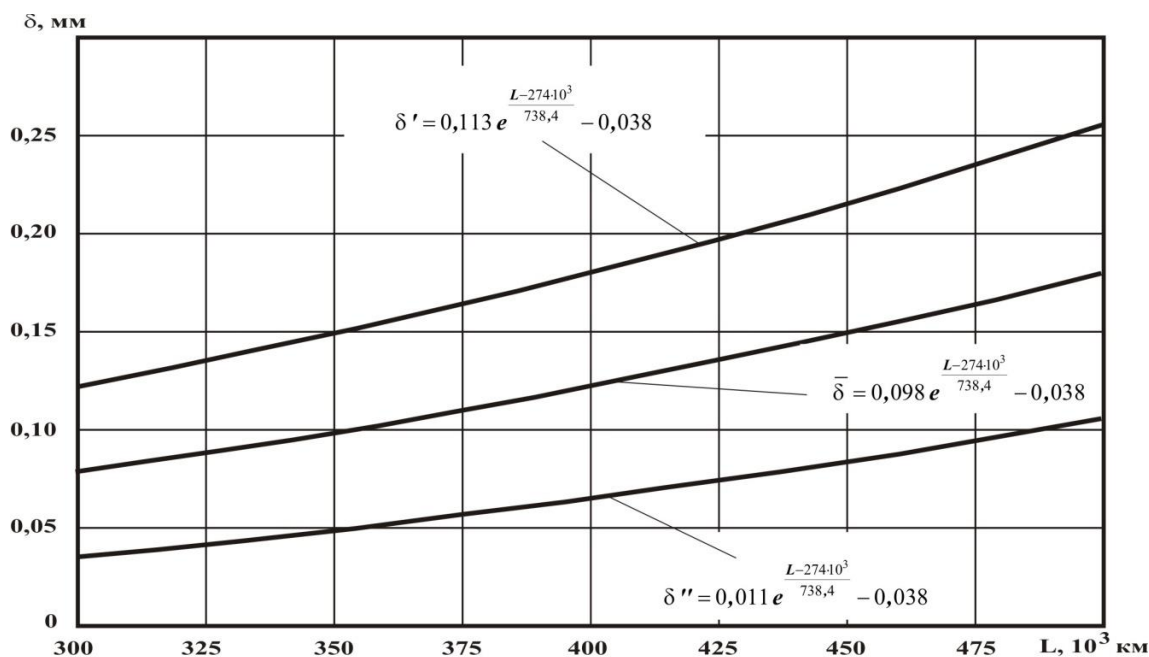


Рис. 2. Прогнозні залежності зношення зубів шестерень КМБ від пробігу

Висновки. Формалізована модель зносу КМБ, у якій виділені періоди припрацювання, нормальної експлуатації, інтенсивного зносу й продовження терміну служби. Для кожного періоду запропоновані відповідні аналітичні

залежності його зносу від величини терміну експлуатації.

Запропоновані залежності зносу зубів шестерень силового редуктора КМБ від пробігу, які дають змогу прогнозувати його ресурс в експлуатації.

Список використаних джерел

1. Демкин, Н.Б. Развитие учения о контактном взаимодействии деталей машин [Текст] / Н.Б. Демкин // Вестник машиностроения. – 2008. – № 10. – С. 28-33.
2. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Левина, З.М. Контактная жесткость машин [Текст] / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Михлин, В.М. Метод определения допускаемых износов деталей, обеспечивающий повышение их безотказности [Текст] / В.М. Михлин // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 11-14.
5. Пинегин, С.В. Контактная прочность и сопротивление качению [Текст] / С.В. Пинегин. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.
6. Подгаевский, О.Л. Несущая способность линейного локального контакта при циклическом нагружении зубьев плоскоцилиндрической передачи [Текст] / О.Л. Подгаевский // Вестник машиностроения. – 2007. – № 1. – С. 13-16.
7. Решетов, Д.Н. Расчет деталей станков [Текст] / Д.Н. Решетов. – М.: Машгиз, 1945. – 140 с.
8. Рудзит, Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей [Текст] / Я.А. Рудзит. – Рига.: Зинатне, 1975. – 210 с.
9. Ряховский, А.М. К расчету износостойкости металлических материалов трущихся пар [Текст] / А.М. Ряховский // Вестник машиностроения. – 2008. – № 8. – С. 3-6.
10. Снесарев, Г.А. Расчет редукторов на надежность [Текст] / Г.А. Снесарев // Вестник машиностроения. – 1982. – № 7. – С. 45-48.
11. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей [Текст] / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
12. Сызранцева, К.В. Прогнозирование отказов зубчатых передач методами непараметрической статистики [Текст] / К.В. Сызранцева // Вестник машиностроения. – 2009. – № 12. – С. 10-14.
13. Уткин, В.С. Определение надежности зубчатой передачи по условию усталостной прочности зуба при ограниченной статистической информации [Текст] / В.С. Уткин // Вестник машиностроения. – 2007. – № 4. – С. 12-15.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093) 151-73-15.

Яровий Сергій, магістр ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.

Бульба Вадим, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093) 295-08-79.

Babanin Aleksandr, doct. of techn. sciences, professor, Ukrainian state university of a railway transportation.

Tel.: (093) 151-73-15.

Yarovoy Sergiy, IPPK Ukrainian state university of a railway transportation.

Bulba Vadim, the graduate, Ukrainian state university of a railway transportation. Tel.: (093) 295-08-79.

Наукова праця здана до друку 02.09.2015 р.

УДК 629.47.004.18

ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Магістрант Ю.О. Бабійчук

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВОЗОВ

Магистрант Ю.О. Бабийчук

IMPROVING FUEL EFFICIENCY OF INDUSTRIAL LOCOMOTIVES

Undergraduate Y. O. Babiychuk

У даній статті виконано аналіз заходів з підвищення паливної ефективності маневрових тепловозів в умовах промислового підприємства та наведено основні чинники, які впливають на витрату енергоресурсів у тязі поїздів, а також запропоновано основні напрямки робіт і пристрої для подальшого вдосконалення систем нормування, обліку та економії дизельного палива. Виконано аналіз результатів дослідження витрати палива тепловозів і запропоновано заходи та пристрої щодо підвищення ефективності використання маневрових тепловозів в умовах промислового підприємства, а саме на металургійному комбінаті.

Ключові слова: паливна ефективність, витрата палива, промислові тепловози, модернізація, норма витрат, пристрій контролю витрат палива, нормування, електронний регулятор, регістратор параметрів, питомі витрати, маневрова робота.

В данной статье выполнен анализ мероприятий по повышению топливной эффективности маневровых тепловозов в условиях промышленного предприятия и приведены основные факторы, которые влияют на расход энергоресурсов в тяге поездов, а также предложены основные направления работ и устройства для дальнейшего совершенствования систем нормирования, учета и экономии дизельного топлива.

Выполнен анализ результатов исследования расхода топлива тепловозов и предложенные меры и устройства повышения эффективности использования маневровых тепловозов в условиях промышленного предприятия, а именно на металлургическом комбинате.

Ключевые слова: топливная эффективность, расход топлива, промышленные тепловозы, модернизация, норма расхода, устройства контроля расхода топлива, нормирование, электронный регулятор, регистратор параметров, удельные затраты, маневровая работа.

In this article the analysis of measures to improve fuel efficiency of shunting locomotives in industrial enterprise, and includes key factors that affect the energy consumption in traction trains, as well as the basic directions of works and devices to further improve systems of valuation, accounting and conserve diesel fuel.

The analysis of the characteristics of shunting locomotives work in industrial enterprises, which allows you to develop requirements for industrial locomotives. One of the ways to increase fuel efficiency of industrial diesel is a comprehensive upgrade to replace the main power equipment on modern models (diesel engine with a microprocessor control system, transmission with asynchronous traction motors).

Various methods of rationing consumption of diesel fuel in order to select the most accurate method for calculating the fuel consumption with use of special programs.

The analysis of the research results of fuel consumption of diesel and the proposed measures and devices to improve the efficiency of the use of shunting locomotives in industrial enterprises, namely steel mill.

Keywords: fuel efficiency, fuel consumption, industrial locomotives, modernization, consumption rate, the device for control of fuel consumption, rationing, electronic regulator, the Registrar of parameters, unit costs, shunting operation.

Вступ. Актуальність роботи визначається гостротою проблеми енергозбереження на

залізничному транспорті та в країні в цілому [1, 2]. Аналіз роботи підприємств залізничного

транспорту показав, що середні витрати на локомотивне господарство складають 31,6 % загальних витрат на підприємствах, які є найбільшою частиною серед інших господарств залізничного транспорту. У зв'язку зі зростанням ціни на дизельне паливо частка витрат по його оплаті для деяких тепловозних депо становить 40 % і більше експлуатаційних витрат. Скорочення частки цих витрат є значним резервом підвищення ефективності локомотивної тяги промислового транспорту [3, 4].

Постановка проблеми. Промислові підприємства країни мають залізничні шляхи довжиною близько 25 тис. км, у тому числі широкої колії – 18,7 тис. км. Промисловий залізничний транспорт функціонує як складова частина виробництва і перевозить понад 1 млрд т вантажів промислових підприємств [5].

При цьому, за даними підприємств, частка витрат на паливо від загального обсягу витрат на експлуатаційну роботу промислових тепловозів становить близько 80 %, на заробітну плату локомотивним бригадам – 10 %, на амортизаційні відрахування – 10 %

Тому розроблення та впровадження заходів щодо підвищення паливної ефективності промислових тепловозів має для підприємств особливе значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою визначення реальної величини необхідних енергетичних витрат, які відповідають даному рівню технічного озброєння, організації технологічного процесу перевезень і заданим обсягам транспортної роботи, є науково обґрунтовані норми витрати палива. Вони повинні відображувати техніко-економічні параметри тепловозів, показники використання енергетичних потужностей дизеля і рухомого складу в цілому, особливості шляху, роботу енергоперетворюючих пристроїв і ряд інших чинників, які визначають ефективність енерговикористання. Економія дизельного палива на тепловозах залежить від багатьох чинників, а саме доброго технічного стану локомотива, вмілого водіння поїздів бригадами, правильної організації формування складів та інших чинників. Поряд з цим важливим джерелом економії палива є зниження кількісних і якісних втрат палива при транспортуванні, зливів, зберіганні та видачі його на тепловози.

Важливе значення має встановлення обґрунтованих норм витрат палива на маневрову роботу, що дозволить поліпшити

достовірність планування його потреби, оцінити ефективність витрат, стимулювати раціональне і економне використання дизельного палива. У зв'язку з цим завдання модернізації тепловозів та удосконалення методики нормування дизельного палива на маневрову роботу є важливими і актуальними.

Мета статті. Проаналізувати паливну ефективність промислових тепловозів і запропонувати деякі заходи щодо підвищення паливної ефективності маневрових тепловозів в умовах промислового підприємства.

Для цього необхідно визначити основні чинники, які впливають на витрату палива при виконанні заданого обсягу маневрової роботи, проаналізувати існуючий тепловозний парк, методи нормування витрат дизельного палива і запропонувати методик контролю витрат палива.

Основна частина дослідження. Залізничний промисловий транспорт виконує в 3 рази більший обсяг перевезень, ніж магістральний, і обслуговує в основному великі підприємства видобувної та обробної промисловості. Шляхи сполучення відрізняються великою криволінійністю ділянок з малим радіусом кривої (100 м і менше) і характеризуються вантажонапруженістю від декількох тисяч до 20 млн ткм/км на рік.

Аналіз роботи тепловозів на промислових підприємствах показує, що велике значення для підвищення їх паливної економічності має контроль параметрів тепловозів.

Однією з найважливіших складових частин систем безперервного контролю параметрів тепловозів в експлуатації є підсистема контролю кількості палива в паливних баках тепловоза. Аналіз застосування дослідних систем показує, що саме вимірювання кількості палива в баку дозволяє вирішувати завдання обліку використання палива на тягу поїздів, оскільки забезпечує можливість контролю кількості не тільки витраченого, але і палива, що заправляється [6].

Тому реєстрація параметрів роботи тепловозів сучасними системами реєстрації та накопичення таких даних дає можливість встановлювати технічно обґрунтовані вихідні норми для кожного виду робіт. До таких систем у наш час належить система «Дельта», яка випускається в декількох варіантах залежно від реєстрованих параметрів.

Велике значення мають також вдосконалення нормування витрат палива на

підставі об'єктивної інформації про режими роботи тепловоза та витрати палива в експлуатації, підвищення надійності роботи силової установки внаслідок своєчасного виявлення та запобігання аварійних режимів її роботи, поліпшення технічного і теплотехнічного стану тепловоза.

Як показує аналіз основних чинників, які впливають на витрату палива тепловозом при роботі на металургійному комбінаті, розглянуті в ряді робіт [6], основний обсяг перевезень на промислових підприємствах виконується маневровими тепловозами, які до цього часу мало обладнані приладами автоматизованого обліку витрати палива. Тому впровадження автоматизованих систем обліку та контролю витрат палива на всіх етапах його використання дає можливість значної економії дизельного палива.

Виявлено, що технічні норми витрат дизельного палива на маневрові роботи не встановлено, тому витрати палива визначають дослідним шляхом. Для ряду маневрових тепловозів типу ТГМ, ТЕМ, а особливо для сучасних, в Інструкції відсутні дані про тягово-енергетичні паспорти. Тому на підприємствах вихідні дані для кожної серії тепловозів, що експлуатуються на певних ділянках підприємств, визначаються окремо.

Оскільки в першому десятилітті нового тисячоліття в основному вичерпано ресурс випущених за радянських часів локомотивів, керівництву Укрзалізниці довелося виробити стратегію оновлення рухомого складу залізниць України. У ній сформульовано основні напрями розвитку локомотивного господарства Укрзалізниці та його технічного переоснащення [1].

Проблема оновлення парку тягового рухомого складу вирішується за рахунок підвищення ефективності та використання існуючого рухомого складу через модернізацію та подовження терміну служби наявного рухомого складу за рахунок виконання капітально-відновлювальних ремонтів. Модернізація дає можливість поліпшити техніко-економічні показники роботи тепловоза, а також його ергономічні показники, підвищити потужності і тягові параметри тепловоза [1].

Такі роботи виконують ВАТ «Тепловозоремонтний завод» (м. Полтава) і Тепловозоремонтний завод (м. Миколаїв). На них проводиться комплексна модернізація маневрових тепловозів ЧМЕЗ, ТЕМ7, ТГМ4 та інших.

Параметри маневрових тепловозів до і після модернізації наведено в таблиці.

Таблиця

Порівняльні параметри маневрових тепловозів до і після модернізації

Локомотив	Старий двигун	Повна потужність, кВт (к.с.)	Частота обертання колінчастого вала, об/хв	Питома витрата палива на режимі повної потужності, г / кВт • год	Часовий витрата палива на холостому ходу, кг / год	Питома витрата масла на режимі повної потужності, г / кВт • год	Ресурс до першого перебирання, міс. або год	Ресурс до капітального ремонту, р. або год
	Новий двигун							
ТЕМ2	ПД1М	882(1200)	750	210,8	5,2	1,1	36	9
	3-36-ДГ	882(1200)	750	200	5,2	1,1	36	9
ЧМЕЗ	K6S310DR	993(1350)	750	220,3	9	2,7	8	7,5
	4-36ДГ	993(1350)	750	200	5,2	1,1	36	9
	3508B SCAC Caterpillar	1000(1360)	1800	196	3,0	0,9	-	-
ТГМ8, ТГМ6	3АЕ-6Д49	588(800)	860	218,9	8,5	1,2	16000	60000
	7-6Д49	588(800)	860	215	5,7	1,1	20000	80000
ТЕМ7	2-26ДГ	1470(2000)	1000	208	9	1,9		
	12-26ДГ	1470(2000)	1000	191,5		1,14	120000	60000
ТГМ4	211-ДЗ	552(750)	1400	215	5,5	2,2		
	QST30-L850	605(811)	1800				30000	

Як видно з таблиці, основними дизелями при модернізації залишаються тепловозні дизелі типу Д49 виробництва Коломенського тепловозобудівного заводу, але можливі варіанти з установленням дизелів Катерпіллер або Дженерал-моторс.

Як показує аналіз роботи тепловозів, до числа основних вузлів і апаратів дизеля, які безпосередньо впливають на витрату палива, належать паливна апаратура, циліндро-поршнева група, турбокомпресор і випускна система газоповітряного тракту. При всіх випадках порушення нормального процесу згоряння палива погіршується економічність дизеля і збільшується димність випускних газів.

Під час ведення поїзда машиніст повинен вибирати найвигідніші режими роботи дизеля і генераторної установки, з великим мистецтвом використовувати кінетичну енергію поїзда (живу силу), а також противобуксувальні і гальмівні засоби, постійно підтримувати оптимальний температурний режим масла і охолоджуючої води в дизелі, оскільки зниження температури масла на 4-5°C збільшує витрату палива на 1 %.

З метою економної витрати палива в кожному локомотивному депо на основі узагальнення передового досвіду водіння поїздів на ділянках звернення тепловозів повинні бути розроблені режимні карти. У них повинні бути вказані найбільш доцільні положення контролера, швидкість проходження по ділянці, місце застосування гальм і інші рекомендації.

Слід також зазначити, що порушення нормальної роботи фільтрів тонкого і грубого очищення палива і масла, а також повітряних фільтрів призводить до перевитрати палива.

Значні втрати виникають і при зливів, зберіганні та заправці палива в баки тепловозів.

Одним з елементів економії є встановлення технічно обґрунтованих норм витрат палива і планомірне їх зниження за рахунок кращого використання потужності тепловоза, вмілого водіння поїздів, підвищення технічної культури ремонту паливної апаратури, дизель-генераторної установки і утримання в справному стані локомотива в експлуатації.

Норма витрати палива для тепловозів встановлюється на 10000 ткм брутто при роботі в поїздах одиночною і подвійною тягою; на 100 лок. км при одиночному проходженні (резерв,

підштовхування); на 1 год маневрової роботи і на 1 год простою в робочому стані. Ці норми розробляються за плечами обслуговування, видами руху і серіями локомотивів.

Локомотивні бригади повинні постійно знати і контролювати витрату палива за кожною поїзду.

На сьогодні в локомотивних депо облік і аналіз витрат палива здійснюється на основі даних, що вносяться машиністами в маршрутний лист. На початку і наприкінці робочої зміни машиністи візуально визначають кількість палива в паливному баку за паливною рейкою або мірним склом. Об'ємна витрата палива визначається за різницею вимірів. Витрату палива за масою визначають виходячи з об'ємної витрати і заданої щільності палива, яка визначається в пункті екіпірування.

У деяких депо та відділеннях залізниць проводять роботи з впровадження паливно-вимірювальних систем [8, 9]. Вони реєструють тимчасові характеристики роботи тепловоза з виділенням режимів стоянки і руху, роботи дизеля на холостому ходу, під навантаженням і зупиненого, тимчасові характеристики руху тепловоза під тягою і вибігом, пробіг, середню технічну швидкість і загальну витрату палива. Виділяються з загальної витрати палива при русі тепловоза під тягою (дизель під навантаженням) і на холостому ходу з зазначенням кількості палива, заправленого при екіпіруванні. Розрахунок витрат палива тепловозом за зміну виконується з урахуванням роботи дизеля на холостому ходу і під навантаженням.

Визначення економії або перевитрати палива за зміну здійснюється порівнянням фактичної витрати з розрахунковим значенням.

Для отримання розрахункового значення величини витрати палива існує значна кількість методів.

Розрахунково-аналітичні методи засновані на законах збереження і перетворення енергії при таких припущеннях: ідеалізація процесу руху при виконанні маневрових і гіркових операцій, сталість тягово-енергетичних характеристик маневрових локомотивів під час експлуатації, введення коефіцієнтів впливу експлуатаційних чинників.

Розрахунково-статистичні методи базуються на математичній обробці тягово-енергетичних випробувань, первинній і періодичній звітності.

Експлуатаційні методи використовують результати багаторічного досвіду теплотехнічних груп локомотивних депо з нормування витрат палива.

Таким чином, експлуатаційна економічність промислових тепловозів може досягатися за рахунок об'єктивної інформації про режими роботи і витрати палива в експлуатації, а також модернізацію тепловозів сучасними системами управління.

Слід зазначити, що більшість робіт з нормування витрат палива в експлуатації базується на статистичній інформації і має відношення до магістральних тепловозів. За останні роки виконано ряд робіт з нормування витрат палива маневровими тепловозами.

Багато авторів відзначають той факт, що на витрату палива істотний вплив має теплотехнічний стан тепловоза. Враховуючи факт масової модернізації тепловозів, у процесі якої відбувається заміна силових установок тепловозів, що відслужили свій термін, на сучасні дизелі, перспективним може стати розроблення методики нормування витрат палива в експлуатації на основі параметрів, що характеризують теплотехнічний стан тепловозного дизеля.

Серійні дизель-генератори, які встановлюються на тепловозах, мають досить досконалі системи керування. Зокрема системам характерне ступінчате задавання частоти обертання колінчастого вала, незадовільне протікання перехідних процесів дизелів при зміні робочого режиму. Крім того, завдана частота обертання колінчастого вала і фактична стала можуть значно відрізнятись одна від одної.

Сучасні регулятори гідромеханічного принципу діють у своєму розпорядженні дуже обмежені можливості задавання характеристик.

Тому останнім часом тепловозні дизель-генератори оснащуються електронними регуляторами з мікропроцесорним управлінням, наприклад фірми Heinzmann.

Мікропроцесорна система керування дизель-генератором тепловоза дозволяє зменшити витрату палива до 5-6 %, підвищити показники надійності силової установки на 15-20 %, поліпшити екологічні характеристики після оксидів азоту і вуглецю на 10-20 %, з димлення і сажі у 2-3 рази. Очікуване скорочення витрат на ремонт – близько 8 %.

Знижується також маса електроустаткування, зменшується витрата кольорових металів, кількість вузлів, що механічно зношуються, і деталей, а також кількість вузлів, що вимагають уважності при технічному обслуговуванні і ремонті локомотива.

Як показує аналіз, рухомий склад промислового залізничного транспорту працює на ділянках колії, що мають велику кількість кривих малого радіуса. На гірничо-видобувних підприємствах (ГЗК) ухил шляху досягає 50 ‰, а навантаження на вісь до 31 т. Вага поїздів часто перевищує допустиму норму, а стан шляху, як правило, не відповідає встановленим нормативам. Зазначені умови експлуатації призводять до інтенсивного зносу як гребенів колісних пар рухомого складу, так і бічної поверхні рейок. Причому інтенсивність зносу гребенів і рейок у кілька разів перевищує аналогічні параметри на магістральному транспорті.

Наприклад, знос гребенів тягових агрегатів на ГЗК настільки великі, що ремонт колісних пар проводять щомісяця. У результаті локомотиви виводяться з експлуатації на добу і більше.

На промисловому транспорті, зокрема на тягових агрегатах, використовувалися стрижневі контактні гребенезмашувачі, які встановлюють на кожному колесі локомотива. Недоліком контактних гребенезмашувачів є низька ефективність і надійність, нестабільність роботи через поломку стрижнів, кронштейнів кріплення або систем подачі, висока вартість і малий ресурс стрижнів, непрацездатність у зимових умовах і т. д.

Більш надійними і ефективними є безконтактні рідинні гребенезмашувачі (бортові лубрикатори). Частина локомотивів промислового транспорту і значна кількість рухомого складу залізниць і метрополітену оснащені безконтактними автоматичними гребенезмашувачами АГС 8.

Висновки. В умовах дефіциту паливно-мастильних матеріалів, постійного зростання цін на енергоносії питання їх економії і раціонального використання є надзвичайно актуальним.

Паливна економічність тепловозів досягається на підставі об'єктивної інформації про режими роботи тепловоза та витрати палива в експлуатації.

Інформація про режими роботи і витрата палива визначаються автоматизованими системами контролю параметрів роботи. Вибір варіанта визначається поставленими завданнями.

Модернізацію маневрового парку більшість підприємств проводять за рахунок

дизелів Коломенського тепловозобудівного заводу.

Маючи дані за результатами теплотехнічних випробувань, можливе уточнення розрахункового методу нормування витрат палива тепловозами в експлуатації.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 299 с.
2. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
3. Божеларский, Я.В. Удосконалення нормування витрати дизельного палива маневровими тепловозами [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / 05.22.07 / Я.В. Божеларский. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – 24 с.
4. Орлов, А.Е. Методика определения расхода топлива и эффективной мощности судовых ДВС в условиях эксплуатации [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / 05.22.07 / А.Е. Орлов. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, 2009. – 24 с.
5. Категоренко, И.И. Роль и значение промышленного железнодорожного транспорта [Текст] / И.И. Категоренко // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 1. – С. 18-20.
6. Молчанов, А.И. Автоматизированная система учета, контроля и анализа расхода топлива маневровыми тепловозами [Текст] / А.И. Молчанов, И.Л. Поварков, Л.А. Мугинштейн, К.М. Попов // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – С. 25-29.
7. Концепция и программа реструктуризации на железнодорожном транспорте Украины [Текст]. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
8. Мокриденко, Г.П. Расходомеры топлива для тепловозов [Текст] / Г.П. Мокриденко, Я.Д. Караджа // Электрическая и тепловозная тяга. – 1982. – № 8. – С. 8-9.
9. Dzetsina, O. Gladushin V. Method of diagnostics of locomotive diesel engine // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. Volume XA. – Lublin, 2010. – P. 91-97.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Бабійчук Юрій Олександрович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту, тел. (056) 49-97-480. E-mail:uriualex@mail.ru.

Babiichuk Yuriy, listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (056) 49-97-480. E-mail:uriualex@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 09.09.2015 р.

УДК 629.4.027

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРЯДКУ ДІАГНОСТУВАННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПРО ЇХ ПОШКОДЖЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук Ю.М. Дацун, магістрант Г.О. Колесніченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРО ИХ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук Ю.Н. Дацун, магистрант Г.О. Колесниченко

THE DETERMINATION OF THE PROCEDURE OF DIAGNOSTICS OF THE AXLE NODES OF LOCOMOTIVES ON THE BASIS OF DATA ABOUT THEIR DAMAGE IN MAINTENANCE

Cand. of techn. sciences Y. Datsun, master student G. Kolesnichenko

Проведено дослідження статистичних даних пошкоджень буксових вузлів електровозів ЧС-2 в експлуатації. Виявлено найбільш характерні пошкодження буксових вузлів і ймовірні причини їх виникнення. Визначено характеристики закону розподілу пошкоджень буксових вузлів. Розраховано момент проведення першого діагностування буксових вузлів після ремонту за критерієм безвідмовної роботи. Розглянуто основні методи вібродіагностики підшипникових вузлів. Сформовано напрямки підвищення надійності буксових вузлів.

Ключові слова: буксовий вузол, пошкодження, діагностика, вібрація, пробіг.

Проведено исследование статистических данных повреждений буксовых узлов электровозов ЧС-2 в эксплуатации. Выявлены наиболее характерные повреждения буксовых узлов и вероятные причины их возникновения. Определены характеристики закона распределения повреждений буксовых узлов. Рассчитан момент проведения первого диагностирования буксовых узлов после ремонта по критерию безотказной работы. Рассмотрены основные методы вибродиагностики подшипниковых узлов. Сформированы направления повышения надежности буксовых узлов.

Ключевые слова: буксовый узел, повреждения, диагностика, вибрация, пробег.

In the article the damage of the axle boxes of locomotives CHS-2 in operation are analyzed. The most frequently in use bearings of axle nodes are damaged (their rings and separators). On the basis of histograms is determined that the distribution obeys the Weibull law. Based on the analysis of the nature of the damage the main directions of improving the reliability of axle nodes of locomotives in maintenance are determined. To determine the technical condition of axle boxes the usage of the methods and technical systems based on the analysis of parameters of vibration is proposed. The article presents a short analysis of existing methods of diagnostics of the bearings of nodes. As a result of the calculation according to the criterion of uptime the time of first diagnosis of axle equipment after repair is defined.

To further determine the frequency of diagnosis the criterion of change of parameters of the technical state of the node is proposed to use. For the current conditions of the maintenance of locomotives the introduction of diagnostic systems that have the functions of anticipating and shaping the future recommendations according to the previous diagnostics would be as the most acceptable option.

Keywords: axle node, damage, diagnostics, vibration, mileage.

Постановка проблеми. Складна економічна ситуація в країні та залізничній галузі висуває на перший план питання економії всіх видів ресурсів. Вона змушує розробляти та впроваджувати заходи з підвищення ефективності експлуатації

рухомого складу залізниць. Відомо, що основними факторами, які визначають ефективну роботу тягового рухомого складу, є його безпека та надійність. Одними з вузлів, що обумовлюють безпеку руху та надійність тягового рухомого складу, є буксові вузли

локомотивів. Отже підвищення надійності буксових вузлів локомотивів в експлуатації є актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій.

Активний розвиток методів, заснованих на аналізі параметрів вібрації, дав потужний поштовх до розроблення технічних систем та обладнання для моніторингу та діагностики підшипникових вузлів [1, 2]. Однак у рамках існуючої системи технічних обслуговувань і ремонтів (ТОР) рухомого складу [3] не визначено чіткого порядку застосування засобів вібродіагностування буксових вузлів, що потребує додаткових досліджень.

Мега статті. На основі статистичних даних пошкоджень буксових вузлів в експлуатації виявити доцільність впровадження діагностичного обладнання, визначити порядок його застосування.

Виклад матеріалу. Для виявлення характеру виникнення пошкоджень буксових вузлів у локомотивному депо збирали відповідну статистичну інформацію. Отримані дані оброблялись відповідним чином, будувались гістограми розподілу пошкоджень.

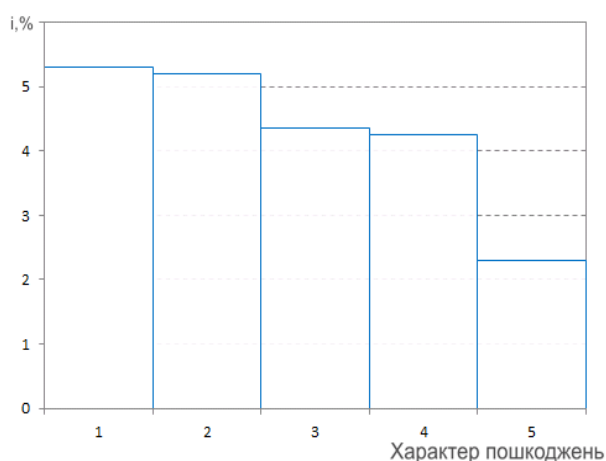
За даними локомотивного депо, найчастіше в експлуатації виникають тріщини в кільцях підшипників, руйнування сепаратора, пошкодження торцевого кріплення підшипника та повне руйнування підшипника (рис. 1, а). На рисунку 1 – тріщини в кільцях; 2 – руйнування сепаратора; 3 – пошкодження торцевого

кріплення підшипника; 4 – руйнування підшипника; 5 – деформація та пошкодження роликів.

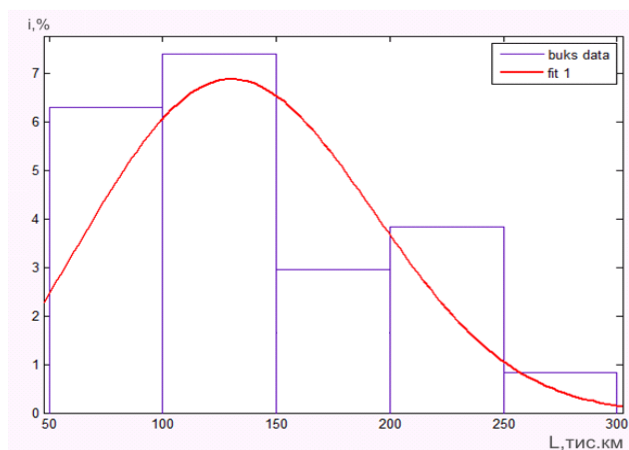
Тріщини в кільцях підшипників (рис. 2, а) виникають у результаті динамічних навантажень, ударів і порушень технології монтажу.

Руйнування сепараторів підшипників (рис. 2, б), як правило, є результатом недостатнього змазування та деформації зовнішніх кілець. Це призводить до виникнення нерівномірних сил до тіл кочення та впливу руйнуючих сил на сепаратор [4].

Розподіл пошкоджень буксових вузлів за пробігом дозволяє зазначити, що значна кількість подій виникає в інтервалі пробігу 50-100 тис. км. Найбільших значень кількість пошкоджень сягає в інтервалі 100-150 тис. км (рис. 2, б). Експлуатація електровозів з пробігами більше 150 тис. км після ремонту характеризується зменшенням кількості пошкоджень буксових вузлів до рівня 3-3,5 % і подальше зниження до рівня 0,8 % в інтервалі 250-300 тис. км. У результаті розрахунку була визначена відповідність побудованої гістограми теоретичному закону розподілення Вейбулла з математичним очікуванням 137,9 тис. км. Отримане значення математичного очікування значно менше встановлених пробігів електровозів ЧС2 для проведення ПР-2 (150 тис. км).



а



б

Рис. 1. Розподіли пошкоджень буксових вузлів електровозів ЧС2:
а – за характером пошкодження; б – за пробігом

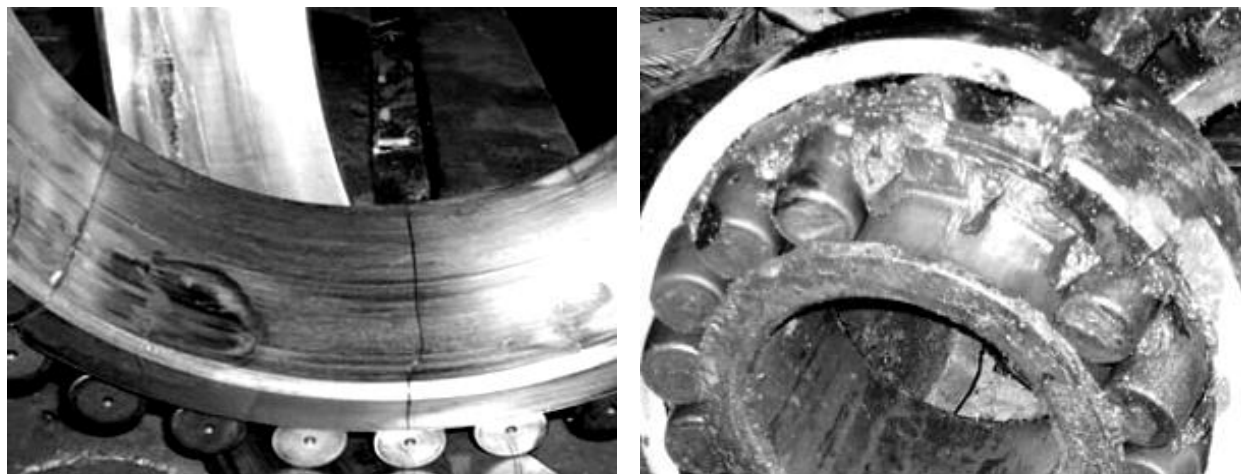


Рис. 2. Пошкодження підшипників буксових вузлів електровозів:
а – тріщини кільця підшипника; б – руйнування сепаратора

Проведений аналіз дозволяє відзначити недостатню надійність буксових вузлів електровозів ЧС2 в експлуатації. Основними причинами цього є порушення технології ремонту і монтажу підшипникових вузлів, збирання буксового вузла та закладання мастила при проведенні поточних і капітальних ремонтів. Отже для підвищення надійності буксових вузлів разом з впровадженням діагностичного обладнання слід усувати невідповідності ремонтного виробництва за такими напрямками: документація, технологічне обладнання і технологічна дисципліна, персонал, матеріали та запасні частини [5].

На сьогоднішній день існує велика кількість готових рішень для здійснення діагностики підшипникових вузлів, заснованих на аналізі параметрів вібрації. Так, прилади, що застосовують акустичний метод, оцінюють інтенсивність звукового тиску, що генерується підшипниковим вузлом у процесі роботи [6].

Широке розповсюдження отримав метод діагностики за загальним рівнем вібрації, коли в якості діагностичних приладів використовують найпростіші віброметри [7]. Однак цей метод дозволяє визначати дефекти лише на останній стадії їхнього розвитку, коли вони призводять або вже призвели до руйнування вузлів.

При діагностиці за спектрами вібросигналів, критерієм наявності й ступенем розвитку дефекту служать характерні складові

спектра на несучих частотах елементів вузла («піки»), їхня інтенсивність і періодичність.

Такий метод діагностики дозволяє виявляти дефекти підшипникових вузлів значно раніше, ніж акустичним методом чи при діагностиці за загальним рівнем вібрації [8].

Одним з методів, що дозволяє виявляти дефекти підшипників на ранній стадії, є діагностика за обвідними спектрами. Однак його реалізація вимагає застосування досить складних і дорогих збирачів даних і пакетів, що аналізують, прикладних програм. У підсумку діагностичний прилад перетворюється в комплекс, що містить окремо збирачів даних і персональний комп'ютер із програмою, що аналізує [1].

При застосуванні методу ударних імпульсів виконується аналіз взаємного узагальненого кількісного співвідношення двох характерних величин: середнього рівня вібрації – фону й максимального значення – «піка» ударного віброприскорення змущеної високо-частотної вібрації на частотах 30...32 кГц. Використання узагальненого кількісного співвідношення двох величин «середній рівень – пік» дозволяє виявляти дефекти підшипникових вузлів на досить ранніх стадіях їхнього розвитку. Однак через особливості вимірювальних процесів у вузькосмуговій області й співвідношення їх з параметрами вібрації метод не є ефективним для визначення якості змащення вузлів [9].

Метод акустичної емісії заснований на реєстрації й аналізі акустичних сигналів

ультразвукового діапазону, що супроводжують зародження й розвиток мікро- і макродефектів контролюваного об'єкта при його роботі [10].

Впровадження діагностичного обладнання локомотивів повинно супроводжуватись застосуванням нової системи, що буде передбачати періодичність проведення діагностувань, порядок зберігання та використання діагностичної інформації.

Для визначення оптимальної періодичності ремонтів локомотивів найчастіше застосовуються такі критерії [11]:

- мінімуму сумарних витрат на планові та непланові ремонти елементів з урахуванням збитків від псування локомотивів на лінії та зниження економічності;

- забезпечення заданої ймовірності безвідмовної роботи в міжремонтний період;

- максимуму коефіцієнта технічного використання.

Визначення оптимальних міжремонтних періодів для вузлів, відмови яких впливають на безпеку руху, проводять із застосуванням критерію безвідмовності

$$L_{p.o.} = v_{p.o.} \cdot L_{cp}, \quad (1)$$

де $v_{p.o.}$ – відносний міжремонтний пробіг

L_{cp} – напрацювання вузла на відмову.

Для отриманих експериментальних даних (рис. 1) і допустимої ймовірності безвідмовної роботи 0,95 розрахована періодичність ремонту буксових вузлів склала 48,2 тис. км, що добре узгоджується з експериментальними даними (рис. 1), за якими перше пошкодження буксового вузла після ремонту зареєстровано при пробігу 50 тис. км. У цей момент доцільно провести діагностування вузла, а подальше використання цього підходу не має сенсу. Діагностичні операції не змінюють технічний стан вузла, а інтенсивність відмов від точки $L_{p.o.}$ до L_{cp} різко зростає. Для визначення

періодичності діагностування на відрізок $L > L_{p.o.}$, що характеризується збільшенням кількості пошкоджень, доцільно використовувати методи, засновані на закономірності зміни параметрів технічного стану [12]. Отримання таких даних по буксових вузлах можливе тільки з застосуванням діагностичного обладнання. Найбільш прийнятним варіантом у такому випадку є впровадження комплексів, що мають функції прогнозування та формування подальших рекомендацій за даними попередніх діагностувань [13].

Висновки. У результаті проведених робіт було визначено:

- буксові вузли електровозів ЧС2 характеризуються низькою надійністю в експлуатації. Розподіл пошкоджень буксових вузлів добре описується законом розподілення Вейбулла з математичним очікуванням 137,9 тис. км;

- підвищення надійності буксових вузлів можливе тільки за умови комплексного підходу: впровадження діагностичного обладнання, усунення порушень технології та невідповідностей ремонтного виробництва;

- застосування критерію безвідмовної роботи дозволило виявити початковий післяремонтний пробіг 48,2 тис. км, що може бути використаний при визначенні порядку проведення діагностувань. Періодичність діагностування вузлів протягом всього терміну експлуатації доцільно проводити на основі методів, заснованих на закономірності зміни параметрів технічного стану;

- в умовах зниження якості запасних частин, зменшення обсягів перевезень, збільшення нерівномірності роботи локомотивів доцільним є застосування діагностичних комплексів, що мають функції прогнозування та формування подальших рекомендацій за даними попередніх діагностувань.

Список використаних джерел

1. Кривной, А.М. Комплексная оценка средств вибродиагностики [Текст] / А.М.Кривной, А.Т. Осяев // Локомотив. – 2005. – № 1. – С. 28-31.
2. Тэттер, В.Ю. Анализ развития систем вибродиагностики и тенденции их развития [Текст] / В.Ю. Тэттер, В.И. Щедрин // Омский научный вестник. – 2000. – Март. – С. 35-41.

3. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту та технічного обслуговування тягового рухомого складу [Текст]: Затв. наказом Укрзалізниці №093-Ц від 30.06.2010 р. – К., 2010. – 43 с.
4. Классификация повреждений подшипников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eam.su/klassifikaciya-povrezhdenij-podshipnikov.html>. – Загл. с экрана.
5. Тартаковский, Э. Применение экспертных методов для оценки организационно-технического уровня локомотиворемонтных предприятий [Текст] / Э. Тартаковский, В. Пузырь, Ю Дацун // TRANSPORT PROBLEMS. – 2014. – Vol. 4. – P. 215-220.
6. Костюков, В.Н. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования [Текст] // В.Н. Костюков, А.П. Науменко. – Омск: ОмГТУб, 2002. – 108 с.
7. LV-2 Лазерный вибропреобразователь [Текст]: техническое описание. – Новосибирск, 2002. – 10 с.
8. Русов, В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам [Текст] // В.А. Русов. – Пермь, 2012. – 200 с.
9. Li Zhen. Bearing condition monitoring based on shock pulse method and improved redundant lifting scheme [Текст] / Li Zhen, He Zhengjia, Zi Yanyang, Chen Xuefeng // Mathematics and Computers in Simulation. – 2008. – Vol. 79. Issue 3, December. – P. 318-338.
10. Федоров, Д.В. Акустико-эмиссионный метод диагностики технического состояния подшипниковых узлов локомотивов [Текст] / Д.В. Федоров // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 4. – С. 58-63.
11. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава. [Текст]: учеб. пособие // В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвертаков. – М.: Транспорт. – 1981. – 183 с.
12. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт. – 1991. – 416 с.
13. Інструкція з використання комплексу оперативної діагностики «Прогноз» [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 174-ЦЗ/од від 31.07.2013 р. – К., 2013. – 28 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.Г. Пузир

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, тел.: (057) 730-20-79.
E-mail: datsum.hiit@rambler.ru.

Колесниченко Г.О., магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: datsum.hiit@rambler.ru.

Datsun Yuri, cand. of techn. sciences, lecturer of department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-20-79. E-mail: datsum.hiit@rambler.ru.

Kolesnichenko Georgy, master student of department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-20-79. E-mail: datsum.hiit@rambler.ru.

Наукова праця здана до друку 07.09.2015 р.

УДК 629.4.06:621.822.6

**ВИКОРИСТАННЯ ЧЕТВЕРТОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО МОМЕНТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ
ВІБРОПРИСКОРЕНЬ БУКСОВИХ ПІДШИПНИКІВ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Канд. техн. наук В.Г. Равлюк, старш. викл. М.Г. Равлюк, магістранти М.О. Чернієнко,
О.В. Чепурнов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕТВЕРТОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО МОМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА
ВИБРОУСКОРЕНИЙ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Канд. техн. наук В.Г. Равлюк, старш. преп. Н.Г. Равлюк, магистранты Н.А. Черниенко,
А.В. Чепурнов

**THE FOURTH CENTRAL MOMENT TO ANALYZE THE ACCELERATIONS OF THE AXLE
BEARINGS OF ROLLING STOCK**

Cand. of techn. sciences V. Ravlyuk, a senior professor N. Ravlyuk, master student N. Cherniienko,
A. Chepurnov

Запропоновано метод, заснований на статичному параметрі коефіцієнта ексцесу, який залишається постійним для справного підшипника незалежно від навантаження і швидкості, але змінюється з розвитком пошкодження. Розміри пошкодження можуть бути оцінені за розподілом цього параметра в обраних інтервалах частот. Як і більшість інших простих методів виявлення пошкоджень, даний метод не дозволяє точно визначити природу дефекту, і для отримання такої інформації необхідно використовувати більш складні діагностичні методи.

Ключові слова: вібрація, діагностування, дослідження, коефіцієнт ексцесу, метод, момент, підшипник, рухомий склад, сигнал, стенд.

Предложен метод, основанный на статическом параметре коэффициента эксцесса, который остается постоянным для исправного подшипника независимо от нагрузки и скорости, но меняется с развитием повреждения. Размеры повреждения могут быть оценены по распределению этого параметра в выбранных интервалах частот. Как и большинство других простых методов обнаружения повреждений, данный метод не позволяет точно определить природу дефекта и для получения такой информации необходимо использовать более сложные диагностические методы.

Ключевые слова: вибрация, диагностирование, исследования, коэффициент эксцесса, метод, момент, подшипник, подвижной состав, сигнал, стенд.

The article is devoted to the vibration characteristics of one element, namely the rolling bearing and method, which is based on both bench and field tests and proven to be effective to identify items of axle bearing. The method is based on static kurtosis parameter, which remains constant for good bearing, irrespective of load and speed, but changes with the development of damage. The extent of damage can be estimated from the distribution of this parameter in the selected frequency intervals. Thus, the evaluation of bearing condition can be conducted with minimal use of information about its past state. Most other methods used to detect damage in a significant advantage of the data analysis, so this method could be a significant achievement in the field of detection of defects in the bearings or at least will allow you to create simple and cheap method. Like most other simple methods of damage detection, this method does not allow to define precisely the nature of the defect and to obtain such information it is necessary to use more sophisticated diagnostic methods.

Keywords: vibration, diagnostics, research, coefficient of kurtosis, method, time, bearing, rolling stock, signal, stand.

Вступ. Особливе місце у віброакустичній діагностиці машин і механізмів займає

проблема виявлення й діагностування дефектів, що зароджуються. Тільки можливість

виявлення експлуатаційних дефектів на ранній стадії їх розвитку може сприяти прогнозуванню відмов і безаварійній експлуатації вузлів рухомого складу. Удосконалення методів, що використовуються у цей час, й алгоритмів діагностування дефектів, що зароджуються, і розроблення нових методів сприяють успішній реалізації технології контролю розвитку деградаційних процесів у вузлах рухомого складу, а за швидкістю їх розвитку дозволяє прогнозувати залишковий ресурс, оцінювати оптимальний час ремонту, обсяг і вартість ремонтних робіт.

Нині методам контролю стану вузлів рухомого складу приділяється значна увага, оскільки вони сприяють зменшенню планових витрат на технічне обслуговування, виключення відмов і підвищення коефіцієнта надійності вузла. Успішна робота вузлів рухомого складу залежить від якості кожного елемента, наприклад підшипників, зубчатих передач, валів та ін., тому ефективний контроль роботи вузлів вимагає знання детального поведіння цих елементів і взаємодії між їх собою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш загальними методами аналізу вібраційних даних з метою діагностики пошкодження підшипників є спостереження за змінами середньоквадратичного рівня й спектральної щільності; з розвитком пошкодження середньоквадратичний рівень зростає [1, 2, 13]. Уточненням простого вимірювання середньо-квадратичного рівня служить спостереження за зміною в різних октавних або триоктавних смугах частот.

Автори роботи [3] ідентифікували основні частоти вібрації підшипника й зміну амплітуд, що відповідають конкретним дефектам підшипників кочення. Через природу вібрацій підшипника основні частоти звичайно проявляються як модуляції потужного конструкційного резонансу обертової системи, а не як чисті тони; останні часто забиваються іншими значними складовими сигналами.

У роботі [4] доведено, що дефекти, які породжують імпульси, найбільш істотні серед пошкодження підшипника в діапазоні частот близько 35 кГц, причому ця частота відповідає резонансній частоті акселерометра.

У роботі [5] автори виконали загальний огляд методів діагностування механічних обертових вузлів і розглянули їх переваги та недоліки.

Автори в статті [6] запропонували спрощену схему пристрою для зняття сигналів з віброакселерометра та метод подальшої обробки спектрограми, що дозволило з мінімальними витратами, але з чималою вірогідністю проводити вібраційну оцінку підшипників.

Необхідно окремо виділити результати дослідження [7], де зареєстровані вібраційні реалізації містять багато цінної інформації, яку повністю сприйняти практично неможливо, у зв'язку з чим сигнали зазнають попередньої обробки різними методами з метою виділення складових з певними характеристиками [8, 9].

Метою роботи є метод визначення статистичної оцінки аналізу вібрації на основі застосування коефіцієнта ексцесу як кількісної оцінки, яка характеризує ступінь відхилення форми закону розподілу від нормального, що дозволяє оцінити технічний стан буксових підшипників рухомого складу.

Викладення основного матеріалу. Для попередження відмов вузлів рухомого складу значного поширення набули засоби вібродіагностики. Проте існуючі вібродіагностичні комплекси не дозволяють визначати пошкодження підшипників кочення з високою достовірністю, що обумовлює необхідність розроблення дієвих методів визначення пошкоджень на ранніх стадіях розвитку для запобігання виникнення аварійних ситуацій протягом експлуатації. У вібродіагностуванні широкого розповсюдження набули детермінований і стохастичний підходи. При експериментальних дослідженнях для визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу розглядалася дієвість коефіцієнта ексцесу як діагностична ознака [10].

Статистичні методи аналізу вібрації, які дозволяють її виміряти в будь-якій точці підшипникового вузла, застосовуються в тих випадках, коли неможливо точно задати значення вібрації $x(t)$ у будь-який момент часу t або встановити точний зв'язок між її значеннями, що відрізняються на часовий інтервал Δt , тобто коли сигнал вібрації є стохастичним випадковим процесом. У практичній діагностиці звичайно використовуються лише деякі з основних методів одномірного статистичного аналізу вібрації або її параметрів.

Першим із таких методів є кількісна оцінка відмінності параметрів реального розподілу щільності ймовірності $p(x)$ вимірюваного сигналу $x(t)$ або попередньо виділених з нього компонентів від відповідних параметрів нормального закону розподілу [8, 11].

Другий метод полягає у визначенні граничних значень для кожного з обраних параметрів вібрації, що розділяють буксові підшипники під час контролю на класи з різними властивостями за результатами періодичного контролю цих параметрів.

У рамках третього методу виконується кількісна оцінка тенденцій зміни тих або інших параметрів вібрації в часі, тобто будуються відповідні тренди.

Ще одним з використовуваних методів можна вважати встановлення статистичних зв'язків між різними компонентами того самого сигналу вібрації.

Щільність імовірності значень сигналу $x(t)$, як відомо, задовольняє умову

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1. \quad (1)$$

Вібрація, як правило, має симетричні відносно рівноважного положення значення, але при цьому $p(x)$ може мати різну форму. На рис. 1 наведено розподіли вибірових значень гармонійної (рис. 1, а) і випадкової стаціонарної вібрації (рис. 1, б).

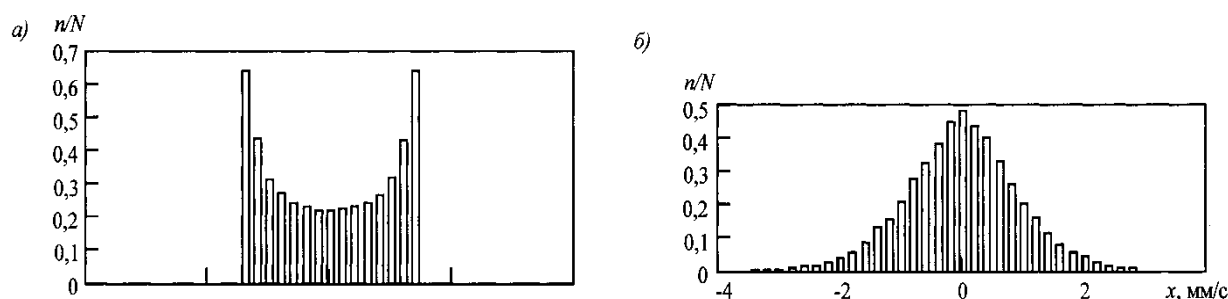


Рис. 1. Гістограми щільності розподілу групи з kN вибірових значень x_{i1} , x_{i2} двох сигналів вібрації рівної потужності, де $1/k$ – ширина вибірки по осі x

У вібраційній діагностиці завдання з визначення виду закону розподілу $p(x)$ зазвичай не ставляться. Це пов'язано з тим, що закон розподілу суми декількох складових стаціонарної вібрації, як правило, мало відрізняється від нормального [9, 11], а вібрація будь-якого вузла практично завжди містить кілька компонентів різної природи. Тому більш важливим завданням стає кількісна оцінка відмінності реального розподілу $p(x)$ від нормального [8].

Така оцінка проводиться за чотирма основними параметрами розподілу $p(x)$: першим початковим моментом (середнім значенням), а також другим, третім й четвертим центральними моментами розподілу [2, 12].

Непарні моменти ($n=1, 3, 5, \dots$) дають інформацію про положення максимуму щільності відносно медіанного значення. Парні моменти ($n=2, 4, 6, \dots$) вказують розкид розподілу, у той час як вищі парні моменти

були дуже чутливими до імпульсних сигналів, які пов'язані з пошкодженнями підшипника. Нормований четвертий момент (або коефіцієнт ексцесу) являє собою компромісний захід між слабкочутливими низькими моментами і сильночутливими високими моментами. Моменти ($n>2$) можуть бути нормовані шляхом виключення математичного очікування x і розподілу на середньоквадратичне відхилення σ , зведене в степінь порядку моменту, тобто σ^n .

Середнє значення сигналу $x(t)$ визначається за виразом

$$\bar{x}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) p(x) dx. \quad (2)$$

Оскільки $\bar{x}$ розраховується за вибіркою з N значень сигналу $x(t)$, вибіркова оцінка середнього значення дорівнює

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(t_i). \quad (3)$$

В абсолютній більшості випадків $\bar{x} = 0$.

Якщо значення $\bar{x}$ відрізняється від нуля більше, ніж на величину статистичної помилки, це найчастіше є ознакою нелінійності каналів вимірювання й аналізу сигналу вібрації.

Другий центральний момент σ_x^2 розподілу $p(x)$ визначається за виразом

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} p(x)(x - \bar{x})^2 dx. \quad (4)$$

При кінцевій вибірці з N значень $x(t)$ і умові $\bar{x} = 0$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_i^2. \quad (5)$$

Дисперсія σ_x^2 є кількісною оцінкою потужності змінних складових сигналу вібрації, але при аналізі сигналів вібрації замість дисперсії найчастіше використовується величина середньоквадратичного значення (СКЗ) сигналу σ_x , яка, наприклад, для гармонійного сигналу з амплітудою A_0 дорівнює $A_0 / \sqrt{2} \approx 0,7 A_0$.

З величиною середньоквадратичного значення сигналу пов'язана й статистична помилка середнього значення сигналу, обумовленого за групою з N незалежних вимірювань $x(t)$. З довірчою ймовірністю 95 % вона дорівнює $2\sigma_x / \sqrt{N}$.

Слід також зазначити, що в складних за складом сигналів вібрації зі щільністю ймовірності $p(x)$, що підпорядковується нормальному закону розподілу, єдиним моментом розподілу, відмінним від нуля, є σ_x^2 , тобто його потужність [8, 9].

Центральні моменти розподілу порядку вище двох звичайно використовуються для кількісних оцінок відхилень закону розподілу $p(x)$ від нормального не всього сигналу вібрації, а попередньо виділених з нього компонентів, наприклад високочастотних. При цьому

заходом відхилення є нормовані (тобто віднесені відповідно σ_x^3 й σ_x^4) третій і четвертий моменти, які називаються коефіцієнтами асиметрії й ексцесу:

$$\gamma_x = \frac{1}{(N-2)\sigma_x^3} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3, \quad (6)$$

$$\eta_x = \frac{1}{(N-3)\sigma_x^4} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4. \quad (7)$$

Коефіцієнт асиметрії (γ_x) вибірових значень вібрації при контролі буксових підшипників рухомого складу є близьким до нуля, якщо забезпечена лінійність засобів вимірювання вібрації, тому що він оцінює асиметрію розподілу $p(x)$ відносно середнього (нульового) значення.

Коефіцієнт ексцесу (η_x) характеризує ступінь відхилення форми закону розподілу $p(x)$ від нормального з тим самим середньоквадратичним значенням σ_x . Сильніше за все він реагує на появу викидів у сигналі через виникнення мікро- і макроударів у буксових підшипниках. Розподіл, на відміну від нормального, стає гостровершинним з "хвостами" в області більших за модулем значень $x(t)$. На рис. 2, б наведено типовий розподіл N вибірових значень високочастотної вібрації підшипника кочення з дефектами поверхонь кочення, що призводять до появи ударних імпульсів [2, 4].

Коефіцієнт ексцесу для такого розподілу може становити значення більше 100, у той час як величина пік-фактора вібрації не перевищує 10. Для того щоб ці величини були порівнянні, замість коефіцієнта ексцесу іноді використовується параметр, що являє собою корінь четвертого степеня з коефіцієнта ексцесу. У загальному випадку коефіцієнт ексцесу високочастотної вібрації може мати більшу діагностичну цінність, ніж величина пік-фактора або хрест-фактора [13].

На рис. 2 наведено щільності розподілу відліків часової форми вібрації з відповідними кривими розподілу.

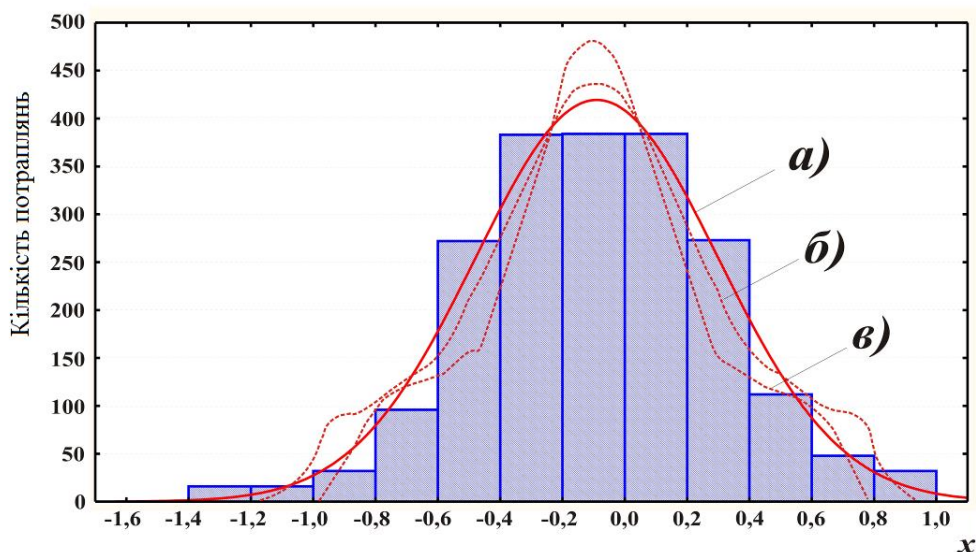


Рис. 2. Гістограма щільності розподілу значень віброприскорень буксового підшипника:
а – нормальний закон щільності розподілу віброприскорень підшипника вказує на задовільний технічний стан; б – пошкодження, яке зароджується і викликає зміни у хвостовій частині кривої розподілу; в – розвинуте пошкодження викликає істотні зміни у хвостовій частині кривої розподілу

Поява в підшипниках кочення при діагностуванні дефектів, що призводять до ударів, може й не супроводжуватися зростанням височастотної вібрації в точках її контролю (за наявності сильного загасання на шляху поширення коливань). Більш того, якщо ці удари мають постійний напрямок, тоді вони збуджують швидкозагасальні несиметричні власні коливання в підшипниках кочення. Відповідно і весь сигнал вібрації може бути несиметричним із відмінними від нуля як середнім значенням $\bar{x}(t)$, так і коефіцієнтом асиметрії (γ_x). При ідентифікації таких сигналів вібрації з метою виявлення ударів у буксових підшипниках при діагностуванні необхідно переконатися в тому, що в засобах вимірювання й аналізу вібрації немає нелінійних викривлень сигналів.

Під час виконання натурних досліджень на першому етапі для уточнення діагностичних ознак технічного стану буксових підшипників рухомого складу на стенд СВП-01В встановлювали технічно справні підшипники. При вібродіагностуванні для кожного з підшипників реєструвалася вібрація (рис. 3, а). Коефіцієнт ексцесу справного підшипника є близьким до трьох, а середньоквадратичний і максимальний рівні змінюються відповідно в межах ± 50 і ± 65 % у тому самому інтервалі навантаження й швидкості.

На другому етапі досліджень на стенд СВП-01В встановлювався підшипник із тріщиною зовнішнього кільця 12,5 мм, яка виникла в процесі експлуатації рухомого складу. На зареєстрованій віброграмі чітко видно нестаціонарні спалахи, які відповідають контакту тріщини зовнішнього кільця з роликками. Ці нестаціонарні спалахи виникають пакетами 1 раз за оберт сепаратора (рис. 3, б).

На третьому етапі досліджень реєструвались вібраційні реалізації підшипника кочення з розвинутою тріщиною зовнішнього кільця. Протягом усього випробовування під навантаженням (7 год) спостерігались дискретні викиди, які підвищують рівень фону, але залишаються порівняно незмінними (рис. 3, в, г).

Для спостереження за зміною ексцесу з розвитком пошкодження після обробки результатів діагностування буксових підшипників були побудовані графіки, які наведені на рис. 4. Виділялися вібраційні реалізації в чотирьох частотних діапазонах ($f_1=1-3$ кГц; $f_2=3-5$ кГц; $f_3=5-7$ кГц; $f_4=7-10$ кГц). У справному підшипнику ексцес дорівнює трьом у всіх діапазонах (рис. 4, а). Значення ексцесу помітно зростає вище трьох зразу ж після встановлення підшипника з тріщиною 12,5 мм, причому це зростання узгоджується із зміною максимального рівня (рис. 4, б).

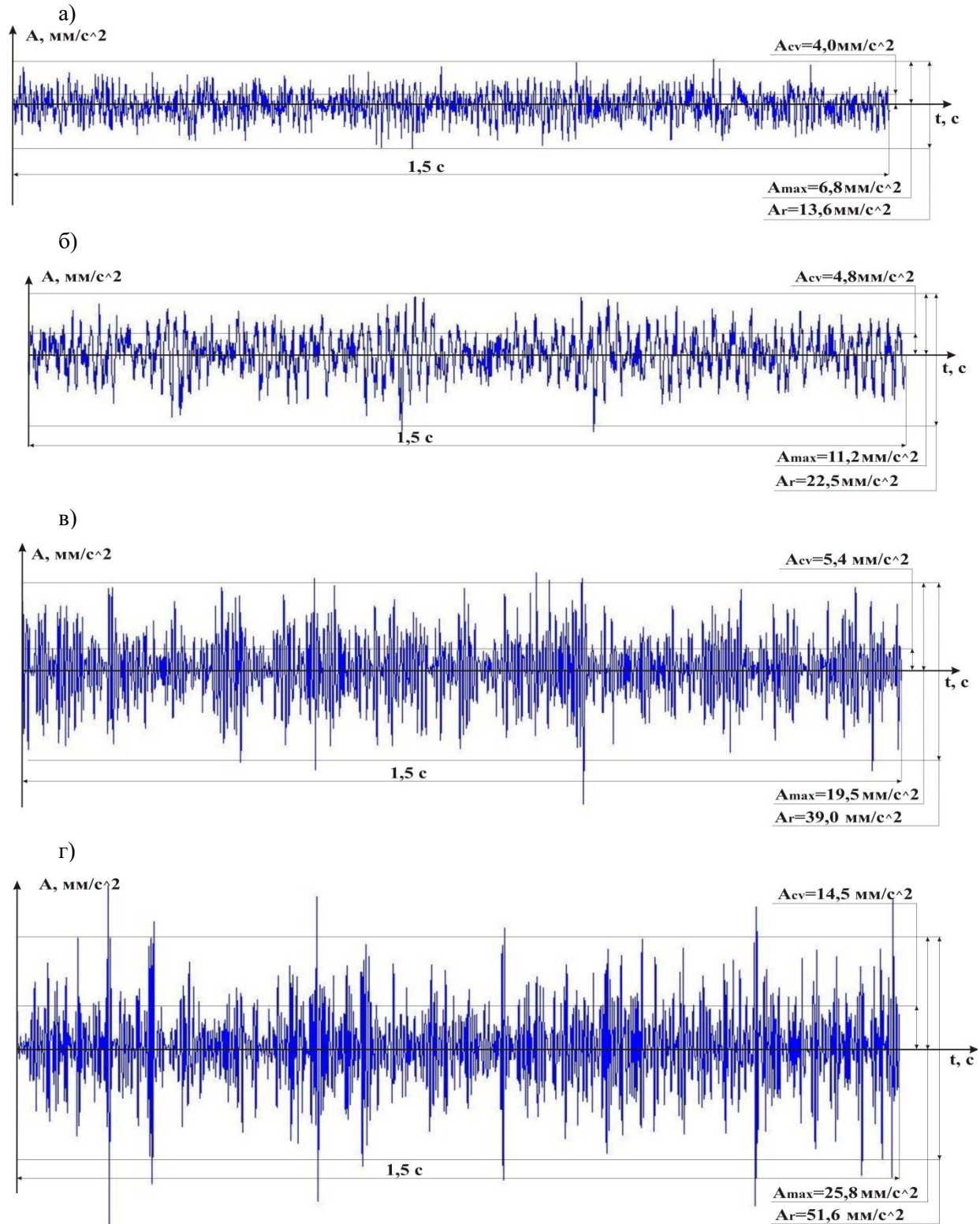


Рис. 3. Вібраційний сигнал: а – справного підшипника ($\eta_x=3$); б – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 12,5 мм ($\eta_x=7,8$); в – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 31,3 мм (після 2,5 год роботи під навантаженням) ($\eta_x=12,1$); г – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 42,8 мм (після 7 год роботи під навантаженням) ($\eta_x=23,7$)

Значення ексцесу при встановленні підшипника на стенд СВП-01В з більшою тріщиною швидко зростає і після 2,5 год випробування під навантаженням досягає значення 7,1 (рис. 4, в). При подальшому обертанні ексцес спочатку зменшився, але потім знову зріс до максимального значення 11 (рис. 4, г). Потім зміни стали доволі хаотичними і ексцес виявив тенденцію до

повертання на рівень, який дорівнює трьом (рис. 4, д). Відповідні залежності прискорення від часу подано на рис. 4, вони доводять, що на ранніх стадіях розвитку пошкодження нестационарна вібрація виникає пакетами. Така картинка зберігається до появи значної тріщини, після чого спокійний період між пакетами починає зникати, а пакети стають менш різноподібними.

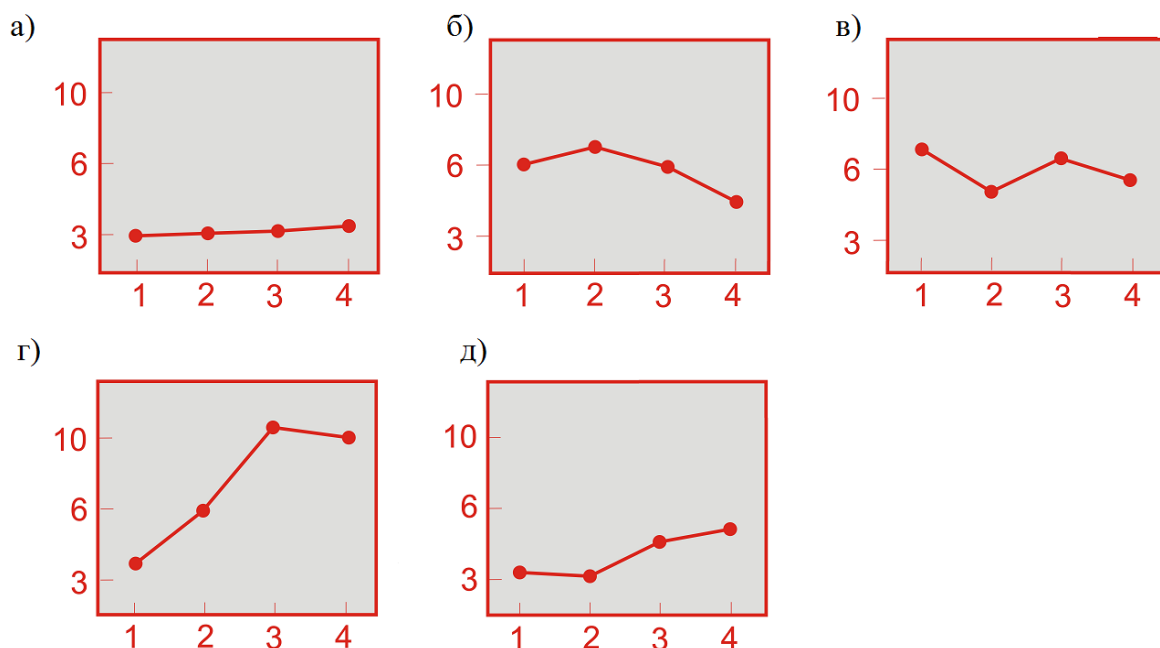


Рис. 4. Залежність зміни ексцесу: а – справного підшипника; б – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 12,5 мм; в – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 31,3 мм (після 2,5 год роботи під навантаженням); г – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 37,9 мм (після 4 год роботи під навантаженням); д – підшипника з тріщиною зовнішнього кільця 42,8 мм (після 7 год роботи під навантаженням)

Висновок. Доведено, що значення ексцесу у вибраних смугах частот є потенційно потужним засобом кількісної оцінки для визначення технічного стану буксових підшипників. Головними перевагами цього параметра є нечутливість до зміни швидкості й навантаження підшипника і здатність служити показником ступеня пошкодження і схильності до розповсюдження пошкодження. Проте ексцес є безадресною діагностичною ознакою і йому властива хаотичність зміни, що ускладнює визначення технічного стану. Отже, стохастичний підхід до вирішення завдань вібродіагностування є менш потужним, ніж детермінований підхід. Слід зазначити, що

“граничного часу напрацювання до відмови” цей метод не дає. Однак отримана інформація дозволяє оцінити технічний стан буксових підшипників.

Значними перевагами цього методу є те, що його можна застосовувати для всіх типів підшипників кочення, що підтверджено лабораторними й натурними випробуваннями. Особливі труднощі виникають при поясненні результатів для різних підшипників і підшипників, що працюють у режимах, близьких до кавітаційних. Однак шляхом перегляду смуг частот і інтерпретації вимірів все ж таки можна визначити стан підшипника, але з меншою чутливістю й надійністю.

Список використаних джерел

1. Wheeler, P.G. (1968). Bearing Analysis Equipment Keeps Downtime Down, Plant Engineering. – Vol. 25. – P. 87-89.
2. Monk, R. (1972). Vibration Measurement Gives Early Warning of Mechanical Faults, Process Engineering, November. – P. 135-137.
3. Мартинов, І.Е. Вибродіагностування підшипників кочення рухомого складу методом обвідної [Текст] / І.Е. Мартинов, В.Г. Равлюк // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. — Донецьк, 2010. – Вип. 23. – С. 127-133.
4. Mathew, J. & Alfredson, R. J. (1984). The Condition Monitoring of Rolling Element Bearings Using Vibration Analysis,” Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design. – Vol. 106, July. – P. 447-453.
5. Браташ, О.В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей [Текст] / О.В. Браташ, А.П. Калинов // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: междунар. науч.-техн. журнал. – 2012. – № 5. – С. 44-52.
6. Чернышенко, А.В. К вопросу об автоматизации вибродиагностики подшипников качения [Текст] / А.В. Чернышенко, А.А. Павлова, В.П. Петрушак // Сб. науч. трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Машинознавство і САПР. – 2007. – № 3. – С. 145-151.
7. Борзилов, І.Д. Визначення працездатності буксових вузлів вагонів вибродіагностичними методами [Текст] / І.Д. Борзилов, В.Г. Равлюк, М.Г. Равлюк // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – Вип. 19. – С. 83-92.
8. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учебник / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
9. Баркова, Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Расчет основных частот вибрации узлов машин, параметров измерительной аппаратуры и практическая экспертиза [Текст] / Н.А. Баркова, А.А. Борисов. – СПб.: СПбГМТУ, 2009. – 111 с.
10. Михалків, С.В. Удосконалення технології діагностування підшипників кочення електричних двигунів тепловозів за вібраційними характеристиками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / С.В. Михалків. — Харків, 2007. — 168 с.
11. Равлюк, В. Г. Удосконалення технології вибродіагностування буксових підшипників вантажних вагонів на проміжних ревізіях [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.22.07 / В.Г. Равлюк. — Харків, 2014. – 206 с.
12. Mathew, J. (1989). Monitoring the Vibrations of Rotating Machine Elements-An Overview, ASME, DE. – Vol. 18-5. - P. 15-22.
13. Dyer, D. & Stewart, R. M. (1978). Detection of Rolling Element Bearing Damage by Statistical Vibration Analysis, Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design. – Vol. 100, April. – P. 229-235.

Рецензент д-р техн. наук, професор В. Г. Маслій

Равлюк Василь Григорович канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Равлюк Микола Григорович, старший викладач, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35.

Чернієнко Микола Олексійович, магістрант.

Чепурнов Олександр Васильович, магістрант.

Ravlyuk Vassyl G. cand. of techn. sciences, docen of chair of cars of Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Ravlyuk Mykola G. a senior professor of chair of cars of Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (057) 730-10-35.

Cherniienko Mykola O. master student.

Chepurinov Oleksandr V. master student.

Наукова праця здана до друку 14.09.2015 р.

УДК 629.463.65

УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО МІЦНОСТІ ПРИ МАНЕВРОВИХ СПІВУДАРЕННЯХ

Канд. техн. наук А.О. Ловська, магістрант Ю.Ю. Шафунов

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО ПРОЧНОСТИ ПРИ МАНЕВРОВЫХ СОУДАРЕНИЯХ

Канд. техн. наук А.А. Ловская, магистрант Ю.Ю. Шафунов

IMPROVEMENT OF A CARRYING STRUCTURE OF OPEN-TOP WAGON WITH THE PURPOSE OF PROVIDING OF HIS DURABILITY AT HITTING

Cand. of techn. sciences A.A. Lovskaya, masterstudent Yu.Yu. Shafunov

У статті наведено результати досліджень міцності несучої конструкції кузова напіввагона в умовах маневрових співударень. Виявлено зони кузова напіввагона, які зазнають найбільшої концентрації напружень в умовах співударення. З метою забезпечення міцності кузова напіввагона запропоновано заходи щодо удосконалення його несучої конструкції.

Ключові слова: напіввагон, рама, напружено-деформований стан, міцність, удосконалення конструкції.

В статье представлены результаты исследований прочности несущей конструкции кузова полувагона при маневровых соударениях. Выявлены зоны кузова полувагона, которые поддаются наибольшей концентрации напряжений в условиях соударения. С целью обеспечения прочности кузова полувагона предложены мероприятия по усовершенствованию его несущей конструкции.

Ключевые слова: полувагон, рама, напряженно-деформированное состояние, прочность, усовершенствование конструкции.

The article presents the results of investigations of the strength of the supporting structure of the body open-top wagon at shunting impacts taking into account the different speeds. Research literature on the safety of wagon fleet during the manoeuvres showed that the speed of collision of the wagons in operation exceed the standard. This causes increased force loading bearing structures gondola body and damaging them. Almost half of all injuries in new wagons occurs when the dissolution from the hills. The greatest percentage of damages falls on the supporting structures of wagon bodies.

With the aim of ensuring the strength of bodies of wagons during shunting impacts to meet the increasing speeds of the improved load-bearing structures, by putting on the most loaded areas of the frame reinforcing plates. The thickness of the lining is selected proceeding from the condition of ensuring the strength. Calculation of the strength of the body of a wagon carried out using the finite element method.

The results of the calculation of the strength of the body of the wagon with respect to the proposed activities, allowed us to conclude about the feasibility of the technical solutions. In addition, proposed measures for improvement of the supporting structure body of a open-top wagon allow you to maintain the technical condition at the existing repair facilities.

Keywords: open-top wagon, frame, strength-deformed state, durability, improvement of a structure.

Вступ. Ефективність роботи залізничного транспорту здебільшого залежить від технічного стану рухомого складу. Ступінь поповнення вагонного парку Укрзалізниці за останні роки є незначним. Це зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових інноваційних рішень щодо

удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів, технологій їх ремонту тощо, які дозволять підтримувати технічний стан рухомого складу при існуючій ремонтній базі.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.

Підвищення інтенсивності експлуатації вантажних вагонів супроводжується збільшенням швидкостей їх співударянь при маневрових операціях, а отже, і підвищенням силових навантажень на їхні несучі конструкції [1].

Аналіз статистичних даних пошкоджень вагонів при здійсненні маневрових операцій, що зафіксовані в умовах Донецької залізниці за останні роки, показав, що найбільша кількість пошкоджень припадає на їхні несучі конструкції. Тому необхідним є розроблення заходів, спрямованих на забезпечення міцності вагонів при маневрових співударяннях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою забезпечення міцності кузова напіввагона при маневрових співударяннях ведуться роботи щодо удосконалення його несучої конструкції. Відома рама вагона, запропонована російськими конструкторами [2].

Шворнева балка зв'язана з хребтовою за допомогою додаткових підсилюючих елементів, з яких короткі спрямовані в бік центра рами. Підсилюючі елементи виконано у вигляді пластин і встановлено паралельно повздовжній осі хребтової балки. При цьому кожна з пластин встик сполучена з нижнім листом шворневої балки та приварена до нижньої полиці зетподібного профілю хребтової балки, перекриваючи при цьому повздовжню крайню грань.

Недоліком зазначеного удосконалення є недостатнє забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях з урахуванням підвищених швидкостей.

Для підвищення міцності консольної частини рами вагона ЗАТ “Инженерный центр Объединения вагоностроителей” (Росія) запропонував нову конструкцію шворневої балки, яка включає поперечну до повздовжньої осі вагона балку прямокутного перерізу, верхні та нижні листи, вертикальні діафрагми, що зв'язують їх в єдину конструкцію, паралельні повздовжній осі вагона, а також вертикальні поперечні листи.

На нижніх листах шворневої балки встановлено ковзуни та п'ятник. Вирізи в нижніх листах дозволяють розмістити авторежим гальмівної системи вагона.

Вертикальні поперечні листи встановлено з віяловою розбіжністю у бік від повздовжньої осі вагона, що дозволяє

підвищити надійність і міцність шворневої балки рами [3].

Недоліком запропонованої конструкції шворневої балки є підвищена маса порівняно з прототипом.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень, які наведені в статті, є удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення його міцності при маневрових співударяннях. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Провести дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона з урахуванням різних швидкостей маневрових співударянь.

2. Розробити заходи щодо забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях.

Основна частина дослідження. Для дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона в умовах маневрових співударянь побудовано його просторову модель у середовищі програмного забезпечення SolidWorks (версія 2015) [4-6]. У якості вагона-прототипу обрано напіввагон моделі 12-757 побудови ПАТ “КВБЗ”.

Розрахунок на міцність проведено з використанням методу скінчених елементів [7-9] у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. При визначенні кількості елементів сітки застосовано графо-аналітичний метод. У якості скінчених елементів застосовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри.

Скінчено-елементну модель (СЕМ) напіввагона наведено на рис. 1. Кількість елементів сітки склала 473652, вузлів – 154365. При цьому максимальний розмір елемента склав 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків – 566,7, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 25, більше 10 – 27,4. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

При складанні моделі не враховано зварні шви в зонах взаємодії окремих елементів конструкції кузова між собою.

Для виявлення зон конструкції кузова напіввагона, які зазнають найбільших навантажень при маневрових співударяннях, проведено розрахунок на міцність з урахуванням різних швидкостей співударяння.

Схема прикладення ударного навантаження $P_{y\delta}$ до несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні наведена на рис. 2.

Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання кузова на ходові частини, а також за задній упор автозчіпного пристрою,

розміщений з протилежного боку від прикладення ударного навантаження.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні з різними швидкостями наведено в таблиці.

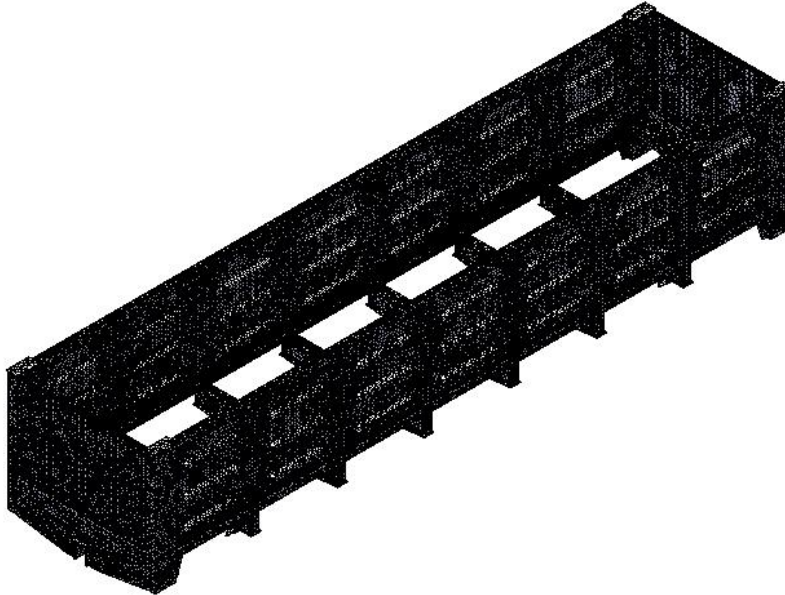


Рис. 1. СЕМ несучої конструкції кузова напіввагона

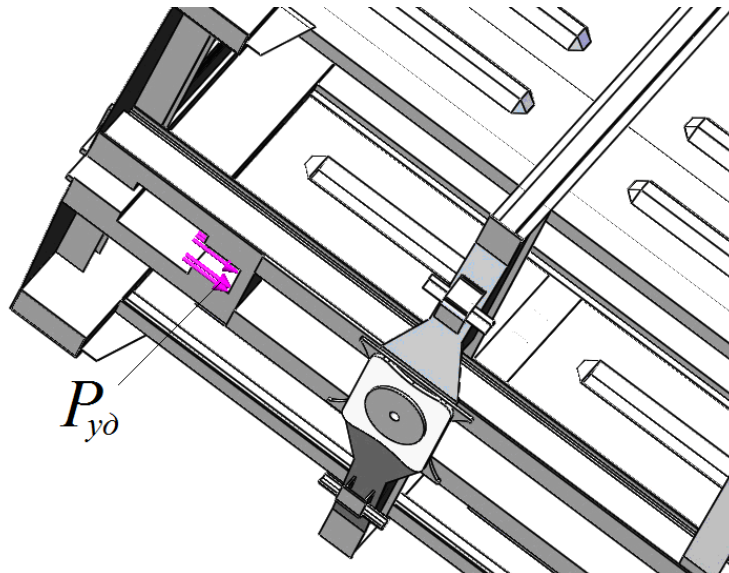


Рис. 2. Схема прикладення ударного навантаження до несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні

Таблиця

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні

Показник	Швидкість співударяння напіввагона, км/год				
	3	4	5	7	15
Напруження, МПа	195,3	257,7	339,4	485,4	1016
Переміщення у вузлах, мм	3,36	3,46	3,62	3,9	5,16
Деформації	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$	$2,84 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$

З таблиці видно, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції кузова напіввагону знаходяться в межах допустимих при швидкостях співударяння до 5 км/год, а при її збільшенні до 7 км/год та 15 км/год, що має місце в умовах експлуатації, напруження перевищують допустимі [10], відповідно, на 29% та 66%.

З метою забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагону в умовах маневрових співударянь пропонується постановка на зовнішню частину нижньої полки зетподібного профілю хребтової балки підсилюючих накладок, довжина яких дорівнює довжині від заднього упору автозчепу до нижнього листа шворневої балки (рис. 3).

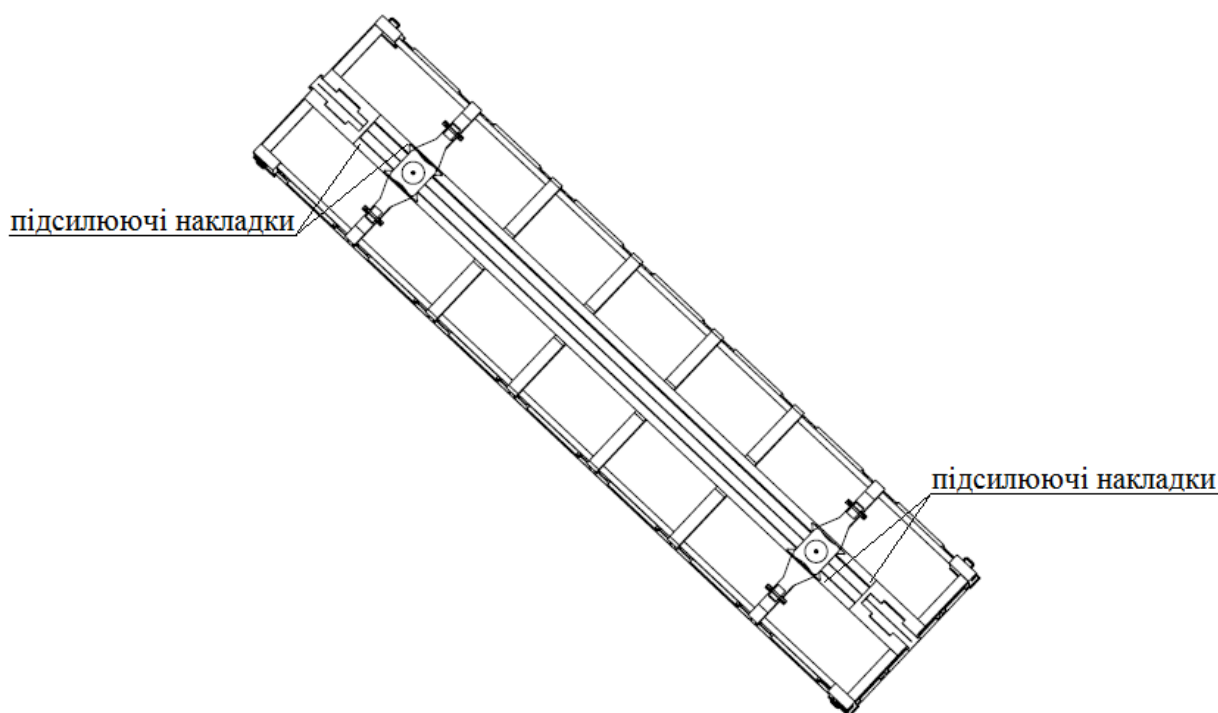


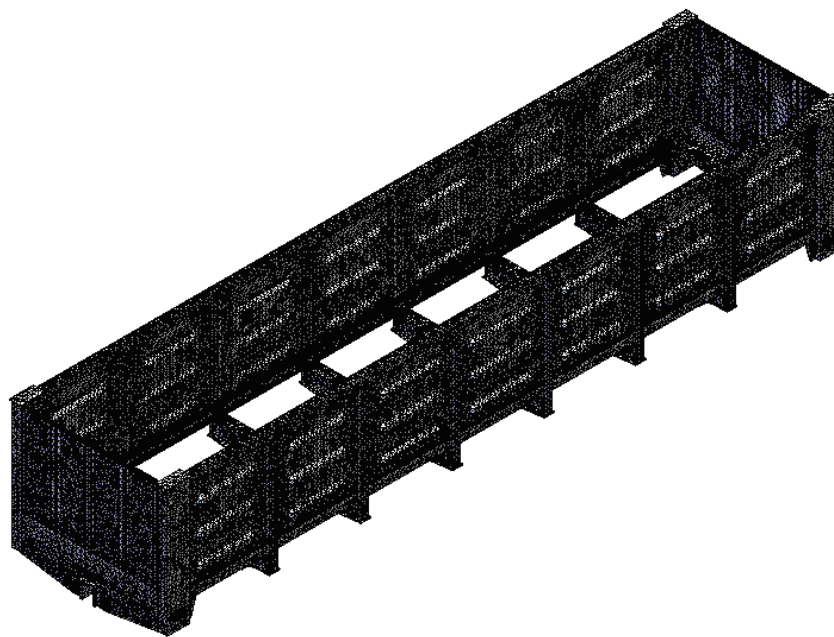
Рис. 3. Розміщення підсилюючих накладок на рамі напіввагона

Товщина накладки вибрана виходячи з умови забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях. При цьому розрахункова швидкість співударяння прийнята рівною середній швидкості співударяння вагонів при маневрових операціях, яка, за результатами

досліджень, наведених у роботі [1], перевищує нормативну на 40 %.

Для дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення його несучої конструкції проведено розрахунок. СЕМ кузова напіввагона наведено на рис. 4.

а)



б)

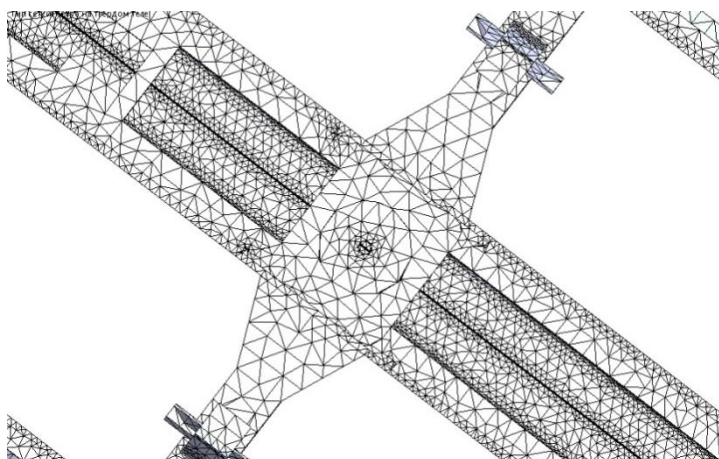


Рис. 4 СЕМ кузова напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення його несучої конструкції:
а – загальний вигляд; б – фрагмент сітки в зоні встановлення підсилюючих накладок

Кількість елементів сітки склала 493357, вузлів – 159910. При цьому максимальний розмір елемента склав 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків – 680,33, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 25,7, більше 10 – 26,3. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,8.

Результати розрахунків на міцність при швидкості співударяння вагона 7 км/год наведено на рис. 5.

З проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільша величина напружень складає близько 334 МПа, що нижче напружень плинності матеріалу конструкції на 3 % [10]. Максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині рами вагона та складають – 4,4 мм, деформації в конструкції становлять $2,7 \cdot 10^{-3}$.

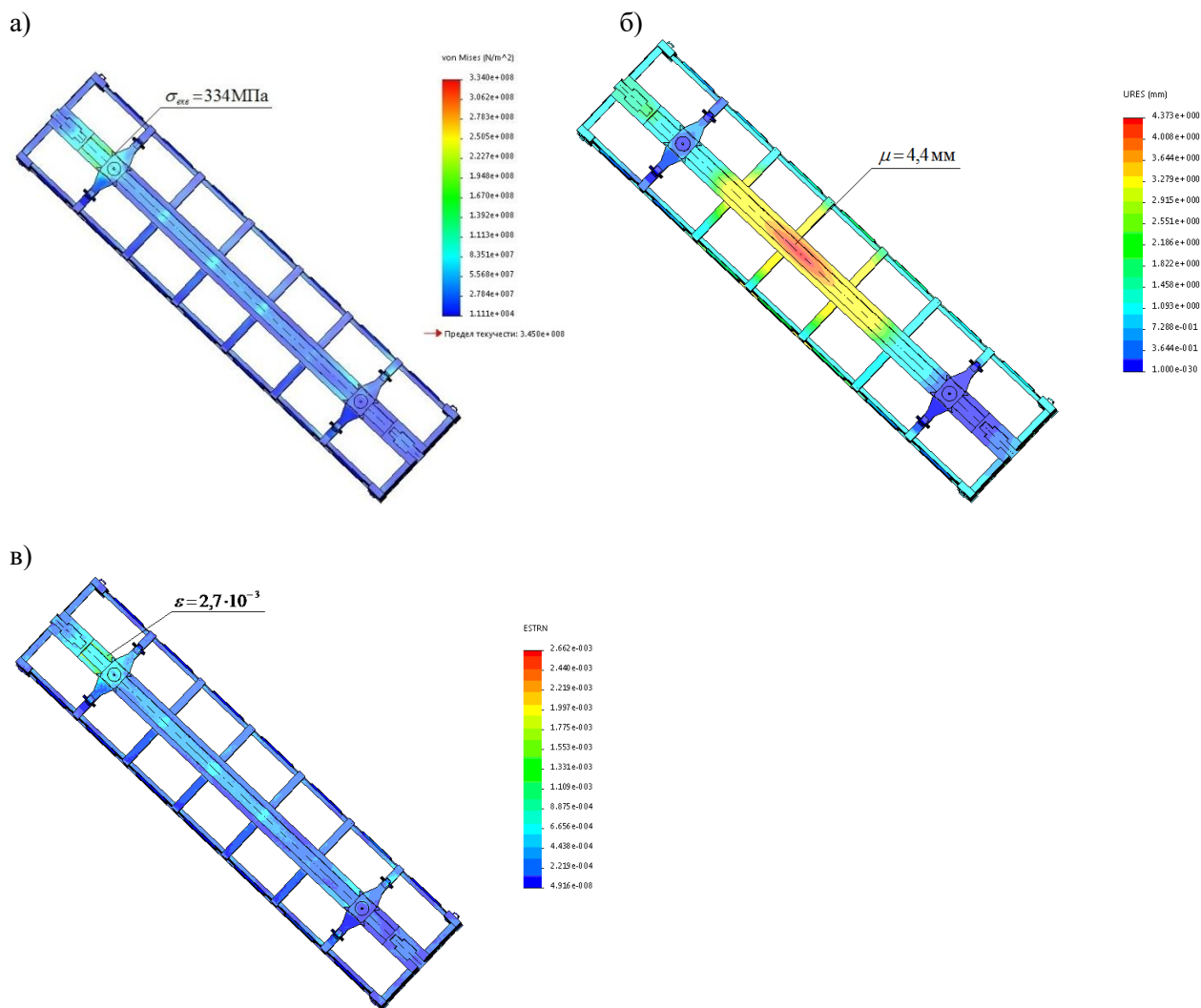


Рис. 5. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні зі швидкістю 7 км/год:
а – напружений стан; б – переміщення в вузлах; в – деформації

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропоновані заходи дозволяють забезпечити міцність несучої конструкції

кузовів напіввагонів при маневрових операціях з урахуванням підвищених швидкостей співударяння, а також підтримувати технічний ресурс напіввагона при існуючій ремонтній базі.

Список використаних джерел

1. Сендеров Г.К. Сохранность вагонов при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах [Текст] / Г.К. Сендеров, П.Р. Лосев, С.А. Другаль. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 158 с.
2. Рама кузова полувагона [Текст]: пат. 2325295 Россия: МПК⁷ В61D / Курочкин А.С., Удалова О.В., Агинских М.В., Михина И.Н., Старостин Г.А., Васильева Е.С., Поликарпов А.А., Галиева И.В., Васильева Л.М., Андронов В.А., Тиссен А.И., Ефимов В.П., Левин А.Б., Пасенко А.Н., Демин К.П.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество “Инженерный центр Объединения вагоностроителей”. – № 2005109634/11; заявл. 17.11.03; опубл. 27.07.04; Бюл. № 15. – 9 с.

3. Шкворневая балка рамы вагона [Текст]: пат. 44612 Россия: МПК⁷ B61D / Битюцкий А.А., Савушкин Р.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество “Инженерный центр Объединения вагоностроителей” – № 2004130090; заявл. 14.10.04; опубл. 27.03.05; Бюл. № 7. – 7 с.
4. Алямовский, А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А.А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.
5. Прерис, А.М. SolidWorks 2005/2006 [Текст]: учеб. курс / А.М. Прерис. – Питер, 2006. – 528 с.
6. Прохоренко, В.П. SolidWorks 2005 [Текст]: практ. руководство / В.П. Прохоренко. – М.: ООО “Бином – Пресс”, 2006. – 512 с.
7. Галлагер, Р. Метод конечных элементов [Текст] / Р. Галлагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
8. Пастухов, И.Ф. Расчет вагонных конструкций методом конечных элементов [Текст] / И.Ф. Пастухов, В.В. Пигунов. – Гомель, 1991. – 126 с.
9. Туренко, А.Н. Компьютерное моделирование и расчет на прочность деталей автомобиля [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, А.С. Степченко [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 336 с.
10. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор І.Е. Мартинов

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту Тел.: (057)730-10-35.
Шафунов Юрій Юрійович, студент-магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту.

Lovskaya Alyona Aleksandrovna, cand. of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.
Shafunov Yuriy Yuriyovych student-master, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Наукова праця здана до друку 15.09.2015 р.

УДК 629.4.027

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВАГОННОГО ДЕПО ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Канд. техн. наук І.Д. Борзилов, магістранти О.О. Рожков, О.С. Моїсеєнко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВАГОННОГО ДЕПО ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Канд. техн. наук И.Д. Борзилов, магистранты А.А. Рожков, А.С. Моисеенко

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CAR SHED BY INTRODUCTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Cand. of techn. sciences I.D. Borzilov, master students A.A. Rozhkov, A. Moiseenko

Для підвищення ефективності роботи вагонного депо запропоновано й обґрунтовано впровадження інноваційних технологій у всі сфери його виробничої діяльності з використанням багаторівневої автоматизованої системи контролю технологічних процесів, що реалізуються на базі автоматизації збору й обробки даних про хід виконання окремих технологічних операцій. Прогнозований розвиток у даному напрямку полягає у створенні сучасної інноваційної системи ремонту вагонів, яка дозволить вирішити й інші проблеми інноваційних процесів та впровадження високих технологій у практику ремонту вагонів.

Ключові слова: автоматизована система, вагонне депо, ефективність, інновації, контроль, технологія, якість ремонту.

Для повышения эффективности работы вагонного депо предложено и обосновано внедрение инновационных технологий во все сферы его производственной деятельности с использованием многоуровневой автоматизированной системы контроля технологических процессов, реализуемых на базе автоматизации сбора и обработки данных о ходе выполнения отдельных технологических операций. Прогнозируемое развитие в данном направлении заключается в создании современной инновационной системы ремонта вагонов, которая позволит решить и другие проблемы инновационных процессов и внедрения высоких технологий в практику ремонта вагонов.

Ключевые слова: автоматизированная система, вагонное депо, эффективность, инновации, контроль, технология, качество ремонта.

To increase the efficiency of car shed proposed and justified the introduction of innovative technologies in all spheres of its production activities with the use of multi-level automated control system of technological processes implemented on the basis of automated data collection and processing of data on the implementation of the individual process steps. Expected development in this direction is to create a modern innovative system repair cars that will solve the other problems of innovation processes and implementation of high technologies in the practice of repairing cars.

Keywords: automated system, car shed, efficiency, innovation, control, technology, quality repair.

Постановка проблеми. Найважливішими напрямками підвищення ефективності роботи вагонного ремонтного депо були і залишаються такі: комплексний характер механізації виробництва, що найефективніше сприяє зменшенню ручної праці; автоматизація виробництва; комп'ютеризація всіх сфер діяльності вагонного депо; впровадження принципово нових (інноваційних) технологій ремонту вагонів і їх вузлів і деталей.

Значного підвищення ефективності роботи вагонного ремонтного депо можна досягти шляхом впровадження інноваційних технологій у всі сфери його виробничої діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останній час виконано достатньо досліджень, присвячених підвищенню ефективності роботи вагонного депо [1-3]. У той же час досліджень, спрямованих на розкриття сутності та обґрунтування впровадження інноваційних технологій у всі сфери виробничої діяльності депо, надто мало. В останніх дослідженнях і публікаціях щодо підвищення ефективності роботи ремонтного вагонного депо [4-7] також не повною мірою ураховуються аспекти обґрунтування доцільності і переваги використання інновацій у технологічні процеси ремонту вагонів і їх вузлів. Для рішення поставленої проблеми доцільним є використання й закордонного досвіду щодо інноваційних процесів підвищення

ефективності роботи суміжних підприємств залізничного транспорту [8-11].

Постановка завдання. Основним завданням даної статті є дослідження аспектів і наукове обґрунтування заходів щодо підвищення ефективності роботи ремонтного вагонного депо шляхом впровадження інноваційних технологій у всі сфери його виробничої діяльності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Успішна виробнича діяльність вагонного депо передбачає його рентабельність і конкурентоздатність й включає запозичення та адаптацію розроблених технологій ремонту вагонів; стимулювання діяльності розробок технологічних інновацій; формування інформаційної інфраструктури депо.

Впровадження інноваційних технологій у сфери виробничої діяльності ремонтного вагонного депо супроводжується радикальними змінами в технологічних процесах, в організації праці, економічних механізмах, і в переході на інший етап функціонування системи ремонту вагонів і їх вузлів.

При використанні інноваційних технологій слід спиратися на принцип безперервних інновацій, які припускають постійний розвиток і впровадження в діяльність вагонного ремонтного депо продуктивних, організаційних і технологічних інновацій. Необхідно, щоб використання сучасних інформаційних і телекомунікаційних

технологій; автоматизованих систем діагностики та моніторингу технічного стану вагонів, освоєння технологічних інновацій сприяло, перш за все, підвищенню ефективності роботи ремонтного вагонного депо.

Процес створення інновацій базується на використанні цілого комплексу ресурсів, які включають кадри, що мають необхідну кваліфікацію, інформаційні ресурси, фінанси для розробок та виробництва і інше.

Інноваційна стратегія вагонного ремонтного депо передбачає наявність відповідної системи цілей для досягнення та відпрацювання методів стимулювання та підтримки впровадження інновацій. Без налагодження дієздатного механізму створення, оцінки та фінансування інновацій практично неможливо утримати конкурентоздатність підприємства на високому рівні.

Вивчення та систематизація передового досвіду планового ремонту вагонів у депо, з

одного боку, і розроблення своїх інновацій, з іншого боку, є основними компонентами інноваційної діяльності підприємства в сучасних соціально-економічних умовах.

Для підвищення ефективності роботи ремонтного вагонного депо й рентабельності необхідно домогтися керованості процесів шляхом упровадження багаторівневої автоматизованої системи контролю технологічних процесів (АСК ТП). В основі цієї інновації покладено методологію контролю якості та єдину об'єктно-орієнтовану базу, що поєднує методи й алгоритми інформаційного й програмного забезпечення. Вона передбачає персоніфіковану відповідальність за допущений у роботі брак всіх виконавців і персоналу управління, ставить за обов'язок усім виконавцям і керівникам виконувати запропоновані процедури, формує інформацію про контроль дотримання технологічної дисципліни (рис. 1).

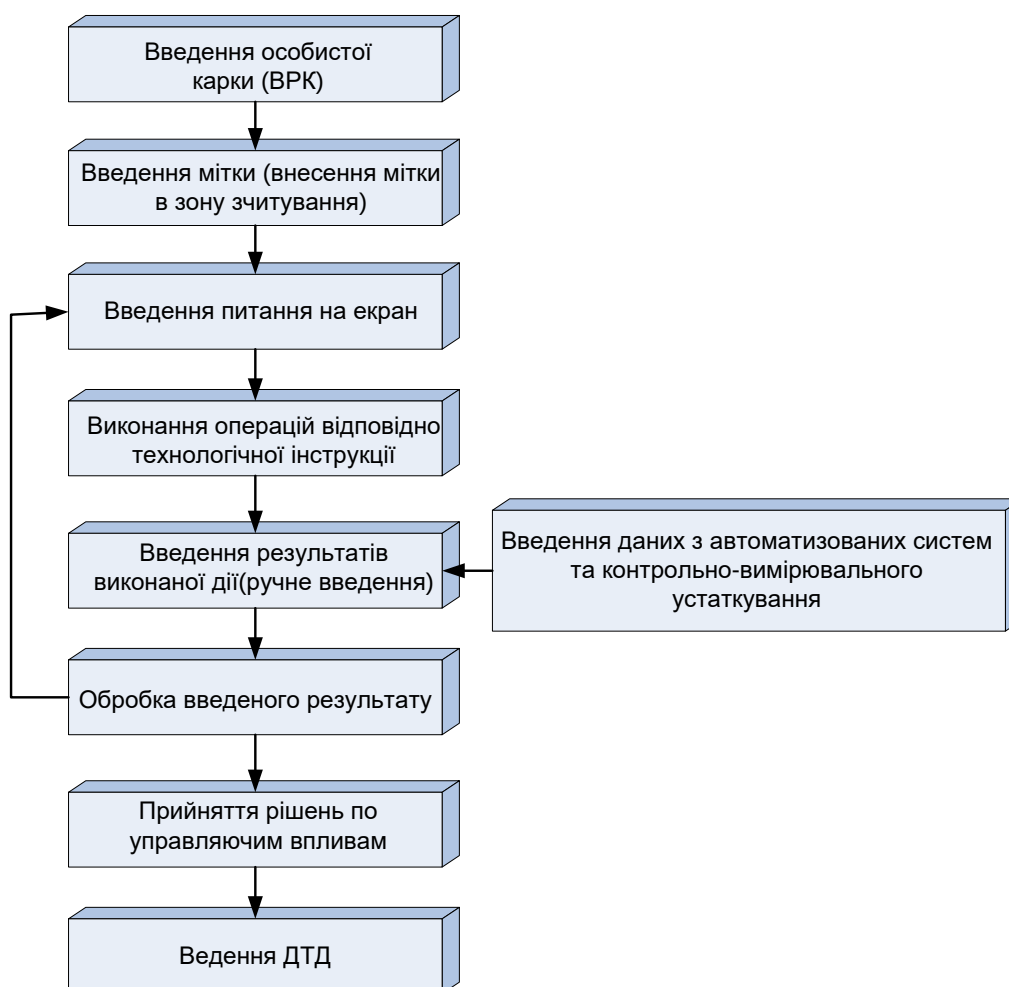


Рис. 1. Алгоритм роботи системи з використанням пульта введення інформації

Принциповою особливістю АСК-ТП є наявність у ній пристроїв для зчитування магнітної радіомітки об'єктного контролю (МОК), якою оснащена кожна деталь. На кожній контрольній операції технологічного процесу фахівець знімає МОК з деталі, підтверджуючи факт її перебування на даній операції й відповідність або невідповідність параметрів контролю нормативним вимогам. З кожного пульта ця інформація передається на комп'ютер диспетчерського пункту, що здійснює циркулярне опитування технологічних позицій з метою збору й аналізу інформації про обсяги виконаної роботи.

До пультів уведення інформації може бути підключено технологічне, вимірювальне й діагностичне устаткування. Кожен виконавець має свою ідентифікаційну магнітну радіокартку (ВРК), яка зберігає дані про фахівця, характер виконуваної ним роботи, його присутність на робочому місці, початок і завершення роботи з певною деталлю.

За отриманими даними стосовно технологічного процесу складається прогноз його ходу з реалізацією плану впливів персоналу управління (у тому числі зміни режимів роботи ремонтного устаткування), що забезпечують відповідність стану технологічного процесу деякому екстремальному значенню узагальненого критерію якості ремонту й продуктивності виконуваних робіт.

Алгоритм роботи з використанням пульта уведення інформації системи АСК-ТП подано на рис. 1.

Для вирішення цього завдання необхідно обґрунтування сукупних показників якості ремонту вузлів і деталей і часу виконання операцій технологічного процесу. Показник якості виконання технологічних процесів можна визначити за формулою

$$G_k = \sum_{i=1}^n \frac{g_{fi}}{g_{Ni}} = \sum_{i=1}^n k_i, \quad (1)$$

де g_{Ni} — нормована комплексна оцінка виконання i -ї операції;

g_{fi} — фактична комплексна оцінка i -ї операції;

k_i — коефіцієнт, що враховує повноту виконання i -ї операції (вірогідність

виконуваних вимірів, точність оброблення виробів тощо);

n — кількість операцій.

Показник часу виконання операцій технологічного процесу визначається як

$$U_t = \sum_{i=1}^n \frac{t_{fi}}{t_{Ni}} = \sum_{i=1}^n k_{oi}(2 - k_{oi}), \quad (2)$$

де t_{Ni} — нормований час виконання i -ї операції, хв;

t_{fi} — фактичний час виконання операції, хв;

$k_{oi} = t_{fi}/t_{Ni}$ — коефіцієнт, що враховує час виконання i -ї операції технологічного процесу.

Обґрунтуванням форми подання показника U_t є небезпека відхилення коефіцієнта k_{oi} від значення, рівного одиниці. При $k_{oi} < 1$ може бути неякісне виконання операцій, а при $k_{oi} > 1$ відбудеться порушення технологічного процесу.

Комплексний показник якості дорівнює

$$k = \alpha_1 \sum_{i=1}^n k_i + \alpha_2 \sum_{i=1}^n k_{oi}(2 - k_{oi}), \quad (3)$$

де α_1, α_2 — коефіцієнти вагомості показників якості.

Для ілюстрації отриманих формул можна побудувати залежності показників якості ремонту G_k і часу виконання операцій U_t від введених коефіцієнтів за умов $k_i = k_{oi} = k$ (рис. 2).

Для обох показників якості необхідно, щоб коефіцієнти k_i та k_{oi} прагнули до одиниці при формуванні керуючих впливів в інтересах підвищення якості ремонту й виконання вимог ритмічності технологічного процесу.

При проектуванні АСК-ТП, що реалізує алгоритм керування, необхідно враховувати, що оцінювані показники якості ремонту вузлів і деталей і часу виконання операцій технологічного процесу можуть бути визначені й враховані не в поточному, а в наступному стані процесу (наприклад, після попередньої статистичної обробки результатів управління процесом).

Використання АСК-ТП дає об'єктивну оцінку виконуваних робіт. Неякісне виконання стає неможливим.

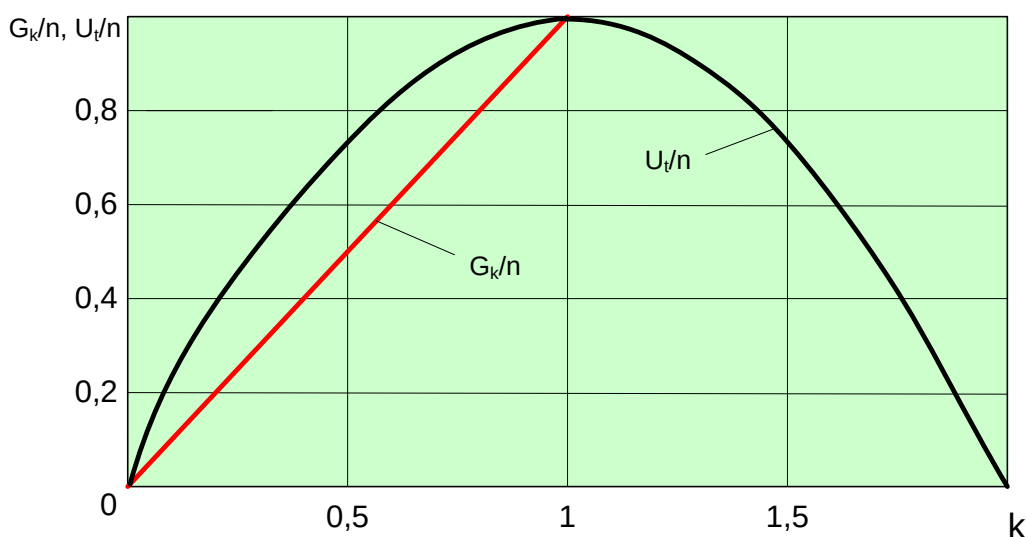


Рис. 2. Залежність показників якості (G_k) і часу (U_t) виконання операцій від введених коефіцієнтів k

Одне тільки зменшення відчеплень вагонів на основі впровадження системи АСК-ТП дозволить скоротити витрати коштів і визволить потужності, необхідні для підтримки працездатності парку вагонів.

Впровадження системи є не тільки організаційно-технічним, але й соціальним, що спрямоване на подолання придбаних протягом багатьох років звичок при виконанні робіт і сформованої психології.

Здійснення пов'язаних із цим заходів повинно супроводжуватися контрольованим підвищенням якості робіт і матеріальним стимулюванням за рахунок економії коштів.

Разом з тим у зазначеній системі важливо поєднання інформаційної технології і автоматизованої експертної системи діагностики вагонів з виявленням несправностей і видачею рекомендацій з їх ремонту.

Таке поєднання буде сприяти створенню єдиного інформаційного поля, що зберігає доступні для кожного фахівця дані про технічний стан і якість ремонту вагонів.

Ефективність роботи вагонного депо в цьому випадку буде не тільки в підвищенні якості ремонту вагонів, а також у скороченні простою вагонів у ремонті; забезпеченні прозорості господарської діяльності депо в цілому та окремих його підрозділів, що беруть участь у процесі планового ремонту вагонів; оптимізації витрат на ремонт; оптимізації

витрат на утримання та розвиток виробничої інфраструктури вагонного депо; оптимізації матеріально-технічного спорядження вагонного депо; зниженні навантаження на працівників, що пов'язані зі збиранням первинної інформації формування звітів.

Для вирішення цієї проблеми необхідно створити порядок передачі інформації між усіма суб'єктами, що беруть участь у процесі експлуатації та ремонту вагонів, як це показано на рис. 3.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропоновано багаторівневу автоматизовану систему контролю технологічних процесів (АСК ТП), що реалізуються на базі автоматизації збору й обробки даних про хід виконання окремих технологічних операцій, яка буде сприяти підвищенню якості роботи вагонного депо, його продуктивності й рентабельності, керованості технологічних процесів. Використання АСК-ТП дасть об'єктивну оцінку виконуваних робіт.

Подальший розвиток у даному напрямку полягає у створенні сучасної інноваційної системи ремонту вагонів, яка дозволить вирішити й інші проблеми інноваційних процесів і впровадження високих технологій у практику ремонту вагонів, якими є сучасні інформаційні технології; автоматизовані експертні системи діагностики вагонів з прогнозуванням і раннім виявленням

несправностей і видачею рекомендацій з їх ремонту; системи моніторингу технічного

стану вагонів та інші прогресивні технологічні рішення.

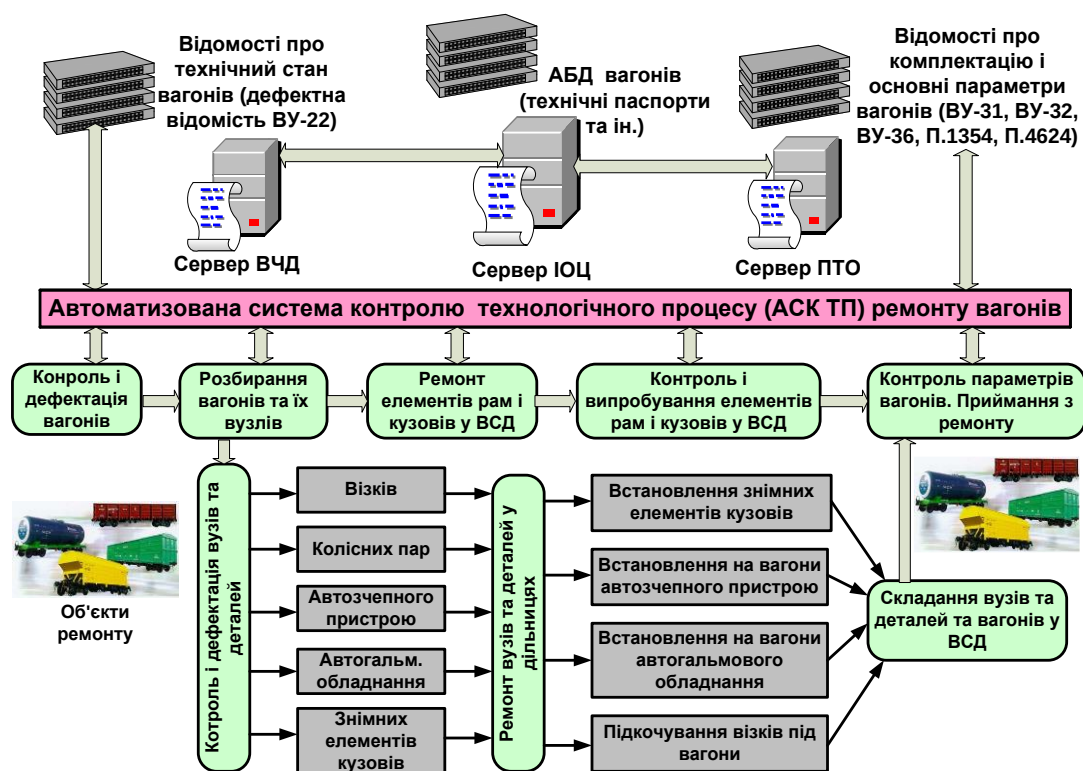


Рис. 3. Схема багаторівневої автоматизованої системи контролю технологічних процесів

Список використаних джерел

1. Бабанін, О.Б. Методика розрахунку надійності вузлів вагонів, що надходять у плановий ремонт [Текст] / О.Б. Бабанін, І.Д. Борзилов, О.О. Матвієнко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 58. – С. 20-25.
2. Борзилов, І.Д. Інформаційно-керуюча система ремонту вагонів [Текст] / І.Д. Борзилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2008. – № 3 (71). – С. 58-60.
3. Борзилов, І.Д. Стратегія удосконалення технології технічного утримання вагонів з урахуванням життєвого циклу [Текст] / І.Д. Борзилов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – Вип. 13. – С. 143-150.
4. Борзилов, І.Д. Наукові основи реструктуризації виробничо-технічної бази технічного утримання вагонів [Текст] / І.Д. Борзилов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – Вип. 17. – С. 87-96.
5. Борзилов, І.Д. Шляхи підвищення ефективності роботи ремонтного вагонного депо [Текст] / І.Д. Борзилов, Ю.А. Зайцев // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 51-55.
6. Борзилов, І.Д. Підвищення якості ремонту вагонів при використанні автоматизованої системи контролю дотримання технологічної дисципліни [Текст] / І.Д. Борзилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2006. – № 4. – С. 9-10.
7. Борзилов, І.Д. Інформаційно-керуюча система ремонту вагонів [Текст] / І.Д. Борзилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2008. – № 3 (71). – С. 58-60.
8. Железные дороги США на современном этапе [Текст] // Железные дороги мира. – 2001. – № 11. – С. 9-14.

9. Миронов, А.Л. Информационная система контроля подвижного состава [Текст] / А.Л. Миронов, П.А. Кораблев // Сб. науч. работ УрГУПС. – 2005. – № 36. – С. 92-97.
10. Vantuono W. C. Wheelsets of progress - railroad car maintenance management by Burlington Northern and Santa Fe [Текст] / Railway Age. – 2001. – № 9. – Р. 47 – 49.
11. Luczak, M. Organization of the repair of the rolling stock in North America [Текст] // Railway Age. – 2000. – № 12. – Р. 41 – 47.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, професор, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Телефони: +38 (057) 730-10-35, 066-771-01-81. E-mail: borzilov07@rambler.ru.

Рожков Олександр Олександрович, магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, НН ІППК УкрДУЗТ. Телефон 050-987-45-42. E-mail: 11minut@i.ua.

Моїсєнко Олександр Сергійович, магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, НН ІППК УкрДУЗТ. Телефон 099-069-56-75.

Borzilov John, cand. of techn. sciences, professor of cars Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: +38 (057) 730-10-35, 066-771-01-81. E-mail: borzilov07@rambler.ru.

Rozhkov Alexander, master student of cars Ukrainian State University of Railway Transport, NN IPPK UkrDUZT. Phone: 050-987-45-42. E-mail: 11minut@i.ua.

Moiseenko Alexander, master student of cars Ukrainian State University of Railway Transport, NN IPPK UkrDUZT. Phone 099-069-56-75.

Наукова праця здана до друку 16.09.2015 р.

УДК 629.4.027.4

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕМОНТУ КОЛІСНИХ ПАР ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук В.М. Петухов, магістранти О.О. Гайворонська, М.А. Суханенко

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Канд. техн. наук В.М. Петухов, магистранты А.А. Гайворонская, М.А. Суханенко

THE QUALITY CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE REPAIR OF WHEELSETS OF PASSENGER CARS

Cand. of techn. sciences V. Petukhov, master student A. Gaivoronska, M. Sukhanenko

Проведено аналіз системи контролю технологічних чинників і параметрів якості ремонту колісних пар пасажирських вагонів при технологічному процесі. На основі цього запропоновано математичну модель процесу контролю якості ремонту колісної пари, яка дозволяє одержати комплексну інформацію про її життєвий цикл, наводить характеристику зміни стану всіх її параметрів і адекватно відображає інформацію про її технічний стан за будь-який період часу.

Ключові слова: пасажирський вагон, колісна пара, якість, технологічний процес, система, обладнання, технологія, параметр.

Проведен анализ системы контроля технологических факторов и параметров качества ремонта колесных пар пассажирских вагонов при технологическом процессе. На основе этого предложена математическая модель процесса контроля качества ремонта колесной пары, которая позволяет получить комплексную информацию о ее жизненном цикле, приводит характеристику

изменения состояния всех ее параметров и адекватно отражает информацию о ее техническом состоянии за любой период времени.

Ключевые слова: пассажирский вагон, колесная пара, качество, технологический процесс, система, оборудование, технология, параметр.

The analysis of control systems of technological factors and quality parameters of repair of wheelsets of passenger cars in the process. Based on this mathematical model of the process of quality control for repair of wheel pairs, which allows to obtain comprehensive information about its life cycle, causes characteristic changes of the status of all of its parameters and adequately reflects information about technical condition for any period of time.

Keywords: passenger car, pair of wheels, quality, process, system, equipment, technology, option.

Вступ. Основною метою діяльності будь-якого підприємства є одержання максимального прибутку. Специфіка сучасного ринку й умови твердої конкуренції, характерні для сучасного періоду, змушують безупинно шукати шляхи підвищення рентабельності виробництва, удосконалення процесу управління й планування.

У ринковій економіці проблема якості є найважливішим чинником підвищення економічної, соціальної й екологічної безпеки. Якість — комплексне поняття, що характеризує ефективність всіх сторін діяльності: розроблення стратегії, організація виробництва й ін. Найважливішою складовою всієї системи якості є якість продукції. Міжнародна організація зі стандартизації визначає якість як сукупність властивостей і характеристик продукції, які надають їй здатність задовольняти обумовлені або передбачувані потреби [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день у вітчизняній і закордонній науці склався ряд основних концепцій і методичних підходів до вивчення проблем якості технології ремонту вузлів. Роботи відомих учених П.Л. Чебишева та А.М. Ляпунова є теоретичною основою вибіркового контролю якості. Великий внесок у розроблення систем управління якістю, що застосовуються в наш час, зробили вітчизняні вчені І.Г. Венецький та А.М. Довжин, а також закордонні американські вчені У.А. Шухарт, Е. Деминг, А. Фейгенбаум, які запропонували математичні моделі та підходи для підвищення якості продукції технологічних процесів [2].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є вибір критеріїв оптимізації та розроблення математичної моделі для підвищення ефективності технологічного процесу ремонту колісних пар пасажирських вагонів.

До основних завдань технологічних процесів, які необхідно дослідити на вагоноремонтних підприємствах, належать:

- загальне підвищення ефективності роботи колісних цехів (дільниць);
- підвищення якості ремонту колісних пар пасажирських вагонів;
- зниження трудомісткості й собівартості ремонту колісних пар пасажирських вагонів;
- скорочення тривалості технологічного циклу.

Основна частина дослідження. При реконструкції й модернізації існуючих колісних цехів з різною програмою виникає завдання вибору раціональної структури й рівня організації технологічного процесу. Структура являє собою комплекс взаємозалежних, розташованих в обумовленій технологічним процесом послідовності операцій, що виконуються за допомогою основного й допоміжного обладнання. Завдання вибору структури зводиться до встановлення типів обладнання, рівня організації й управління виробництвом, ступеня концентрації (диференціації) технології при заданій програмі й мінімальних наведених витратах на ремонт і формування колісних пар. Найбільш раціональна організація технологічної структури цехів дозволяє вирішити завдання з урахуванням різної номенклатури колісних пар, що ремонтуються, за типами розходження цехів, за рівнем механізації, автоматизації й управління виробничим процесом і з застосуванням при ремонті й формуванні колісних пар різного за своїми параметрами і продуктивністю обладнання [3, 8].

Оптимізація технологічної структури колісних цехів дозволяє здійснити вибір технологічних маршрутів, рівня, організації виробництва, найбільш раціонального за своїми характеристиками і продуктивністю

обладнання, установити оптимальні доробки між операціями й інші характеристики цехів залежно від виробничої програми. Для ефективного використання виробничих потужностей необхідно враховувати такі принципи галузевої організації ремонту колісних пар, як раціональна концентрація й спеціалізація виробництва.

Високопродуктивні автоматизовані колісні цехи необхідно комплектувати залежно від необхідної виробничої потужності з окремих, відносно автономних, але пов'язаних між собою загальним управлінням ліній. Лінії, як виробничі модулі, створюють умови для комплектування колісних цехів із заданою виробничою потужністю. До основних ліній варто віднести лінії демонтажу й монтажу роликів букс, вхідного й вихідного контролю, відновлення профілю поверхонь кочення коліс і шийок осей колісних пар, розформування, обробки підматочинних частин осі, формування колісних пар, фарбування і сушіння.

Із зазначених модулів можна комплектувати окремо лінії ремонту без заміни й з заміною елементів колісних пар. Так, наприклад, лінія ремонту колісних пар без заміни елементів комплектується з модулів миття, вхідного контролю (дефектоскопії), відновлення профілю поверхонь кочення коліс і шийок осей колісних пар. Поточкова лінія ремонту колісних пар без заміни елементів забезпечує економічну високопродуктивну обробку; продуктивність її становить близько 60 колісних пар у зміну. Поточно-механізовані лінії ремонту колісних пар із примусовим тактом дисциплінують виробництво й сприяють кращому використанню обладнання [6, 9, 10].

Варіюючи кількість ліній і виробничих модулів на ділянках, можна компоувати цехи з різною виробничою потужністю за значенням і видами ремонту колісних пар. Скомплектовані з окремих типових виробничих модулів, що містять у єдності виконавчі лінії, контрольні й транспортні засоби, колісні цехи повинні бути об'єднані єдиним управлінням. Такий принцип агрегатного компоування високопродуктивних цехів дає можливість організувати випуск типових модулів силами промислових підприємств. При цьому, як показує передовий закордонний і вітчизняний досвід, при створенні високопродуктивних цехів повинен використовуватися комплексний

метод, що передбачає рішення всіх технологічних і організаційних аспектів виробничого процесу ремонту колісних пар у їхній сукупності.

При вирішенні даного завдання основні зусилля повинні бути спрямовані на створення системи, що містить чотири основних взаємозалежних комплекси технічних засобів:

- нове спеціалізоване обладнання, оснащене пристроями для його автоматизації;
- технічні засоби для автоматичних вимірювань на технологічних і контрольних операціях;
- засоби для автоматичного транспортування коліс, осей і колісних пар;
- пряме програмне управління технологічним процесом ремонту колісних пар, що реалізовано на основі використання автоматизованих систем управління й контролю і об'єднує всі технічні засоби в єдину систему.

Дана умова є основою прогресивної технології. Відсутність у виробничій системі цеху хоча б одного з перелічених чотирьох комплексів призведе до недовикористання інших і до зниження ефективності всієї системи ремонту колісних пар пасажирських вагонів.

Розвиток галузі залізничного транспорту здійснюється шляхом впровадження ресурсозберігаючих технологій і засобів технологічного оснащення виробництва [3, 6]. Обрана технологія повинна найбільшою мірою відповідати потребам конкретного підприємства, а на стадії проектування технологічних процесів необхідно кількісно оцінити витрати трудових, матеріальних, енергетичних, фінансових і інших ресурсів.

На жаль, у цей час коригування технологічних процесів вагоноремонтних підприємств здійснюється без оцінки їх кількісних показників.

Для вирішення завдання підвищення ефективності ремонтних процесів необхідно обрати критерій оптимізації; розробити математичну модель оптимізуючої системи, а також методи й алгоритми вирішення поставленого завдання.

Основні етапи аналізу й синтезу процесу ремонту колісних пар вагонів наведено на рис. 1 [6].

На рис. 2 зображено узагальнену принципову схему технологічного процесу ремонту колісних пар пасажирських вагонів.



Рис. 1. Етапи аналізу й синтезу процесу ремонту колісних пар вагонів

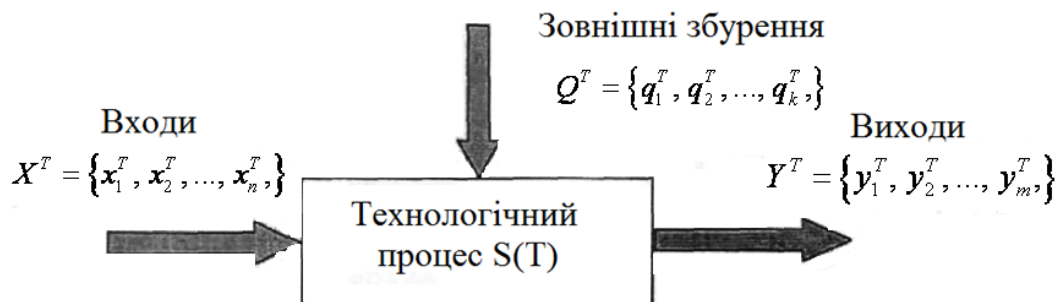


Рис. 2. Узагальнена принципова схема технологічного процесу ремонту пасажирських вагонів

Технологічний процес $S(T)$ (рис. 1) можна описати таким виразом [4, 5, 7]:

$$S(T) = \{Idn^T, Pr p^T, Atr^T, X^T, Y^T, Q^T, C^T, Str^T\}, \quad (1)$$

де Idn^T – ідентифікатор системи технологічного процесу ремонту колісних пар;

$Pr p^T$ – мета процесу;

Atr^T – загальносистемні атрибути;

$X^T = \{x_1^T, x_2^T, ..., x_n^T\}$ – вхідні параметри

технологічного процесу, до яких насамперед належать вид ремонту, тип колісної пари, яка ремонтується, її технічний стан, вимоги нормативних документів до відремонтованої колісної пари;

$Y^T = \{y_1^T, y_2^T, ..., y_m^T\}$ – вихідні характеристики технологічного процесу:

трудомісткість, тривалість, витрата матеріалів, запчастин, енергетичних ресурсів, собівартість виконання операцій;

$Q^T = \{q_1^T, q_2^T, \dots, q_k^T\}$ – вплив зовніш-

нього середовища, у тому числі зміни вимог правил ремонту, поява нових технологій, обладнання й оснащення, постановка в ремонт нових типів колісних пар вагонів;

$C^T = \{C_1^T, C_2^T, \dots, C_k^T\}$ – внутрішні влас-

тивості технологічного процесу: комплект засобів технологічного оснащення, кількість і кваліфікація виконавців робіт, цех, дільниця, робоче місце виконання операцій;

$Str^T = \{T, R^T\}$ – структура технологіч-

ного процесу;

T – елементи процесу, до яких належать всі операції й переходи;

R^T – зв'язки між елементами технологічного процесу.

Ідентифікатор системи (Idn^T) являє собою сукупність двох полів: <позначення технологічного процесу> і <найменування технологічного процесу>, наприклад: $Idn^T = \langle 10.00001 \rangle$ <Дефектоскопія колісної пари>.

Одне з основних завдань технологічних процесів вагоноремонтних підприємств — це підвищення ефективності роботи підприємства і підвищення якості ремонту вагонів [6, 8, 10].

Функціональне призначення технологічних процесів вагоноремонтного підприємства полягає в перетворенні значень параметрів, які характеризують технічний стан колісних пар вагонів, що надходять у ремонт.

Як входи технологічного процесу вагоноремонтного підприємства варто розглядати, насамперед, сукупність значень параметрів, що характеризують технічний стан колісних пар вагонів, що надходять у ремонт, а як виходи — сукупність значень параметрів, що характеризують технічний стан колісних пар вагонів, що виходять із ремонту.

Вплив зовнішнього середовища на технологічний процес можуть мати випадковий характер і проявлятися в зміні матеріальних, енергетичних і інформаційних процесів взаємодії. Для технологічних систем

вагоноремонтних підприємств зовнішніми чинниками можуть бути:

- зміни виробничої програми;
- стан вагонів і їхніх вузлів, що надходять у ремонт;
- нові технології й засоби технологічного оснащення;
- зміни правил ремонту й технічного обслуговування;
- стан технологічного обладнання.

Внутрішні властивості C^T і структура Str^T технологічного процесу на загальному рівні моделювання описуються перерахуванням елементів, їх властивостей і зв'язків. Технологічний процес варто розглядати як систему, що складається з двох рівнів — технологічна операція й технологічний перехід.

У загальному випадку до властивостей елементів системи будь-якого рівня варто відносити безліч значень параметрів технологічних процесів, операцій і переходів:

- засоби технологічного оснащення (обладнання, пристосування, інструмент);
- професіоналізм виконавців і їх кількість;
- основний, допоміжний і підготовчо-заклучний час;
- витрата матеріалів і запчастин;
- місце проведення робіт (цех, дільниця, робоче місце), а також умови праці;
- контрольовані параметри вузлів і деталей;
- режими обробки колісних пар, які ремонтуються.

На рис. 3 зображена узагальнена структурна схема технологічного процесу ремонту вузлів пасажирських вагонів, що складається з двох рівнів [4, 5]:

$$T = \{T_1, T_2\}, \quad (2)$$

де T – безліч елементів технологічного процесу;

T_1 – елементи 1-го рівня (операції технологічного процесу);

T_2 – елементи 2-го рівня (переходи операцій технологічного процесу), що включають M_1 – кількість елементів 1-го рівня, M_2 – кількість елементів 2-го рівня.

Позначимо зв'язки між елементами системи через R :

$$R^T = \{R_1^T, R_2^T\}, \quad (3)$$

де R^T – зв'язки між елементами системи;

R_1^T – міжрівневі зв'язки елементів на 1-му рівні;

R_2^T – міжрівневі зв'язки елементів на 2-му рівні, що включають S_1 – кількість міжрівневих зв'язків елементів на 1-му рівні; S_2 – кількість міжрівневих зв'язків елементів на 2-му рівні [6-8].

Математична модель структури технологічного процесу (реляційна система) може бути подана як

$$Str^T = TR^T, \quad (4)$$

де T – елементи системи (носії моделі);

R^T – зв'язки між елементами системи (сигнатура моделі), тобто послідовність операцій і переходів.

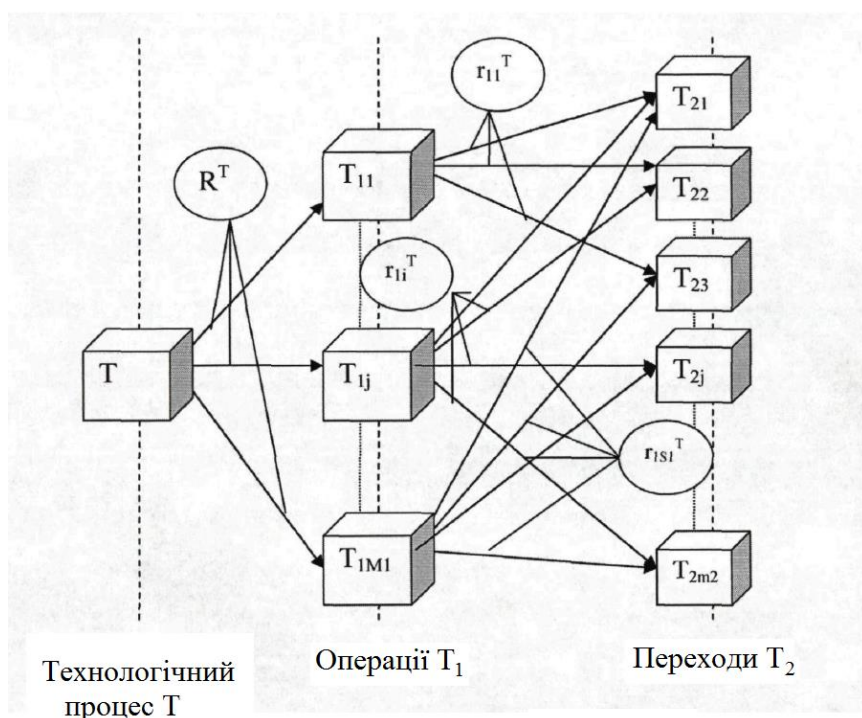


Рис. 3. Узагальнена структурна схема технологічного процесу ремонту колісних пар пасажирських вагонів

Висновок. Вирішено завдання щодо підвищення ефективності ремонту колісних пар вагонів на основі сучасних автоматизованих технологій. Доведено, що використання автоматизованої системи контролю якості ремонту колісних пар дозволяє одержати комплексну інформацію про її життєвий цикл, що характеризує зміни стану всіх її параметрів, у тому числі окремих частин колісної пари (у випадку заміни елементів) у єдності чинників і умов функціонування процесу і адекватно

відображує інформацію про її технічний стан за будь-який період часу.

Наведено методику для визначення показників якості ремонту колісних пар пасажирських вагонів у цехах, дільницях або відділеннях вагоноремонтних підприємств залізничного транспорту, який заснований на кількісній оцінці чинників, що впливають у цілому на якість технологічного процесу ремонту пасажирського вагона.

Список використаних джерел

1. Фейгенбаум, А. Контроль качества продукции [Текст]: учебник / сокр. пер. с англ.; А. Фейгенбаум. – М.: Экономика, 1986. – 471 с.
2. Венецкий, И.Г. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учебник / И.Г. Венецкий, Г.С. Кильдишев. – М.: Статистика, 1975. – 345 с.
3. Головкин В.Ф. Інформаційно-технологічне забезпечення технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів [Текст] / В.Ф. Головкин, І.Д. Борзилов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 131 - 139.
4. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст]: учебник / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчарова. – М.: Физматгиз, 1979. – 366 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология [Текст]: учебник / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 551 с.
6. Сергеев, К.А. Проектирование вагонных депо и ремонтных заводов. [Текст]: учеб. пособие / К.А. Сергеев, В.Н. Жданов, О.Ю. Кривич. – М.: РГОТУПС, 2002. – 143 с.
7. Фурцев, А.И. Вагонное хозяйство в условиях реформы транспорта [Текст] / А.И. Фурцев // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2004. – Пилотный выпуск. – С. 6-7.
8. Фурцев, А.И. Оперативно-статистическое управление качеством ремонта в вагонных депо [Текст] / А.И. Фурцев, А.З. Венедиктов, М.А. Кованин. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – № 8. – С. 40-43.
9. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар [Текст]: ЦВ-ЦЛ-0062. – К.: ВД Мануфактура, 2006. – 102 с.
10. Інструкція з експлуатації та ремонту вагонних букс з роликовими підшипниками [Текст]: ЦВ-ЦЛ-0058. – К.: НВП Поліграфсервіс, 2004. – 160 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.С. Крашенінін

Петухов Вадим Михайлович, канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35.
Гайворонська Олександра Олександрівна, магістрант.
Суханенко Маргарита Андріївна, магістрант.

Petukhov Vadim M., cand. of techn. sciences, docen of chair of cars of Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (057) 730-10-35.
Gaivoronskay Alexandra A. master student.
Sukhanenko Margarita A. master student.

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.

УДК 629.472.4

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЛАЗЕРНОГО ОЧИЩЕННЯ У ПРОЦЕСІ РЕМОНТУ ТРС

Канд. техн. наук Н.Д. Чигирик, магістрант В.Ю. Гаврилов

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА ТРС

Канд. техн. наук Н.Д. Чигирик, магістрант В.Ю. Гаврилов

APPLICATION OF HYBRID TECHNOLOGY LASER CLEANING DURING REPAIR PARTS LOCOMOTIVES

Cand. of techn. sciences N.D. Chygyryk, undergraduate V Gavrilov

Розглядається нова галузь застосування лазерів: очищення поверхні, яке усе ширше застосовується в різних галузях – від мікроелектроніки, приладобудування й машинобудування до науки, мистецтва й медицини. Ця стаття має основну мету – показати, що зміна поколінь лазерного устаткування перетворює процес лазерного очищення в цілком конкурентоспроможний процес, який зараз технологи підприємств залізничного транспорту повинні розглядати як серйозну альтернативу існуючим методам очищення.

Ключові слова: лазер, очищення поверхонь, лазерне устаткування, поршині, гібридні технології.

Рассматривается новая область применения лазеров: очистка поверхностей, которая находит все более широкое применение в различных областях – от микроэлектроники, приборостроения и машиностроения до науки, искусства и медицины. Настоящая статья имеет основную цель — показать, что смена поколений лазерного оборудования превращает процесс лазерной очистки во вполне конкурентоспособный процесс, который сейчас технологи предприятий железнодорожного транспорта должны рассматривать как серьезную альтернативу существующим методам очистки.

Ключевые слова: лазер, очистка поверхностей, лазерное оборудование, поршни, гибридные технологии.

A new application area of lasers is reviewed: a surface cleaning, which finds all the broader application in various branches from microelectronics, instrumentation and mechanical engineering to sciences, arts, and medicine. This article has a purpose – to show that the change of generations in laser equipment turns the purification process, accomplished with laser, into a completely competitive process, which is now, should be considered by engineers of railway transport as a serious alternative.

It's also shown a concept of combined laser cleaning and care of the surface in the technological process of repair of pistons in diesel locomotive engines.

Keywords: laser, surface cleaning, laser equipment, pistons, hybrid technology.

Вступ. Очищення – одна з базових технологій у багатьох галузях промисловості, у тому числі й локомотивних депо. [1, с. 9].

Тепловоз і його частини в процесі експлуатації покриваються сухим або просоченим вологою й мастилом пилом. На поверхнях, охолоджуваних водою, з'являється накип, а на омиваних мастилом, – лакові й смолисті відкладання, нагар. Металеві

деталі не тільки забруднюються, але й покриваються корозією й окислами.

Якщо забруднення не вилучити, то вони в одних випадках будуть сприяти перегріву деталей і старінню матеріалів, в інших – виникненню тріщин, прогарів. Під брудом важко виявити тріщину або інше пошкодження. Робота із брудною деталлю знижує продуктивність праці і якість контролю [2, с. 34].

Постановка проблеми. Як правило, видалення таких плівкоутворювальних матеріалів, що мають високу адгезію до підкладки, як нагари й лакофарбові покриття (ЛФП), важко зазнає автоматизації, а існуючі традиційні методи очищення – механічний, хімічний, ультразвуковий – є низькопродуктивними, малоефективними, потребують використання видаткових матеріалів, при цьому відсутність об'єктивного контролю процесу очищення поверхні робить її результат непередбаченим і створює незаплановані простой устаткування в технологічному процесі [3, с. 3].

Неабияке значення на сучасному етапі набувають питання екології, пов'язані з нагромадженням і утилізацією видаткових матеріалів, що застосовуються при очищеннях, – розчинів хімічних сполук, відпрацьованих піску, кісточок, шроту і т.ін.

З моменту появи лазерів технологи відразу звернули увагу на можливість «чистої променевої енергії» як засобу для очищення. Імпульсний висококонцентрований світловий пучок здатний так швидко нагрівати тонкий поверхневий шар матеріалу, що той просто випаровується без помітної дії на розташовані нижче шари, при цьому в ряді випадків навіть не відбувається термічного розкладання матеріалу покриття з утворенням небажаних або токсичних речовин. У результаті ми потенційно маємо унікальний за властивостями метод очищення, який позбавлений усіх недоліків, властивих класичним методам.

Абляція (віднесення речовини з поверхні твердого тіла під впливом випромінювання) органічних і полімерних плівок, якими є ЛФП і нагари, може відбуватися внаслідок різних фізичних механізмів, тому для вибору найбільш ефективного режиму лазерного очищення необхідно їх експериментальне й теоретичне вивчення.

Іншим особливо важливим завданням для лазерного очищення волоконними лазерами є створення методики контролю її результатів у режимі реального часу.

Вирішення цих завдань дає змогу виявити найбільш ефективні робочі режими очищення поверхні, автоматизувати процес і усунути людський фактор в оцінці якості результатів очищення.

Вирішення же цих завдань з метою адаптації лазерних технологій саме до

очищення деталей рухомого складу й господарських конструкцій локомотивного депо є актуальним науково-технічним завданням у сфері експлуатації тягового рухомого складу.

Крім того немаловажним фактором у впровадженні новітньої технології в локомотивні депо є та обставина, що в технічно розвинених країнах світового співтовариства лазерні технології вже ввійшли в багато галузевих стандартів, що робить принципово неможливим участь у міжнародних коопераціях промислових підприємств, не оснащених лазерним устаткуванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідна роль у становленні й розвитку лазерів належить російським ученим і інженерам. Академіки Н.Г. Басів і А.М. Прохоров були визнані гідними Нобелівської премії за видатні роботи із квантової електроніки, що послужили основою створення лазерів.

В Україні перші дослідження зі створення лазерів були ініційовані в Інституті фізики, Інституті фізики напівпровідників та інших організаціях АНУ. Дослідження в галузі використання лазерного випромінювання для обробки матеріалів були початі в Київському політехнічному інституті (КПІ) в 1964 р., а в 1967 р. у видавництві «Техніка» (Київ) була опублікована перша у світі монографія в цій галузі: Картавов С.А., Коваленко В.С. «Застосування оптичних квантових генераторів (ОКГ) для технологічних цілей».

Однак аж до початку двохтисячних років, коли були створені промислові ітербієві волоконні лазери з довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 1,06$ мкм з високими експлуатаційними характеристиками і високим ККД, застосування лазерних джерел для очищення промислових об'єктів уважалося технологічно й економічно доцільним лише в окремих, виняткових випадках.

Сучасна широка гамма оптоволоконних лазерів потужністю до декількох кіловат із довжиною хвилі $\lambda = 1,06$ мкм має ряд певних переваг перед СО₂-лазерами. Менша довжина хвилі лазерного випромінювання визначає більш високе значення коефіцієнта поглинання оброблюваною поверхнею матеріалу, при цьому ККД установки становить до 60 % і вище, а довговічність – до 50000 год.

Останнім часом значно поширилися нові розробки діодних лазерів, що мають також

високий ККД. Їх також використовують для накачування твердотільних лазерів замість менш ефективних газорозрядних ламп накачування. У технології вже широко застосовуються потужні (до декількох кіловат) діодні лазери, що дають змогу створити компактне устаткування для промислових цілей.

Мета статті. Розгляд можливості застосування лазерних технологій для очищення й супутньої обробки поверхні поршнів тепловозних дизелів в умовах локомотивного депо для вирішення завдань підвищення продуктивності праці, зниження витрат на підготовку виробництва, підвищення якості очищення й зниження собівартості цієї операції.

Основна частина дослідження. У випадку з поршнями забруднюючі шари (нагар) мають досить тверду структуру й високе зчеплення з металом і видаляються класичними способами надзвичайно важко. Лазерне очищення з такими завданнями справляється відмінно й до того ж іноді надає додаткові властивості очищеному сплаву через специфічну модифікацію поверхневого шару. Однак у зв'язку з високою адгезією нагару в поверхневий шар деталі застосування традиційного лазерного променя неефективне як з погляду продуктивності процесу, так і з погляду складності добору режимів роботи лазера, що в остаточному підсумку неефективно енергетично.

У цьому випадку завдання очищення полягає у видаленні двох неоднорідних за своїми фізико-механічними властивостями шарів того самого нагару – більш пухкого верхнього шару і приповерхневого щільного, зі значним зчепленням з поверхнею поршня, нижнього шару.

Перше можливе рішення завдання очищення полягає у поетапній обробці поршня із застосуванням спочатку потужного променя лазера для руйнування менш щільного, але об'ємного шару нагару, а потім імпульсного променя малої потужності – для видалення розпушеного верхнього шару й абляції приповерхневого з одночасною модифікацією чистої поверхні поршня.

Друге – об'єднати два види променя з різними характеристиками в зоні обробки, що теоретично можливо для волоконних лазерів,

застосувавши при цьому гібридну технологію лазерного очищення.

Для проведення досліджень розробляється стенд, який передбачає закріплення оброблюваного поршня на столі 1 з можливістю його обертання навколо вертикальної осі (рис. 1).

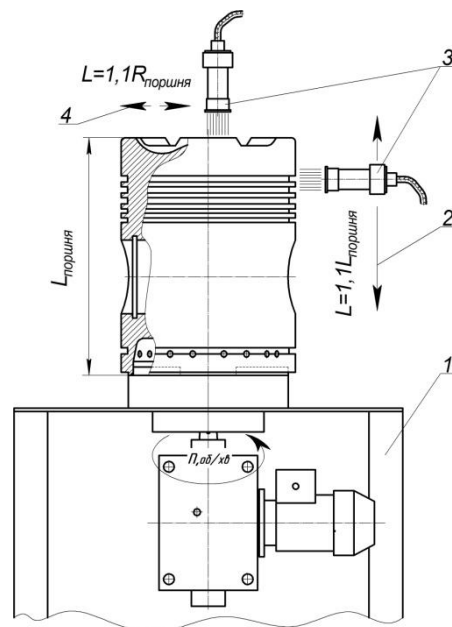


Рис. 1. Стенд для випробувань режимів лазерного очищення тепловозних дизелів:

- 1 – стіл стенда; 2 – напрямок руху випромінювача по вертикальній напрямній;
- 3 – випромінювачі з лінійним розгортанням променя;
- 4 – напрямок руху випромінювача по горизонтальній напрямній

Як джерело лазерного випромінювання передбачається застосування волоконного лазерного устаткування НВП «Лазерні Технології» (Росія, м. Санкт-Петербург). У порівнянні з устаткуванням фірми CleanLaser на основі АІГ-лазерів волоконні лазери мають ряд переваг: у десятки раз більший ресурс роботи лазера, мінімальне енергоспоживання, мінімальні експлуатаційні витрати, габарити й вага [1, с. 60].

Стенд оснащено двома вертикальною 2 і горизонтальною 4 напрямними, по яких переміщуються лазерні випромінювачі 3. По вертикальній – для обробки бічної поверхні поршня, горизонтальній – для поверхні головки поршня. Взаємне переміщення із заданими

лінійними швидкостями лазерних випромінювачів і коловою швидкістю оброблюваних поршнів відбувається під керуванням програмного забезпечення, подібного до програм верстатів з ЧПУ.

За планом експерименту для променя, що деформує поверхні шари нагару (рис. 2), використовується безперервний волоконний лазер потужністю 700 Вт, випромінювання якого фокусують у пляму діаметром 2 мм. Для тонкого остаточного очищення застосовується імпульсний волоконний лазер потужністю 10 Вт із розгорненням лазерного променя в лінію.

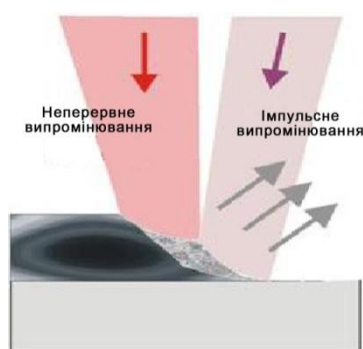


Рис. 2. Схема комбінованого процесу лазерного очищення

Очікувана продуктивність комбінованого процесу лазерного очищення виходячи з даних продуктивності [1, с.65] з урахуванням, що сумарна площа поверхні, наприклад, поршня дизеля маневрового тепловоза близько 0,75 м², становить не менш 15 поршнів у годину, а собівартість очищення одного поршня 4 грн.

Значний резерв економії криється у випадку, якщо безперервна частина випромінювача може бути виконана не в лазерному варіанті, а у варіанті «діодного» випромінювача, у якому у вихідне волокно збирається випромінювання від діодів, що накачують, оскільки нам не потрібне фокусування в малі плями. При такій схемі очікується загальний ККД від розетки близько 40..50 %.

Створення дослідного стенда дасть змогу на практиці відпрацювати параметри лазерного променя й режими процесу очищення. Особлива увага буде приділена питанню якості очищеної поверхні з погляду набування нею особливих, сприятливих для подальшої експлуатації якісних властивостей, як-от: збільшена міцність поверхневого шару, набута чистота обробки, що дає змогу не допускати припикання продуктів згоряння.

Висновки. Лазерне очищення в порівнянні із традиційними способами має ряд переваг, зокрема:

- відсутність видаткових матеріалів;
- дистанційне проведення (волоконна доставка випромінювання);
- екологічна безпечність, у процесі відсутні елементи, що зношуються (строк служби волоконного лазера до 50000 год);
- результат і ступінь очищення можна контролювати.

Усі ці переваги будуть перевірені в застосуванні до обробки деталей локомотивів з виробленням конкретних рекомендацій для впровадження лазерного очищення в умовах локомотивних депо.

Список використаних джерел

1. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
2. Самохвалов, А.А. Лазерная очистка поверхности промышленных объектов от лакокрасочных покрытий и загрязнений [Текст]: автореф. дисс... канд. техн. наук / А.А. Самохвалов. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 20 с.
3. Ляшенко, О. Особливості та перспективи розвитку ресурсозбереження в Україні [Електронний ресурс] // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка". – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1537>.
4. Рахматулин, М.Д. Технология ремонта тепловозов [Текст]: учеб. для вузов / М.Д. Рахматулин. – М.: Транспорт, 1983. – 319 с.
5. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении [Текст] / В.П. Вейко, В.Н. Смирнов, А.М. Чирков, Е.А. Шахно. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.

6. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия [Текст] / отв. ред. М.Е. Жаботинский. – М.: Сов. энциклопедия, 1969. – 432 с.
7. Реди, Дж. Промышленные применения лазеров [Текст] / Дж. Реди. – М.: Мир, 1981. – 638 с.
8. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крілов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 335 с.
9. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 299 с.
10. Новое поколение экологически чистых ресурсосберегающих технологий [Электронный ресурс] // Эколого-гуманитарный фонд "Преображение". – Режим доступа: http://escoecosys.narod.ru/2003_10/art52/1.htm.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.П. Фалендиш

Чигирик Наталія Дмитрівна канд. техн. наук, доцент, кафедра ЕРРС, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Гаврилов Вадим Юрійович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Chygyryk Nataliya Dmitriivna, cand. of techn. sciences, dotsent kafedri YERRS, Ukrainian State University of Railway Transport. Тел.: (057) 730-19-99.

Gavrilov Vadim, listener IPPK, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-42.

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.

УДК 625.282

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ РЕСОРНОЇ ПІДВІСКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Д-р техн. наук В.Г. Маслієв, магістрант С.О. Кравченко, бакалавр А.О. Маслієв

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д-р техн. наук В.Г. Маслиев, магистрант С.А. Кравченко, бакалавр А.О. Маслиев

OUTLOOK CONSTRUCTION SPRING SUSPENSION VEHICLES

Doct. of techn. sciences B.Masliev, master student C. Kravtsenko, bachelor A. Masliev

Проведено дослідження перспективи розвитку конструкції ресорної підвіски транспортних засобів. Установлено, що на швидкісних поїздах, де вимоги до плавності руху значно вищі, ніж на пасажирських вагонах, застосовується двоступенева ресорна підвіска зі статичним прогином від 0,3 до 0,5 м, що досягається завдяки використанню пневматичних ресор, де пружним елементом є стиснене повітря.

Ключові слова: транспортний засіб, ресорна підвіска, плавність руху, статичний прогин, пневматична ресора, стиснене повітря.

Проведено исследование перспективы развития конструкции рессорной подвески транспортных средств. Установлено, что на скоростных поездах, где требования к плавности движения значительно выше, чем на пассажирских вагонах, применяется двухступенчатая рессорная подвеска со статическим прогибом от 0,3 до 0,5 м, что достигается благодаря использованию пневматических рессор, где упругим элементом является сжатый воздух.

Ключевые слова: транспортное средство, рессорная подвеска, плавность движения, статический прогиб, пневматическая рессора, сжатый воздух.

A study of the prospects for the development of construction spring suspension vehicles. It was found that high-speed trains, where the requirements for smoothness of motion is significantly higher than in passenger cars, used a two-stage spring suspension with static deflection of 0.3 to 0.5 m, which is achieved through the use of air springs, where an elastic member is compressed air.

Keywords: vehicle spring suspension, smoothness of motion, static deflection, air spring, compressed air.

Вступ. Залізничний транспорт забезпечує більш ніж 70 % загального обсягу вантажообігу, а отже, посідає вирішальне місце в транспортній системі України.

Проте залізнична галузь останнім часом демонструє негативну динаміку розвитку обсягів перевезень. У 2014 році без урахування території Автономної Республіки Крим і міста Севастополь, падіння обсягів перевезень вантажів становить 8 % порівняно з 2013 роком. Це значною мірою обумовлено бойовими діями на Сході країни. Через руйнування залізничної інфраструктури залишається відсутнім рух поїздів на основних напрямках Донецької залізниці, паралізовано роботу ряду залізничних вузлів, немає можливості відправляти вагони більш ніж з 50 основних вантажних станцій. Як наслідок, середнє щоденне навантаження залізниць суттєво зменшилося.

У результаті спостерігається зниження доходів Укрзалізниці, оскільки майже 90 % усіх доходів вона отримує саме від транспортування вантажів.

На доходах позначилось падіння транзитних перевезень, рентабельність яких у 2-2,5 рази вища порівняно з внутрішніми перевезеннями [1].

Це також значною мірою обумовлено зростанням конкуренції на транспортних перевезеннях, перш за все з боку автомобільного транспорту, який останнім часом зазнав суттєвої модернізації завдяки його переоснащенню сучасними великовантажними автомобілями, які зазвичай обладнано пневматичною рессорною підвіскою, та автобусами із такою ж підвіскою. При поїздках у таких комфортабельних автобусах пасажирів почувають себе значно краще, ніж у застарілих пасажирських вагонах, і до того ж швидкість їх вища за пасажирські поїзди.

Отже, для підвищення конкурентоспроможності залізничного

транспорту виникає негайна потреба у його модернізації та переоснащенні сучасним рухомим складом, який відповідає світовому рівню, зокрема за комфортом для пасажирів та швидкістю руху.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У рамках реалізації Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки та Транспортної стратегії України до 2020 року Укрзалізницею проведена значна робота щодо реконструкції, капітального та інших видів ремонту залізничної техніки. Упродовж 2014-2015 років залізничний парк поповнено значною кількістю нових вагонів вітчизняного виробництва. Це свідчить про те, що покращення інфраструктури за рахунок оснащення її новітніми технічними засобами актуальне і відповідає вимогам сучасності.

Проведені дослідження в галузі динаміки рухомого складу залізниць та відомий досвід закордонних залізниць дають змогу на часі розробити пропозиції щодо підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняних залізниць за рахунок упровадження ефективних технічних рішень, спрямованих на підвищення привабливості поїздок у залізничних вагонах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На пасажирських вагонах застосовується двоступенева рессорна підвіска зі статичним прогином від 0,1 до 0,2 м, а на швидкісному транспорті, де вимоги до плавності руху значно вищі, застосовується також двоступенева рессорна підвіска, але зі статичним прогином від 0,3 до 0,5 м [2-4].

Це дає змогу суттєво поліпшити плавність руху вагонів та комфорт для пасажирів завдяки зменшенню основної гармонічної складової частоти коливань до 1 Гц, яка сприятлива для пасажирів,

зменшенню амплітуд коливань, шуму та вібрацій від взаємодії коліс із рейками.

Створення ресорної підвіски з таким великим статичним прогином потребує новітніх технічних рішень, оскільки відомі ресори, що створюють із використанням здебільшого металевих гвинтових пружин, мають значні габарити та металомісткість. Технологія виготовлення таких пружин складна, зокрема щодо забезпечення належної якості обробки їх поверхні з метою усунення концентраторів напружень. Невід'ємною складовою таких ресор є гідравлічні гасники коливань, які встановлюють паралельно до металевих ресор для розсіювання енергії коливань. Це ускладнює, здорожує та зменшує надійність транспортних засобів [5-7] та ін.

Характер коливань елементів вагонів при русі визначається будовою та станом рейкової колії, який суттєво змінюється під впливом навколишнього середовища та при русі поїздів, тобто змінює свої характеристики жорсткості та демпфірування – властивості, які забезпечують гасіння коливань на ній коліс. Крім того, рейки втрачають початкову геометрію: прямолінійну форму на прямих та кругову форму на кривих ділянках колії. На поверхні головок рейок та на їхніх бічних гранях спостерігаються так звані геометричні нерівності, які виникають унаслідок взаємодії із ними коліс локомотивів, а також силові нерівності, що обумовлені осіданням шпал на баластному шарі. На поверхнях кочення коліс також зустрічаються певні нерівності.

Усе це викликає «збурення» руху колісних пар, тобто перетворює їх прямолінійний рух на такий, що складається із сукупності близьких за формою до гармонічних складових коливань, які частково фільтруються ресорами, а частково передаються через них до кузова у вигляді силових поштовхів та вібрацій, що негативно впливають на стан пасажирів і погіршують їх комфорт [6].

Ресори – це пружно-дисипативні зв'язки кузова з колісними парами, що забезпечують плавний рух вагона за наявності нерівностей на рейках.

Можливості металевих ресор і гідравлічних гасників коливань на цей час можна вважати вичерпаними.

Як альтернатива їм використовуються пневматичні ресори, де пружним елементом є стиснене повітря.

Такими ресорами обладнано швидкісні електропоїзди ЕР200 з конструктивною швидкістю 200 км/год, тепловози 2ТЕ10Л, 2ТЕ116, ТЕМ2 та ін., вагони метро, багато серій локомотивів, пасажирських і навіть вантажних вагонів на залізницях у Японії та інших розвинених країнах.

Вітчизняний тепловоз ТЕ7, який першим було обладнано пневматичними ресорами, із поїздом розвивав швидкість руху 140 км/год, а плавність руху у нього оцінювалась приладами та бригадами машиністів як краща, ніж у обладнаних металевими ресорами пасажирських вагонів, які були у поїзді, що він тягнув [6, 8].

Високу ефективність пневматичної ресорної підвіски довели випробування та експлуатація електропоїздів ЕР 22 і ЕР 200. Було виявлено важливу перевагу пневматичної ресорної підвіски – здатність фільтрувати високочастотні вібрації та шум, що утворюються від контактів коліс з колійною структурою до кузова [6].

Дослідженнями у сферах теорії та практики використання пневматичних ресор займалися такі відомі вчені та фахівці: Акоюн Р.А., Куценко С.М., Закорецький В.А., Савушкін С.С., Лобачов М.А., Григорьев М.І., Євстратов А.С., Рубан А.М., Маслій В.Г., Єлбаєв Е.П., Кудрявцев М.М., Кузнецов А.В., Певзнер Я.М., Дмитрієв Є.М., Філіпов В.В. та багато інших. Останніми роками є відповідні напрацювання наукової школи проф. Мямліна С.В. та інших учених.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження перспектив розвитку конструкції ресорної підвіски транспортних засобів і розроблення пропозицій щодо доцільності широкого впровадження пневматичної ресорної підвіски на пасажирських вагонах на основі використання досягнень науковців, фахівців та виробників сучасного рухомого складу, який відповідає світовим стандартам.

Завдання дослідження полягають у проведенні аналізу динамічних якостей транспортних засобів, які обладнано пневматичними ресорами, що дасть змогу науково обґрунтувати широке використання їх на пасажирських вагонах з метою підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень.

Основна частина дослідження.

Незважаючи на позитивний досвід щодо застосування пневморесор на транспорті, все ще існує певне несприйняття їх окремими вітчизняними фахівцями та виробниками, яке виправдовується тезами: ускладнення конструкції та технології виробництва й експлуатації транспортного засобу, а також необхідність облаштування на транспортному засобі місць для установлення додаткових повітряних резервуарів значного об'єму та габаритів, що сполучаються із пневморесорою, для забезпечення необхідної жорсткості та демпфірування ресорної підвіски.

Ці тези не мають достатнього підґрунтя, що доводить досвід закордонних фірм, які випускають у великій кількості транспортні засоби на пневморесорах, та значний досвід вітчизняних науковців та фахівців, які науково обґрунтували, дослідили та впровадили

пневматичну ресорну підвіску на тепловозах та вагонах [6, 8]. До речі, демпфірування коливань на згаданих тепловозах відтворювалося винятково системою пневматичні ресорні підвіски.

Розглянемо конструкцію ресорної підвіски візків сучасних швидкісних поїздів, які курсують зараз на закордонних залізницях [9].

Поїзди JR Central серій 300, 500 та 700 мають конструктивну швидкість до 285 км/год. Вони обладнані візками, які не мають шворневих балок (рис. 1). Дві пневматичні ресори встановлено у другому (центральному) ступені ресорної підвіски і їх висота регулюється комп'ютерною системою.

Для погашення коливань паралельно до пневморесор між кузовом та рамою візків встановлено гідравлічні гасники коливань. Пневморесори мають нелінійну характеристику.

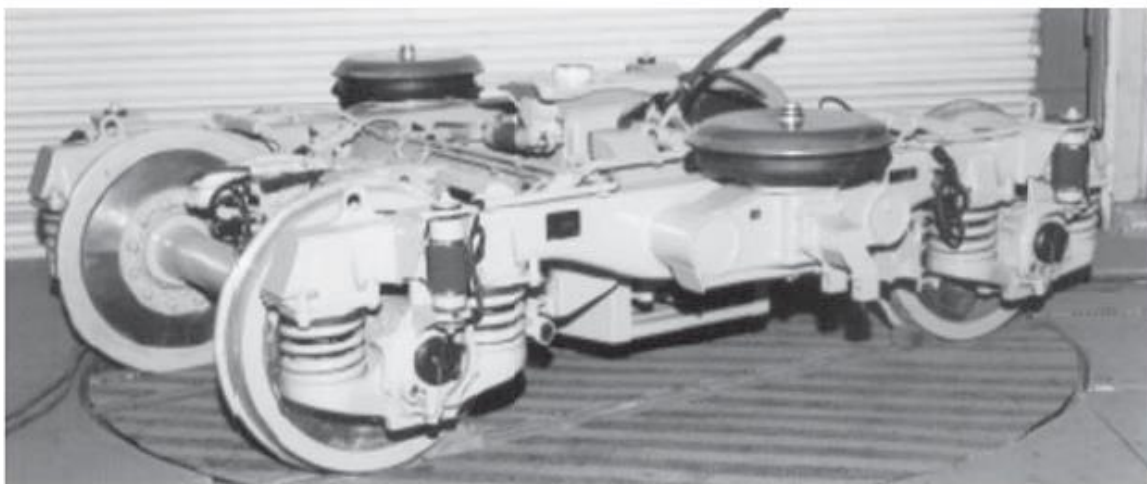


Рис. 1. Візок поїзда JR Central

Поїзди серії E2 призначені для умов експлуатації на ділянці, де наявні ухили до 30 ‰. Його швидкість сягає 315 км/год. Як і у попереднього візка, центральний ступінь ресорної підвіски виконаний із використанням пневморесор у сполученні із автоматичною та напівавтоматичною системами зменшення вібрацій.

Безшворневі візки вагонів поїзда Fastech 360 S обладнано ресорною підвіскою з пневматичними балонами та активною системою зменшення вібрацій та нахилу кузова у кривих ділянках на кут до двох градусів для

збереження необхідного рівня комфорту пасажирів.

У французьких поїздів TGV Sud – Est першого покоління у вторинному ступені ресорної підвіски використовувалися сталеві спіральні пружини великих розмірів, маса яких сягала 300 кг. Паралельно до пружин встановлено гідравлічні демпфери вертикальних та бічних коливань. При модернізації цих поїздів сталеві пружини було замінено пневморесорами SR-10 діафрагмового типу з додатковими резервуарами великої

ємності, які були встановлені безпосередньо над пневморесорами (рис. 2).

Така система ресорної підвіски довела, що забезпечується оптимальне демпфірування

коливань при власній частоті коливань 0,7 Гц. Така м'яка ресорна підвіска змусила використовувати демпфери для запобігання надмірному нахилу кузова в кривих ділянках колії.

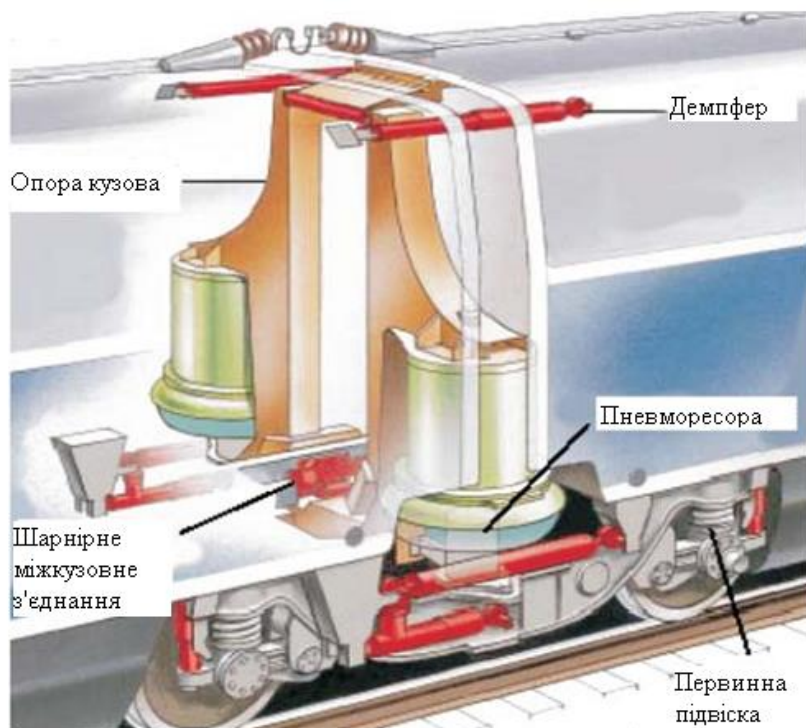


Рис. 2. Візок та міжвагонне з'єднання поїзда TGV Sud – Est

На залізницях Німеччини експлуатуються поїзди серії ICE2, у яких як первинна ресорна підвіска використано гвинтові пружини в комбінації з гумовими елементами. Рама візка складається із двох вигнутих долу балок і двох поперечних балок, які розташовано всередині візка. На бічних балках встановлено дві пневморесори вторинної підвіски та аварійні пружини й повітряний додатковий резервуар.

Поїзд ICE3 має два виконання – односистемний, призначений для використання усередині Німеччини, й чотирисистемний для

міжнародних перевезень між Німеччиною, Францією, Австрією, Нідерландами та Бельгією.

Моторний візок швидкісного поїзда серії ICE3 має раму Н-подібної форми (рис. 3). У першому ступені ресорної підвіски встановлено гвинтові пружини з центральними гумовими елементами. У другому ступені підвіски використано пневморесори. В обох ступенях встановлено гідравлічні гасники коливань та обмежувачі кутового повороту навколо вертикальної осі.

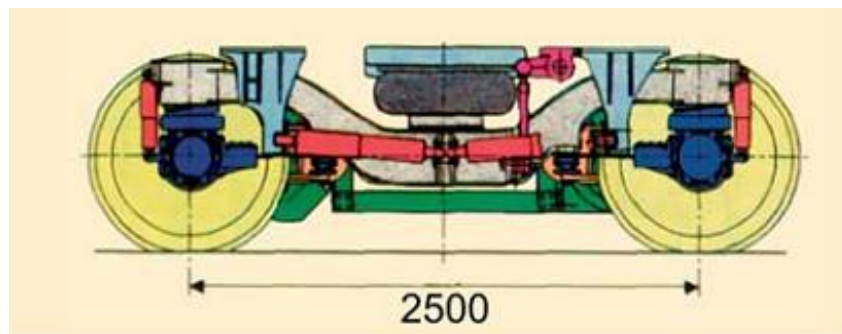


Рис. 3 Моторний візок швидкісного поїзда серії ICE3

В Іспанії на залізниці Мадрид-Барселона експлуатується високошвидкісний поїзд AVE S103 (Talgo 350), в одноосьових візках якого використана двоступенева ресорна підвіска. Пружини першого ступеня встановлено над буксами коліс.



Другий ступінь ресорної підвіски вмонтовано до механізму системи нахилу кузова вагона відносно візків (рис. 4). Тут кузов вагона спирається на дві пневматичні ресори, які розташовано під дахом вагона і спираються на візок через колони.

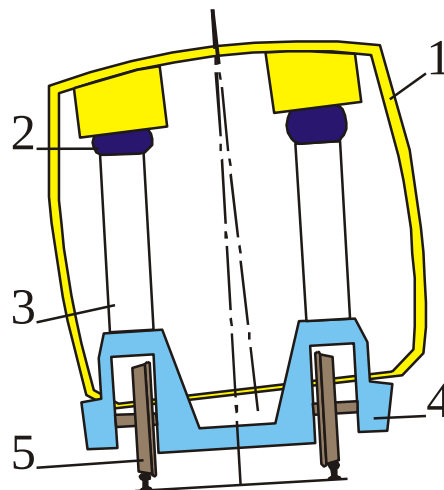


Рис. 4. AVE S103 (Talgo 350) візок з пасивною системою нахилу кузова вагона відносно візків:
1 – кузов; 2 – пневматичні балони; 3 – колони; 4 – рама візка; 5 – колісна пара

Ця система водночас відтворює пасивну систему нахилу кузова у кривих ділянках колії до п'яти градусів, що дає змогу компенсувати бічні прискорення й підвищити комфорт пасажирів.

Вітчизняна промисловість разом з науковцями [10-14] розробили та створили ряд

транспортних засобів із пневматичною ресорною підвіскою для залізниць України.

На рис. 5 наведено 3D модель візка 68-7041 для пасажирського вагона, який розроблено на Крюківському вагонобудівному заводі.

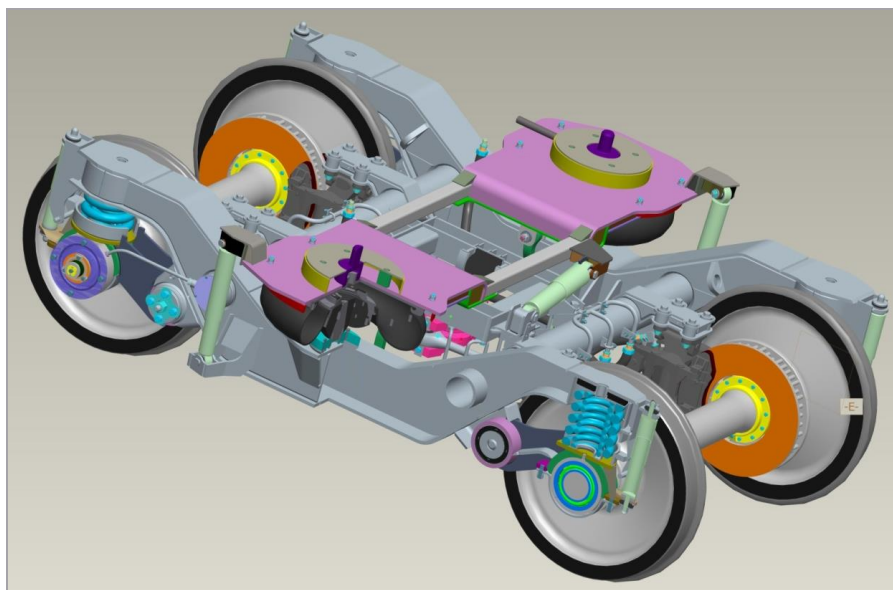


Рис. 5. Візок моделі 68-7041 для пасажирського вагона

У конструкції візка використано пневматичні ресори «діафрагмового» типу, які встановлені на бічні балки рами. Кузов спирається на них через проміжну балку. Паралельно до кожної пневматичної ресори встановлено гідравлічні гасники коливань, тому що такий тип пневморесор не забезпечує оптимального демпфірування коливань.

Випробування довели, що плавність руху вагона поліпшилась у порівнянні із вагоном на серійних візках, які обладнано металевою ресорною підвіскою [10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведене дослідження довело таке:

1. Пневматична ресорна підвіска широко використовується перш за все там, де прискіпливо ставляться до підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту.

2. Це обумовлено тим, що пневматична ресорна підвіска дає змогу радикально вирішити питання створення ресорної підвіски з великим (до 500 мм) статичним прогином і забезпечити високий комфорт пасажирам.

3. На більшості рухомого складу використовуються пневматичні ресори діафрагмового типу, які дають змогу в деякій мірі одночасно вирішити проблеми як вертикальних, так і поперечних коливань кузова відносно візків, але це потребує поряд із пневматичною ресорою встановлювати по два гідравлічних гасники коливань, що ускладнює та здорожує транспортний засіб.

4. Досвід створення та експлуатація вітчизняних транспортних засобів довів, що цільове використання балонних пневматичних ресор тільки для вертикальної підвіски кузова дає змогу позбавитися додаткових гасників коливань і забезпечити оптимальне демпфірування вертикальних коливань шляхом науково обґрунтованого проектування системи пневматичної ресорної підвіски.

5. Подальше впровадження пневматичної ресорної підвіски на транспортних засобах Укрзалізниці буде сприяти поліпшенню їх плавності руху, зменшенню силового впливу на колію, а отже, її збереженню.

Список використаних джерел

1. Удосконалення механізмів реформування та розвитку залізничного транспорту в контексті реалізації структурних реформ в галузі. Аналітична записка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1662/>. – Загол. з екрану.
2. Sugahara Y., Takigami T., Kazato A. Suppressing vertical vibration in railway vehicles through air spring damping control [Text] // Journal of system design and dynamics Vol.1, No.2, 2007. pp. 212-223.
3. Toyofuku K., Yamada C., Kagawa T., and Fujita T. Study on dynamic characteristic analysis of airspring with auxiliary chamber [Text] // JSAE Review, 1999, 20(3), 349-355.
4. Lee J.-H. & Kim K.-J. Modeling of nonlinear complex stiffness of dual-chamber pneumatic spring for precision vibration isolations [Text] // Journal of Sound and Vibration, 2007, Vol 301, pp 909-926.
5. Вольперт, А.Г. Гасители колебаний подвижного состава: каким им быть? [Текст] / А.Г. Вольперт, В.А. Жолобов // Железнодорожный транспорт. – 1985. – № 3. – С. 54 – 57.
6. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов [Текст] / С.М. Куценко, Э.П. Елбаев, В.Г. Кирпичников [и др.] / под ред. С.М. Куценко. – Харьков: Вища шк., 1978. – 97 с.
7. Yoshie N. 500-Series Shinkansen for commercial operation at 300 km/h of JR West [Text] // Elektrische Bahnen – 1999. – №12. – P.421-427.
8. Конструкция и динамика пневматического рессорного подвешивания бесчелюстных тележек тепловоза 2ТЭ116 [Текст]: отчет о НИР: № гр 71018248 / ВНИТИ, ХПИ. – Коломна; Харьков, 1977. – 59 с.
9. Корниенко, В.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2007. – 159 с.
10. Отечественная пассажирская тележка на пневматическом подвешивании [Текст] / Б.А. Коробка, О.А. Шкабров, Ю.Н. Коваленко, В.Ф. Назаренко. – Вагонный парк. – 2010. – № 6. – С. 48-51.
11. Пристрій для керування рівнем підресореної частини транспортного засобу при пневматичному ресорному підвішуванні [Текст]: пат. на корисну модель № 68457. МПК B61F 5/00 /

Маслієв В.Г., Макаренко Ю.В., Балєв В.М., Маслієв А.О.; власник НТУ «ХПІ»; заявл. 09.09.2011, опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6.

12. Макаренко, Ю.В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным управлением [Текст] / Ю.В. Макаренко, В.Н. Балєв, В.Г. Маслиев // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування.– Харків: НТУ«ХПІ», 2011. – № 18. – С. 69-74.

13. Маслиев, В.Г. Параметры воздушного тракта пневматического рессорного подвешивания тепловозов [Текст] / В.Г. Маслиев, Н.О. Лобачев // Констр. и произв. трансп. машин. – Харьков: Вища шк., 1982. – № 14. – С. 3.

14. Макаренко, Ю.В. Результаты исследования транспортного средства на пневматических рессорах [Текст] / В.Г. Маслиев, Ю.В. Макаренко, А.О. Маслиев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – Новочеркасск, 2014. – №1 (67). – С. 101–107.

Маслієв Вячеслав Георгійович, д-р техн. наук, професор, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 707-65-30. E-mail: masliew@ukr.net

Кравченко Сергій Олександрович, магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 707-65-30.

Маслієв Антон Олегович, бакалавр, кафедра інформаційних технологій і систем колісних і гусеничних машин, національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Masliiev Vyacheslav, doct. tehn. sciences, professor, department of vagoniv, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 707-65-30. E-mail: masliew@ukr.net.

Sergey Kravchenko, undergraduate of cars, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 707-65-30.

Masliyev Anton, bachelor of Information Technology and Systems wheeled and tracked vehicles National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute ".

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.

УДК 629.47.004.18

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТУ РАМ ВІЗКІВ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ8

Магістрант О.С. Машкін

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА РАМ ТЕЛЕЖЕК ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ8

Магистрант А.С. Машкин

IMPROVING REPAIR ELECTRIC LOCOMOTIVE BOGIE FRAMES VL8

Undergraduate A.S. Mashkin

У статті проведено аналіз існуючих методів та способів діагностування основних несучих елементів електровоза, визначено основні показники, які можуть бути використані для вибору діагностичних параметрів.

Проведено аналіз існуючих систем та пристроїв для визначення залишкового ресурсу рам візків електровозів ВЛ8, запропонована технологія діагностування, яка може бути використана в локомотивному депо, та наведено принцип роботи діагностичного комплексу.

Ключові слова: електровоз, рама візка, надійність, термін служби, діагностування, залишковий ресурс, метод розрахунку, імовірність, неруйнівний контроль, кінцеві елементи, твердотільна модель, діагностичний комплекс.

В статье проведен анализ существующих методов и способов диагностирования основных несущих элементов электровоза, определены основные показатели, которые могут быть использованы для выбора диагностических параметров.

Проведен анализ существующих систем и устройств для определения остаточного ресурса рам тележек электровозов ВЛ8, предложена технология диагностирования, которая может быть использована в локомотивном депо, и приведен принцип работы диагностического комплекса.

Ключевые слова: *электровоз, рама тележки, надежность, срок службы, диагностирование, остаточный ресурс, метод расчета, вероятность, неразрушающий контроль, конечные элементы, твердотельная модель, диагностический комплекс.*

In Article wires dannoy analysis of existing methods and sposobovdyahnostyrovanyyanesuschyh major elements elektrovoza, opredeleny Basic Indicator, kotoryemogutbytyspolzovany for Choice diagnostically parameters.

The analysis of existing methods of determining the residual life of the carrier konstruktsey locomotives, the most widely used of which it is the parametric method based on measuring the strength of the material koertsitativnoy bearing structure. Such measurements should be carried out throughout the lifetime of the frame telizhki.

Rozglyanuta procedure of calculation by finite element method bogie frame. The calculations obtained diagrams of stress and deformatsiy separate areas of the frame that allowed to identify the most tense areas of the frame and place for the installation of sensors telizhki during diagnosis.

Conducted analysis of existing systems and devices for final resource definitions frames telezhkelektrovozov VL8, predlozhennaya technology dyahnostyrovanyya, kotoraja Can bytyspolzovana a locomotive depot and pryvedeny principle work diagnostically complex.

Keywords: *locomotive, bogie frame, reliability, service life, diagnosis, residual life, the method of calculating the probability, nondestructive testing, finite element model of solid-state, diagnostic equipment.*

Вступ. Актуальність роботи визначається гостротою проблеми оновлення рухомого складу на залізницях країни. Аналіз роботи локомотивних депо показує, що середні витрати на локомотивне господарство складають 31,6 % від загальних витрат на підприємствах, які є найбільшою частиною серед інших господарств залізничного транспорту. У зв'язку із зростанням ціни вартості запасних частин та витратних матеріалів підвищуються витрати на утримання локомотивів. Скорочення частки цих витрат є значним резервом підвищення ефективності локомотивної тяги залізничного транспорту [5, 6].

Постановка проблеми. Відповідно до Програми оновлення рухомого складу, кількість локомотивів інвентарного парку Укрзалізниці, що вичерпали встановлений заводами-виробниками нормативний термін експлуатації, підходить до критичної точки. Зношування електровозів досягло 90 %, а їх середній вік – 36 років. Вже вичерпали свій ресурс локомотиви серій ВЛ8, ВЛ60, ВЛ80 і ЧС2. Зокрема, у найгіршому стані в цих електровозах перебувають рами візків, які є

основним несучим елементом візка і впливають на безпеку руху [1].

Тому розроблення та впровадження заходів щодо підвищення надійності, енерго-ефективності та продовження терміну служби локомотивів, а саме рам візків електровозів і удосконалення їх утримання має для залізничного транспорту особливе значення [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При збільшенні напруження тягового рухомого складу із продовженням терміном служби ймовірність появи відмов у несучих конструкціях підвищується [3]. Наприклад, при первинному продовженні призначеного терміну служби електровозів ВЛ80, ЧС2 було встановлено, що ресурс візків буде регламентувати відповідно шворневий брус і кронштейн підвіски кузова. Після 8-10 років експлуатації в цих елементах почали з'являтися тріщини утоми з тенденцією переходу до масового явища. Таке положення спостерігається в несучих конструкціях інших типів рухомого складу [4]. Тому вибір методів та засобів контролю технічного стану рам візків електровозів має особливе значення у зв'язку з

незадовільними темпами оновлення тягового рухомого складу.

Мета статті. Проаналізувати стан несучих конструкцій електровозів та методи визначення залишкового ресурсу і запропонувати заходи й технологію контролю технічного стану рам візків електровоза ВЛ8.

Основна частина дослідження. Технічний стан несучих конструкцій із тривалим напрацюванням з погляду ресурсу перейшов на якісно інший рівень, а це у свою чергу потребує і більш досконалого підходу до забезпечення безпеки їх подальшої експлуатації. У цьому зв'язку для конструкцій із тривалим напрацюванням розвиток прийнятого підходу полягає в розробленні, прийнятті і реалізації технічних рішень щодо забезпечення необхідної довговічності не тільки по серії рухомого складу в цілому, але й для кожної одиниці індивідуально. При цьому впроваджується поетапний інструментальний контроль технічного стану конструкцій і постійний моніторинг для забезпечення подальшої безпечної експлуатації [5, 6].

Як основні показники залишкового ресурсу прийнято розглядати такі [6]:

- середній залишковий ресурс $\pi(t)$, обумовлений як математичне очікування залишкового ресурсу після напрацювання t ;

- гамма-процентний залишковий ресурс $\pi_\gamma(t)$, обумовлений як напрацювання з деякого моменту часу t , протягом якого об'єкт, що безвідмовно напрацював, буде мати значення умовної ймовірності безвідмовної роботи рівня γ :

$$\frac{R[\tau + \pi_\gamma(\tau)]}{R(\tau)} = \gamma.$$

Існують такі методи оцінки залишкового ресурсу [7, 8]:

- імовірнісний;
- параметричний (на основі магнітної характеристики металу), а також методи, оснований на використанні:
 - дифузійного розподілу;
 - індивідуальних кривих утоми;
 - аналізу тимчасовихрядів.

Імовірнісні методи розрахунків ресурсу.

На основі дослідження ряду сплавів при різних навантаженнях встановлено, що, з погляду

впливу на довговічність, будь-який процес може бути подано трьома параметрами: математичним очікуванням напруг $\pi(t)$, щовідбивають статичний зсув процесу навантаження об'єкта (наприклад під дією встановленого вантажу); середнім квадратичним відхиленням напруг, що характеризують інтенсивність динамічного навантаження; параметром структури процесу Z , що інтегрально оцінює імовірнісне співвідношення ординат і максимумів процесу (рис. 1) [8, 9].

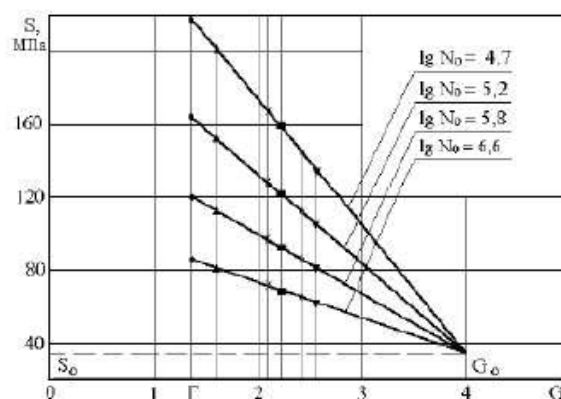


Рис. 1. Узагальнена діаграма характеристик опорівутоми зразків сплаву АМг-61

Параметричні методи оцінки поточного стану і залишкового ресурсу металоконструкцій на основі методу неруйнівного контролю. В основу підходу покладений неруйнівний метод поточного контролю (у процесі всього терміну служби) за результатами виміру такої магнітної характеристики металу, як коерцитивна сила H_c . Такий підхід давно визнаний у металургії й машинобудуванні при здавальному контролі готової металопродукції за механічними властивостями.

Крім вихідних положень, також бралось до уваги, що H_c — це одна з найбільш структурочутливих магнітних характеристик металу, тому за результатами вимірів H_c контролюються механічні властивості не тільки нового металу, але і прослідковується динаміка зміни стану робочого шару в процесі всього терміну служби виробу (рис. 2).

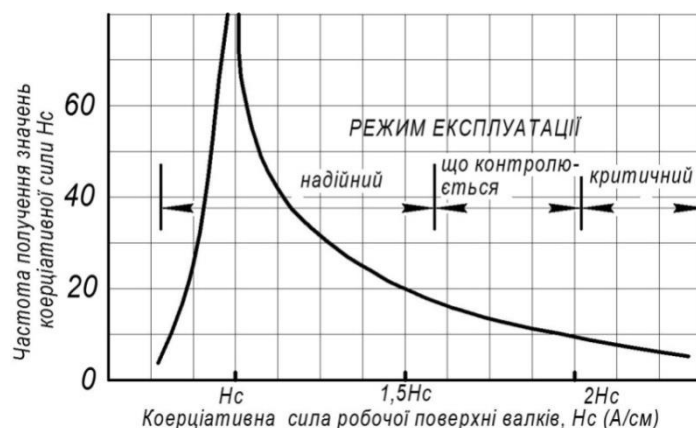


Рис. 2. Генеральний розподіл значень коерцитивної сили на поверхні кочення опорних валків зі сталі 75ХМФ

Нижче при вимірах H_c поверхні кочення представницької вибірки з 60 шт. прокатних валків протягом їх терміну служби показано, що даний параметр неруйнівного контролю виправдав такі очікування. Усю цю групу валків спостерігали протягом півтора року. При контролі на робочу поверхню валка наносили координатну сітку із прив'язкою її до конструкції валка для виконання всіх подальших вимірів у тих самих точках у процесі перевалок. Виміри виконували ручним портативним магнітним структуроскопом КРМ-Ц-К2М.

Таким чином, при експлуатації коерцитивна сила прямо пов'язана з діючими експлуатаційними напруженнями і нагромадженням пошкоджень у металі, які визначають залишковий ресурс конструкції.

Метод оцінки ресурсу з використанням дифузійного розподілу. Останнім часом усе більше поширення як теоретична модель розподілу відмов механічних виробів одержує дифузійний монотонний розподіл (DM-розподіл).

Якщо відома первісна функція розподілу ресурсу досліджуваних виробів $F(t)$ (або щільність розподілу ресурсу $f(t)$), то можна визначити вираз для характеристик залишкового ресурсу.

Щільність DM-розподілу:

$$f(t) = \frac{t + \mu}{2\sqrt{t} \sqrt{2\pi\mu t}} \cdot \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sqrt{t} \mu t}\right],$$

Методи визначення розподілів ресурсу за індивідуальними кривими утоми. Одним з можливих способів розрахунків розподілу ресурсу є використання індивідуальних кривих утоми (ІКУ) у вигляді квантилів відповідних значень імовірностей.

Можливі два підходи до побудови ІКУ: прямий і зворотний. Прямий підхід полягає в знаходженні розподілу ресурсу й визначенні дійсної поведінки зразків на основі цих розподілів. Існує й зворотний підхід до моделювання утомного феномена. Якщо дані розподіли ресурсу, отримані на основі випробувань, необхідно знайти випадкові об'єкти, відповідальні за утомну поведінку зразків.

Моделі залишкового ресурсу з використанням методів аналізу тимчасових рядів. Під тимчасовим рядом будемо мати на увазі безліч значень ресурсу, зафіксованих у певний час. Такі ряди дуже часто формуються для контролю технологічного процесу, а також для обліку ресурсних витрат і ряду інших цілей. Моделі, в основі яких лежить використання даних тимчасових рядів (або тимчасових серій), дають змогу одержувати прогнози фіксованих значень у найближчому майбутньому. Побудова таких моделей містить у собі два етапи:

1) аналіз внутрішньої структури даних і пошук кількісних і якісних тенденцій. Звичайно на цьому етапі відбувається непрямий поділ вихідних даних на систематичний (прогнозований) і випадковий (що не підлягає прогнозу) компоненти;

2) побудова моделі й прогнозування. Існують два підходи до створення моделей.

Проведений аналіз методів оцінки залишкового ресурсу показав доцільність подальшого вдосконалення методик більш точного виявлення несправностей виробів на ранній стадії експлуатації. Оцінка залишкового ресурсу при використанні таких методик характеризується застосуванням великої кількості багатфакторних залежностей, що виключає розширення бази даних безпосередньо в технологічному процесі. Моделі зношування за своєю суттю є статичними.

Таким чином, актуальними є такі завдання: розроблення нових динамічних моделей, що враховують складні багатфакторні фазові й структурні зміни технічного виробу; створення методик одержання найбільш інформативних ознак виробу з метою подальшого діагностування й оцінювання ймовірності виходу об'єкта з ладу.

В основу підходу визначення залишкового ресурсу покладений неруйнівний метод поточного контролю (у процесі всього терміну служби) за результатами виміру такої магнітної характеристики металу, як коерцитивна сила H_c . Такий підхід давно визнаний у металургії й машинобудуванні при здавальному контролі готової металопродукції за механічними властивостями.

Першим етапом вирішення поставленого завдання є створення твердотільної моделі (3D) рами візка електровоза ВЛ8.

Модель створена за геометрією складального креслення на раму першого візка ВЛ8.

Рами візків ВЛ8 – суцільнолиті. Їх виготовляли виливанням з вуглецевої сталі марки 25 Л-П, до якості лиття ставилися підвищені вимоги. На виготовлення форм потрібні більшi витрати праці, однак обсяг механічної обробки суцільнолитих рам дуже малий, а шар кремнезему, що залишається після видалення формувальної землі, зберігає раму від корозії [10].

Товщина стінок балок рами візка 18 мм. Рама має високу міцність, твердість і надійність; однак маса литої рами велика: 5600-5900 кг в електровоза ВЛ8.

Як матеріал розрахункової моделі рами беремо вуглецеву сталь марки 25 Л-П.

Для проведення розрахунків методом кінцевих елементів система проводить розбивання твердотільної моделі на безліч малих елементарних елементів (тіл), з'єднаних між собою загальними точками – вузлами, тобто генерує сітку кінцевих елементів, у вузлах якої надалі буде проведений розрахунок напружено-деформованого стану моделі (рис. 3).

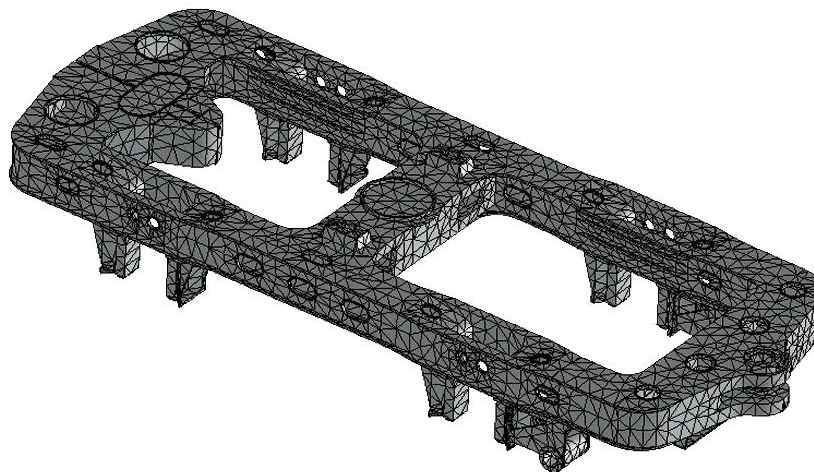


Рис. 3. Сітка кінцевих елементів на твердотільній моделі рами візка ВЛ8

Процедура розрахунків методом кінцевих елементів моделі рами візка, виконаної в натуральну величину, займає від 2 до 4 хв і залежить від характеристик апаратної частини комп'ютера.

У результаті комплексного розрахунку, проведеного на основі вищезаданих умов навантажень і обмежень, отримані епюра напруженого стану матеріалу рами візка, епюра деформацій у конструкції рами й епюра

переміщень ділянок рами від впливу прикладених сил.

Результати розрахунків напруженого стану (рис. 4) дають змогу нам визначити місця із критичними концентраціями напруг у рамі візка, у яких необхідно забезпечити постійний діагностичний контроль у період проведення планових ремонтів.

Як видно з результатів розрахунків максимальні напруги при прийнятій схемі

закріплення і напруг виникають у місцях кріплення найближчих до шворня рами підвісок. Величина їх у даному розрахунку перевищує межу текучості матеріалу рами візка, що пояснюється прийнятим допущенням про тверде закріплення шворневого вузла. У реальній ситуації сила тяги електровоза, долаючи сили опору поїзда, викликає рух кочення, знімаючи тим самим напруги на рамі.

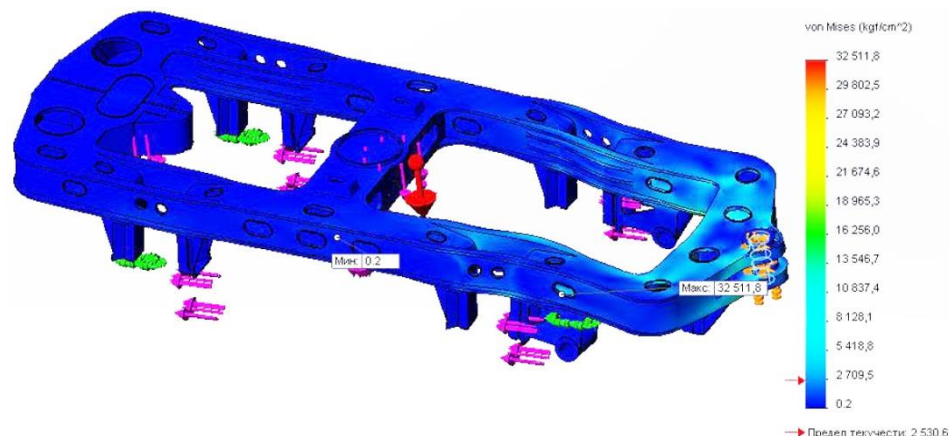


Рис. 4. Епюра напруженого стану рами візка

Таким чином, метод оцінки залишкового ресурсу рам візків складається з таких основних етапів:

1) визначення небезпечних елементів на підставі обстеження рами візка із застосуванням магнітного методу коерцитивної сили й виміром твердості. Проводиться для рам візків, що вперше поміщені на стенд для визначення залишкового ресурсу. Результати широкого обстеження дають змогу:

- скоротити кількість зон конструкції рами, які підлягають постійному контролю;

- визначити початковий рівень коерцитивної сили й твердості в місцях постійного контролю. Обмірювані дані разом з історією експлуатації локомотива послужать для формування типової кривої зміни діагностичних параметрів (рівня коерцитивної сили й твердості) від часу експлуатації в умовах даного депо;

- скласти паспорт діагностики на раму візка, де буде фіксуватися динаміка зміни діагностичних параметрів. Це дасть змогу прослідкувати динаміку зміни коерцитивної

сили й вчасно вивести раму візка з експлуатації або провести ремонтні заходи в несприятливому вузлі;

2) визначення періодичності постановки рами візка на діагностичний стенд;

3) здійснення вимірів згідно із затвердженою періодичністю. За результатами моніторингу діагностичних параметрів і пов'язаного з ним технічного стану вузлів рам (наявність тріщин, утомне викришування часток металу, злами) уточнюється критерій граничного стану рами візка електровозів саме для даного депо.

Своєчасність і оперативність визначення залишкового ресурсу конкретно кожної рами візка можна здійснити при впровадженні в технологічний процес ремонту рам візків ще однієї позиції – діагностичного стенда з визначення залишкового ресурсу.

Пропонований стенд являє собою металоконструкцію, на яку поміщають раму візка (рис. 5). Рама стенда обв'язана кронштейнами, на які кріпляться виконавчі органи діагностичних приладів.

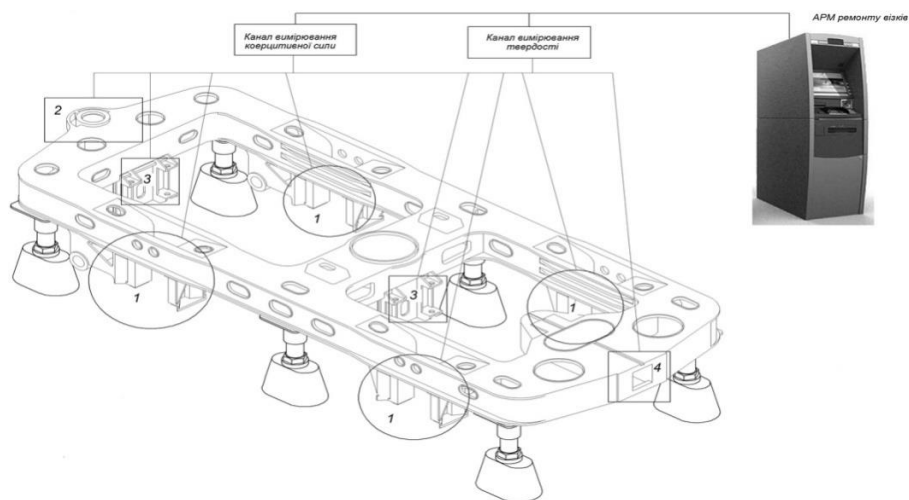


Рис. 5. Схема діагностичного комплексу з визначення залишкового ресурсу рам візків електровозів ВЛ8

Діагностичний комплекс включає: багатоканальний вимірник коерцитивної сили на базі коерциметра Каскад-01, багатоканальний вимірник твердості на базі акустичного твердоміра, пульт керування з персональним комп'ютером, що дають змогу управляти послідовністю вимірів, обробляти одержувані результати й передавати їх на АРМ ремонту.

Процес діагностики максимально автоматизований і зводиться до декількох простих операцій. Операторові необхідно попередньо ввести первинну інформацію й по команді з пульта «почати вимір» провести автоматичне позиціонування датчиків і запустити цикл діагностики. Первинні перетворювачі коерциметра й твердоміра, послідовно переміщаючись уздовж щелеп рами, проводять виміри відповідних параметрів і разом із сигналами з первинних перетворювачів, установлених у районі кронштейнів кріплення ТЕД, кутах сполучення

балок, передають їх в обробний центр пульта керування, де обчислюються результати вимірів і заносяться у відповідні звіти.

Завдяки цьому цикл діагностики, включаючи підготовчі операції, займає кілька хвилин. Після завершення процесу проводиться автоматична інтерполяція результатів з побудовою розподілу коерцитивної сили; визначаються максимальне, мінімальне, середнє значення й інші характеристики. Необхідне програмне й методичне забезпечення входить у комплект поставки.

На підставі отриманих даних може бути зроблений висновок про кількість накопичених у процесі експлуатації дефектів і можливості подальшої експлуатації рами візка.

Висновки. Проведений аналіз методів та засобів визначення залишкового ресурсу рам візків електровозів дає змогу обрати метод прогнозування технічного стану рам візків та робити висновки щодо їх подальшого використання.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки [Текст] – К.: Укрзалізниця, 2009. – 299 с.
2. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
3. Дворецкий, В.И. Оценка остаточного ресурса сварных несущих конструкций и продление срока их службы [Текст] / В.И. Дворецкий // Автоматическая сварка. – 2000. – № 9, 10. – С. 37-42.
4. Повышение долговечности конструкций железнодорожного подвижного состава с длительной наработкой [Текст] / В.И. Дворецкий, Е.Ф. Явдошина, Р.Ю. Дёмин, А.Ю. Черняк // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 5. – С. 50-54.

5. Ремонт электроподвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / В.Я. Алтухов, А.С. Зенкин, В.Г. Кантур, Ф.И. Осадчук. – К.: Техніка, 1983. – 150 с.
6. Находкин, В.М. Ремонт электровозов и электропоездов [Текст] / В.М. Находкин, А.Г. Хрисанов. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
7. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. Методические указания [Текст]: РД 50-690-89. – М.: Изд.-во стандартов, 1999. – 56 с.
8. Дубровин, В.И. Методы оценки остаточного ресурса изделий (обзор) [Текст] / В.И. Дубровин, В.А. Клименко // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 162-167.
9. Стариков, М. Модернизированный метод оценки остаточного ресурса крановых металлоконструкций по параметрам коэрцитивной силы и коэффициента вариации твердости [Текст] / М.А. Стариков, К.А. Никифоров // Вісник інженерної академії України. – 2010. – № 3-4. – С. 196-198.
10. Электровоз ВЛ8. Руководство по эксплуатации.[Текст]. – М.: Транспорт, 1982. – 320 с.

Рецензент, д-р техн. наук, профессор А.П. Фалендиш

Машкін Олександр Сергійович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.
Тел. (057) 730-10-42.

Mashkin Alexander, listener IPPK, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-42.

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.

УДК (629.442.3)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЗІВ ТИПУ М62

Канд. техн. наук С.Г. Жалкін, магістрант Р.З. Гуменюк

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЗОВ ТИПА М62

Канд. техн. наук С.Г. Жалкин, магистрант Р.З. Гуменюк

INCREASE OF POWER EFFICIENCY OF DIESEL ENGINES OF TYPE OF М62

Cand. of techn.sciences S.G. Zhalkin, master student R.Z. Gumenyuk

Вантажні тепловози залізниць України відпрацювали нормативні терміни експлуатації й потребують заміни сучасними. Фінансово-економічний стан не дозволяє оновити локомотивний парк і тому для підтримки тепловозів у справному стані виконується модернізація. На основі аналізу та розрахунків пропонується виконувати ремоторизацію тепловозів типу М62 як найменш радикальну та достатньо ефективну.

Ключові слова: тепловоз, дизель, паливо, олива, модернізація, ремоторизація, екологія, економічна ефективність.

Грузовые тепловозы железных дорог Украины отработали нормативные сроки эксплуатации и нуждаются в замене современными. Финансово-экономическое состояние не позволяет обновить локомотивный парк и потому для поддержки тепловозов в исправном состоянии выполняется модернизация. На основе анализа и расчетов предлагается выполнять ремоторизацию тепловозов типа М62 как наименее радикальную и достаточно эффективную.

Ключевые слова: тепловоз, дизель, топливо, олива, модернизация, ремоторизация, экология, экономическая эффективность.

Freight locomotives of Ukrainian railways has worked regulatory deadline, more than 300 sections of M62, 2M62, 2M62V were built in 1975-1987. An excess lifespan led to decrease economic indicators due to increase fuel consumption, increase the volume of repairs, environmental degradation. Nevertheless financial and economic situation does not allow renewing the locomotive fleet. That is why modernization of locomotives is carried out. We have the experience of complex modernization of diesel locomotives type M62 by design of general motors and general electric firms. Its cost value is equal to 80-85% of new diesel locomotive cost. The replacement of outdated engines is less radical, it showed high efficiency.

Keywords: diesel engine, diesel, fuel, oil, modernization, replacement of motor, ecology, economic efficiency.

Вступ. Залізничний транспорт є однією з найбільш енергоємних галузей народного господарства країни. З загальної кількості використання дизельного палива на залізницю припадає більше 15 %, частка електроенергії – близько 20 %, а витрати на оливу досягли 1 % [1]. Враховуючи проблеми, які відчуває країна в галузі енергетики, проблема збереження паливно-мастильних матеріалів на залізничному транспорті стоїть дуже гостро.

За останні більш ніж 20 років капіталовкладення в оновлення основних засобів відбувалися виключно за рахунок власних коштів залізниць, які не дозволяють забезпечити відтворення основних засобів, особливо їх активної частини – рухомого складу. На сьогодні технічний ресурс залізниць практично вичерпано. При цьому фізичний знос і моральна застарілість технічних засобів викликають економічну і технічну безпеку їх подальшої експлуатації.

У той же час Укрзалізниця протягом двох десятиліть не визначилася з тим, яким чином буде оновлено локомотивний парк: з одного боку, обсяги закупівлі нових локомотивів невеликі (тепловозів практично відсутні), з іншого боку, процес модернізації йде дуже повільно. У результаті дизельний рухомий склад (тепловози і дизель-поїзди) найбільшого перевізника стає все більше й більше архаїчним.

В умовах дефіциту інвестиційних ресурсів оптимальним способом оновлення локомотивного парку є модернізація. Тому потрібно визначитись з видами та обсягами модернізації діючого рухомого складу з урахуванням наукових досягнень, з технічними умовами на рухомий склад для закупівлі за кордоном або можливого виготовлення на заводах транспортного машинобудування в Україні.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Практично всі тепловози вантажного парку залізниць України відпрацювали нормативні терміни експлуатації. Віковий і технічний стан тепловозів потребує термінової заміни на більш сучасні з кращими техніко-економічними показниками та меншими викидами шкідливих речовин [2]. Але фінансово-економічний стан України не дозволяє в короткий термін оновити локомотивний парк. Для підтримки тепловозів у справному стані введено підсилений поточний ремонт ПР-3П та капітальний ремонт з подовженням ресурсу КРП на період строку служби понад встановлений після побудови (на 10-15 років). Введено технічне обслуговування ТО-6 для виконання регламентних робіт з подовження терміну служби несучих конструкцій. У той же час виконувалася модернізація тепловозів спочатку ремоторизацією (заміною) застарілих дизелів, а потім й за комплексними проектами. Через нестачу фінансових ресурсів модернізація виконувалася дуже повільно з застосуванням дизель-генераторів і допоміжного обладнання різних машинобудівних фірм, що в подальшому ускладнює експлуатацію та ремонт. Відсутня державна програма, яка засновується на результатах досліджень різних варіантів оновлення та модернізації локомотивного парку і передбачає зміни в діючій системі утримання та управління парком, сервісного забезпечення модернізованої техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За відсутності пропозицій від вітчизняних тепловозобудівників виникає необхідність модернізації тепловозів. Починаючи з 1999-2001 рр. виникло декілька проектів модернізації тепловозів М62 [3, 4]. Підсумовуючи багаторічний і різноманітний

досвід модернізації тепловозів М62, можна виділити три основні напрями. По-перше, це реконструкція тепловозів з установленням нових дизель-генераторів коломєнського заводу (РФ). Дана технологія знайшла застосування в Росії, Білорусії, Узбекистані, Литві. По-друге, набув поширення проект фірми CZ LOCO з використання дизелів фірми Caterpillar. Такий досвід є в Литві, Білорусії та Угорщині. По-третє, самостійним напрямком оновлення парку дизельних локомотивів стало установлення нових модулів фірми General Electric. Такий досвід є в Казахстані, Монголії, Росії та в Україні. Установлення нових дизелів потужного ряду типу Д80 вітчизняного виробництва (ПО завод ім. Малишева, м. Харків) виконувалось силами локомотивних депо й була не довгою через завершення виготовлення дизелів. На Львівській залізниці виконано комплексну модернізацію двох тепловозів М62 установленням модулів фірми General Motors з дизелями EMD645 та модернізовано у 2011 р. також тепловоз М62 енергетичною установкою 7FDL8 фірми General Electric. Таким чином, не визначено

найбільш економічний варіант модернізації (ремоторизації), який можливо виконувати в депо або на тепловозоремонтних заводах.

Визначення мети та задачі дослідження. Парк вантажних тепловозів Укрзалізниці, виготовлених ХК «Луганськтепловоз», складається з тепловозів 2ТЕ10 (дизель 10Д100), 2ТЕ116 (дизель 1А5Д49) і М62 (дизель 14Д40). Тепловози 2ТЕ10 (у невеликій кількості) експлуатуються тільки на Одеській залізниці й їх модернізація не планується. Тому основна модернізація буде виконуватися тепловозам типу М62 (2М62, 2М62У) як ремоторизацією, так й за комплексним проектом [5]. У наш час залізниці мають результати експлуатації тепловозів М62 з 6 типами дизелів різних заводів і фірм (таблиця).

Завданням дослідження є аналіз показників експлуатації тепловозів з різними дизелями та розроблення рекомендацій з вибору дизель-генератора з метою модернізації тепловозів для підвищення техніко-економічних показників і покращення екологічної безпеки.

Таблиця

Показники енергетичних установок

Параметр	Тип енергетичної установки					
	14Д40	5-26ДГ	САТ3512	7FDL2	4Д80Б	EMD645
Потужність, кВт	1470	1470	1700	2290	1470	1800
Кількість циліндрів	12	12	12	12	12	12
Частота обертання колінчастого вала, хв ⁻¹	750	750	1800	1050	750	950
Питома витрата палива на номінальній потужності, г/кВт·год	230	202.5	189	191	201	200
Витрата палива на холостому ході, кг/год	16	9,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Питомі витрати оливи у відсотках витрати палива, %	3,00	1,2	0,2	0,3	1,0	0,4
Маса, кг	12500	16500	6240	15849	22500	12800
Габаритні розміри (LxBxH), мм	5694x	6200x	3067x	3970x	3688x	-
	1818x	1820x	1785x	1740x	1616x	
	2405	2893	1806	2980	2840	

Основна частина дослідження. При виборі варіанта модернізації потрібно перестати орієнтуватися виключно на ціну придбання. Необхідно задуматися над тим,

наскільки дорогою буде експлуатація придбаної техніки. Світова практика показує, що ціна покупки в загальній сумарної вартості життєвого циклу вантажного локомотива

становить не більше 12 %, у той час як операційні витрати і витрати на техобслуговування (ТО) і ремонт (ПР) – не менше 74 і 14 % відповідно [4, 6].

Можливі два варіанти модернізації: «програма мінімум» – менш дороге у виконанні, але більш витратне в експлуатації та «програма максимум» – рішення більш дороге, але менш витратне в експлуатації [7]. Задля правильного вибору треба брати до уваги технічний стан кожного тепловоза і його фактичний залишковий ресурс за фактичним станом. Даний тепловоз краще модернізувати, якщо залишок його ресурсу не виходить за межі рівноцінності обох варіантів – коли суми витрат на придбання та експлуатацію зрівняються. Якщо ж залишок ресурсу перевищує цей бар'єр, то краще виконати модернізацію за «програмою мінімум», наприклад включити тільки ремоторизацію. Але якщо наявний ресурс тепловоза не дотягує навіть до точки окупності «програми мінімум», то такий тепловоз краще експлуатувати до списання [7].

При складанні плану модернізації необхідно провести ретельне обстеження тепловоза з застосуванням сучасних засобів неруйнівного контролю та дефектоскопії, тобто виконати технічне обслуговування ТО6.

В останні роки погіршується технічний стан локомотивного парку тепловозів серій М62, 2М62, 2М62У, які вже не повною мірою задовольняють постійно зростаючі вимоги, висунуті сьогодні до залізничних перевезень (більше 300 секцій були побудовані у 1975-1987 рр.).

Нинішній стан тепловозного парку можна охарактеризувати так:

- середній вік тепловозів М62 перевищує 25 років (більше 75 % парку);
- відсутність планового оновлення парку протягом останніх 20 років;
- вироблення ресурсу і погіршення загального технічного стану тепловозів;
- зниження надійності парку і різке зростання експлуатаційних витрат, необхідність виконання великих обсягів ремонтних робіт.

При техніко-економічному обґрунтуванні одного з варіантів модернізації тепловозів М62 новим дизелем типу Д49 визначається економічний ефект від таких факторів:

– скорочення середньоексплуатаційної витрати палива та оливи. Для тепловозів, обладнаних мікропроцесорною системою керування, треба враховувати додатковий ефект від економії палива в розмірі 10 %;

– зміни термінів проведення технічного обслуговування, поточних і капітальних ремонтів дизеля;

– зменшення викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище [8].

Розрахунок середньоексплуатаційної витрати палива виконуємо з використанням залежностей витрати палива за тепловозними характеристиками [8]. Середньоексплуатаційна витрата палива, г/кВт, розраховується за формулою

$$C_{e_{експл}} = \frac{B_{xx} \cdot \tau_{xx} + \sum_{i=1}^{i=k} g_{ei} \cdot N_{ei} \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^{i=k} N_{ei} \cdot \tau_i}, \quad (1)$$

де B_{xx} – годинна витрата палива на холостому ходу, кг/год;

τ_{xx} – відносний час роботи дизеля на холостому ходу, %;

i – позиція контролера машиніста (п.к.м.);

g_{ei} – питома ефективна витрата палива на i -му режимі контролера машиніста, г/кВт·год;

N_{ei} – ефективна потужність дизеля на i -му режимі роботи, яка відповідає i -й позиції контролера машиніста, кВт;

τ_z – тривалість роботи двигуна на i -й позиції контролера машиніста.

Значення параметрів для дизеля 14Д40 $B_{год,xx}$, τ_{xx} , g_{ei} , N_{ei} , τ_i взято з робіт [9, 10], а значення параметрів $B_{год,xx}$ і g_{ei} для дизеля Д49 – з робіт [11, 12].

Підставляючи потрібні значення складових формули (1), визначаємо середньоексплуатаційну витрату палива дизелів типу 14Д40 та 1А5Д49 вик. 3, г/кВт·год.

Відсоток економії палива від заміни дизеля 14Д40 на дизель типу 1А5 Д49 вик. 3 визначимо за формулою, %,

$$P_e = \left(1 - \frac{C_{Д49}}{C_{14Д40}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Питому економію палива за рік на 1 кВт потужності експлуатаційного парку тепловозів 2М62 визначимо за формулою, г/рік кВт,

$$K = \frac{Q \cdot \text{Пе} \cdot \text{Цп}}{\Sigma \text{Ne}}, \quad (3)$$

де Q – річна витрата дизельного палива експлуатаційним парком тепловозів 2М62;

Цп – оптова ціна дизельного палива;

ΣNe – сумарна потужність експлуатаційного парку тепловозів, кВт.

Сумарний економічний ефект від економії палива модернізованими тепловозами визначимо за формулою, тис. грн/р.,

$$E_{\text{п}} = Q \cdot \text{Пе} \cdot \text{Цп}. \quad (4)$$

Додаткову економію палива від застосування мікропроцесорних систем керування рухом тепловоза, яка складає 10 % сумарної витрати палива, визначаємо також за формулою (4).

Зміни в річних експлуатаційних витратах на проведення технічних оглядів, поточних і капітальних ремонтів дизелів при модернізації тепловозів М62 дизелями типу 1А5Д49 вик. 3 визначимо за формулою, тис. грн,

$$E_p = \sum \left(C_{pi_{14Д40}} \cdot N_{i_{14Д40}} - C_{pi_{Д49}} N_{i_{Д49}} \right), \quad (5)$$

де $C_{pi_{14Д40}}$, $C_{pi_{Д49}}$ – вартість ремонту відповідного дизеля;

$N_{i_{14Д40}}$ та $N_{i_{Д49}}$ – відповідна кількість ремонтів дизелів.

Кількість ремонтів дизелів типу 14Д40 і типу 1А5Д49 вик. 3 розраховуємо за діючим

наказом Укрзалізниці №093-ЦЗ від 30.06.2010 р. [8].

Обчислення кількості ремонтів для тепловозів з різними типами дизелів проведено за формулою

$$K_p = \frac{L_p}{L_{\text{тоз}}} - \text{ПР-1} - \text{ПР-2} - \text{ПР-3} - \text{КР1} - \text{КР2}, \quad (6)$$

де L_p – середній річний пробіг тепловоза М62, км;

$L_{\text{тоз}}$ – норма пробігу тепловоза до проведення технічного огляду, км;

ПР-1, ПР-2, ПР-3, КР-1, КР-2 – кількість відповідних поточних і капітальних ремонтів у рік на одну секцію тепловоза 2М62.

Екологічний ефект визначається як різниця шкоди, завданої навколишньому середовищу викидами забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизеля 1А5Д49 вик. 3 та дизеля 14Д40. За величиною номінальної потужності і обертами двигуни рівні, при цьому режими роботи тепловоза М62 по позиціях контролера машиніста в обох випадках однакові.

Основними забруднюючими речовинами, які викидаються з відпрацьованими газами, є окисли вуглецю СО і окиси азоту NOx.

Економічна оцінка шкоди, завданої газовими викидами забруднюючих речовин у повітря атмосфери дизелями, проводиться за формулою, грн,

$$Y = \gamma \cdot \epsilon \cdot f \cdot M, \quad (7)$$

де γ – постійне числове значення, взяте з розрахунку 1 % вартості 1 т палива;

ϵ – показник відносної небезпеки забруднення повітря над територіями різних типів – 2,86 (безрозмірний);

f – поправка, яка враховує характер розсіювання домішок в атмосфері – 10 (безрозмірна);

M – приведена маса річного викиду забруднень, умов. т/р.

Значення маси річних викидів в атмосферу з дизеля тепловоза визначимо за формулою, умов. т/р.,

$$M = \sum_{i=1}^{i=N} A_i \cdot m_i, \quad (8)$$

де A_i – показник відносної агресивності i -ї забруднюючої речовини, умов. т/т ($A_{\text{пох}} = 18$ т/т; $A_{\text{со}} = 1,0$ т/т);

m_i – маса річного викиду i -ї забруднюючої речовини;

N – загальна кількість забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу.

Окупність витрат на модернізацію визначимо за формулою, тис. грн,

$$T = \frac{B}{\sum E}, \quad (9)$$

де B – сумарні витрати на модернізацію всього парку тепловозів 2М62 новим дизелем, грн;

$\sum E$ – економічний ефект за розрахунковий період, грн.

Висновки з дослідження і перспективу подальший розвиток у даному напрямку. За результатами розрахунків техніко-економічного ефекту від модернізації тепловоза М62 дизелями 1А5Д49 вик. 3 робимо такі висновки:

- зменшується середньоексплуатаційна витрата палива на 11,8 %;

- збільшується витрата на технічні обслуговування і ремонти на 13,5 %;

- зменшуються збитки, завдані навколишньому середовищу з відпрацьованими газами дизелів, на 26 %;

- окупність витрат на модернізацію тепловозів М62 дизелями типу 1А5Д49 вик. 3 складає 5,8 року, що не перевищує нормативний термін;

- збільшуються міжремонтні пробіги, що зменшує кількість ремонтів і технічних обслуговувань.

На основі даних розрахунку техніко-економічного ефекту модернізації тепловозів М62 в/і майже по всіх, крім витрат на ремонт, наведених вище показників переважає дизелів типу 1А5Д49 вик. 3.

Модернізація тепловозів М62 в/і з заміни дизелів 14Д40 на дизелі 1А5Д49 вик. 3 можливо виконувати в умовах локомотивного депо; допоміжне обладнання, електрообладнання (головний і допоміжний генератор, апаратура та електричні ланцюги),

екіпажна частина та кузов залишаються у штатному виконанні. Локомотивні бригади та ремонтний персонал не потребують перенавчання, залишається те саме устаткування і технології ремонту. Застосовуються традиційні експлуатаційні матеріали, вітчизняні запасні частини. Не збільшується номенклатура нових дизелів, оскільки дизелі типу Д49 експлуатуються довгий час на залізницях України (тепловози ТЕП70 та 2ТЕ116). Вітчизняні заводи виготовляють майже всі запасні частини для ремонту дизелів типу Д49 (крім колінчастих валів і блока циліндрів).

Перспектива подальших досліджень полягає в тому, щоб збільшити ефективність ремоторизації тепловозів типу М62 дизелями 1А5Д49 додатковими заходами – обладнання тепловозів міжпроцесорною системою керування УСТА (за типом тепловозів 2ТЕ10УТ) [13], прогрів систем тепловозів, які знаходяться в гарячому резерві або очікують роботу, у різні періоди сезонної експлуатації, подовження терміну працездатності дизельної оливи регенерацією безпосередньо на тепловозі.

У наш час відомі основні чотири системи, що підтримують потрібний тепловий режим дизелів тепловозів і дизель-поїздів, які знаходяться в довготривалому простої: робота на холостому ходу (самопрогрів); використання електроенергії від стороннього джерела або від працюючого дизель-генератора; котли-підігрівачі, які працюють на дизельному паливі (бортовий прогрів); використання теплової енергії деповських котелень або централізованого теплопостачання від міських теплових мереж (стаціонарний прогрів) [14]. Виконані розрахунки показали, що застосування теплоти деповської котельні та централізованого теплопостачання мало відрізняються за вартістю (до 3 %). Застосування електроенергії для прогрівання тепловозних систем значно збільшує витрати (на 23...25 %).

Схема стаціонарної установки для прогрівання систем тепловозних дизелів, яка захищена патентом України, є однією з перспективних [15]. Установка забезпечує циркуляцію гарячої води по всіх дільницях системи охолодження тепловоза та дизель-поїзда від теплоізолюваної індивідуальної колонки при одночасному прогріванні

тепловозів і дизель-поїздів з дизелями різної конструкції, різних серій з різних матеріалів блока (остовом) дизеля та з різними елементами поліметалевих систем охолодження без змішування охолоджуючої води різної якості і стану при значному зниженні капітальних вкладень та експлуатаційних витрат. Підігрів моторної оливи, зливої до картера дизеля, буде виконуватися за рахунок теплопередачі металевими елементами блока (остова) й картера.

Ефективність установки досягається за рахунок зменшення витрат дизельного палива на 70 % порівняно з самопрогрівом, збереження моторесурсу дизеля, скорочення викидів відпрацьованих шкідливих газів і витрат на будівництво теплоізованого пункту й експлуатаційних витрат, запобігання дострокової заміни охолоджуючої води, використання недорогої теплової енергії котельних установок порівняно з самопрогрівом двигунів тепловозів і дизель-поїздів.

Одним з варіантів застосування гідродинамічного диспергатора (ГД) для обробки моторної оливи є встановлення в

дизельному приміщенні тепловоза автономної гідростанції, постійно з'єднаної своїм баком для оливи з піддоном картера дизеля. Така система працює незалежно від якості оливи в картері – навіть за наявності свіжої оливи. Це призводить до марної витрати потужності двигуна і додаткової витрати палива. З метою запобігти цього недоліку в ланцюг живлення електродвигуна 8 привода додаткового насоса 5 вбудовано датчик наявності в моторній оливі води 10 і датчик оптичної густини оливи 11, (рисунок) [16]. Сигнальні лампи 12, які включені послідовно з датчиками, сигналізують про вмикання системи диспергування і відповідно повідомляють машиніста тепловоза про те, який саме з показників якості оливи погіршився. Модернізована система змащення двигуна забезпечується при включенні системи диспергування в роботу тільки в разі недостатньо високих експлуатаційних характеристик моторної оливи і дозволяє модифікувати оливу за весь час роботи дизеля та зменшити витрату оливи на 20 %.

Запропоновані системи змащення захищені патентами на винахід, власником яких є УкрДУЗТ [16].

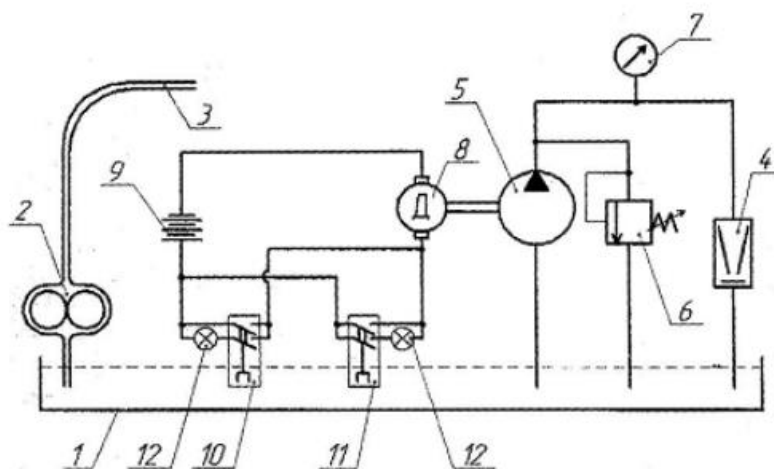


Рис. Система змащення двигуна внутрішнього згорання з ГД

Ремоторизація тепловозів типу М62 установленням дизелів 1А5Д49 вик. 3 і застосування додаткової модернізації, перелік якої наведено вище, дозволяють знизити середньоексплуатаційну витрату палива на 15 %, витрату дизельної оливи до 20 %, викиди відпрацьованих газів до 25 %. За різними

даними ремоторизація тепловозів типу М62 дизелем 1А5Д49 за вартістю складає близько 40-45 % вартості нового тепловоза. У той же час комплексна модернізація за проектами фірм General Motors та General Electric складає приблизно 2,5 млн дол. США, тобто 80-85 % вартості нового тепловоза.

Список використаних джерел

1. Сергиенко, Н.І. Пути снижения эксплуатационных расходов в локомотивном хозяйстве „Укрзалізниця” [Текст] / Н.І. Сергиенко // Вісник Харківського національного університету. – Харків: ХНУ, 2001. – Вип. 512. – С. 194-196.
2. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст] / Укрзалізниця. – К., 2009. – 299 с.
3. Мовчан, А. Опыт проведения модернизации тепловозов серии М62, 2М62, 2М62У на UAB VILNIAUS LOKOMOTYVU REMONTO DARPAS [Текст] / А. Мовчан, Ф. Винклер // Локомотив-информ. – 2007. – № 11. – С. 36-42.
4. Павлюченко, С. Модернизация ТПС как выгодная инвестиция [Текст] / С. Павлюченко // Локомотив-информ. – 2007. – №9. – С. 8-10.
5. Тепловоз 2М62: экипажная часть, электрическое и вспомогательное оборудование [Текст] / С.П. Филонов, А.Е. Зиборов, В.В. Розумейчик [и др.]. – М.: Транспорт, 1987. – 184 с.
6. Ильин, Ю. Модернизировать или купить [Текст] / Ю. Ильин // Транспорт. – 2011. – № 10. – С. 18-24.
7. Тартаковский, Э. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. – Луганск: изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
8. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте [Текст] / ВНИИЖТ МПС. – М.: Транспорт, 1991. – 239 с.
9. Жалкін, Д. Вибір енергетичної установки для модернізації тепловоза М62 [Текст] / Д.С. Жалкін, Є.В. Борщ / Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 138. – С. 85-91.
10. Симсон, А. Тепловозные двигатели типа Д49 [Текст] / А. Симсон, А.З. Хомич, С.Г. Жалкин [и др.]. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
11. Руководство по эксплуатации и обслуживанию дизель-генератора 1А9ДГ исполнение 3 (1А-9ДГ.62РЭ) [Текст]. – Коломна: КМЗ, 1989. – 490 с.
12. Никитин, Е. Тепловозные двигатели типа Д49 [Текст] / Е.А. Никитин, В.М. Ширяев, В.Г. Быков [и др.]; под ред.Е.А. Никитина. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
13. Тепловоз 2ТЭ10МК с комплексной кабиной управления [Текст]. – М.: МПС России, 2001. – 75 с.
14. Ерошенков, С.А. Выбор рациональной системы прогрева тепловозных дизелей [Текст] / С.А. Ерошенков, С.Г. Жалкин, В.Г. Пузырь [и др.] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 96. – С. 174-185.
15. Стационарна установка для прогрівання систем тепловозів та дизель-поїздів [Текст]: пат. 107584: МПК (2015.01): F02N 19/00 Україна № a201211230; заявл. 27.09.2012; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2/2015. – 8 с.
16. Система змащення двигуна внутрішнього згоряння [Текст]: пат. 96252: МПК (2015.01):F01M 9/00 Україна № a201103111; заявл. 16.03.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19/2011. – 6 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.Б. Бабанін

Жалкін Сергій Григорович, канд. техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 730-10-16, 093-275-51-66, 093-911-10-40.
Гуменюк Роман Зіновійович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту, Тел. 097-636-40-50.

Zhalkin Sergiyi, cand. of techn.sciences, prof.dert.of maintenance and repair of rollung stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-16, 093-275-51-66, 093-911-10-40.
Gumenyuk Roman, listener IPPK, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 097-636-40-50.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.

УДК 621.333.001.4

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ТЯГОВИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ**

Д-р техн. наук Д.С. Жалкін, магістрант А.В. Таран

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ**

Д-р техн. наук, профессор Д.С. Жалкин, магистрант А.В. Таран

**IMPROVING METHODS OF MONITORING THE THERMAL STATE
ELECTRIC LOCOMOTIVES TRACTION ELECTRIC MOTORS**

Doct. of techn. sciences D. Zhalkin, master's degree A. Taran

У статті проведено аналіз відмов тягових електродвигунів електровозів. Запропоновано систему заходів та обладнання для контролю теплового стану, що створює умови організації ремонту за фактичним технічним станом.

Ключові слова: тяговий двигун, технічний стан, випробування, нагрів, діагностування, контроль, параметри, температура.

В статье проведен анализ отказов тяговых электродвигателей электровозов. Предложена система мероприятий и оборудование для контроля теплового состояния, создающих условия для организации ремонта по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: тяговый двигатель, техническое состояние, испытания, нагрев, диагностика, контроль, параметры, температура.

Completion of the review of methods and tools for monitoring the technical condition of traction electric motors (TM) has shown that existing technologies do not provide fully reliable results. Should be considered the most promising thermal control, has been widely used in transportation, energy, construction, medicine.

Purpose of the article - the development of thermal control and predict the remaining life of the winding insulation of motors based on the systematic thermal overload, which gives an opportunity to increase the efficiency of the locomotives as a whole and to reduce the breakdown of the number of motors.

Most frequently the traction motors to be repaired due to damage to the insulation (30 %), its low resistance (5 %), the occurrence of the fire by the circular collector (15 %), damage the anchor bearing (15 %).

The technology assessment of the technical condition of the anchors TM with thermal control method comprising:

- Of the operations of preparation and testing of TM by mutual load after repair;*
- Operative measurement of temperature fields on the outer surface of the armature using a portable temperature recorder;*
- Mathematical processing of thermography;*
- Issue a report on the quality of repair of motor armature.*

Thermal control system and predict the remaining life of the winding insulation TM allows you to limit the amount of thermal overloads, and thus reduce the number of failures of electric locomotives and stops.

Keywords: drive motor, the technical condition, testing, heating, diagnostics, control, parameters, temperature.

Вступ. Дослідження відносяться до галузі ресурсозбереження та енергоефективності й спрямовані на вирішення важливої науково-

технічної проблеми – удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів та стратегії впровадження одержаних результатів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Важкі умови експлуатації викликають систематичні теплові перевантаження і, як наслідок, передчасний вихід з ладу електродвигунів [1,2,4].

Підвищити ефективність експлуатації електродвигунів локомотивів можливо за рахунок комплексного підходу до вирішення цього завдання, що полягає у впровадженні засобів теплового контролю та прогнозування терміну роботи ізоляції.

В цих умовах особливої уваги до себе, а точніше до оцінки технічного стану, потребує електроустаткування і, зокрема, тягові двигуни (ТД) постійного струму, оскільки на їх частку припадає 30-35 % відмов у роботі електроустаткування локомотивів від загального їх числа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Параметри тягового двигуна, у тому числі і номінальні, з часом експлуатації і кількістю ремонтів погіршуються [6,10]. Виконаний огляд методів і засобів контролю технічного стану дає змогу вважати, що існуючі технології безрозбірного контролю не забезпечують повною мірою отримання високої достовірності результатів контролю. Найбільш перспективним у системі діагностування слід вважати тепловізійний контроль, що одержав значне поширення на транспорті, в енергетиці, будівництві, медицині.

Основними недоліками існуючих систем післяремонтних випробувань [7,8] є:

- відсутність інформації для повної ідентифікації електромеханічних параметрів ТД, що при такому підході до післяремонтних випробувань призведе до повторних ремонтів, особливо в тих умовах, коли тягові двигуни працюють при послідовно-паралельному з'єднанні і в результаті чого здійснюють значний вплив один на одного;

- системи навантаження статичного типу не дають повної інформації про післяремонтний стан тягового двигуна, насамперед режим статичного навантаження не відповідає реальним експлуатаційним режимам, тому статичне навантаження не дає уявлення про стан ТД при реальних режимах.

У пристроях непрямого контролю теплового стану, що виконуються на

резисторах та ємностях, суттєвим недоліком є нестабільність характеристик ємностей та неможливість автоматичного вибору параметрів моделі в залежності від режиму роботи. Відомі методики прогнозування залишкового строку служби ізоляції двигунів використовувалися лише для сталих режимів, а не в системах безперервного контролю.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета дослідження – розроблення системи теплового контролю та прогнозування залишкового строку служби ізоляції обмоток електродвигунів з урахуванням систематичних теплових перевантажень, що дає змогу підвищити ефективність функціонування локомотивів у цілому та зменшити вихід з ладу кількості електродвигунів.

Завдання дослідження:

- аналіз та систематизація теоретичних методів дослідження теплового стану тягових електричних машин і способів підвищення надійності колекторних ТД в експлуатації;

- попередня оцінка можливості використання тепловізійного контролю для визначення технічного стану якорів електричних машин;

- аналіз математичних моделей нагрівання якоря тягового електродвигуна локомотива;

- технологія безконтактного безперервного контролю температури якоря колекторного ТД в експлуатації;

- розроблення системи теплового контролю і пристроїв, що забезпечують підвищення ефективності функціонування ТД.

Основна частина досліджень. Тягові двигуни електровозів працюють в умовах різких змін навантажень і швидкостей. Двигуни зазнають впливу сильних поштовхів, вібрацій, сезонних атмосферних впливів, великих перевантажень.

Аналіз статистичних даних відмов ТД підтверджує факт, що 15-20 % ТД рухомого складу, які вийшли з ладу, припадає на перший період їх роботи, так званий період припрацювання (таблиця), що у свою чергу вказує на недосконалість технології і відповідно низької якості ремонту та малоєфективних методів випробувань на нагрівання, оскільки більший відсоток відмов припадає на замикання (коротке) в обмотках якорів (рис. 1).

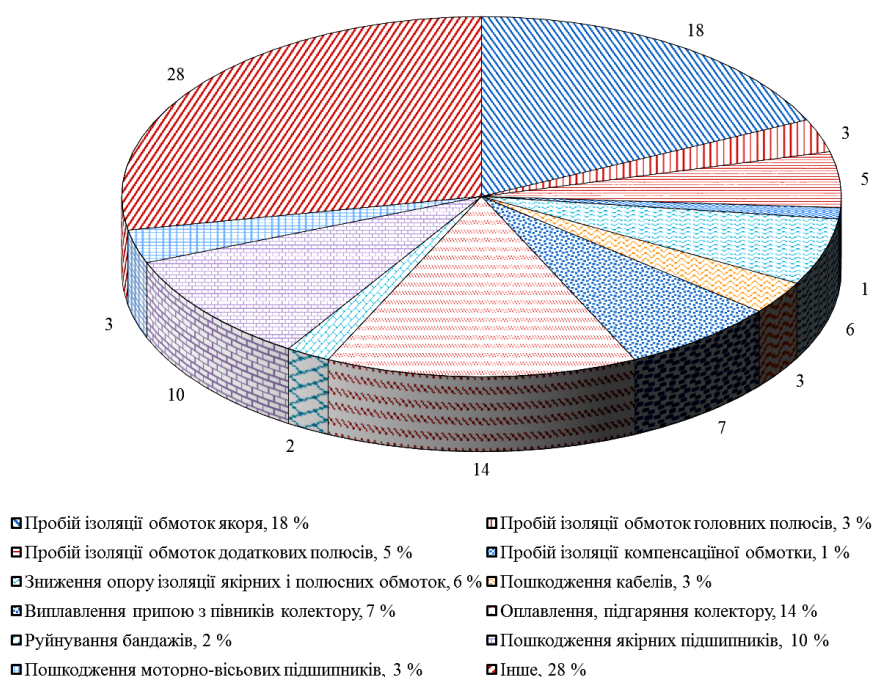


Рис. 1. Розподіл відмов ТД НБ-418 електровозів ВЛ80

Щоб тягові електродвигуни працювали безаварійно, їх ізоляція повинна бути надійною. У процесі експлуатації вона старіє, погіршуються її властивості, електрична міцність знижується. У деяких випадках змінення властивостей ізоляції носить непоправний характер та завершується пробоем. Однак у більшості випадків наслідки старіння можна усунути відновлювальним ремонтом ізоляції. Будь-які замикання та пробой також є небезпечними несправностями, вони відбуваються, здебільшого через механічні пошкодження: проникнення вологи,

пилу й інших електропровідників у тяговий електродвигун [9,10].

Останнім часом на залізницях склалась така тенденція, що пошкодження двигунів в експлуатації становить близько 20 % внаслідок псування та 30 % за кількістю заходів на позаплановий ремонт відповідно до кількості за обладнанням.

Найбільш часто ТД потрапляють у ремонт унаслідок пошкодження ізоляції (30 %), низького її опору (5 %), виникнення кругового вогню по колектору (15 %), пошкодження якірних підшипників (15 %).

Таблиця

Розподіл пошкодження ТД в залежності від пробігу

Пробіг, тис. км	До 200	200-400	400-600	600-800	Більше 800
Відсоток відмов від загальної кількості, %	22	33	22	12	11

Найбільш вразливою при впливі критичних температур є обмотка якоря електричних машин. Перегрів колекторних ТД може виникнути з багатьох причин. Але незалежно від причини виникнення перегрів порушує контакт між кінцями провідників

обмотки якоря і півників колектора, викликає прискорене старіння ізоляції, пошкодження бандажів, передчасний вихід з ладу колектора.

Для розроблення математичної моделі нагрівання якоря ТД з метою визначення температурного поля на його поверхні відома

розрахункова схема розподілу теплових процесів по довжині якоря [9].

Якір тягового електродвигуна умовно розділяють по всій його довжині на дев'ять тепловиділяючих елементів і приймають умову

$$dQ_n^{(\kappa)} = (\Delta P_{ми} + \Delta P_{ци}) d\tau; \quad (1)$$

$$dQ_n^{(n)} = (\Delta P_c^{(n)} + \Delta P_n^{(n)}) d\tau; \quad (2)$$

$$dQ_n^{(j \text{ лоб})} = \Delta P^{(j \text{ лоб})} d\tau; \quad (3)$$

$$dQ_n^{(n)} = (\Delta P_{я}^{(n)} + \Delta P_{см}^{(n)}) d\tau, \quad (4)$$

про те, що кожен такий елемент має закінчену структуру. Для розрахунку кількості тепла, що виділяється в кожному елементі, і температури на поверхні якоря використовують таку математичну модель:

$$t_i^{(\kappa)} = t_{\epsilon} + (t_y^{(\kappa)} - t_0^{(\kappa)}) (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}); \quad (5)$$

$$t_i^{(n)} = t_{\epsilon} + (t_y^{(n)} - t_0^{(n)}) (1 - e^{-\frac{\tau}{T_n}}); \quad (6)$$

$$t_i^{(I \text{ лоб})} = t_{\epsilon} + (t_y^{(I \text{ лоб})} - t_0^{(I \text{ лоб})}) (1 - e^{-\frac{\tau}{T_I}}); \quad (7)$$

$$t_i^{(n)} = t_{\epsilon} + (t_y^{(n)} - t_0^{(n)}) (1 - e^{-\frac{\tau}{T_n}}), \quad (8)$$

$$t_i^{(II \text{ лоб})} = t_{\epsilon} + (t_y^{(II \text{ лоб})} - t_0^{(II \text{ лоб})}) (1 - e^{-\frac{\tau}{T_{II}}}), \quad (9)$$

де T – постійна часу нагрівання, хв;

dQ – кількість теплоти, що виділяється у розглянутому елементі якоря, Дж;

ΔP – втрати потужності в розглянутому елементі якоря, Вт;

$t_i^{(n)}$ – температура елемента якоря в даний момент часу, °С;

$t_y^{(n)}$, $t_0^{(n)}$ – сталі і початкове перевищення температури над температурою охолоджуючого повітря елемента якоря, °С;

t_{ϵ} – температура навколишнього повітря, °С;

τ – час нагрівання якоря, хв;

n – індекс елемента якоря;

i – період часу.

Визначення приросту температури охолоджуючого повітря на розглянутих ділянках якоря (для зовнішньої поверхні якоря і поверхні аксіальних каналів) проводиться за допомогою рівнянь теплового балансу:

$$dQ_n^{(\epsilon)} = \alpha F (t_i^{(n)} - t_j^{(\epsilon)}); \quad (10)$$

$$dQ_n^{(\epsilon)} = c_{\epsilon} G_{\epsilon} (t_i^{(n)} - t_j^{(\epsilon)}); \quad (11)$$

де $dQ_n^{(\epsilon)}$ – кількість тепла, що передається із зовнішньої поверхні або поверхні аксіальних каналів охолоджуючого повітря у розглянутий момент часу, Дж;

α – коефіцієнт тепловіддачі з розглянутої поверхні, Вт/(м²·°С);

F – тепловіддаюча поверхня, м²;

c_{ϵ} і G_{ϵ} – питома теплоємність і витрата охолоджуючого повітря, Дж/(кг·°С) та кг/м³.

У ході математичного моделювання визначаються залежності, які характеризують розподіл температури на поверхні якоря по всій його довжині при різних значеннях $I_{я}$, $n_{я}$, ϵ_n , τ .

Другий підхід до розроблення математичної моделі теплових процесів у якорі ТД локомотива відзначається тим, що ізоляція якірної обмотки подана у вигляді багатопарової конструкції з різними тепловими характеристиками. Для розроблення математичної моделі теплових процесів у якорі ТЕД використовують уточнену теплову схему якоря [8] та метод скінченних елементів (рис. 2).

Диференційне рівняння для опису розподілу температури:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c_i \rho_i} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] + \frac{w}{c_i \rho_i}, \quad (12)$$

де T – температура, К;
 x, y, z – координати, м;
 τ – час, с;
 λ_i – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;

c – питома теплоємність, Дж/кг·К;
 ρ – щільність твердого тіла, кг/м³;
 w – питома продуктивність джерел тепла, Вт/м³.

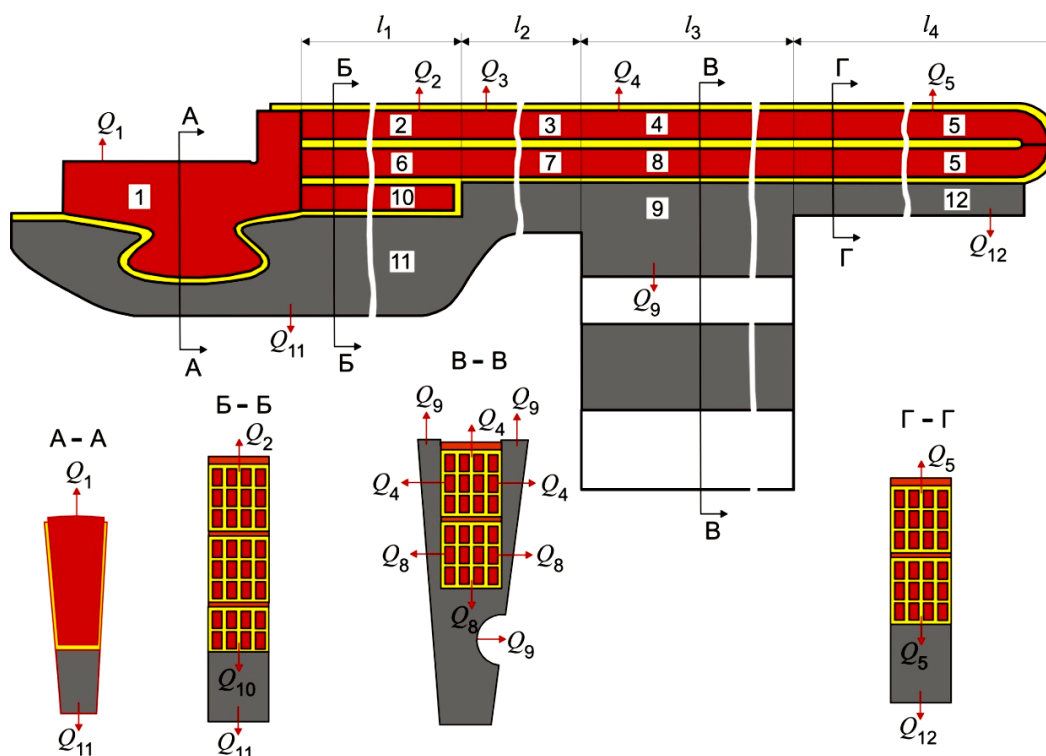


Рис. 2. Теплова схема якоря ТД:

Q_1 – тепловий потік від поверхні колекторної пластини в навколишнє середовище;
 Q_2 – тепловий потік від обмотки якоря в навколишнє середовище через передній бандаж;
 Q_3 – тепловий потік від верхнього шару обмотки якоря в навколишнє середовище і сердечник якоря;
 Q_4 – тепловий потік від обмотки якоря в навколишнє середовище через задній бандаж;
 Q_5 – тепловий потік від обмотки якоря в задню натискну шайбу;
 Q_6 – тепловий потік від колекторної пластини у втулку колектора;
 Q_7 – тепловий потік від нижнього шару обмотки в сердечник якоря;
 Q_8 – тепловий потік від обмотки зрівняльних з'єднань у сердечник якоря;
 Q_9 – тепловий потік від сердечника якоря у вал;
 Q_{10} – тепловий потік від задньої натискної шайби в навколишнє середовище

Для аналітичного дослідження обирають такі режими роботи:

- 1) пуск з навантаженням номінального режиму при різних початкових умовах;
- 2) рух електровоза з розрахунковою швидкістю при змінних умовах охолодження (різні позиції контролера машиніста);
- 3) нагрівання та охолодження обмотки якоря ТД при відсутності технологічних порушень у цілості корпусної ізоляції;

4) нагрівання обмотки якоря ТД при наявності технологічних порушень в цілості корпусної ізоляції;

5) нагрівання та охолодження колектора при різних параметрах охолодження ТД.

У результаті моделювання встановлено таке:

- при струмі якоря $I_a = 600$ А і частоті обертання $n_a 12$ с⁻¹ після 30 хв нагрівання спостерігається стабілізація перепаду температури між поверхнями колектора і колекторного півника (рис. 3).

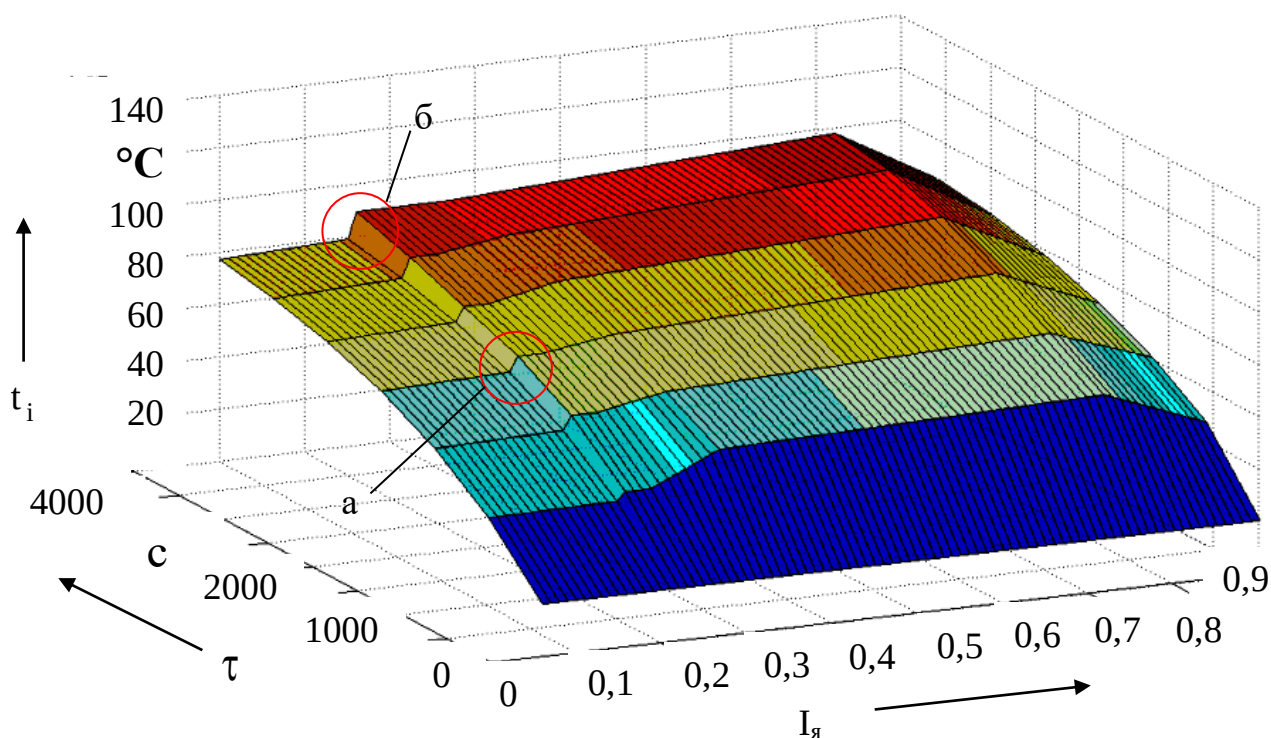


Рис. 3. Характер розподілу температури по поверхні справного якоря, отриманий розрахунковим методом (для періоду часу нагрівання 1 год): локальний перегрів колекторного півника щодо колектора після 30 хв нагрівання якоря (а), після 60 хв (б)

Температурне поле розрахункового сектора якоря в сталому режимі роботи при русі з розрахунковою швидкістю подано на рис. 4. У результаті розрахунку отримана максимальна температура обмотки якоря 104 ... 106 °С під клином, де найменш сприятливі умови охолодження, а на дні паза вона трохи нижча і становить 95 ... 96 °С.

Наявність пустот, раковин і непросочених ділянок корпусної ізоляції призводить до значного місцевого перевищення температури обмотки якоря і різко знижує термін служби електричної машини. Локальне збільшення температури окремих провідників обмотки якоря становить 170 °С і більше, що незабаром призводить до виходу з ладу якоря ТД. За результатами дослідження пропонується замість просочувальних лаків використовувати просочувальні компаунди, у яких частка летких речовин становить не більше 3 ... 5 %.

Технологія тепловізійного контролю [7, 11-14] технічного стану якорів тягових електродвигунів локомотивів розроблена

стосовно станцій випробування тягових електродвигунів після ремонту за методом взаємного навантаження.

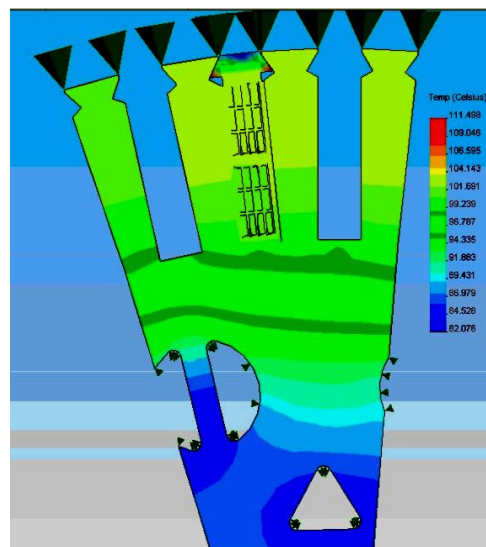


Рис. 4. Температурне поле розрахункового сектора якоря

Для безрозбірного оперативного вимірювання температури на поверхні якоря застосовувався портативний комп'ютерний термограф або пірометр.

Обробка результатів контролю проводиться в такій послідовності:

1) кожна термограма розглядається в режимі термопрофілю (за дванадцятьма секторами) і визначається температура на поверхні колектора $t_i^{(к)}$ і колекторних півників $t_i^{(п)}$ в кожному секторі j ;

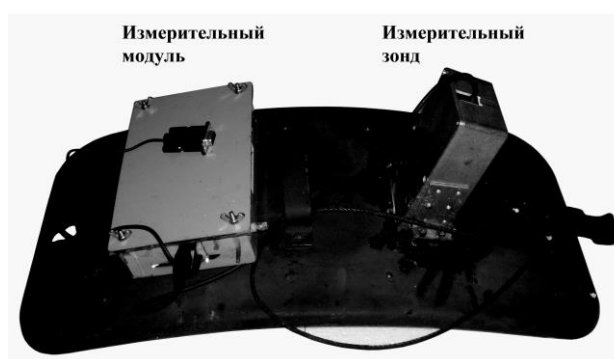
2) обчислюється температурний перепад Δt_i між поверхнями колектору і колекторного півника в кожному секторі;

3) згідно зі встановленими значеннями температурного перепаду робиться висновок про технічний стан тягового електродвигуна.

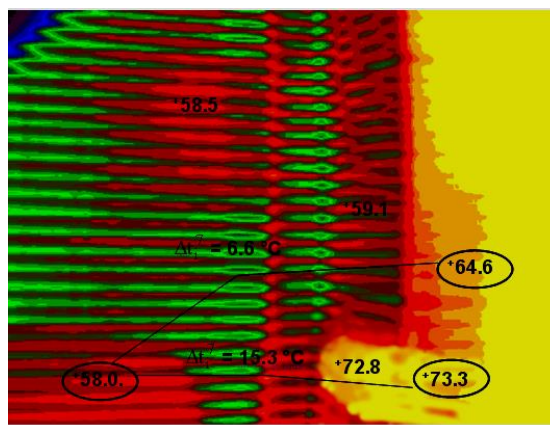
Система контролю двигуна (див. рис. 5) представляє програмно-апаратний комплекс, що складається з датчиків (температури, струму, частоти обертання, напруги і витрати охолоджуючого повітря), мікропроцесора, інтерфейсу та програмного забезпечення.



а



б



в

Рис. 5. Тепловий контроль ТД:

а – загальний вигляд; б – розташування приладів; в – термограма

Система дає змогу контролювати температури вузлів ТД в реальному часі протягом тривалого процесу випробувань або експлуатації із записом у пам'ять і візуалізацією для прийняття рішень.

Система відстежує максимальні температури, порівнює їх з гранично допустимими і розраховує залишковий ресурс ТД.

Система передбачає установлення датчиків у легкодоступних вузлах двигуна.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведений аналіз статистичних даних відмов ТД підтверджує факт, що 15-20 % ТД рухомого складу виходять з ладу в перший період їх роботи, так званий період припрацювання, що у свою чергу вказує на недосконалість технології і відповідно низьку якість ремонту та малоефективні методи випробувань на нагрівання, оскільки значний відсоток відмов припадає на замикання (коротке) в обмотках якоря.

Запропонована технологія оцінки технічного стану якорів ТД із застосуванням тепловізійного методу контролю, яка складається:

- з операцій підготовки та випробування ТД методом взаємного навантаження після ремонту;

- безрозбірного оперативного вимірювання температурних полів на зовнішній поверхні якоря за допомогою портативного термографа;

- математичної обробки результатів термографування;

- видачі висновку про якість ремонту якоря електродвигуна.

Отримані результати можуть використовуватися для розрахунку перегріву ТД з метою запобігання перегріву ізоляції якоря при водінні довгосоставних та великовагових поїздів.

Система теплового контролю та прогнозування залишкового строку служби ізоляції обмоток ТД дає змогу обмежити кількість теплових перевантажень, і цим зменшити кількість відмов електродвигунів і зупинок локомотивів.

Список використаних джерел

1. Сінчук, О. До проблеми побудови комплексної, безперервної системи діагностики тягових електричних машин рухомого складу [Текст] / О.М. Сінчук, Д.Л. Сушко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2003. – № 9(67). – С. 25-28.
2. Бабанін, О. Вібромоніторинг підшипників тягових електричних машин при капітальному ремонті [Текст] / О.Б. Бабанін, В.В. Артеменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 4. – С. 9-12.
3. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів ЦТ-0063 [Текст] / Укрзалізниця. – К., 2003. – 323 с.
4. Лоза, П.О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів [Текст] / П.О. Лоза // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – С. 26-30.
5. Космодамианский, А.С. Автоматическое регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов [Текст]: монография / А.С. Космодамианский. – М.: Маршрут, 2005. – 255 с.
6. Швалов, Д.В. Системы диагностики подвижного состава [Текст] / Д.В. Швалов, В.В. Шаповалов. – М.: Маршрут, 2005.
7. Алексенко В.М. Тепловая диагностика элементов подвижного состава [Текст]: монография / В.М. Алексенко. — М.: Маршрут, 2006. — 398 с.
8. Володин, А.И. Моделирование тепловых процессов в якоре электрической машины постоянного тока [Текст] / А.И. Володин, О.В. Балагин, В.К. Фоменко // Труды всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2008» / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2008. – Ч. 3. – С. 285-289.
9. Грищенко, М.М. Анализ теплового состояния обмотки якоря тягового электродвигателя постоянного тока [Текст] / М.М. Грищенко // Известия петербургского университета путей сообщения. – 2009. – № 3 (20). – С. 74 – 79.
10. Рак, О.М. Прогнозування залишкового терміну служби ізоляції обмоток електродвигунів [Текст] / О.М. Рак // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Проблеми економії енергії. – Львів: ДУ "Львівська політехніка". – № 2. – 1999. – С. 73-76.
11. Martinez V.M., Martinez B.T., Olmeda Gonzalez P.O., Peralta Uria R.W. Fault detection in diesel engines using infrared thermography // Insight. 2000. V. 44. No. 4. P. 228 - 232.

12. Varis J., Hartikainen J., Lehtiniemi R., Luukkala M. A simple transportable imaging system for fast thermal nondestructive testing // Proc. Quant. IR Thermography-QIRT'92, Paris, France, July 7-9, 1992. P. 235 - 238.

13. Frumuselu D., Radu C. IR thermography applied to ground-level reinforced concrete constructions belonging to electricity networks // Insight. 1998. V. 40. No. 7. P. 501 - 504.

14. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль [Текст]/ В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.

Жалкін Денис Сергійович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 093-911-10-40. E-mail: abdddenis@gmail.com
Таран Артем Вікторович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 067-376-81-50. E-mail: abddd@mail.ru.

Denys Zhalkin, doct. of techn. sciences, professor of cathedra maintenance and repair of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. Tel. +38093-911-10-40. E-mail: abdddenis@gmail.com.

Artem Taran, listener, Ukraine State University of Railway Transport. Tel. +38067-376-81-50. E-mail: abddd@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.

УДК 629.4.027

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ НА ЦИЛІНДРИЧНІ БУКСОВІ ПІДШИПНИКИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Д-р техн. наук І.Е. Мартинов, канд. техн. наук А.В. Труфанова, магістранти С.О. Кравченко, О.В. Мельникова, І.Я. Хом'як

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗОК, КОТОРЫЕ ДЕЙСТВУЮТ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ТОРМОЗНЫЕ ПОДШИПНИКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Д-р техн. наук И.Э. Мартынов, канд. техн. наук А.В. Труфанова, магистранты С.А. Кравченко, Е.В. Мельникова, И.Я. Хомяк

STUDY OF THE INFLUENCE LOADS FOR ACTING TO CYLINDRICAL BUXOM BEARINGS OF THE CARS

Doct. of techn. sciences I. Martinov, cand. of techn. sciences A. Trufanova, masterstudents C. Kravchenko, O. Melnikova, I. Homyak

Поліпшення показників безпеки на залізницях України може бути досягнуто за рахунок модернізації морально застарілих і менш надійних вузлів вагонів з метою ліквідації відмов устаткування в експлуатації. Розглянуто питання вдосконалення буксових вузлів вантажних вагонів, побудовано комп'ютерну модель буксового вузла вагона та отримано максимальні контактні напруження. Доведено, що виконання твірної роликів у вигляді дуги дозволяє зменшити максимальні контактні напруження.

Ключові слова: буксовий вузол, напружено-деформований стан, геометрична модель, скінчені елементи, криволінійні тетраедри.

Улучшение показателей безопасности на железных дорогах Украины может быть достигнуто за счет модернизации морально устаревших и менее надежных узлов вагонов с целью ликвидации отказов оборудования в эксплуатации. Рассмотрены вопросы совершенствования буксовых узлов вагонов, построена компьютерная модель буксового узла вагона, а также получены

максимальные контактные напряжения. Доказано, что изменение образующей роликов в виде дуги позволяет уменьшить максимальные контактные напряжения.

Ключевые слова: буксовый узел, напряженно-деформированное состояние, геометрическая модель, конечные элементы, криволинейные тетраэдры.

Improvement of safety the Railway in Ukraine can be achieved through the modernization of reliable elements of cars in order to eliminate failure in operation. Issue of improving axle boxes of wagon, built a computer model of the car, and received maximum contact pressure. The change geometry of axle boxes allows to reduce contact voltage.

Keywords: axle boxes, the stress-strain state, the geometric model, finite elements, curvilinear tetrahedra.

Вступ. Залізничний транспорт є однією з найважливіших галузей народного господарства України. Гостра конкуренція між різними видами транспорту сприяє підвищенню якості транспортних послуг. Затримка вантажів у дорозі, яка викликана відмовою елементів конструкцій вагонів з подальшим відчепленням від поїзда, спричиняє суттєві економічні збитки залізницям.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Вагонне господарство є однією з найважливіших галузей залізничного транспорту. На його частку припадає близько 20 % експлуатаційних витрат і майже одна шоста частина контингенту працівників залізничного транспорту. Ефективність роботи залізниць значною мірою залежить від структури вагонного парку, техніко-економічних параметрів вагонів, технічного

стану вагонного парку. Для забезпечення безпеки руху поїздів парк вантажних вагонів повинен мати високу надійність. У той же час вагон складається з великої кількості вузлів, технічний стан яких безпосередньо впливає на експлуатацію вантажних вагонів [6].

Починаючи з 1990 року інвентарний парк вантажного рухомого складу скорочується, переважна частка вагонів підлягає списанню за терміном служби. Термін служби старих вагонів можна подовжувати після обстеження їх технічного стану, але експлуатація таких вагонів потребує значних матеріальних витрат на підтримання у справному стані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Парк вантажних вагонів України складається з інвентарного парку Укрзалізниці та власного парку операторських компаній і комбінатів. Приблизно загальний парк вантажних вагонів складав 201728 одиниць [1] (рис. 1).

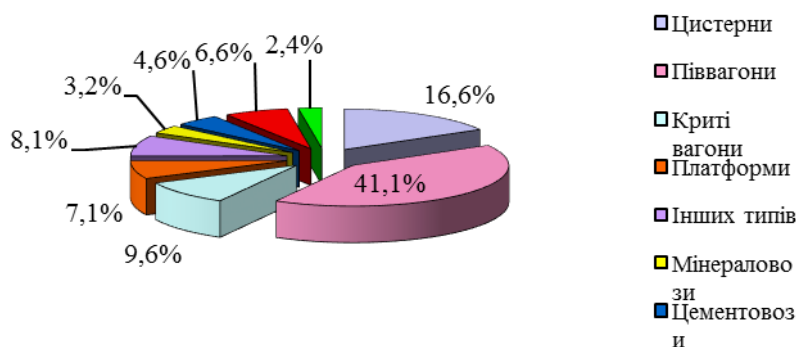


Рис. 1. Структура загального вантажного парку України

Починаючи з 2000 року намітилась тенденція зростання обсягів перевезень, змінилась структура вантажів, які перевозяться, що у свою чергу призвело до збільшення потреби у вантажних вагонах загалом і

особливо в піввагонах, обкотишовах, цистернах, мінераловозах.

Разом з тим на цей період припало інтенсивне старіння інвентарного парку, що призвело до необхідності списання великої

кількості вагонів. Особливо це стосується гостродефіцитного рухомого складу – універсальних піввагонів, середній вік яких склав 18 років при терміні служби 22 роки і обкотишовозів (14,8 і 15 років відповідно), нафтобензинових цистерн (23 та 32 років відповідно) [1, 2].

Щоб уникнути дефіциту цих типів вагонів через списання за нормативним терміном експлуатації, необхідно розгорнути роботи з їх технічного обстеження та подовження терміну експлуатації, у тому числі закупівлі вагонів нового покоління.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є аналіз

відчеплень вагонів через технічні несправності. Виконано порівняльну оцінку міцності серійної конструкції циліндричного буксового вузла та циліндричного буксового підшипника зі зміненою геометрією роликів.

Основна частина дослідження. За останні три роки на Південній залізниці відбулося 256 випадків відчеплення вагонів через технічні несправності [2] (таблиця).

Аналізуючи ці дані можна сказати, що близько 25 % припадає на несправність гальм, 17 % – кузова, 11 % – візків і 2 % – колісних пар, а найбільшу частку – близько 37 % складають буксові вузли (рис. 2).

Таблиця

Відчеплення вагонів через технічні несправності на Південній залізниці за період 2012-2014 рр.

Вид несправності	2012	2013	2014	Разом
несправність буксового вузла	33	33	29	95
несправність гальм	15	27	23	65
несправність колісних пар	3	0	1	4
несправність кузова	16	14	14	44
несправність візків	11	9	8	28
інші несправності	13	3	4	20
Всього	91	86	79	256

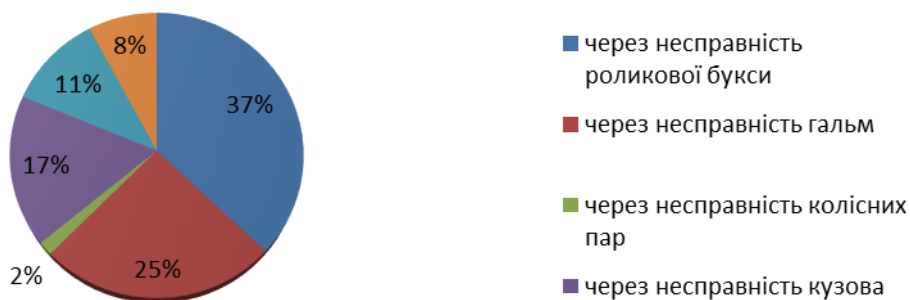


Рис. 2. Діаграма відчеплень вагонів за різними типами несправностей

Причини низької надійності роликових букс неодноразово аналізувалися в дослідженнях різних авторів [3, 7, 8]. Встановлено, що це пов'язано, головним чином, з конструктивними особливостями ходових частин вантажних вагонів і наявністю

навантажень, які діють під час руху поїзда. Тому питання удосконалення конструкції буксових вузлів є актуальними.

Слід зазначити, що переважна більшість досліджень, присвячених проблемам підвищення надійності буксових вузлів з

циліндричними роликowymi підшипниками, сконцентрована на питаннях удосконалення конструкції підшипників [4, 5].

Питання оптимізації циліндричних підшипників, які сприймають осьове навантаження тертям кочення торців роликів о борт кільця, залишилися поза увагою дослідників[9, 10]. Тому одним зі шляхів підвищення надійності буксового вузла з циліндричними підшипниками є розроблення розрахункових моделей з наступним аналізом напружено-деформованого стану підшипника. Це обумовлено тим, що максимальна концентрація контактних напружень має місце в зоні контакту ролика з доріжкою кільця біля торців роликів.

Одним з можливих шляхів вирішення зазначеного завдання є виконання твірної ролика криволінійною.

Для поставленого завдання була виконана порівняльна оцінка міцності серійної конструкції буксового вузла та циліндричного буксового підшипника зі зміненою геометрією роликів.

Моделювання роботи здійснювалося в такий спосіб. На першому етапі засобами препроцесора ANSYS будувалася геометрична модель, що має складну просторову форму (рис. 3).

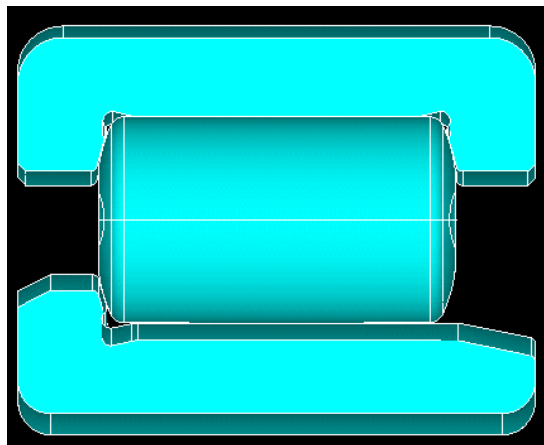


Рис. 3. Геометрична модель ролика при взаємодії з зовнішнім і внутрішнім кільцем підшипника

На другому етапі для проведення досліджень напружено-деформованого стану підшипникового вузла вантажного вагона і виконання етапів математичного моделювання

фізичного процесу взаємодії елементів букси, використовувався метод скінчених елементів, який дозволяє визначити напружено-деформований стан конструкції будь-якої складності незалежно від геометрії, граничних умов, матеріалу і зовнішніх впливів. Геометрична модель розбивалася на скінчені елементи типу SOLID95.

Вертикальне навантаження моделювалося шляхом прикладення сили діючої по нормалі у верхніх приливах підшипникового вузла (рис. 4).

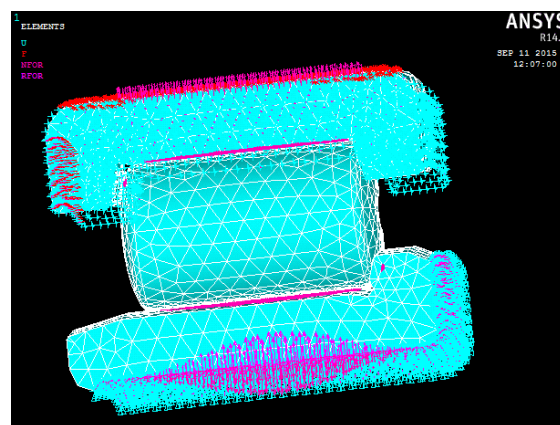


Рис. 4. Схема прикладення навантаження

Величини діючих навантажень розраховувалися виходячи з умов повного використання вантажопідйомності:

- маса, що припадає на один буксовий вузол, залежить від маси тари та вантажопідйомності;
- величина динамічних навантажень залежить від швидкості руху та гнучкості ресорного підвішування.

Кількість скінчених елементів, на які розбивалася геометрична модель, обиралася залежно від співвідношення швидкість розрахунків точність отримання результатів.

Для визначення максимального навантаження, що діє на найбільш завантажений ролик, використовувалась відома формула Штрибека:

$$N = \frac{4,6 \times P}{n}, \quad (1)$$

де P – еквівалентне навантаження на підшипниковий вузол;

n – кількість роликів в одному підшипниковому вузлу.

$$N = \frac{4,6 \cdot 16,4}{24} = 3,14 \text{ кН}.$$

Отримана залежність розподілення контактної тиску вздовж твірної ролика заднього підшипника при паралельному розташуванні осей ролика та кільця наведена на рис. 5.

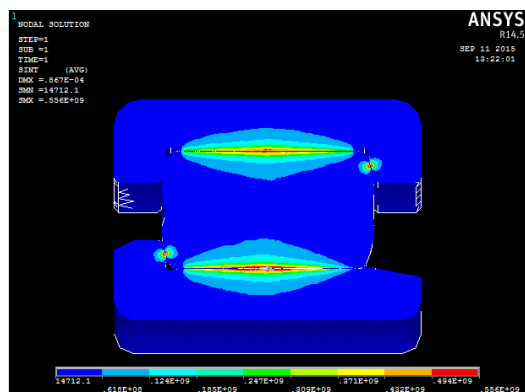


Рис. 5. Максимальні напруження, які виникають вздовж твірної ролика і кільця заднього підшипника буксового вузла

Очевидно, що розподілення контактних напружень уздовж твірної змінилося. Максимальні контактні напруження діють в середині ролика та їх величина досягає 500 МПа, тобто змінена геометрія роликів дозволяє зменшити контактні напруження.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. За допомогою методу скінчених елементів сформовано розрахункову модель для дослідження напруженого стану елементів буксових вузлів з циліндричним підшипником, яка відрізняється від існуючих використанням для моделювання об'ємних тривимірних скінчених елементів у вигляді криволінійного тетраедра.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану елементів буксового підшипникового вузла. Встановлено, що виконання твірної роликів у вигляді дуги дозволяє зменшити максимальні контактні напруження до 500 МПа.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу [Текст] // державна адміністрація залізничного транспорту України „Укрзалізниця”. – К., 2006. – 233 с.
2. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України „Укрзалізниця” [Текст]. – К., 2014. – 34 с.
3. Мартинов, І.Е. Моделювання роботи буксових роликотопідшипників [Текст] // І.Е. Мартинов, А.В. Труфанова, Д.О. Шамшей // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 200-205.
4. Мельниченко, Ю.Д. Методика расчета напряженного состояния корпуса буксы [Текст] / Ю.Д. Мельниченко // Рукопись депонирования в ЦНИИ ТЭИ МПС, № 2728. – М.: МИИТ Д1984. – 54 с.
5. Мартынов, И.Э. Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликотоподшипников букс грузовых вагонов [Текст] / И.Э. Мартынов // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2000. – № 5 (27). – С. 157-159.
6. Гаврилюк, А.Ф. Пути повышения безопасности движения в вагонном хозяйстве [Текст] / А.Ф. Гаврилюк, Н.Е. Вещева, И.Э. Мартынов [и др.] // Восточно-украинский журнал передовых технологий. – 2003. – № 5. – С. 30-32.
7. Мартынов, И.Э. К проблеме совершенствования подшипникового узла вагонов [Текст] / И.Э. Мартынов, А.П. Горбенко, А.В. Донченко // Залізничний транспорт України. – 1999. – № 6. – С. 39-42.
8. Мартинов, І.Е. Технічний стан буксових роликотопідшипників вантажних вагонів [Текст] / І.Е. Мартинов // Зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 41. – С. 38-42.
9. Мартынов, И.Э. Анализ надежности буксовых узлов грузовых вагонов с подшипниками качения [Текст] / А.В. Донченко, И.Э. Мартынов, А.В. Труфанова // Безопасность движения поездов: труды IV науч.-практ. конф. – Москва, 2003. – С. IV.28–IV.29.

10. Цюренко, В.Н. Надежность роликовых подшипников в буксах вагонов [Текст] / В.Н. Цюренко, В.А. Петров. – М.: Транспорт, 1982. – 96 с.

Мартинов Ігор Ернстович, д-р техн. наук, професор, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36. E-mail: martinov.hiit@rambler.ru.

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Кравченко Сергій, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093)2721927.

Мельникова Олена, магістрант ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.

Хом'як Іван, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 099-0495574.

Martynov Igor Ernstovich, doct. of techn. sciences, professor of faculty of wagons Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36. E-mail: martinov.hiit@rambler.ru.

Trufanova Alena Volodymyrivna, cand. of techn. sciences, lecturer of faculty of wagons Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Kravchenko Sergi, masterstudent, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (093)2721927.

Melnikova, masterstudent, Ukraine State University of Railway Transport. (093)2721927.

Xomyak Ivan, masterstudent, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: 099-0495574.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.

УДК 621.333-23

ПОРУШЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОГО КОНТАКТУ В ЗУБЧАСТИХ ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧАХ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Магістрант А.О. Антонович

НАРУШЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО КОНТАКТА В ЗУБЧАТЫХ ТЯГОВЫХ ПЕРЕДАЧАХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Магистрант А.О. Антонович

INFRINGEMENT OF LONGITUDINAL CONTACT IN GEAR TRACTION TRANSFERS OF ELECTRIC TRAINS

Master student A.O. Antonovich

У статті розглянуто питання порушення поздовжнього контакту в зубчастих тягових передачах електропоїздів. Визначені основні фактори, які безпосередньо створюють цей дефект. Установлено, що до них належать підвищені навантаження, які прикладаються до тягової передачі, і їхня періодична зміна. Складено розрахункові схеми навантажень у динамічному й статичному режимах. На підставі цього визначено основні параметри, які необхідні для оцінки коефіцієнтів, і розраховано їх значення. Розраховано також критичні кути повороту деталей тягової передачі, на яких відбувається їх підвищений знос у процесі експлуатації.

Ключові слова: довговічність, контакт, навантаження, підшипник, режим, тягова передача, електродвигун, електропоїзд.

В статье рассмотрены вопросы нарушения продольного контакта в зубчатых тяговых передачах электропоездов. Определены основные факторы, которые непосредственно создают этот дефект. Установлено, что к ним относятся повышенные нагрузки, которые прикладываются к тяговой передаче, и их периодические изменения. Составлены расчетные схемы нагрузок в динамическом и статическом режимах. На основании этого определены основные параметры,

которые необходимы для оценки коэффициентов и рассчитаны их значения. Рассчитаны также критические углы поворота деталей тяговой передачи, на которых происходит их повышенный износ в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: долговечность, контакт, нагрузка, подшипник, режим, тяговая передача, электродвигатель, электропоезд.

In article questions of infringement of longitudinal contact in gear traction transfers of electric trains are considered. Major factors which directly create this defect are certain. It is established, that the raised loadings which are put to traction transfer and their periodic changes concern to them. In work settlement schemes of loadings in dynamic and static modes are made. On the basis of this key parameters which are necessary for an estimation of factors are certain and their values are calculated. Critical corners of turn of details of traction transfer on which there is their increased deterioration while in service are calculated also.

Keywords: durability, contact, loading, bearing, a mode, traction transfer, the electric motor, an electric train.

Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Тягові передачі електропоїздів працюють у дуже складних умовах, більш важких, ніж більшість не тільки стаціонарних передач, але й передач інших транспортних засобів. Вимоги, які ставляться до тягових передач у цих умовах, носять в основному експлуатаційний характер. Основні з них зводяться до забезпечення високої безвідмовності в роботі, тому що тягова передача не резервується й відмова її практично призводить до відмови всього тягового рухомого складу. На тягову передачу електропоїзда діє насамперед навантаження, яке створюється тяговим моментом, що визначається режимом ведення поїзда (пуск, перехід з однієї тягової характеристики на іншу) і швидкістю, що змінюється при зміні опору руху. Тому важливо знати, в яких місцях тягової передачі виникають небезпечні перевантаження, для того, щоб контролювати їх зношення в процесі експлуатації електропоїзда.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зубчасті передачі посідають вагоме місце у механічних системах. Тому це викликає велику кількість досліджень, які пов'язані з покращенням їх роботи. Так, у роботі [13] запропонована нова методика визначення надійності зуба і зубчастого колеса в цілому за умовами втомної міцності за обмеженням статистичної інформації про параметри їх роботи. У цьому ж напрямку істотне значення мають дослідження Міхліна В.М. [4], на основі яких запропоновані шляхи усунення вагового недоліку щодо

існуючих методів визначення відхилень параметрів при технічному обслуговуванні машин. У дослідженнях [6] запропонована залежність для визначення числа циклів навантаження (довговічності) без появи ознак утомного руйнування для випадків лінійного контакту поверхонь зубів. За результатами досліджень Решетова Д.М. [7] отримані теоретичні і комп'ютерні моделі контакту у зубчастих передачах, які дають змогу розраховувати основні характеристики контактної взаємодії. У подальшому ці напрямки були розвинуті у дослідженнях Рудзита Я.А., Сусллова А.Г. та ін. [8,11]. Прогнозуванням відмов зубчастих передач на основі використання методів непараметричної статистики присвячена робота Сизранцевої К.В. [12]. Разом із тим необхідно відмітити, що сучасна інженерна трибологічна практика зустрічається із значними труднощами у визначенні швидкості, інтенсивності та прогнозування зносу відповідальних вузлів, до яких зокрема належать зубчасті передачі КМБ моторвагонного рухомого складу.

Мета дослідження. Проведення аналізу та створення методу визначення небезпечних місць у вузлах тягової передачі електропоїздів.

Основна частина. Тягові зубчасті передачі магістральних електропоїздів працюють з дуже великими навантаженнями на зуби в порівнянні з усіма іншими типами промислових зубчастих передач.

Однією з головних умов, що забезпечують довговічність зубчастої передачі, є максимальна повнота поздовжнього контакту зубів у навантаженому стані. Зменшення поздовжнього контакту, або, інакше кажучи,

робочої довжини зубів, призводить до значного збільшення питомих навантажень на зуб, передчасного його зносу й розвитку прогресивно зростаючих утомних тріщин [12].

Аналіз роботи тягових електродвигунів електропоїздів показує, що непаралельність зубів змінюється в залежності від реалізованої сили тяги та напрямку руху (двигуном або колісною парою в тому чи іншому напрямку). При цьому контактні напруги в зубах з боку шестірні, зверненої до електродвигуна, зростають на 30-40%, а згинальні напруги в корені зуба – в 1,5-2 рази.

В експлуатації спостерігаються перекоси зубчастих коліс і малих шестерень, які викликаються такими причинами:

- постійно діючими навантаженнями (рис. 1), що призводять до вигину валів шестерень і зубчастих коліс;

- змінно діючими навантаженнями, які є наслідком змін тягового зусилля;

- динамічними навантаженнями, які виникають при взаємодії локомотива з рейками внаслідок неточності виготовлення зубчастих коліс тягової передачі;

- неточністю складання електродвигуна спільно з колісною парою;

- зазорами в моторно-осьових і якірних підшипниках тягового електродвигуна.

Для з'ясування величини перекосу шестірні й зубчастого колеса тягової передачі електропоїздів розраховано величини кутів нахилу зубів шестірні й зубчастого колеса окремо, а також сумарний кут непаралельності зубів.

За кут нахилу шестірні й зубчастого колеса прийнятий нахил поверхні зуба до лінії, що проходить через вершини головок рейок (рис. 1).

Наближено колісну пару електропоїзда можна подати у вигляді балки на двох опорах, яка навантажена декількома силами (рис. 2).

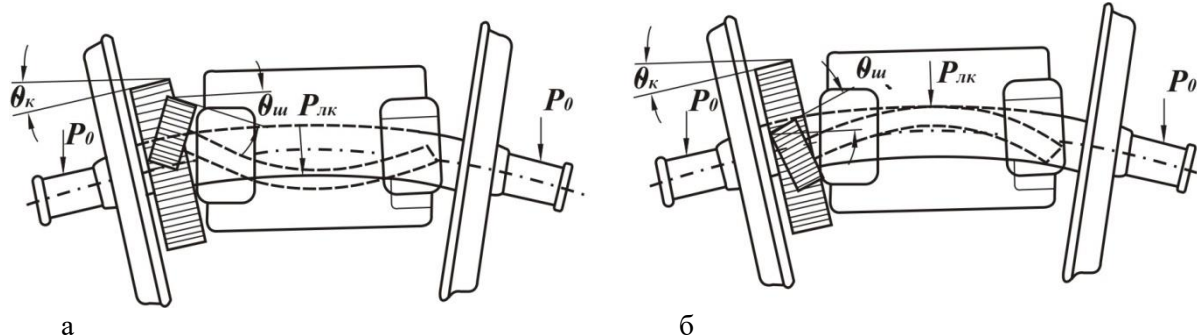


Рис. 1. Розрахункові схеми взаємного положення шестірні й зубчастого колеса тягової передачі в режимі тяги: а – рух двигуном уперед; б – рух двигуном назад

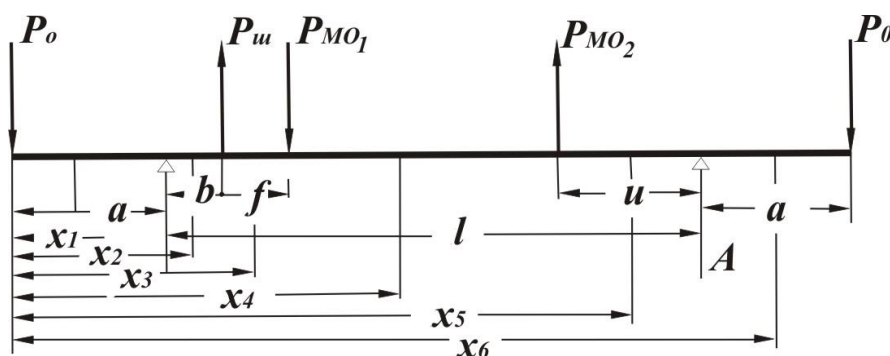


Рис. 2. Розрахункова схема навантаження осі колісної пари електропоїзда

На рис. 2 прийнято такі позначення:

a – відстань від середини буксової шийки осі до кола кочення колеса, мм;

b – відстань від кола кочення колеса до середини зубчастого колеса, мм;

f – відстань від середини зубчастого колеса до середини найближчої до нього моторно-осьової шийки, мм;

l – відстань між колами кочення бандажів колісної пари, мм;

P_0 – половина навантаження на вісь локомотива, кг;

$P_{ш}$ – обводове зусилля на зубчастому колесі, кг;

$P_{мо}$ – тиск на вісь із боку моторно-осьового підшипника тягового електродвигуна, кг;

A і B – реакції рейок, кг;

i – відстань від кола кочення правого колеса до найближчого до нього моторно-осьового підшипника, мм;

$P_{мо1}$ – тиск на ліву моторно-осьову шийку з боку кістяка тягового електродвигуна, кг;

$P_{мо2}$ – тиск на праву моторно-осьову шийку з боку кістяка тягового електродвигуна, кг.

Для визначення кута повороту зубчастого колеса складені диференціальні рівняння осі балки, які потім були проінтегровані. У результаті цього можна одержати величину кута повороту в будь-якій точці на осі балки.

Для складання диференціальних рівнянь були визначені опорні реакції A і B :

$$A = P_0 - P_{ш} \frac{b}{l} + P_{мо1} \frac{b+f}{l} - P_{мо2} \frac{l-u}{l}; \quad (1)$$

$$B = P_0 - P_{мо2} \frac{u}{l} + P_{мо1} \frac{l-b-f}{l} - P_{ш} \frac{l-b}{l}. \quad (2)$$

Після цього складені диференціальні рівняння вигнутої осі балки на різних ділянках:

$$M = f(x), \quad (3)$$

$$EI \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = P_0 x_1, \quad (4)$$

$$EI \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = P_0 x_2 - B(x_2 - a), \quad (5)$$

$$EI \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = P_0 x_3 - B(x_3 - a) - P_{ш}(x_3 - a - b), \quad (6)$$

$$EI \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} = P_0 x_4 - B(x_4 - a) - P_{ш}(x_4 - a - b) + P_{мо}(x_4 - a - b - f), \quad (7)$$

$$EI \frac{d^2 y_5}{dx_5^2} = P_0 x_5 - B(x_5 - a) - P_{ш}(x_5 - a - b) + \\ + P_{мо}(x_5 - a - b - f) + P_{мо}(x_5 - a - l + b + f), \quad (8)$$

$$EI \frac{d^2 y_6}{dx_6^2} = P_0 x_6 - B(x_6 - a) - P_{ш}(x_6 - a - b) + \\ + P_{мо}(x_6 - a - b - f) + P_{мо}(x_6 - a - l + b + f) - P_{ш}(x_6 - a - l + b), \quad (9)$$

де E - модуль пружності, кг/мм²;
 I - момент інерції перерізу балки, мм⁴.

У результаті інтегрування цих рівнянь та визначення їх постійних отримані критичні значення прогинів у різних точках, розташованих на осі колісної пари, які зведені у таблицю.

Таблиця 1

Основні розміри	Одиниця виміру	Значення параметра
a	мм	263
b	мм	246
f	мм	215
l	мм	1580
u	мм	216
$D_{ш}$ – діаметр моторно-осьової шийки осі	мм	210
λ_1	-	+3,96·10 ⁻⁸
λ_2	-	+3,79·10 ⁻⁸
λ_3	-	-4,85·10 ⁻⁸
λ_4	-	-2,2·10 ⁻⁸
Θ_k	рад.	5,43·10 ⁻⁴

Аналогічні розрахунки виконано для визначення кута нахилу шестірні залежно від зазорів у якірних підшипниках, а також при непаралельності зубів шестірні й зубчастого колеса.

Висновки. Проведеним розрахунком установлено, що на перекис зубчастого колеса тягової передачі великий вплив здійснює величина зазора між зубами шестерень і зазора в якірних підшипниках. При певних значеннях

сили тяги відбувається різка зміна величини взаємного перекосу зубів шестірні й зубчастого колеса. Із зростанням сили тяги електропоїзда при його русі двигуном уперед відбувається збільшення кутів перекосу зубчастого колеса й шестірні, а при русі колісною парою вперед відбувається спочатку зменшення кутів перекосу, а потім з якогось певного моменту – зростання кутів перекосу, але вже з протилежним знаком.

Список використаних джерел

1. Демкин, Н.Б. Развитие учения о контактном взаимодействии деталей машин [Текст] / Н.Б. Демкин // Вестник машиностроения. – 2008. – №10. – С. 28-33.
2. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Левина, З.М. Контактная жесткость машин [Текст] / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Михлин, В.М. Метод определения допускаемых износос деталей, обеспечивающий повышение их безотказности [Текст] / В.М. Михлин // Вестник машиностроения. – 2008. – №7. – С. 11-14.

5. Пинегин, С.В. Контактная прочность и сопротивление качению [Текст] / С.В.Пинегин. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.
6. Подгаевский, О.Л. Несущая способность линейного локального контакта при циклическом нагружении зубьев плоскоцилиндрической передачи [Текст] / О.Л.Подгаевский // Вестник машиностроения. – 2007. – №1. – С. 13-16.
7. Решетов, Д.Н. Расчет деталей станков [Текст] / Д.Н.Решетов. – М.: Машгиз, 1945. – 140 с.
8. Рудзит, Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей [Текст] / Я.А. Рудзит. – Рига: Зинатне, 1975. – 210 с.
9. Ряховский, А.М. К расчету износостойкости металлических материалов трущихся пар [Текст] / А.М.Ряховский // Вестник машиностроения. – 2008. – №8. – С. 3-6.
10. Снесарев, Г.А. Расчет редукторов на надежность [Текст] / Г.А.Снесарев // Вестник машиностроения. – 1982. – №7. – С. 45-48.
11. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей [Текст] / А.Г.Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
12. Сызранцева, К.В. Прогнозирование отказов зубчатых передач методами непараметрической статистики [Текст] / К.В.Сызранцева // Вестник машиностроения. – 2009. – №12. – С. 10-14.
13. Уткин, В.С. Определение надежности зубчатой передачи по условию усталостной прочности зуба при ограниченной статистической информации [Текст] / В.С.Уткин // Вестник машиностроения. – 2007. – №4. – С. 12-15.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.С. Жалкін

Антонович Артем Олегович, магістрант гр. 16ЛМ. Тел. 093-025-64-00.

Antonovich A.O., master student

Наукова праця здана до друку 21.09.2015року

УДК 623.4.083

ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНИХ ВЕЛИЧИН ЗАПАСІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНОГО ГОСПОДАРСТВА ДЕПО

Д-р техн. наук О.С. Крашенінін, магістр С.П. Войтович-Левицький

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ЗАПАСОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЕПО

Д-р техн. наук А.С. Крашенинин, магистр С.П. Войтович-Левицкий

ESTIMATION OF OPTIMAL VALUES FOR STOCKS DEPOT REPAIR MANAGEMENT

Doct. of techn. sciences O.S. Krashenin, master student S.P. Voytovych-Levytskyy

Основним резервом підтримки технічного стану локомотивів у сучасних умовах все в більшій мірі залишається ефективне ремонтне господарство. Його ефективність значною мірою залежить від роботи служб постачання ремонтних дільниць різними матеріалами, запасними частинами і напівфабрикатами.

У статті на основі аналізу загальних підходів до організації служб забезпечення підприємств розглянуто варіант випадкового попиту, що виникає при проведенні позапланових ремонтів локомотивів і їх обладнання.

Ключові слова: запаси, попит, ремонтне господарство.

Основным резервом поддержания технического состояния локомотивов в современных условиях все в большей степени остается эффективное ремонтное хозяйство. Его эффективность в значительной степени зависит от работы служб снабжения ремонтных участков различными материалами, запасными частями и полуфабрикатами.

В статье на основе анализа общих подходов к организации служб обеспечения предприятий рассмотрен вариант случайного спроса, который возникает при проведении неплановых ремонтов локомотивов и его оборудования.

Ключевые слова: запасы, спрос, ремонтное хозяйство.

Main reserve support technical condition of locomotives in modern conditions increasingly is effective repair facilities. Its effectiveness largely depends on the supply of services of repair stations different materials, spare parts and semi-finished goods.

The article is based on analysis of common approaches to the organization of services providing companies consider the option of random demand that occurs during unplanned locomotives and repair its equipment.

Keywords: stocks, demand, repair facilities.

Вступ. На найбільшу перспективу стабільність роботи локомотивного господарства буде забезпечуватися за рахунок якісного виконання ТО, ПР локомотивів. Але резерви щодо підвищення ефективності роботи ремонтного господарства вже майже вичерпані.

Виходячи з цього треба продовжувати пошук нових джерел відновлення ремонтного господарства, що є актуальним завданням для депо.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Ремонтне господарство не може функціонувати без налагодженої системи постачання. За нинішніх умов треба враховувати можливості випадкових попитів на послуги ремонтного сервісу. Це у свою чергу визначає пошук і розроблення нових підходів щодо визначення оптимальної величини запасів для роботи ремонтних ділянок.

Галузь приділяє значну увагу вирішенню завдань забезпечення залізничних підприємств оптимально обґрунтованою кількістю матеріалів і запасних частин, особливо в умовах необхідності подовження терміну експлуатації рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці в багатьох дослідженнях відмічають важливе значення, що має система постачання для роботи підприємств [1-4]. Особливо це отримало актуальний характер в умовах розвитку ринку і супроводжуючої його конкуренції з боку зовнішніх чинників.

Наукові та прикладні дослідження, проведені на кафедрі ЕРПС УкрДУЗТ Тартаковським Е.Д., Жалкіним С.Г., Бабаніним О.Б., Пузирем В.Г., показали необхідність пошуку і розвитку підходів до удосконалення системи постачання для локомотивних депо.

Визначення мети та аналіз дослідження. Аналіз існуючих підходів до оптимальних систем постачання і розгляд завдань постачання, коли попит на запас має випадковий характер.

Основна частина дослідження. Визначення оптимальних запасів є одним з важливих завдань, з якими доводиться стикатися при плануванні дій підприємств [1-3].

Завдання управління запасами в загальному випадку має нижченаведене формулювання.

Є деякі запаси, витрати на утримання яких є функцією їх величини (лінійної або нелінійної). Запаси витрачаються тим чи іншим чином, причому відсутність запасів призводить до того чи іншого штрафу (іноді відсутність запасів взагалі може не допускатися).

Ставиться завдання визначити розмір запасу, оптимальний у сенсі мінімізації загальних витрат [5-7].

Основними поняттями при вирішенні цих завдань є:

- витрати, які за своїм характером поділяються на витрати, пов'язані з доставкою партії, зберіганням запасів, позаплановим придбанням запасу, збитком від продажу

зайвих запасів чи іншими видами функцій штрафу;

- запаси, які можуть відноситися до запасів одного або багатьох типів і можуть поповнюватися або миттєво, або із затримкою в часі;

- попит, що може бути випадковим або не випадковим;

- обмеження, які можуть мати різний характер.

Загальної теорії управління запасами в даний час не існує, хоча багато завдань у цій галузі вирішені й описані [8-11].

У загальному випадку завдання управління запасами зводяться до задачі нелінійного програмування, загальних методів розв'язання якої немає, тому застосовуються окремі методи, які не гарантують отримання оптимального розв'язку.

Розглянемо один з підходів для розв'язання деяких таких задач [1-3]. Нехай деякі запаси витрачаються з постійною швидкістю, причому допускати недостатність цих запасів можна. Нехай витрати на доставку партії запасів не залежать від її розміру і рівні C_l . Витрати на зберігання запасів в одиницю часу дорівнюють C_s . Загальний попит за інтервал θ дорівнює N . Вважаючи, що всі партії складаються з однакового числа запасів n , знайдемо цю величину з умови мінімуму сумарних витрат:

$$n = \sqrt{2 \frac{NC_l}{\theta C_s}}.$$

Сумарні витрати в цьому випадку дорівнюють

$$C_{\Sigma} = \sqrt{2NC_l\theta C_s}.$$

Максимальний розмір запасу дорівнює n , а зміна запасів у часі має відбуватися так, як це показано на рис. 1,а.

Розглянемо більш загальний випадок, коли недостатність запасів допускається, але призводить до збитків C_p в одиницю часу. Потрібно вибрати максимальний рівень запасу s і величину n з умови мінімуму сумарних витрат [4].

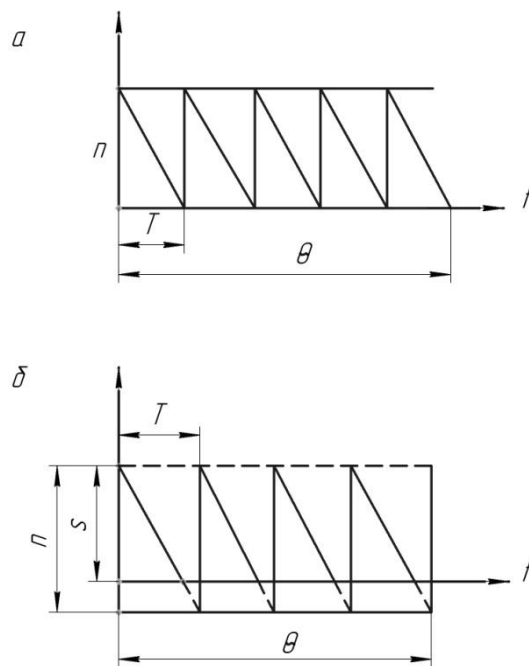


Рис. 1. Зміна запасів

У цьому випадку величина запасів визначається за формулою

$$n = \sqrt{2 \frac{N}{\theta} \cdot \frac{C_l}{C_s} \cdot \frac{C_s + C_p}{C_p}},$$

а максимальний розмір запасу

$$s = n \frac{C_p}{C_s + C_p},$$

сумарні витрати

$$C_{\Sigma} = \sqrt{2N\theta C_l C_s \frac{C_p}{C_s + C_p}},$$

а зміна запасів у часі має відбуватися так, як це показано на рис. 1,б.

Ці випадки, мають безперервний попит, але не випадковий, тобто в одиницю часу θ потрібна одна і та ж кількість запасів N . Проте практично так ніколи не буває. За один проміжок часу запасів буде потрібно більше, за інший проміжок часу менше. У цьому випадку замість N необхідно або знати ймовірності тієї чи іншої потреби $P\left(\frac{H}{\theta}\right)$, або, якщо N досить

велике, дискретний розподіл імовірностей може бути замінений безперервним, що характеризується щільністю розподілу ймовірностей $f\left(\frac{N}{\theta}\right)$.

Нехай деякі запаси витрачаються з постійною швидкістю, величина якої випадкова і характеризується ймовірностями $P\left(\frac{H}{\theta}\right)$ витрати на зберігання одного виду запасу в одиницю часу C_s , витрати на доставку партії запасів будемо вважати досить малими, у разі недостатності запасів необхідні додаткові витрати C_p на відсутній запас в одиницю часу. Потрібно знайти оптимальний рівень запасу і розмір партії [12,13].

Розв'язання цієї задачі досить складне і має такий вигляд: необхідно розрахувати функцію

$$L(s) = P\left(\frac{N}{\theta} \leq s\right) + \left(s + \frac{1}{2}\right) \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{P\left(\frac{N}{\theta}\right)}{\frac{N}{\theta}},$$

потім визначити оптимальну величину S_0 з умови

$$L(s_0 - 1) \leq \frac{C_p}{C_s + C_p} \leq L(s_0),$$

а математичне очікування витрат – за формулою

$$C_{\Sigma} = C_s \sum_{\frac{N}{\theta}=0}^{\infty} \left(s - \frac{N}{2\theta}\right) P\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_s \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{1}{2} \times \frac{s^2}{\frac{N}{\theta}} P\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_p \sum_{\frac{N}{\theta}=s+1}^{\infty} \frac{1}{2} \times \frac{\left(\frac{N}{\theta} - s\right)^2}{\frac{N}{\theta}} P\left(\frac{N}{\theta}\right).$$

Якщо розподіл безперервний, то відповідні суми замінюються інтегралами:

$$L(s) = \int_0^s f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) - s \int_s^{\infty} \frac{f\left(\frac{N}{\theta}\right)}{\frac{N}{\theta}} d\left(\frac{N}{\theta}\right);$$

$$L(s_0) = \frac{C_p}{C_s + C_p};$$

$$C_{\Sigma} = C_s \int_0^s \left(s - \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{\theta}\right) f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_s \int_s^{\infty} \frac{s^2}{2 \frac{N}{\theta}} f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right) + C_p \int_s^{\infty} \frac{\left(\frac{N}{\theta} - s\right)^2}{2 \frac{N}{\theta}} f\left(\frac{N}{\theta}\right) d\left(\frac{N}{\theta}\right).$$

Розглянемо розв'язання для випадку, коли потреби підпорядковані закону рівної ймовірності.

Функція щільності ймовірності в цьому випадку набуває вигляду

$$f\left(\frac{N}{\theta}\right) = \frac{1}{b} \text{ при } 0 \leq \frac{N}{\theta} \leq b;$$

$$f\left(\frac{N}{\theta}\right) = 0 \text{ при } \frac{N}{\theta} \geq b.$$

Тоді, використовуючи формулу для $L(s)$, одержуємо

$$L(s) = \frac{1}{b} \int_0^s d\left(\frac{N}{\theta}\right) + \frac{s}{b} \int_s^b \frac{1}{\frac{N}{\theta}} d\left(\frac{N}{\theta}\right) = \frac{s}{b} + \frac{s}{b} \ln \frac{b}{s}$$

і, використовуючи формулу для $L(s_0)$:

$$\frac{C_p}{C_s + C_p} = \frac{s_0}{b} + \frac{s_0}{b} \ln \frac{b}{s_0}.$$

З цього рівняння методом підбору можна знайти $\frac{s_0}{b}$.

Для спрощення розрахунків складемо таку таблицю.

$\frac{s_0}{b}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\frac{C_p}{C_s - C_p}$	0,000	0,330	0,520	0,661	0,767	0,847	0,906	0,950	0,979	0,995	1,000

Математичне сподівання витрат становить

$$C_{\Sigma} = \frac{C_s}{b} \left[\frac{3}{4} s_0^2 + \frac{s_0^2}{2} \ln \frac{b}{s_0} + \frac{C_p}{2C_s} \left(\frac{b^2}{2} + \frac{3}{2} s_0^2 - 2bs_0 + s_0^2 \ln \frac{b}{s_0} \right) \right].$$

Нехай витрати на збереження запасів $C_s = 100$ грн/доб, а витрати при недостатності запасів складають $C_p = 200$ грн/доб. Потреба в запасах може мінятися від 0 до 20000 од. запасів за добу за законом рівної ймовірності.

Тоді значення

$$\frac{C_p}{C_s + C_p} = \frac{200}{100 + 200} = 0,667.$$

З таблиці для цього значення знаходимо

$$\frac{s_0}{b} = 0,306.$$

Звідки $s_0 = 0,306 \cdot 20000 = 6120$ од. запасів.

Математичне очікування витрат

$$C_{\Sigma} = \frac{100}{20000} \left[\frac{3}{4} 6120^2 + \frac{6120^2}{2} \ln \frac{20000}{6120} + \frac{200}{2 \cdot 100} \cdot \left(\frac{20000^2}{2} + \frac{3}{2} 6120^2 - 2 \cdot 20000 \cdot 6120 + 6120^2 \ln \frac{20000}{6120} \right) \right] = 5300 \text{ грн}$$

Математичне очікування розміру партії, що подається

$$n = \frac{S}{2} = 10000 \text{ од. запасів.}$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному

напрямку. Як видно з розрахунків, у разі недопущання недостатності запасів треба мати значно більше запасів, що призводить до додаткових витрат на їх збереження.

З урахуванням випадкового характеру потреби в запасах необхідність резервів, навпаки, зростає.

Список використаних джерел

1. Годжинский А.М. Основы логистики [Текст]: учеб. пособие / А.М. Годжинский. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 1995. – 124 с.
2. Смехов, А.А. Введение в логистику [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993. – 112 с.
3. Смехов, А.А. Логистика [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
4. Вунш, Г. Теория систем [Текст] / Г. Вунш. – М.: Советское радио, 1978. – 288 с.

5. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 550 с.
6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с. (Физико-математическая библиотека инженера. Вып. 106).
7. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
8. Овчаров, Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л.А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
9. Вентцель, Е.С. Введение в исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1964.
10. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман; пер. с англ. И.М. Андреевой [и др.]; под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Изд. иностр. лит., 1960.
11. Саати, Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст] / Т. Саати; пер. с англ. Е.Г. Коваленко; под ред. И.Н. Коваленко и Р.Д. Когана. – М.: Сов. радио, 1965.
12. Селеванов, А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селеванов. – М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.
13. Kalbfleisch Wm. Cost of operating farm machinery. Agricultural Department of Canada, 1950.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Войтович-Левицький С.П., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: v.lev.sergey@mail.ru.

Krashenin Oлександр, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Voytovych Levytsky S.P., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: v.lev.sergey@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.

УДК 623.4.084

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ РЕМОНТНИХ ДІЛЬНИЦЬ З РЕМОНТУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КРАНІВ

Д-р техн. наук О.С. Крашенінін, магістр М.О. Миклашук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕМОНТНЫХ УЧАСТКОВ ПО РЕМОНТУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРАНОВ

Д-р техн. наук А.С. Крашенинин, магистр Н.А. Миклашук

DETERMINATION OF THE OPTIMAL BANDWIDTH REPAIR STATIONS REPAIR OF RAILWAY CRANES

Doct. of techn. sciences O.S. Krashenin, master student M.A. Myklaschuk

За останні роки технічний стан залізничної техніки досяг критичної межі, що стосується і залізничних кранів, що використовуються як у депо, так і на лінії.

Разом з цим фінансові і матеріальні можливості як залізниць, так і окремих депо обмежені, що потребує пошуку нових підходів щодо підтримки технічного стану залізничної техніки.

У статті розглянуто один з підходів щодо оптимізації ремонтних ділень з точки зору їх пропускної спроможності, що потребує визначення оптимальної кількості ремонтних ділень.

Ключові слова: залізничні крани, пропускна спроможність ремонтних ділянок.

За последние годы техническое состояние железнодорожной техники достигло критической точки, что касается и железнодорожных кранов, используемых как в депо, так и на линии.

Вместе с этим финансовые и материальные возможности как железных дорог, так и отдельных депо ограничены, что требует поиска новых подходов по поддержке технического состояния железнодорожной техники.

В статье рассмотрен один из подходов к оптимизации ремонтных участков с точки зрения их пропускной способности, что требует определения оптимального количества ремонтных участков.

Ключевые слова: железнодорожные краны, пропускная способность ремонтных участков.

In recent years, the technical condition of railway equipment has reached a critical limit that applies to railway cranes, used as a depot and on line. At the same financial and material capabilities as railways and some stores are limited, requiring new approaches to support the technical condition of railway equipment.

In article one approach to optimization of repair stations in terms of their capacity, which requires determining the optimal number of repair stations.

Keywords: railway cranes, bandwidth repair stations.

Вступ. Залізнична ремонтна техніка, що забезпечує виконання різноманітних завдань утримання й усунення пошкоджень локомотивів і вагонів на лінії, в сучасних умовах потребує особливої уваги. Це визначає необхідність удосконалення ремонтної бази для забезпечення їх готовності до виконання відповідальних завдань, у тому числі обґрунтування потужностей ремонтного господарства.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Забезпечення ефективної експлуатації залізничних кранів визначається їх високою надійністю, оскільки саме за їх допомогою виконуються роботи з монтажу і демонтажу пошкодженої техніки або інші завдання.

Створення оптимальної системи ремонту залізничних кранів потребує обґрунтування насамперед тактики ремонту, що зумовлює пошук раціональних співвідношень кількості ремонтованих одиниць і витрат на організацію ремонтної бази.

Тому за останні роки на державному рівні прийнято ряд постанов і наказів, які даватимуть змогу комплексно вирішувати завдання ефективного використання залізничної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки значно підвищилася зацікавленість щодо збільшення терміну використання транспортних засобів [1-

5]. Так, у дослідженнях Тартаковського Е.Д., Калабухіна Ю.Є., Фалендиша А.П. та інших учених значна увага приділяється оцінці життєвого циклу локомотивів.

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу УкрДУЗТ проводить дослідження щодо подовження терміну використання нового рухомого складу і розробки загальних підходів щодо його визначення.

Визначення мети та аналіз дослідження. Обґрунтування потужності ремонтного господарства залізничних кранів на основі оптимізації кількості і пропускної спроможності ремонтних ділянок.

Основна частина дослідження. За останній час отримали значний розвиток нові математичні методи, які можна застосовувати при проектуванні різного роду промислових ділянок. Так, задачі масового обслуговування дуже поширені у сфері експлуатації технічних засобів [6-10].

Основними поняттями, з якими доводиться стикатися теорії масового обслуговування, є: потік заявок; система обслуговування; час обслуговування; порядок обслуговування; черга; критерій оцінки системи.

Потік заявок на обслуговування розглядається у часі. Він може бути стаціонарним, коли його характеристики в часі не змінюються, і нестаціонарним, коли його характеристики в часі змінюються. Він може

бути без післядії, коли число заявок, що надійшли, не залежить від того, скільки їх надійшло в попередній момент часу, і з післядією, коли число заявок, що надійшли в даний момент часу, залежить від того, скільки їх надійшло в попередній момент часу.

Найчастіше розглядають пуассонівський (простіший) потік. Цей потік має низку важливих властивостей. Він є стаціонарним, ординарним і не має післядії. До найпростішого потоку системі масового обслуговування пристосуватися найбільш складно, тому системи, розраховані на цей потік, будуть надійно працювати в умовах інших потоків (при однаковій інтенсивності). Цей потік відіграє таку ж роль, як і нормальний закон у теорії ймовірностей. При підсумовуванні багатьох випадкових потоків утворюється потік, що наближається до простішого. Для цього потоку задачі масового обслуговування вирішуються найбільш просто.

Для цього потоку ймовірність надходження за проміжок часу τ рівна k вимог і визначається за формулою Пуассона [11-13]

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \exp(-\lambda\tau).$$

Інтенсивність цього потоку, тобто математичне очікування числа вимог, що надійшли в одиницю часу, дорівнює величині параметра λ .

Приклади в системі масового обслуговування можуть підключатися в порядку їх номерів, у міру звільнення, випадковим порядком. Заявки можуть прийматися у міру надходження, випадковим порядком, з пріоритетом (з припиненням обслуговування вже надійшли заявки або без припинення обслуговування), за принципом остання – першою, по певних каналах.

Час обслуговування заявки може бути не випадковим і випадковим. В останньому випадку воно може бути розподілено за різними законами. Найчастіше розглядається показовий закон, коли функція розподілу часу обслуговування має вигляд

$$F(t) = 1 - \exp(-\mu t),$$

де μ – величина, зворотна середньому часу обслуговування.

Черги розділяються на черги з відмовами (при зайнятій системі заявка не обслуговується), з обмеженим часом очікування (заявка чекає певний час), з обмеженою довжиною і, нарешті, з необмеженим часом очікування.

Довжина черги може впливати на потік заявок і систему обслуговування, проте найчастіше цей вплив не враховується.

При оцінці систем масового обслуговування найчастіше розглядають сталий процес, формули для якого не дають суттєвих помилок при загальній тривалості розглянутого процесу не менше ніж (2-3) μ [6,12,13].

Найважливішими критеріями систем масового обслуговування є:

- імовірність пропуску (затримки в обслуговуванні) заявки;
- математичне очікування числа пропущених (затриманих) заявок за фіксований час;
- математичне очікування числа зайнятих каналів;
- математичне очікування довжини черги.

Багато окремих випадків задач теорії масового обслуговування розв'язані. У загальному випадку для розв'язання цих задач може бути застосований метод статистичних випробувань [6].

Розглянемо задачі визначення оптимальної кількості та пропускної спроможності ремонтних дільниць з ремонту залізничних кранів як задачу масового обслуговування.

З погляду теорії масового обслуговування ремонтні дільниці являють собою систему з необмеженим часом очікування [6,12].

З урахуванням цього розглянемо визначення оптимального числа каналів і пропускної спроможності дільниць для випадку, коли транспортний засіб надходить в дільницю [14,15].

Будемо вважати відомими:

- вартість обладнання дільниць C_M як функцію числа каналів обслуговування n :

$$C_M = k_{c.m} n;$$

- вартість одного залізничного крана C_B ;
- параметр пуассонівського потоку надходження заявок на ремонт залізничних

кранів λ , який визначається для планового періоду проектною надійністю, а для поза-планового, крім того, й інтенсивністю відмов;

- параметр показового закону часу ремонту одного залізничного крана μ .

$$M = \sum_{k=1}^m \frac{m! a^k}{(k-1)!(m-k)!} + \sum_{k=n+1}^m \frac{km! a^k}{n^{k-n} n!(m-k)!} P_0,$$

де

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu}; \quad P_0 = \left[\sum_{k=0}^n \frac{m! a^k}{k!(m-k)!} + \sum_{k=n+1}^m \frac{m! a^k}{n^{k-n} n!(m-k)!} \right]^{-1};$$

m – кількість кранів, що обслуговуються.

Ураховуючи, що число справних кранів у середньому повинно бути не менше заданого m_3 , отримуємо, що з урахуванням ремонтів кранів загальна їх кількість m дорівнює

$$m = m_3 \left(1 + \frac{M}{m_3} \right).$$

Вартість кранів

$$C_{\bar{o}} = C_B m = C_B m_3 \left(1 + \frac{M}{m_3} \right).$$

Вартість ремонтних ділянок визначається за формулою, що наведена вище, і сумарна вартість (ділянок і кранів) – за формулою

$$C_{\Sigma} = C_B m + k_{c.m} n.$$

При $M = f(m, n, a)$, причому a задано, завдання зводиться до знаходження такої пари m і n , при якій дотримується умова для m і C_{Σ} досягатиме мінімуму.

Практично задачу доводиться розв'язувати шляхом підбору відповідних значень m і n в такому порядку:

- задаємося $n = l$;

При характеристиках потоку заявок і часу обслуговування, зазначених вище, отримуємо середнє число кранів, що ремонтуються і які очікують ремонту:

- задаємося $m_1 = m_3 + 1$, обчислюємо P_0 , M і перевіряємо виконання умови для m ;

- залежно від результатів розрахунків задаємося новим значенням m ;

- розрахунок ведемо до тих пір, поки не підберемо відповідне значення m ;

- обчислюємо при цих m і n ;

- повторюємо весь цикл при новому n , збільшеному на одиницю, і т.д.;

- визначаємо таке n і відповідне йому m , при яких C_{Σ} мінімальне.

Алгоритм реалізований на ПЕОМ і наведений на рис. 1.

За даною структурною схемою розроблена програма і проведені розрахунки параметрів ремонтної бази.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Пошук оптимальної пропускної спроможності системи ремонту залізничних кранів в умовах простішого потоку заявок і потоку обслуговувань можна звести до системи масового обслуговування з необмеженою чергою.

За визначених умов пошук оптимального рішення передбачає визначення загальної кількості кранів для ремонту, врахування їх собівартості і собівартості обладнання ремонтного господарства.

Моделювання кількості кранів на обслуговування і кількості ремонтних ділянок дає змогу отримати приведені витрати, що характеризують оптимальний діапазон співвідношень цих параметрів.

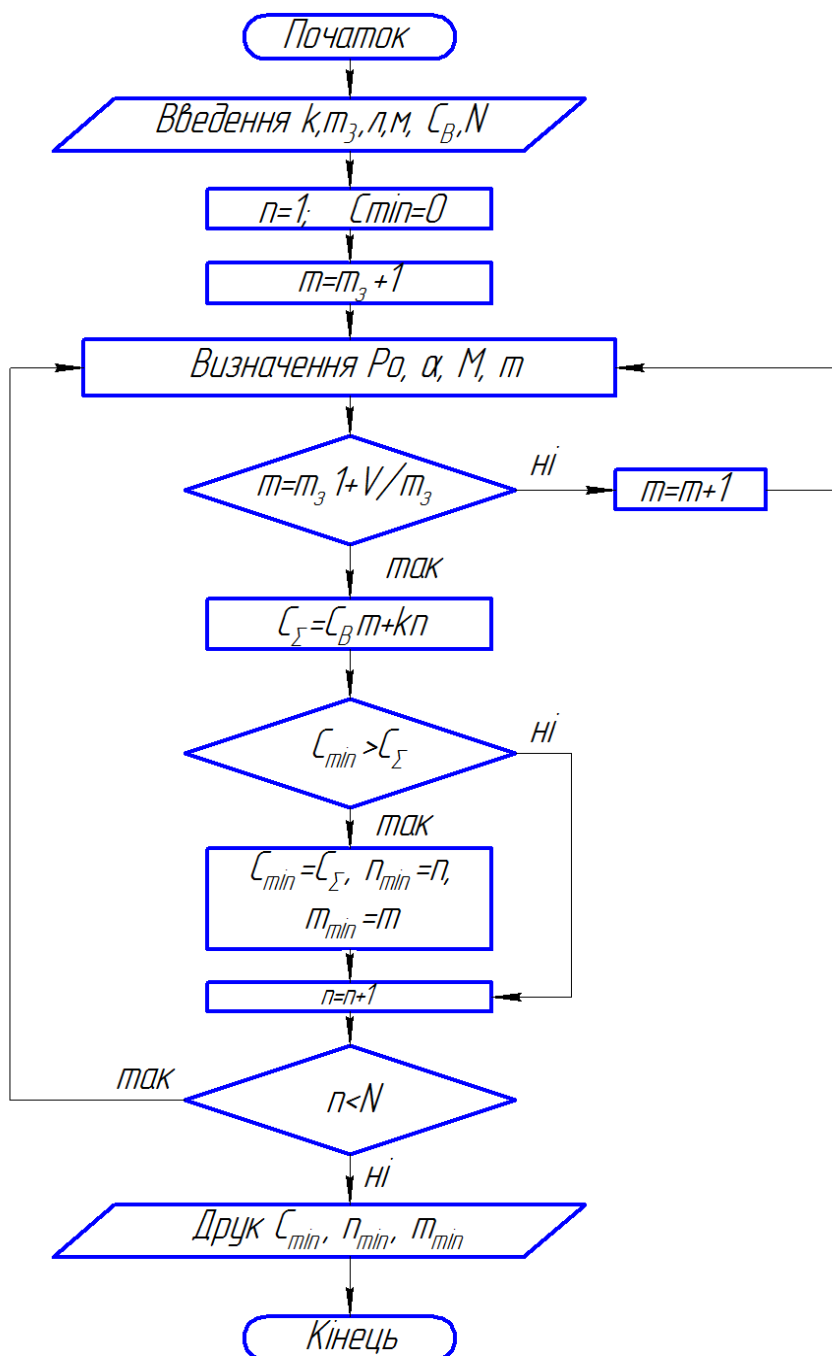


Рис. 1. Структурна схема визначення оптимальної кількості ремонтних позицій

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2008. – 182 с.
2. Тенденции в изготовлении, техническом обслуживании и ремонте подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2000. – №1.
3. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
4. Исаев, И.П. Проблема повышения надежности технических устройств железнодорожного транспорта [Текст] / И.П. Исаев. – М.: Транспорт, 1968. – 160 с.

5. Четвергов, В.А. Надежность локомотивов [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Четвергова. – М.: Транспорт, 2003. – 415 с.
6. Вентцель, Е.С. Введение в исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1964.
7. Капур, К. Надежность и проектирование систем [Текст] / К. Капур, Л. Ламберсон; под ред. И.А. Ушакова; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
8. Абезгауз, Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам [Текст] / Г.Г. Абезгауз [и др.]. – М., 1966.
9. Барзилович, Е.Ю. Выбор запасного комплекта для обеспечения оптимальной стратегии технического обслуживания [Текст] / Е.Ю. Барзилович [и др.]. – М., 1975.
10. Барзилович, Е.Ю. Выбор запасного комплекта для обеспечения оптимальной стратегии технической эксплуатации [Текст] / Е.Ю. Барзилович, В.И. Иванов, Э.Н. Степанов [и др.]. – М., 1975.
11. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 550 с.
12. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с. (Физико-математическая библиотека инженера. Вып. 106).
13. Овчаров, Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л.А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
14. Druce P.C. The cost of operating farm machinery. Power Farming in Australia & New Zeal, 1951, Dec.
15. Kalbfleisch Wm. Cost of operating farm machinery. Agricultural Department of Canada, 1950.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Миклашук М.О., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: miklashuk_max@mail.ru.

Krashenin Oлександр, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Myklaschuk M.O., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: miklashuk_max@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 623.4.083

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Д-р техн. наук О.С. Крашенінін, магістри І.В. Бринський, М.М. Пупій

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТОКОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д-р техн. наук А.С. Крашенинин, магистры И.В. Брынский, М.М. Пупий

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF CURRENT COLLECTORS FOR HIGH-SPEED TRAFFIC

Doct. of techn. sciences O.S. Krashenin, master students I.V. Brunskyy, M.M. Pupyiy

Сучасний рухомий склад повинен мати високу надійність, оскільки забезпечує швидкісне переміщення вантажів і пасажирів. Це стосується всіх його складових деталей, вузлів і агрегатів, особливо тих, що забезпечують рух і є основою безпеки локомотива в цілому. Звідси виникає необхідність математичної оцінки надійності відповідальних вузлів електричного рухомого складу і, зокрема, струмоприймачів.

Стабільність струмознімання на залізницях залежить від багатьох факторів, у тому числі від характеристик контактної мережі і струмоприймача. Взаємодія контактної підвіски і струмоприймача є складним процесом, особливо при високих швидкостях. Для забезпечення безперервного якісного струмознімання контактна мережа і струмоприймач повинні мати високу надійність.

У разі відмови струмоприймача припиняється живлення рухомого складу електричною енергією. Це може призвести до тимчасових економічних або матеріальних витрат. Для того, щоб уникнути цього, необхідно точно визначати ресурс струмоприймача та його складових.

Ключові слова: швидкісний рухомий склад, надійність, струмоприймач.

Современный подвижной состав должен иметь высокую надежность, поскольку обеспечивает скоростное перемещение грузов и пассажиров. Это касается всех его составляющих деталей, узлов и агрегатов, особенно тех, которые обеспечивают движение и являются основой безопасности локомотива в целом. Отсюда возникает необходимость математической оценки надежности ответственных узлов электрического подвижного состава и, в частности, токоприемников.

Стабильность токосъема на железнодорожных дорогах зависит от многих факторов, в том числе от характеристик контактной сети и токоприемника. Взаимодействие контактной подвески и токоприемника является сложным процессом, особенно при высоких скоростях. Для обеспечения непрерывного качественного токосъема контактная сеть и токоприемник должны иметь высокую надежность.

В случае отказа токоприемника прекращается питание подвижного состава электрической энергией. Это может привести к временным экономическим или материальным затратам. Для того, чтобы избежать этого, необходимо точно определять ресурс токоприемника и его составляющих.

Ключевые слова: скоростной подвижной состав, надежность, токоприемник.

Modern rolling stock must have high reliability, as it provides high-speed movement of goods and passengers. This applies to all its constituent parts, components and assemblies, particularly those that provide traffic and security are the foundation of the locomotive as a whole. Since from here it is necessary to assess the reliability of mathematical responsible units of electric rolling stock and, in particular, current collectors.

The stability of the current collection at railway roads depends on many factors, including the characteristics of the pantograph and contact network. Interaction pantograph suspension and contact is a complex process, especially at high speeds. To ensure continuous quality current collection and Current contact network must have high reliability.

In case of refusal trolley stops rolling stock supply electricity. This can lead to temporary, economic or material costs. To avoid this, specify resource pantograph and yohoskladovyh.

Keywords: high-speed rolling stock reliability, current collectors.

Вступ. За останні роки у світі набув розвитку швидкісний рухомий склад, що дало змогу залізницям успішно конкурувати з іншими видами транспорту. Досвід роботи цього швидкісного рухомого складу показав його високу надійність і ефективність. Тому для України розвиток швидкісного рухомого складу набуває актуальності.

Надійність є одним із найважливіших показників деталей та пристроїв сучасної техніки. Від неї залежать такі характеристики, як якість, ефективність, безвідмовність, ризик, готовність, живучість. Щоб забезпечити ці

характеристики, необхідно точно визначити ресурс струмоприймача і його вузлів.

У статті розглядається методика визначення надійності струмоприймачів методом теорії надійності.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Рухомий склад залізниць України потребує оновлення, але заміна його закордонним рухомим складом без урахування особливостей і інтенсивності навантажень не завжди виправдана. Тому в нашій країні науковцями проведений значний

обсяг досліджень з точки зору створення нового обладнання, що за своїми показниками не поступається закордонним зразкам.

Укрзалізниця розробила ряд положень і програм, що направлені на оновлення рухомого складу. У свою чергу це потребує вирішення завдань обґрунтування надійності роботи вузлів і агрегатів рухомого складу в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню і розробленню принципів проектування й оцінки надійності конструкцій рухомого складу присвячені роботи Тартаковського Е.Д., Мороза В.І., Пузиря В.Г., Бабаніна О.Б. та інших учених.

Кафедри ЕРРС та МПМ УкрДУЗТ запропонували ряд нових конструкцій обладнання локомотивів і провели роботи з наукового обґрунтування надійних механізмів.

Визначення мети та аналіз дослідження. Метою дослідження є розроблення методики визначення надійності струмоприймачів тягового рухомого складу і математична оцінка надійності струмоприймачів для швидкісного рухомого складу.

Основна частина дослідження. Розглянемо підхід до оцінки надійності конструкції струмоприймача, який являє собою асиметричний пантограф, що призначений для установлення на електровози деяких серій. Найбільша допустима швидкість згідно з

технічними вимогами, що забезпечує струмоприймач, 160 км/год.

Для розрахунку показників надійності подано структурну схему струмоприймача в загальному вигляді (рис. 1).

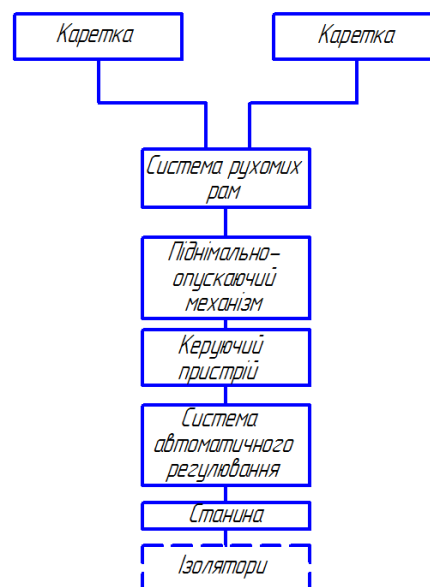


Рис. 1. Структурна схема струмоприймача

З точки зору розрахунку надійності для послідовного з'єднання ймовірності безвідмовної роботи струмоприймача визначаємо за формулою [1-3]:

$$P_{тк}(t) = P(t)_{кар} \cdot P(t)_{срр} \cdot P(t)_{ном} \cdot P(t)_{стан} \cdot P(t)_{ізол} \cdot P(t)_{к.п} \cdot P(t)_{сар}, \quad (1)$$

де t – час роботи струмоприймача в експлуатації;

$P_{тк}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи струмоприймача;

$P(t)_{кар}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «каретка»;

$P(t)_{срр}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «система рухомих рам»;

$P(t)_{ном}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «підіймально-опускаючий механізм»;

$P(t)_{к.п}$ – імовірність безвідмовної роботи керуючих пристроїв;

$P(t)_{стан}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «станина»;

$P(t)_{сар}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «система автоматичного регулювання»;

$P(t)_{ізол}$ – імовірність безвідмовної роботи ізолятора.

Кожна підсистема системи має свої внутрішні особливості, де зв'язки елементів можуть бути записані як паралельне і послідовне з'єднання [2,3]. Для прикладу розглянемо розрахунок надійності каретки, структурна схема якої наведена на рис. 2.

Інтенсивність відмов елементів каретки наведена в табл. 1 [1].

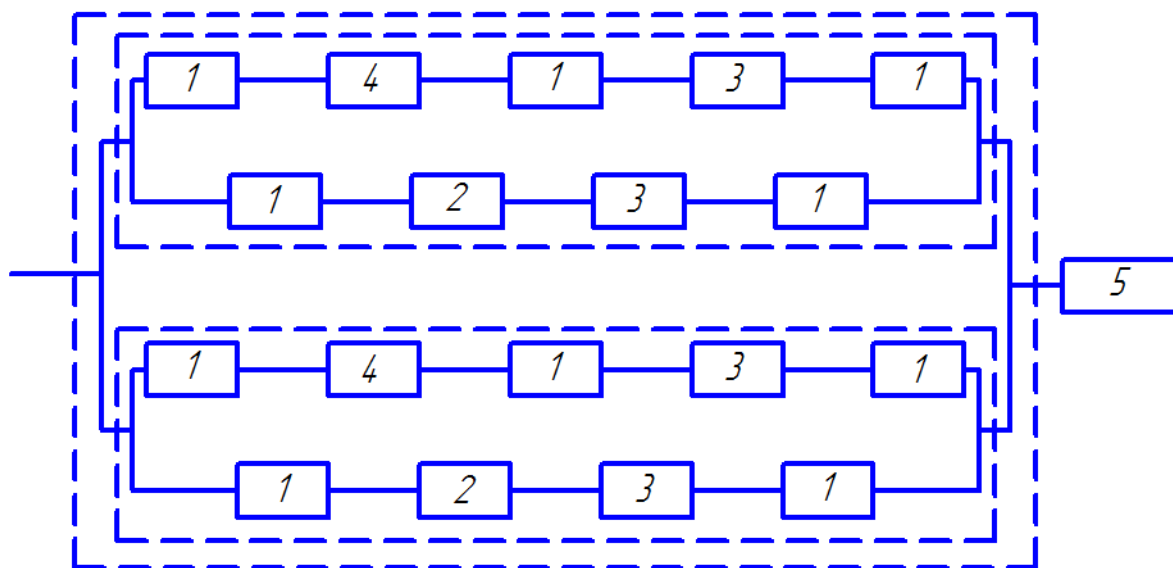


Рис. 2. Структурна схема каретки струмоприймача:
1 – вал; 2 – верхній стрижень каретки; 3 – нижній стрижень каретки;
4 – пружина; 5 – корпус

Таблиця 1

Інтенсивності відмов елементів каретки

Елемент	Інтенсивність відмов λ_i , 10^{-6} 1/год
Вал	0,020
Корпус	0,005
Верхній стрижень каретки	0,004
Нижній стрижень каретки	0,004
Пружина	0,012

Імовірність безвідмовної роботи всіх елементів можна розрахувати за формулою для раптових відмов:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2)$$

де λ – інтенсивність відмов, 10^{-6} 1/год.

Для урахування впливу динаміки рухомого складу і кліматичних впливів вводимо у формулу (2) коефіцієнти k_d і k_T . Для всіх систем приймаємо коефіцієнт впливу динаміки рухомого складу $k_d = 1,54$ і коефіцієнт кліматичних впливів $k_T = 2$ [4-6].

Тоді уточнена формула має вигляд:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t \cdot k_d \cdot k_m}. \quad (3)$$

Ймовірність безвідмовної роботи корпусу:

$$P_{кор}(t) = e^{-0,005 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot 1,54 \cdot 2} = e^{-0,0154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

Далі розрахуємо послідовне з'єднання елементів: вал – верхній стрижень – нижній стрижень – вал за формулою

$$P_1(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{в.с.к}(t) \cdot P_{н.с.к}(t) \cdot P_{вал}(t), \quad (4)$$

де $P_{вал}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи вала;

$P_{в.с.к}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи верхнього стрижня каретки;

$P_{н.с.к}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи нижнього стрижня каретки.

Відповідно ймовірність безвідмовної роботи вала:

$$P_{вал}(t) = e^{-0,020 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,733 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи верхнього стрижня каретки:

$$P_{в.с.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,0123 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи нижнього стрижня каретки:

$$P_{н.с.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,0123 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Після отримання проміжних результатів можна розрахувати $P_1(t)$:

$$P_1(t) = e^{-(0,20+0,04+0,04+0,20) \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot t} = e^{-0,48 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-1,478 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Розрахунок другої групи послідовно з'єднаних елементів: вал – пружина – вал – нижній стрижень каретки – вал виконаємо за формулою

$$P_2(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{пр}(t) \cdot P_{вал}(t) \cdot P_{н.с.к}(t) \cdot P_{вал}(t), \quad (5)$$

де $P_{пр}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи пружини;

$$P_{пр}(t) = e^{-0,012 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

$$P_2(t) = e^{-(0,20+0,012+0,20+0,01+0,20) \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot t} = e^{-0,492 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

Ймовірність безвідмовної роботи двох паралельних гілок: вал – верхній стрижень каретки – нижній стрижень каретки – вал і вал – пружина – вал – нижній стрижень каретки – вал становить

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)), \quad (7)$$

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - (1 - e^{-1,457 \cdot 10^{-6} \cdot t}) (1 - e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t}) = e^{-1,457 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,993 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Так як каретка має симетричну побудову, ймовірність безвідмовної роботи для двох паралельних гілок $P_{(1-2)}(t)$ розраховуємо як

$$P_{(1-2)II}(t) = 1 - (1 - P_{(1-2)}(t))^2.$$

Ймовірність безвідмовної роботи каретки з уразуванням корпусу розраховуємо за формулою

$$P_{кар}(t) = P_{кар}(t) \cdot P_{(1-2)II}(t),$$

$$P_{кар}(t) = e^{-1,4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,958 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Оскільки в конструкції струмоприймача передбачено дві каретки, розрахунок виконується, враховуючи паралельні з'єднання:

$$1 - \left[1 - (e^{-1,4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,958 \cdot 10^{-6} \cdot t}) \right]^2.$$

Так само розраховані показники надійності для всіх інших елементів та підсистем струмоприймача. У табл. 2 і 3 за

даними робіт [4, 7-10] наведені інтенсивності відмов елементів струмоприймача.

Таблиця 2

Розрахунок параметрів елементів струмоприймача

Елемент	Інтенсивність відмов, $\lambda_i, 10^{-6}$ 1/год
Вставка	1,110
Накладка	0,001
Каркас	0,025
Шунт	2,200
Вал	0,020
Підшипник	0,875
Гумово-кордовий елемент	9,000
Демпфер	0,030
Стрижень	0,004
Пружина	0,012
Корпус	0,005
Ланцюгова передача	2,175
Повітряний фільтр	0,200
Пневматичний регулятор	2,100
Електропневматичний клапан	0,900
Пневматичний дросель	0,800
Датчик швидкості	0,400
Датчик іскріння	0,100
Блок керування	0,800
Станина	0,005
Ізолятор	0,050

Відповідно до даних табл. 2 елементами, що мають найменшу надійність, є гумово-кордовий елемент, ланцюгова передача та пневматичний регулятор. Також при експлуатації струмоприймача цим елементам необхідно приділяти підвищену увагу [4].

За даними табл. 3 побудований графік імовірності безвідмовної роботи струмоприймача. Функція надійності струмоприймача наведена на рис. 3.

Таблиця 3

Розрахункові параметри підсистеми струмоприймача

Підсистема	Імовірність безвідмовної роботи T, год
Каретка	$1 - \left[1 - \left(e^{-1.4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1.53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2.958 \cdot 10^{-6} \cdot t} \right) \right]^2$
Система рухомих рам	$e^{-13.26 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-40.84 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Підіймально-опускаючий механізм	$e^{-4.496 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-13.847 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Керуючий пристрій	$e^{-2.2 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-6.776 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Система автоматичного регулювання	$e^{-0.8 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-2.464 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Станина	$e^{-0.005 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-0.0154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Ізолятори	$e^{-0.050 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-0.154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$

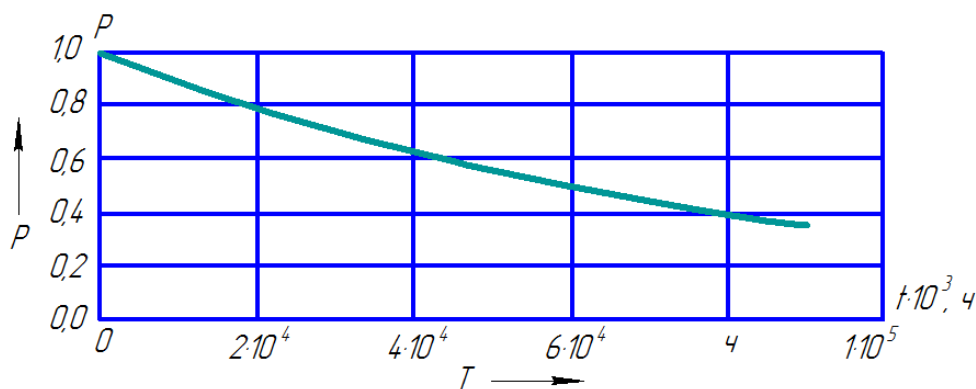


Рис. 3. Зміни ймовірності безвідмовної роботи струмоприймача

Висновки. Як видно з графічної залежності, при середньому напруженні на відмову струмоприймача 10000 год імовірність безвідмовної роботи струмоприймача складає 90 %, що відповідає технічним вимогам, які ставляться до струмоприймача.

Елементами, які мають найменший час напруження на відмову при ймовірності безвідмовної роботи 90 %, є: гумово-кордовий елемент, ланцюгова передача і пневматичний регулятор.

Список використаних джерел

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с. (Физико-математическая библиотека инженера; вып. 106).
2. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
3. Овчаров, Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л.А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
4. Сидоров, О.А. Оценка влияния диссипативных характеристик амортизаторов на работу устройств токосъема [Текст] / О.А. Сидоров, В.В. Томилов, А.В. Беккер // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации контактных подвесок и токоприемников электрического транспорта / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2011. – 237 с.
5. Абдурахманов, П. Анализ изменения коэффициентов равнопрочности и стабильности регулировок ходового механизма трактора ДТ-54 в зависимости от срока службы [Текст] / П. Абдурахманов // Труды ГОСНИТИ. – М., 1963. – Т. 2.
6. Справочник по вероятностным расчетам [Текст] / Г.Г. Абезгауз [и др.]. – М., 1966.
7. Алгоритм построения эквивалентной нормальной формы [Текст] / М.Н. Василенко, А.А. Прокофьев, В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 10. – С. 168-174.
8. Сапожников, Вл.В. Контроль линейных комбинационных схем [Текст] / Вл.В. Сапожников // Кибернетика. – 1979. – № 3. – С. 44-47.
9. Щербаков, Н.С. Структурная теория аппаратного контроля цифровых автоматов [Текст] / Н.С. Щербаков, Б.П. Подкопаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
10. Johnson B.W. Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems. – Massachusetts.: Addison-Wesley, 1989. – P.584.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор, кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
 Бринський І.В., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.
 Пупій М.М., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Krashenin Olexsandr, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.

Brunskuy I. V., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport.

Pupiy M. M., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.

УДК 623.4.083

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО МОДЕРНІЗАЦІЇ

Магістр А.А. Поротікова, д-р техн. наук О.С. Крашенінін

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЁТОМ ЕГО МОДЕРНИЗАЦИИ

Магистр А.А. Поротикова, д-р техн. наук А.С. Крашенинин

LIFE-CYCLE ASSESSMENT TRACTION ROLLING MODERNIZATION WITH

Master student A. Porotikova, doct. of techn. sciences A. Krashenin

Аналіз життєвого циклу ТРС при його модернізації показує необхідність обґрунтування часу виконання заходів на етапах до піку його економічної ефективності або коли йде активний спад економічної ефективності роботи ТРС.

Ключові слова: життєвий цикл, старіння ТРС, моральний та фізичний знос, модернізація, економічна ефективність.

Анализ жизненного цикла ТПС при его модернизации показывает необходимость обоснования времени выполнения мероприятий на этапах к пику его экономической эффективности или когда идет активный спад экономической эффективности работы ТРС.

Ключевые слова: жизненный цикл, старение ТРС, моральный и физический износ, модернизация, экономическая эффективность.

Any traction rolling stock grow old, amenable to moral and physical deterioration, during operation loses its original parameters, does not meet the requirements of scientific and technical progress. All this leads to increased complexity of repairs, and an increase in the cost of the life cycle. The analysis of life cycle of hauling rolling stock during his modernisation shows the necessity of ground of time of implementation of events on the stages to the peak of his economic efficiency or, when the active slump of economic efficiency of work of hauling rolling stock.

Keywords: life cycle, aging traction rolling stock, moral and physical wear and tear, modernization, economic efficiency.

Вступ. На сьогодні середній знос парку тепловозів Укрзалізниці складає 97 %. За даними Укрзалізниці більша частина тягового рухомого складу потребує на 40-60 % збільшення витрат на ремонти. Крім того, наявні локомотиви не дають змоги збільшити швидкість руху поїздів. Одним з рішень у цій

ситуації є як обґрунтування обсягів ремонту ТРС для подовження терміну експлуатації або будівництво нових локомотивів та модернізація існуючих [1].

У зв'язку зі зростанням цін на паливно-енергетичні ресурси усе більш актуальним завданням стає їх економія та раціональне

використання. У цих умовах зниження енергоспоживання транспортними засобами є однією з найважливіших передумов щодо модернізації існуючих локомотивів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема утримання локомотивного парку Укрзалізниці в умовах його старіння є дуже актуальною. У зв'язку зі стрімким розвитком науково-технічного прогресу та відсутністю великих капітальних вкладень неможливо оновити весь діючий локомотивний парк. Через фізичний і моральний знос локомотивів збільшуються трудомісткість виконання ремонтних робіт, кількість відмов і позапланових ремонтів, що у свою чергу збільшує експлуатаційні витрати і, як наслідок, вартість життєвого циклу. Модернізація існуючого локомотивного парку може проводитися на різних етапах експлуатації, але її економічна ефективність і доцільність будуть різними. Необхідно визначати на якому саме етапі слід провести модернізацію локомотива та як після неї зміниться економічна ефективність локомотива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень УкрДУЗТ та ДНДЦ УЗ щодо визначення вартості життєвого циклу ТРС з урахуванням особливостей залізниць України [2] та матеріали досліджень з розрахунку вартості життєвого циклу тепловоза в умовах експлуатації на деяких залізницях [3] показують залежність збільшення ціни вартості експлуатаційних витрат (морального зносу [4] на показники економічної ефективності [5]).

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення вартості життєвого циклу локомотивів з урахуванням модернізації, визначення економічної ефективності від модернізації та аналіз зміни економічної ефективності від модернізації на різних етапах експлуатації.

Основна частина дослідження. Існують різні шляхи проведення модернізації тепловозів залежно від мети та обсягів робіт при модернізації. Практика показує, що можна визначити такі напрямки модернізації:

- ремоторизація із заміною тільки силових установок;
- комплексна модернізація із заміною силових установок та допоміжного обладнання;

- комплексна модернізація без заміни силових установок.

Основні цілі проведення модернізації тепловозів такі:

- подовження терміну служби;
- зниження експлуатаційних витрат, у т.ч. на паливе;
- зменшення викидів шкідливих речовин;
- забезпечення надійності;
- підвищення продуктивності;
- підвищення рівня комфорту для локомотивних бригад.

Основний принцип модернізації полягає в тому, що модернізації підлягають тепловози, механічна частина (екіпаж, рама) яких має задовільний стан [6].

Модернізація маневрових тепловозів повинна виконуватися таким чином, щоб при збереженні потужності енергосилової установки зменшувались витрати палива на режимах холостого ходу та на режимах малих навантажень. Таким чином, енергосилова установка (ЕУ) тепловозів, що модернізується, повинна бути адаптованою до тягових навантажень.

Світовий досвід свідчить, що більш адаптованими в цьому сенсі є багатодизельні енергосилові установки з накопичувачами енергії (механічної, електричної, електромагнітної) або без накопичувачів [7].

Метою створення тепловозів з багатодизельною силовою установкою є підвищення паливної економічності, зниження шкідливих викидів в атмосферу, поліпшення умов праці локомотивних бригад [8]. Необхідність реконструкції тепловозів обумовлена виробленням терміну служби, а також бажанням по можливості знизити витрати палива. Модернізація тепловозів дає змогу подовжити термін їх служби, знизити експлуатаційні витрати на 35-40 % за рахунок зменшення відрахувань на паливе, мастило і ремонт. Крім того, у відповідність до екологічних вимог будуть приведені обсяги шкідливих викидів в атмосферу, поліпшаться умови праці локомотивних бригад [9].

Використовуючи досвід Німецької залізниці з модернізації тепловозів 232 серії (аналог 2TE116), можливо зменшити кількість ремонтів, збільшити міжремонтні терміни пробігу, зменшити трудомісткість виконання

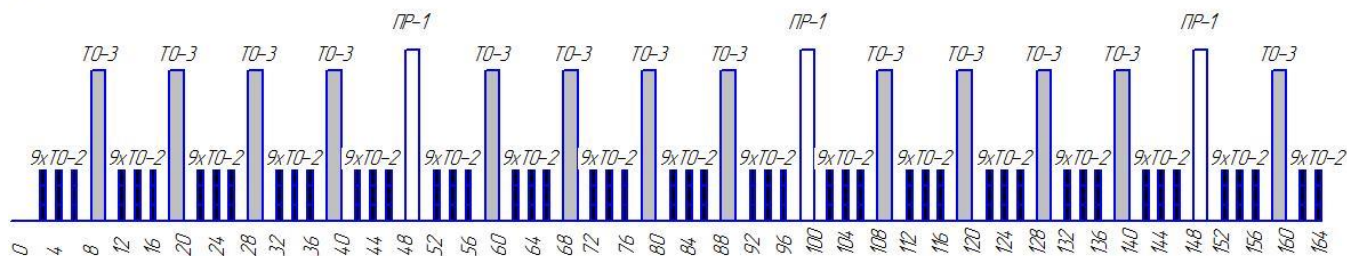
робіт при технічному огляді та поточних ремонтах.

На рис. 1 наведено схематичне порівняння циклів ТО і ПР тепловозів 2ТЕ116 та тепловоза серії 232. Два верхніх графіки показують цикл ТО і ПР для 2ТЕ116 і німецького тепловоза 232 від 0 до 180 тис. км відповідно. Дві нижніх графіки охоплюють у зменшеному масштабі пробіг від 0 до 800 тис. км, тобто пробіг до проведення капітального ремонту (ТО-2 і ТО-3 на них не показані). За «щільністю» відміток над віссю, що представляють різні види ТО і ПР, можна судити про різницю в частоті виконання робіт і відповідних заходів тепловозів у депо. Якщо

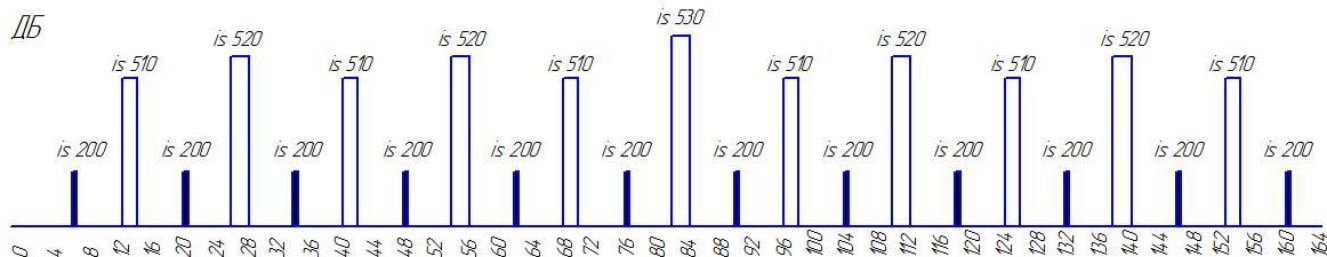
врахувати, що в кінці 1980-х рр. для тепловозів ДБ 232 використовувалася циклічність, багато в чому схожа на циклічність для 2ТЕ116 Укрзалізниці, можна орієнтуватися на досягнення щодо оптимізації ТО, ПР за рахунок поступових цілеспрямованих удосконалень та модернізації вузлів і систем тепловозів Німецької залізниці.

Зазвичай при вирішенні питання про ефективність модернізації старої техніки, повинні бути зіставлені показники за трьома варіантами: за ремонтом старої техніки, модернізацією і заміною старої техніки новою. За трьома названими варіантами повинні бути зіставлені показники, наведені в таблиці.

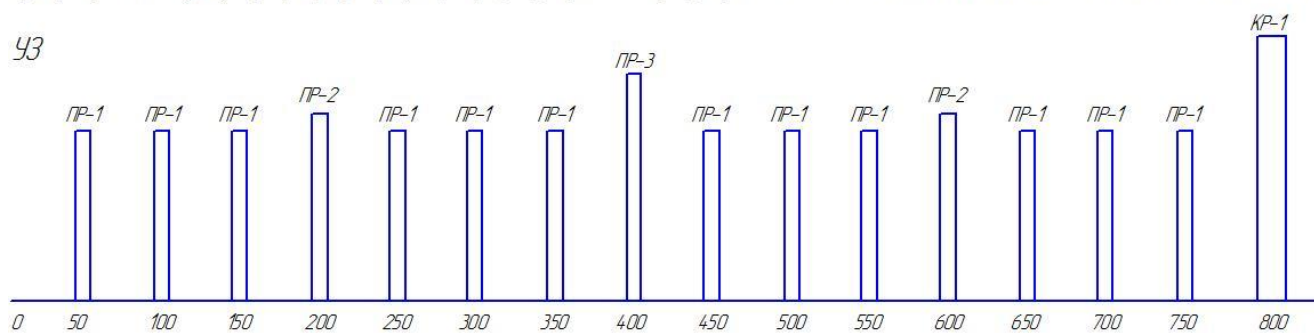
УЗ



ДБ



УЗ



ДБ

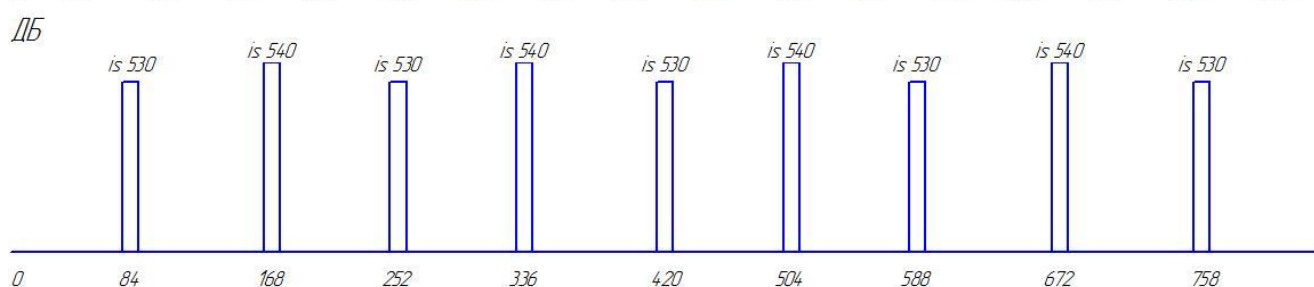


Рис. 1. Порівняння циклів ТО,ПР тепловозів 2ТЕ116 та ДБ 232

Таблиця

Показники за порівнюваними варіантами

Показники	Варіанти		
	Ремонт старої техніки	Модернізація старої техніки	Заміна старої техніки новою
Нові капітальні вкладення, грн	R_c	K_m	K_n
Річна продуктивність, од./р.	q_c	q_m	q_n
Собівартість одиниці продукції, що отримується за допомогою цієї техніки, грн/од.	c_c	c_m	c_n

Якщо $\frac{R_c}{q_c} > \frac{K_m}{q_m}$ і $c_c > c_m$, то модернізація старої техніки є економічно високо-ефективною. Якщо $\frac{K_n}{q_n} < \frac{K_m}{q_m}$ і $c_n < c_m$, заміна старої техніки новітньою є економічно високоефективною, оскільки дає змогу отримати економію як на капітальних вкладеннях, так і на експлуатаційних витратах [4].

Протягом нормативного терміну служби ТРС надійність локомотива зменшується, збільшується кількість відмов і, як наслідок, збільшується кількість технічних оглядів та поточних ремонтів, що у свою чергу збільшує вартість життєвого циклу локомотива. На етапі, коли дохід досягає максимуму та починає зменшуватися і збільшуються експлуатаційні витрати, доцільно провести модернізацію ТРС для досягнення економічної ефективності.

Необхідність модернізації виникає ще й через невідповідність технічних показників та характеристик локомотивів їх початковим показникам.

Модернізація потребує додаткових капітальних вкладень, але покращує характеристики ТРС і зменшує витрати на ремонти та технічне обслуговування.

Розглянемо варіант, коли маневровому тепловозу ЧМЕЗ проведено глибоку модернізацію, за результатами якої ЧМЕЗ був обладнаний двома дизельними установками.

Модернізацію доцільно проводити до того моменту, коли крива доходу $B(t)$ досягає максимуму у той період експлуатації, коли починає збільшуватися трудомісткість виконання технічних оглядів та поточних

ремонтів. Графік зміни економічної ефективності буде мати вигляд як на рис. 2.

При глибокій модернізації енергосилової установки маневрового тепловоза ЧМЕЗ на тридизельну енергосилову установку доцільним є проведення її після того моменту, коли крива доходу $B(t)$ досягне максимуму і дохід почне зменшуватися за рахунок збільшення експлуатаційних витрат та збільшення трудомісткості виконання технічних оглядів та поточних ремонтів. Графік зміни економічної ефективності буде мати вигляд як на рис. 3.

Для визначення економічної ефективності ТРС у часі розраховані експлуатаційні витрати за термін експлуатації локомотивів. Експлуатаційні витрати розраховувалися за методиками УкрДУЗТ-ДНДЦ УЗ щодо визначення вартості життєвого циклу ТРС з урахуванням особливостей залізниць України [2,10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В умовах необхідності оновлення тягового рухомого складу Укрзалізниці і неможливості залучання великих капітальних вкладень на закупівлю нового рухомого складу актуальним завданням постає завдання проведення його модернізації.

Для підвищення ефективності проведення модернізації й отримання економічного ефекту від неї необхідно проводити дослідження щодо з'ясування оптимального часу її проведення з урахуванням витрат за життєвий цикл.

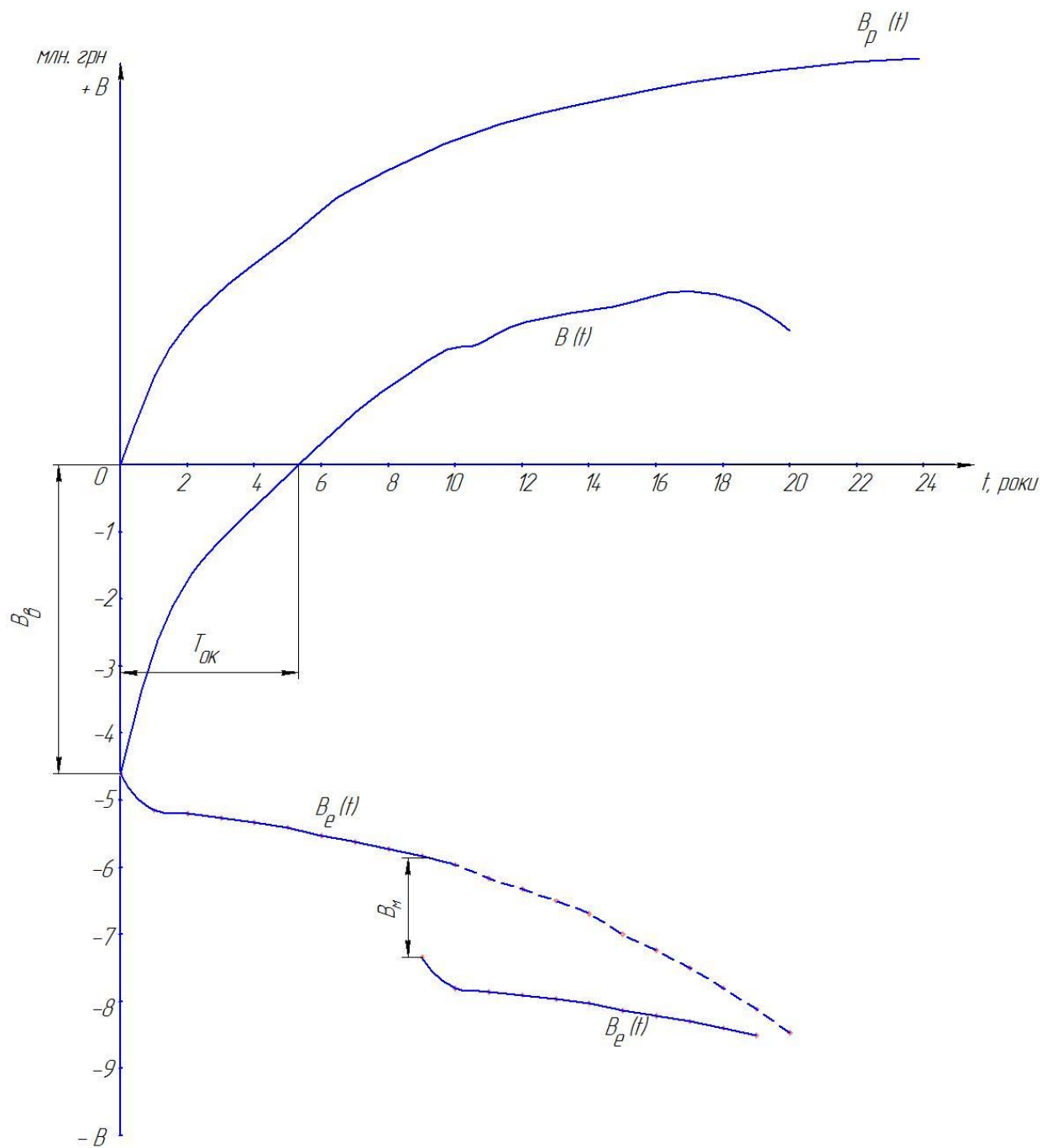
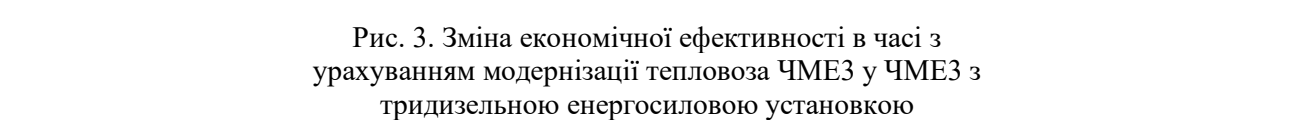


Рис. 2. Зміна економічної ефективності в часі з урахуванням модернізації тепловоза ЧМЕЗ у ЧМЕЗ з дводизельною енергосиловою установкою



-

4. Консон, А.С. Экономика ремонта машин [Текст] / А.С. Консон – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1970. – 216 стр.
5. Канарчук, В.Є. Надійність машин [Текст]: підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.
6. Рябко, К.О. Аналіз шляхів модернізації тепловозів [Текст] // К.О. Рябко // Локомотив-інформ. – 2014. – №7. – С. 55-59.
7. Створення модернізованого тепловоза ЧМЕЗМ із дводизельною енергетичною установкою та накопичувачем електроенергії для залізниць України [Текст] / В.М. Самсонкін, М.В. Панасенко, О.М. Гончаров [та ін.] // Локомотив-інформ. – 2013. – №11. – С. 12-15.
8. Тишаєв, А.С. Трьохдизельний локомотив ЧМЕЗ еко з турботою про майбутнє [Текст] / А.С. Тишаєв, А.Ю. Зайцев // Техніка залізниць. – 2011. – № 4 (16). – С. 43-45.
9. Особенности ЭКО тепловозов [Электронный ресурс]: информация. – Режим доступа: URL: <http://scbist.com/zhurnal-lokomotiv/16006-nacionalnye-osobennosti-ekoteplovozov.html>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 20.08.2015).
10. Просви́ров, Ю.Е. Расчет стоимости жизненного цикла тепловоза в условиях эксплуатации на Куйбышевской ж.д. [Текст] / Ю.Е. Просви́ров // Тез.докл. Всероссийской науч.-практ. конф. – СПб.: ПГУПС, 1990. – С. 74-77.

Поротікова Анна Анатоліївна, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: porotikova91@mail.ru.

Крашенінін Олександр Семенович д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: glelan@mail.ru.

Porotikova Anna Anatolievna, listeners Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: porotikova91@mail.ru.

Krasheninina Oleksandr Semenovich, doct. of techn. sciences, professor department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: glelan@mail.ru.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 621.642.6

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ КРІОБЛАСТИНГУ У ПРОЦЕСІ РЕМОНТУ ТРС

Канд. техн. наук Н.Д. Чигирик, магістрант О.М. Чвала

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ КРИОБЛАСТИНГА В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА ТРС

Канд. техн. наук Н.Д. Чигирик, магистрант А.Н. Чвала

THE PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION OF THE CRYOGENIC BLASTING IN REPAIR OF RAILWAY ROLLING STOCK

Cand. of techn. sciences, assistant professor N.D. Chygyryk, undergraduate A.Chvala

У статті проведено аналіз існуючих методів та способів очищення деталей та механізмів, що на даний час використовуються на залізничному транспорті. Запропоновано впровадження нової сучасної ресурсозберігаючої технології – очищення вузлів та деталей тягового рухомого складу за допомогою гранул сухого льоду, яка може бути використана в локомотивному депо. Описано принцип дії та переваги використання кріобластингу.

Ключові слова: забруднення поверхонь, очищення деталей, методи очищення, кріогенний бластинг, гранули сухого льоду, безабразивне очищення.

В статье проведен анализ существующих методов и способов очистки деталей и механизмов, используемых в настоящее время на железнодорожном транспорте. Предложено внедрение новой современной ресурсосберегающей технологии очистки узлов и деталей тягового подвижного состава с помощью гранул сухого льда, которая может применяться в локомотивном депо. Описаны принцип действия и преимущества применения криобластинга.

Ключевые слова:загрязнение поверхностей, очистка деталей, методы очистки, криогенный бластинг, гранулы сухого льда, безабразивная очистка.

The article analyzes the existing methods and techniques of cleaning parts and mechanisms that are currently used in railway transport. It's proposed the implementation of a new modern resource-saving technology in cleaning of units and parts of locomotives by means of dry ice pellets, which can be used in a railway rolling stockdepot. The operation principles and benefits of cryogenic blasting are described.

Keywords: contamination of surfaces, cleaning of details, cleaning methods cryogenic blasting, dry ice pellets, non-abrasive cleaning.

Вступ. В сучасних умовах проблема удосконалення технічних засобів і технології очищення при ремонті й експлуатації рухомого складу набуває особливої гостроти у зв'язку з дефіцитом робочої сили, необхідністю підвищення продуктивності праці, культури виробництва і якості ремонту. Підвищення вимог до охорони навколишнього середовища потребує скорочення використання нафтових розчинників, токсичних мийних засобів і об'єму шкідливих стоків.

Постановка проблеми. Наукові дослідження показали, що лише завдяки якісному очищенню складальних одиниць та деталей у процесі ремонту ресурс відремонтованих механізмів збільшується на 25-30 %, а продуктивність ремонтного персоналу — на 15-20 %. Тому проведення якісних очисних робіт перед виконанням того чи іншого виду ремонту локомотивів має досить вагоме значення.

Також не в останню чергу важливим є вирішення питань щодо покращення якості проведення очищення, так як методи очищення деталей та механізмів, що на даний час використовуються на залізничному транспорті, є трудомісткими та не достатньо ефективними.

Також досить гостро стоїть питання екологічності, адже для виконання традиційних технологій очищення використовуються мийні засоби на основі розчинів хімічних сполук, що при потраплянні в навколишнє середовище наносять значної шкоди природі та негативно впливають на працівників, зайнятих на даних видах робіт.

Усе це сприяє пошуку нових видів проведення очищення деталей та механізмів, які б відповідали сучасним вимогам з

екологічності, трудомісткості та ефективності використання.

Мета статті. Огляд технології очищення різного роду забруднень за допомогою гранул сухого льоду, так званого «криогенного бластингу», для очищення машин, механізмів та деталей тягового рухомого складу перед, під час та після проведення їх ремонту в умовах локомотивного депо. Доцільність застосування даного методу очищення на залізничному транспорті в цілому.

Основна частина досліджень. Процес очищення проводиться при тиску від 7 до 14 атм, розпиляючи гранули сухого льоду стисненим повітрям, як і в багатьох інших струменевих процесах. У залежності від забруднення яке необхідно видалити, вплив на поверхню може відбуватися таким чином: якщо потрібно видалити крихке забруднення, наприклад фарбу, такий процес утворює хвилю напруги стиснення між основою і покриттям за рахунок контрасту температур поверхні. Така хвиля має достатньо енергії для того, щоб подолати зчеплення, тобто адгезію із забрудненням та відірвати його від поверхні. Якщо необхідно видалити пластичне або в'язке покриття, наприклад мастило, тоді процес проходить як гідроабразивний. При потраплянні на поверхню гранули вибухають, створюючи при цьому високошвидкісний потік снігу, який змиває нашарування бруду з поверхні, немов струмінь води, але при цьому оброблювана поверхня залишається сухою та знежиреною.

При проведенні очищення даним методом (рис. 1) використовується розпилення гранулами сухого льоду, що розганяється потоками стисненого повітря. Подача

відбувається зі швидкістю, що перевищує 150 м/с. Зіткнення гранул з відкладеннями і локальними скупченнями бруду призводить до їх різкого охолодження (до -79°C). Унаслідок відмінностей температурних коефіцієнтів шару бруду, що став крихким, гранули, потрапляючи на поверхню, сублимуються, при цьому

утворюючи ефект «вибуху» на поверхні очищення, тобто миттєво переходячи з твердого стану в газоподібний. Утворені при цьому «бульбашки» вуглекислого газу в 400 разів перевершують за об'ємом розміри самих гранул, відривають частинки бруду від поверхні.

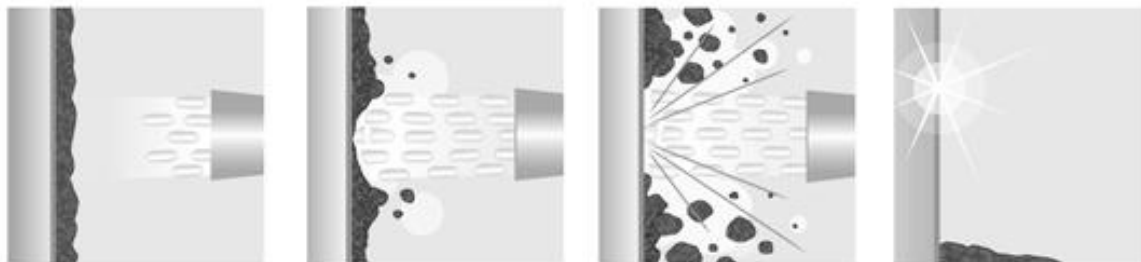


Рис. 1. Процес видалення забруднення за допомогою гранул сухого льоду

Сухий лід, використовуваний для очищення, просто випаровується. Таким чином, потрібно лише видалити відокремлений бруд за допомогою пилососа або шляхом його здування. При цьому поверхня залишається сухою і можна відразу ж відновити експлуатацію очищеного обладнання. Ще одна деталь: двоокис вуглецю, як у твердому, так і в газоподібному стані, має дуже малу електропровідність. Ось чому цей метод дає змогу проводити очищення елементів електрообладнання.

При використанні інших методів очищення в галузях промисловості доводиться стикатися з такою проблемою, як пошкодження поверхні, що очищається. На відміну від інших методів очищення цей метод відзначається тим, що гранули сухого льоду не є абразивним матеріалом, тобто не пошкоджують саму поверхню та не залишають вторинних відходів.

Приклад порівняння методів очищення наведений на рис. 2.

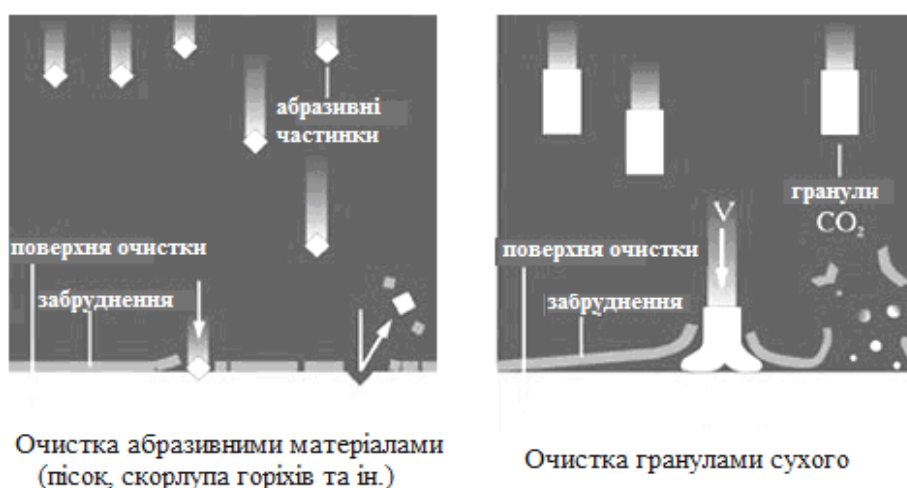


Рис. 2. Порівняння методів очищення

У теперішній час даний метод очищення, будучи сухим безвідходним процесом, все більш зміцнює свої позиції в численних галузях промисловості. Причинами цього стали технічні переваги та екологічність (CO₂), що використовується в процесі струменевого очищення.

Процес очищення відбувається в три етапи:

1) механічний: гранули сухого льоду видуваються струменем стисненого повітря і вдаряються об забруднення на високій швидкості, видаляючи їх;

2) термічний: за рахунок низької температури сухий лід робить забруднення більш крихкими, при цьому виникає так званий «термічний шок», сприяючи їх повному видаленню;

3) сублімація: швидке перетворення твердого сухого льоду в газ провокує вибух на поверхні, що видаляє залишки забруднень та іржі.

Перевагами застосування нового методу очищення за допомогою гранул сухого льоду є:

1) можливість проводити очистку без необхідності сушіння, що істотно знижує час та трудовитрати в технологічному процесі ремонту ТРС;

2) відсутність «вторинних» відходів. Очищення сухим льодом виключає появу «вторинних відходів», так як CO₂ швидко випаровується, знижуючи цим кількість проблем та витрат, які характерні для інших існуючих методів очищення;

3) особлива екологічна безпека даного методу очищення. Після очищення гранули сухого льоду зникають при контакті з

поверхнею, при цьому не залишаючи вторинних відходів.

Крім чистоти та безпеки використання сухого льоду, він є вторинним продуктом інших виробничих процесів, тобто він вироблений з відновленого CO₂;

4) можливість проводити очищення у важкодоступних місцях. Очищення за допомогою CO₂ більш ретельне та більш швидке, оскільки гранули проникають у важко доступні місця на відміну від інших методів;

5) можливість проводити очищення електрообладнання, так як після очищення не залишається вологого осаду;

6) можливість безабразивного очищення. Усуває можливість пошкодити поверхню об'єкта очищення, так як метод очищення сухим льодом не абразивний, тому на поверхні не утворюються вибоїни і не пошкоджується покриття;

7) збільшення рентабельності виробництва за рахунок скорочення часу простоїв у технологічному процесі очищення ТРС;

8) відсутність необхідності в розчинниках. Замість хімічних розчинників використовуються нешкідливі гранули сухого льоду;

9) значна економія робочого простору підприємства. Не потрібно виділяти окреме робоче місце для очищення. Установки для очищення за допомогою гранул сухого льоду є мобільними та переносними, тому їх можна швидко переміщати в будь-яке місце, де це необхідно.

Порівняльна характеристика існуючих методів очищення наведено в таблиці.

Таблиця

Порівняльна характеристика існуючих методів очищення

Метод очищення	Побічні дії	Електрична провідність	Абразивність	Токсичність	Ефективність
Сухий лід	Ні	Ні	Ні	Ні	Відмінно
Піскоструминна обробка	Так	Ні	Так	*	Добре
Содове очищення	Так	Ні	Так	*	Добре
Обробка водою	Так	Так	Ні	*	Задовільно
Розчинники, хімікати	Так	Так/ні	Ні	Так	Обмежена
Механізовані інструменти	Ні	Так/ні	Так	Так/ні	Обмежена
Ручні інструменти	Ні	Так/ні	Так	Так/ні	Обмежена
* Коли виконується очищення поверхонь від небезпечних речовин, традиційні очищувальні матеріали, які вступають з ними в контакт, забруднюються. Ці матеріали також класифікуються як токсичні відходи та потребують відповідної утилізації					

Впровадження в локомотивному депо методу очищення за допомогою гранул сухого льоду дає змогу проводити:

- очищення тягових електродвигунів;
- очищення візків та рам локомотивів перед проведенням ремонту;
- очищення колісних пар ТРС;
- очищення кузова перед фарбуванням;
- очищення електрообладнання та електричних машин;
- очищення турбокомпресора тепловоза;
- очищення охолоджувальних пристроїв тепловоза;
- очищення вузлів та деталей дизеля тепловоза.

Висновки. Запропонований метод очищення сухим льодом або «криогенний бластинг» (кріобластинг) є унікальним, оскільки дає змогу очистити, не залишаючи ніяких

слідів і додаткових відходів. Природне випаровування сухого льоду є одним з важливих переваг даної технології, так як використані гранули випаровуються на 100 %.

Дуже низька температура гранул сухого льоду (-79 °C) призводить до «термічного шоку» забруднюючого шару, від чого він «стискається» і легко видаляється з поверхні, не завдаючи шкоди поверхні матеріалу об'єкта очищення.

Таким чином, запропонований метод очищення тягового рухомого складу в процесі ремонту дає змогу найбільш ефективно видаляти різні види забруднень. Так як при криогенному бластингу не використовуються токсичні і пожежонебезпечні речовини він чинить найменший вплив на навколишнє середовище у порівнянні з іншими методами очищення та є екологічно безпечним.

Список використаних джерел

1. Правила технического обслуживания и текущего ремонта тепловозов типа ТЭЗ и ТЭ1 О/МПС [Текст]. – М.: Транспорт, 1988. – 256 с.
2. Караваев, И.И. Состав эксплуатационных загрязнений подвижного состава [Текст] / И.И. Караваев, Г.О. Голубкова, В.М. Лапшина // Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1992.
3. Маслов, Н.Н. Прогрессивные способы очистки деталей [Текст] / Н.Н. Маслов, В.И. Плутков. – Л.: 1971.
4. Козлов, Ю.С. Очистка изделий в машиностроении [Текст] / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, А.Ф. Тельнов. – М.: Машиностроение, 1982. – 261 с.
5. Каравев, И.И. Перспективы развития техники и технологии очистки подвижного состава [Текст] / И.И. Каравев, А.Г. Попов // Сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1992. – 80 с.
6. Коробко, В.И. Удаление прочносвязанных загрязнений поверхностей деталей [Текст] / В.И. Коробко, В.И. Семенов // Труды ГОСНИТИ. – 1995. – № 95. – С. 70-73.
7. Тельнов, Н.Ф. Очистка основа качества ремонта [Текст] / Н.Ф. Тельнов. – Техника в сельском хозяйстве. – 1980. – № 6.
8. Методика оценки технико-экономической эффективности внедрения ресурсосберегающих технологий и их влияния на сокращение эксплуатационных расходов [Текст] / МПС. – М.: Транспорт, 1998. – 36 с.
9. Бластинг: Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке [Текст]. — Екатеринбург: ООО ИД «Оригами», 2007. — 216 с.
10. <http://24smi.org/news/15291-ochistka-suhim-ldom-metodom-kriogennogo-blastinga-.html>.

Рецензент, д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту, Тел.: (057) 730-19-99.

Чвала Олександр, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 730-10-42.

Chygyryk Nataliya Dmitriivna, cand. of techn. sciences, dotsent department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. Тел.: (057) 730-19-99.

Chvala Alexander, listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport, a group of L- MR-B-14. Tel. (057) 730-10-42.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 629.488.519

НОВІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З МЕТОЮ ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДВАГОННОГО ГЕНЕРАТОРА З РЕДУКТОРНО-КАРДАННИМ ПРИВОДОМ

Канд. техн. наук Р.І. Візник, магістрант О.Є. Новіков

НОВЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ СОХРАННОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВАГОННОГО ГЕНЕРАТОРА С РЕДУКТОРНО-КАРДАННЫМ ПРИВОДОМ

Канд. техн. наук Р.И. Визник, магистрант А.Е. Новиков

NEW SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO SAFETY AND IMPROVE THE OPERATION OF THE UNDERCAR GENERATOR WITH A GEAR-DRIVE

Cand. of techn. sciences R.I. Visnyak, master student O.Y. Novikov

У статті розглядається питання застосування зарезонансного стенда для випробування карданних валів приводів підвагонних генераторів з метою забезпечення збереження і покращення їх показників у експлуатації.

Ключові слова: *привод підвагонного генератора, карданний вал, пасажирський вагон, стенд балансування зарезонансний.*

В статье рассматривается вопрос применения зарезонансного стенда для карданного вала привода подвагонного генератора с целью сохранения и улучшения его эксплуатации.

Ключевые слова: *привод подвагонного генератора, карданный вал, пассажирский вагон, стенд балансировки зарезонансный.*

The article discusses the use of unresonant stand for shaft generator drive passenger car with a view to the preservation and improvement of its operation.

Keywords: *gear-drive of undercar generator, cardan shaft, passenger car, balancing unresonant stand.*

Вступ. Стаття відноситься до галузі технології технічного обслуговування та ремонту рухомого складу залізниць і безпосередньо стосується удосконалення технічного обслуговування та ремонту карданних валів приводів підвагонних генераторів пасажирських вагонів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Як відомо, редукторно-карданний привод генератора від середньої частини осі встановлений на пасажирських вагонах, які обладнані системами кондиціонування повітря, і вагонах-ресторанах. Напрям обертання і відповідно крутильний момент передається редуктором на карданний вал і послідовно муфті зчеплення та якорю мотор-генератора (перетворювача). Під час руху, особливо з підвищенням швидкості, виникають поштовхи

та вібрації на перетворювач, послаблення болтових з'єднань поміж муфтою карданного вала та якорем, і перекося опорних елементів зварної підтримувальної рами. Тому виникає дисбаланс ланцюгового типу у місцях поєднання деталей привода і, як наслідки, непередбачувані зноси в експлуатації і зменшення технічного ресурсу генераторів. Актуальним стає питання збереження і покращення експлуатації підвагонних генераторів з приводом редукторно-карданного типу із застосуванням новітнього та технологічного обладнання на базових підприємствах ДП Укрзалізниця (УЗ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню вирішення даної науково-технічної проблеми і покращенню роботи приводів підвагонних генераторів присвячені праці багатьох вітчизняних та закордонних спеціалістів [2-4]. Дослідження

базуються на вивченні конструкції, роботи і покращенні характеристик технологічного процесу ремонту привода підвагонного генератора із застосуванням стенда зарезонансного балансувального для динамічного балансування карданних валів редукторів у системі електрообладнання пасажирських вагонів. Стенд розроблений для балансування карданних валів типу ТРКП і МАБ-П приводів генераторів пасажирських вагонів, відповідно до Технічного завдання

№ 2226 від 26.07.2004 р. При розробленні і виготовленні стенда враховані вимоги Керівництва по ремонту Л2.0003/12-4694 РВ «Редукторно-карданні приводи вагонних генераторов пассажирских ЦМВ».

Визначення мети та задачі дослідження. Конструкційне виконання типового редукторно-карданного привода підвагонного генератора пасажирського вагона показано на рис. 1.

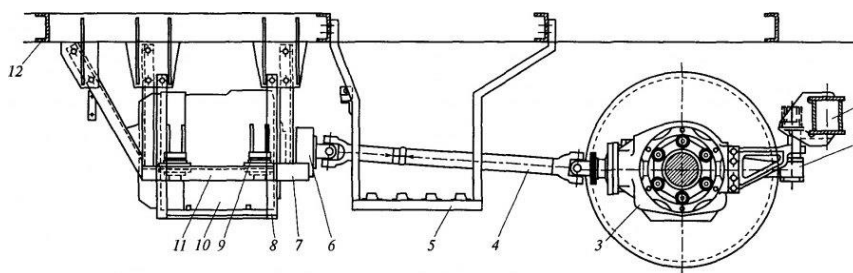


Рис. 1. Привод з редуктором ВБА-32/2:

- 1 — рама візка; 2 — опора; 3 — редуктор; 4 — карданний вал; 5 — пристрій карданного вала, що уловлює; 6 — гумометалева муфта; 7 — запобіжний пристрій; 8 — запобіжна скоба; 9 — гумометалеві опори генератора; 10 — генератор; 11 — кронштейн підвіски генератора; 12 — рама кузова вагона

Стенд зарезонансний балансувальний для динамічного балансування карданних валів моделі БВИ-03-72 (рис. 2) призначений для визначення параметрів динамічної незрівноваженості двох опорних карданних валів 4 (рис. 1) масою від 1 до 80 кг. Стенд складається з механічної частини і стояка керування – електрошафи. У стояку розміщено блок керування роботою привода стенда і прилад балансувальний мікропроцесорний у двох площинах моделі БВИ-03.

На стенді можливе балансування інших карданних валів, аналогічних за конструкцією, відповідних технічним даним стенда, згідно з [1, 5-10]. Стенд не має пристрою коректування мас карданних валів, що підлягають балансуванню. Умови експлуатації стенда виконуються згідно з ГОСТ 15150-69. Загальний вигляд вузла поєднання вала з перетворювачем через муфту та пристосування для балансування показані на рис. 2. Допустимі відхилення на основні параметри і розміри становлять не більше $\pm 10\%$.

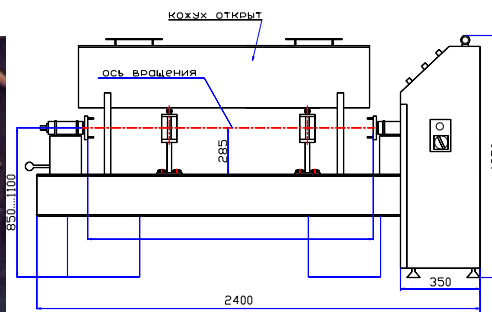
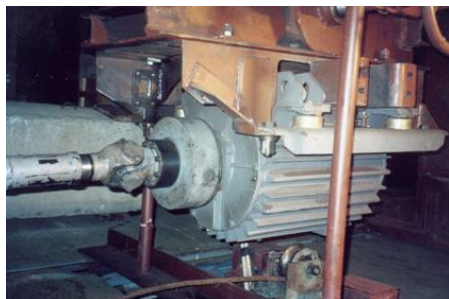


Рис. 2. Загальний вигляд стенда у робочому стані

Основна частина дослідження.

Принцип роботи стенда може бути описаний таким чином. Для динамічного балансування карданного вала необхідно вибрати дві площини I-I і II-II, перпендикулярні осі обертання, відносно яких можливо додавати або знімати коректуючі маси. Ці площини, що мають назву площин корекції, вибираються за конструктивними і технологічними ознаками. Величину і кутове положення коректуючих мас визначають вимірюванням дисбалансу на балансувальному стенді. Вал установлюється в адаптерах на шпинделях переднього і рухомого стояків. На стояках установлені п'єзоелектричні датчики. Обертання карданного вала здійснюється електродвигуном через плоскопасову передачу.

Коливання стояків, що викликані обертанням незрівноваженого ротора, передаються датчикам. Датчики створюють п'єзоелектричний сигнал – сигнал дисбалансу, частота якого дорівнює частоті обертання балансованого вала, амплітуда пропорційна амплітуді коливань стояка, тобто величині дисбалансу, а фаза визначається місцеположенням незрівноваженої маси. Для виконання цих вимірів на поверхні карданного привода нанесена контрастна мітка.

На стенді установлений датчик мітки (фотодатчик), який має випромінювач –

світлодіод і приймач – фототранзистор. Світловий потік, що відбивається від поверхні, сприймається фототранзистором.

При проходженні перед фотодатчиком контрастної мітки він подає імпульсний сигнал, що надходить у електронний пристрій. У електронному пристрої імпульсний сигнал синхронізує роботу засобів аналізу сигналів, що надходить від датчиків вібрації.

Стенд не містить пристроїв усунення незрівноваженості. Як правило, для цього балансований вал доводиться знімати зі стенда. Після корекції дисбалансу вал, при необхідності, знову встановлюється на стенд для контролю.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у данному напрямку. Упровадження у вагонне (пасажирське) господарство ДП Укрзалізниця стендів зарезонансних балансувальних для динамічного балансування карданних валів редукторів для привода генератора електрообладнання пасажирських вагонів, для балансування карданних валів типу ТРКП і МАБ-II значно впливатиме на збереження елементів поєднань привода та самого перетворювача і покращення його експлуатації, що підвищить безпеку руху потягів, особливо у сполученні з швидкісним рухом.

Список використаних джерел

1. Руководство по ремонту Л2.0003/12-4694 РВ «Редукторно-карданные приводы вагонных генераторов пассажирских ЦМВ» [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 85 с.
2. Москвина, К.И. Влияние основных эксплуатационных факторов на долговечность карданных валов приводов подвагонных генераторов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.И. Москвина. – Л., 1984. – 19 с.
3. Булавина, Е.А. Повышение долговечности шлицевых соединений карданных валов приводов вагонных генераторов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Булавина. – Ростов н/Д., 2006. – 21 с.
4. Соловьев, С.А. Совершенствование клиноременного привода вагонного генератора от средней части оси колесной пары [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.А. Соловьев. – М., 2006. – 20 с.
5. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст]. – М.: Транспорт, 1984. – 32 с.
6. Майоров, В.Н. Устройство и ремонт электрооборудования вагонов [Текст] / В.Н. Майоров. – М.: Транспорт, 1980. – 126 с.
7. ДСТУ ГОСТ 12.1.030 – 81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [Текст]: издание официальное. – Введ. 1.07.1981 – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 40с.
8. Технология вагоностроения и ремонта вагонов [Текст]: учеб. для вузов / В.С. Герасимов, И.Ф. Скиба, Б.М. Кернич [и др.]; под общ. ред. В.С. Герасимова. – М.: Транспорт, 1988. – 381 с.

9. Типовий технологічний процес роботи пунктів технічного обслуговування вагонів [Текст] / Т 12.01. № ЦВ - 0041. – К.: Укрзалізниця, 2004. – 312 с.

10. Гридюшко, В.И. Вагонное хозяйство [Текст] / В.И. Гридюшко, В.Я. Бугаев, Н.З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

Рецензент канд. техн. наук, професор І.Д. Борзилов

Візняк Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 050-230-82-45, e-mail: viz-ruslan@ya.ru.

Новіков Олександр Євгенович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 095-398-95-94.

Visnyak Ruslan Ivanovich, cand. of techn. Sciences, associate professor of department of carriages, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 050-230-82-45, e - mail: viz - ruslan@ya.ru.

Novikov Oleksandr Yevgenovich, master student the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 095-398-95-94.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 629.488.519

**УПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ХОДОВИХ ЧАСТИН
ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ В УМОВАХ ВАГОННОГО ДЕПО
«ЗАПОРІЖЖЯ-1» ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ**

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, магістрант І.В. Рєва

**ВНЕДРЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ
ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВАГОННОГО ДЕПО
«ЗАПОРОЖЬЕ-1» ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Канд. техн. наук Р.И. Визняк, магистрант И.В. Рева

**INTRODUCTION AND ADAPTATION OF HIGH TECHNICAL EQUIPMENT FOR SERVICING
TRUCKS OF PASSENGER CARS NEW GENERATION
IN TERMS DEPOT «ZAPOROZH'E-1» THE PREDNIPROVSKAYA RAILWAY**

Cand. of techn. sciences R.I. Visnyak, master student I.V. Reva

У статті розглядається питання впровадження та застосування технології технічного обслуговування пасажирських рухомих частин нового конструкційного виконання з безколісковим підвищенням. Запропонований спеціалізований стенд для виконання монтажу та демонтажу візків в умовах пасажирських депо.

Ключові слова: пасажирський вагон, безколісковий візок, стенд для монтажу (демонтажу) візка.

В статье рассматривается вопрос внедрения и применения технологии технического обслуживания пассажирских подвижных частей нового конструкционного исполнения с безколесным подвешиванием. Предложен специализированный стенд для выполнения монтажа и демонтажа тележек в условиях пассажирских депо.

Ключевые слова: пассажирский вагон, подвижная часть, безколесное подвешивание, стенд для монтажа (демонтажа).

This article deals with the maintenance of the new structural performance of new construction bogies with non-cradle spring suspension. A special stand for mounting and dismounting bogies in a passenger Depots is suggest.

Keywords: *passenger car, bogie, non-cradle spring suspension, stand for installation (dismantling) truck.*

Вступ. Стаття відноситься до галузі систем та технологій технічного обслуговування рухомого складу залізниць і безпосередньо стосується удосконалення технології технічного обслуговування візків пасажирських вагонів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. При впровадженні принципово нових типів вагонів пасажирського рухомого складу з підвищеними швидкостями руху, які конструкційно принципово відрізняються від існуючих, актуальним є питання технічного обслуговування (ТО) із застосуванням новітнього та високотехнологічного обладнання на підприємствах пасажирського господарства ДП «Укрзалізниця» (УЗ), одним з основних яких є Запорізьке пасажирське вагонне депо Придніпровської залізниці.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У період експлуатації пасажирських вагонів моделі 61-779 та їх модифікацій побудови ВАТ «Крюковський вагонобудівний завод» проводиться планово-запобіжна система обслуговування й ремонту у відповідності до наказу УЗ від 29.10.2002 р. № 550-Ц «Про впровадження системи технічного обслуговування та ремонту пасажирських вагонів».

Визначення мети та задачі дослідження. Візок КВЗ(ТВЗ)-ЦНИИ(ЦНДІ) коліскового типу моделей І, ІІ Тверського (у

минулому – Калінінського) вагонобудівного заводу при ремонті й технічному обслуговуванні не потребує завантаження надресорної балки на відміну від візків прототипу Y-32 Французьких національних залізниць та їх вітчизняних аналогів – моделей 68-7007/68-7012(13)/68-7043 та їх російських аналогів 68-4065/68-4066, у яких необхідно завантажити надресорну балку за допомогою розроблення, впровадження та застосування спеціального стенда, який складається з гідростанції; основної несучої конструкції, допоміжних стелажів, електродомкрата, опори для кошиків пружин центрального підвішування візка, ділянки колії шириною 1520 мм, пульта керування.

При обслуговуванні та ремонті візків необхідно керуватися [1,2] та нормативно-технічною документацією, що затверджена та діє на залізницях України, й відповідною конструкторською документацією. Перед ТО необхідно виконати огляд візків відповідно до діючих на залізничному транспорті нормативних документів і посібника з експлуатації. Розібрати візок на основні вузли, очистити від бруду, мастила й іржі, при цьому допускається часткове розбирання візка при виконанні поточного ремонту з використанням пристроїв. Загальний вигляд стенда побудови ВАТ «Крюковський вагонобудівний завод» (КВЗ) та його технічні характеристики наведені на рис. 1 та у таблиці.



Рис. 1. Загальний вигляд візків моделей 68-7007/68-7012 та 68-7013

Технічна характеристика спеціалізованого стенда

Максимальне зусилля, кН	240,0
Діаметр гідроциліндра, мм	250
Хід штока, мм	1100
Максимальний тиск мастила в гідросистемі, МПа	35
Подача гідростанції, л/хв	10,5
Об'єм бака гідростанції, л	27
Насос гідростанції	Радіально-поршневий ексцентриковий, Н400В
Тип гідророзподілювача	P-80
Електроживлення	3 x 380 В
Тип електродвигуна гідростанції	AIP 90 L4 (2,2 кВт, 1500 про/хв)
Габаритні розміри (без гідростанції) Д x Ш x В, мм	5100 x 1600 x 3060
Маса, кг	1933

Особливості складання візка після ТО

Візок складається у зворотному порядку, який наведений вище. Перед з'єднанням тросів-обмежників необхідно навантажити візок на стенді до 240 кН та зафіксувати їх на кронштейнах надресорної балки та рамі візка, які розташовані симетрично повздовжній осі вагона (візка). При подачі візка під вагон на кошки надресорної балки встановлюються гумові амортизатори, які поєднуються з посадковим місцем повідців, закріплених на шкворневих балках вагона. Після подачі під вагон надресорна балка кріпиться до вагона штирями й гайками з фіксацією шплінтами для забезпечення можливості підняття візків разом з вагоном, якщо виникне така потреба. Виконується складання привода візка, приєднуються рознімання пневмосистеми візка до пневмосистеми вагона, проводяться комутаційні роботи в системі установки датчиків, з'єднується пластина ручного гальма вагона із тросовим приводом ручного гальма візка (для візків моделі 68-7012(43)), кріпляться струмознімачі, що з'єднують по струму раму вагона з рамами візків і надресорних балок.

Основна частина дослідження. Першим виробником цього спеціалізованого обладнання є КВБЗ, але вкрай необхідна передача документації для доопрацювання до умов ремонтних підприємств, виготовлення і впровадження таких установок у базових пасажирських депо УЗ, згідно з положеннями та розділами [3-7]. Таким чином, колективом авторів на базі існуючого прототипу було спроектовано стенд-аналог для застосування в

умовах пасажирського вагонного депо «Запоріжжя-1». З метою перевірки міцності несучої конструкції стенда в експлуатації був використаний метод кінцевих елементів (МКЕ). Геометрична модель, кінцево-елементна модель (КЕМ), розрахункова схема та протоколи оцінки напружено-деформованого стану під час завантаження надресорної балки візка моделей 68-7007 та 68-7012(43) з метою здійснення технічного обслуговування принципово нової технології наведено на рис. 2-5. Як видно, максимальні величини механічних напружень, переміщень та деформацій не перевищують припустимі для обраних марок сталей ($\sigma=110-140\text{ МПа}$, $\delta=8,8\cdot 10^{-3}$; $\varepsilon=1,2\cdot 10^{-6}\text{ мм}$), що свідчить про геометричну та кінематичну незмінюваність системи і може бути запропонована для впровадження за даними параметрами як в умовах вагонного депо «Запоріжжя-1» Придніпровської залізниці, так і УЗ в цілому, згідно з [8-10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. За допомогою даного стенду базові ремонтні підприємства, до компетенції яких входить ТО та РВ сучасних пасажирських вагонів на нових візках типів 68-7007/68-7012(13)/68-7043, зможуть виконувати планові та позапланові види ремонтів за значно скорочений час та з меншим штатом працівників. Якість ТО візків на спеціалізованому стенді буде відповідати вимогам технології ТО заводу-виробника візків, що напряму впливатиме на підвищення безпеки руху потягів у швидкому пасажирському сполученні.



Рис. 2. Стенд для розбирання (складання) візків
моделей 68-7007 і 68-7012(13)

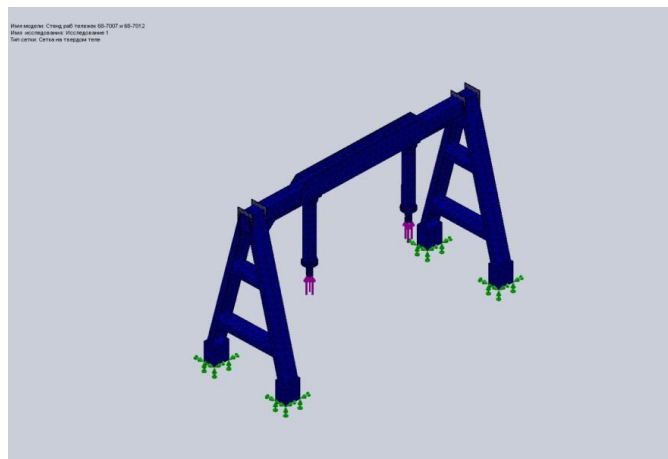


Рис. 3. КЕМ та розрахункова схема станда



Рис. 4. Поля напружень у несучій конструкції станда

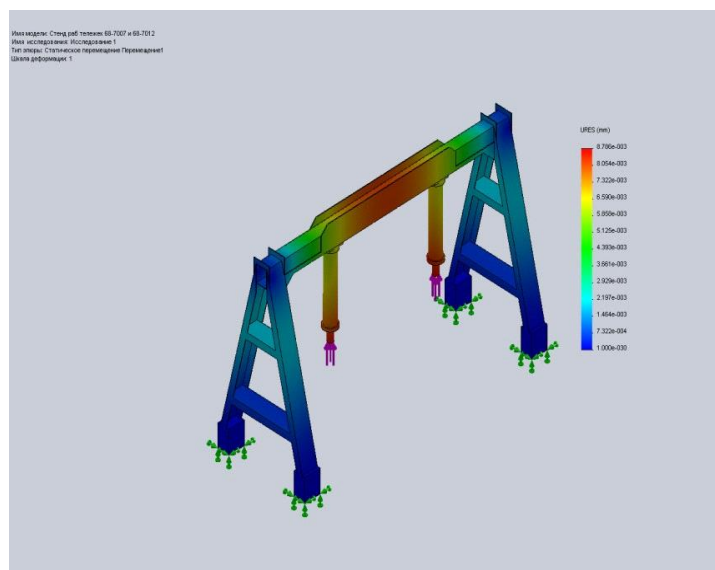


Рис. 5. Поля переміщень у несучій конструкції стенда

Список використаних джерел

1. 7007.00.000 РЭ. Тележка двухосная для магистральных пассажирских вагонов локомотивной тяги модели 68-7007/68-7012/7013. Руководство по эксплуатации [Текст]. – К.: Укрзалізниця. 2008. – 152 с.
2. ТУ У 35.2-05763814-054:2007. Тележка двухосная для магистральных пассажирских вагонов локомотивной тяги модели 68-7007/68-7012. Технические условия [Текст]. – К.: Укрзалізниця. 2008. – 176 с.
3. Тимчасова інструкція з деповського ремонту (ДР) дослідних пасажирських вагонів моделі 61-788 та моделі 61-779Э з високовольними статичними перетворювачами на візках моделі 68-7007/7012 [Текст]. – К.: Укрзалізниця. 2008. – 65 с.
4. Временные нормы. Технологическое проектирование предприятий машиностроения, приборостроения и военно-промышленного комплекса Украины [Текст]. – К.: Государственный проектный институт «Гипрохиммаш», 1995.
5. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст]. – М.: Транспорт. 1984. – 32 с.
6. Вагонное хозяйство [Текст] / В.И. Гридюшко [и др.]. – М.: Транспорт. 1988 – 294 с.
7. Інструкція з технічного обслуговування букс, обладнаних касетними конічними підшипниками ЦВ-ЦІ-0092 [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2008. – 47 с.
8. Вагонное хозяйство [Текст] / Н.З.Криворучко [и др.]. – М.: Транспорт? 1976 – 278 с.
9. Лисевич, Т.В. Передовые технологии депоовского ремонта пассажирских вагонов [Текст]: учеб. пособие для вузов / Т.В. Лисевич, Е.В. Александров. – Самара: СамГАПС, 2005. – 80 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Візняк Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 050-230-82-45, e-mail: viz-ruslan@ya.ru.

Рева Ірина Володимирівна, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 095-636-39-88.

Visnyak Ruslan Ivanovich, cand. of techn. sciences, associate professor of department of carriages, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 050-230-82-45, e - mail: viz - ruslan@ya.ru.

Reva Irina Vladimirovna, master student, the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 095-636-39-88.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 629.4.025

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Канд. техн. наук А.М. Зінківський, магістр В.О. Гусєв

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Канд. техн. наук А.Н. Зинковский, магистр В.А. Гусев

INCREASE OF WORKING CAPACITY OF ELECTRIC LOCOMOTIVE TRACTION MOTORS

Cand. of techn. sciences A. Zinkivskyi, master student V. Gusev

У статті розглянуто питання працездатності існуючих тягових електродвигунів тягового рухомого складу, визначено основні несправності та запропоновано методи ремонту. Також наведено перспективні напрямки у питаннях обслуговування та ремонту електродвигунів.

Ключові слова: тяговий електродвигун, електровози, тяговий рухомий склад, працездатність, міжвиткове замикання.

В статье рассмотрены вопросы работоспособности существующих тяговых электродвигателей тягового подвижного состава, определены основные неисправности и предложены методы ремонта. Также в работе рассмотрены перспективные направления в вопросах обслуживания и ремонта электродвигателей.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, электровозы, тяговой подвижной состав, работоспособность, межвитковое замыкание.

In this article the questions of efficiency of existing traction electric traction rolling stock defined main of malfunction and suggested repair methods. Also discussed in work perspective directions in matters of maintenance and repair of electric motors.

Keywords: traction motor, electric locomotives, traction rolling stock capacity, mizhvytkove circuit.

Вступ. Парк тягового електрорухомого складу залізниць України перебуває у вкрай незадовільному стані, особливо це стосується електровозів, та потребує оновлення шляхом закупівлі нової техніки або модернізацією та удосконалення існуючої. Саме оновлення парку тягового рухомого складу шляхом модернізації дасть можливість наблизити технічний стан техніки до сучасних світових вимог. Однак для підтримання технічного стану електровозів, які зараз експлуатуються, на високому рівні необхідно вживати різноманітних технічних заходів.

З точки зору комплексного впливу (тягові, кліматичні та динамічні чинники) на вузли локомотива найбільш навантаженими є тягові електродвигуни (ТЕД), які потребують постійного контролю і діагностики під час технічних обслуговувань та поточних ремонтів.

Питання підвищення працездатності ТЕД електровозів є досить актуальним у зв'язку із

необхідністю утримувати надійність роботи ТРС на високому рівні та забезпечувати виконання перевізного процесу на залізничному транспорті. Дане питання можна вирішити через удосконалення технології та засобів, що використовуються при проведенні технічного обслуговування та поточних ремонтів, а також за рахунок удосконалення конструкції ТЕД [1-3].

Останніми роками більшістю країн, які експлуатують тяговий електрорухомий склад, було проведено велику кількість робіт з упровадження різних заходів, спрямованих на підвищення працездатності локомотивів і зокрема їх ТЕД, що дають можливість скоротити витрати на їх утримання.

Постановка задачі. За даними з експлуатації ТЕД встановити пріоритетні напрямки їх обслуговування та ремонту для забезпечення працездатності ТРС залізниць

України, а також серед сучасних розробок визначити найбільш оптимальний перелік технічних засобів та організаційних заходів з утримання ТЕД та ТРС у цілому.

Мета статті. Метою статті є аналіз працездатності існуючих типів ТЕД, які встановлені на ТРС Укрзалізниці, та розроблення раціональних заходів з підвищення якості їх утримання та обслуговування.

Виклад матеріалу. Безпека експлуатації залізничного транспорту значною мірою залежить від працездатності та надійної роботи ТЕД, яка визначається можливістю утримання необхідних технічних умов при роботі ТРС та якістю і своєчасністю проведення технічних обслуговувань та поточних ремонтів. Історія створення і розвитку тягових електродвигунів залізничного транспорту постійно пов'язана з підвищенням їх ресурсу та працездатності [3, 4].

Основними причинами зниження працездатності ТЕД в експлуатації та їх надійності є порушення паспортних показників їх роботи, а також незадовільна якість обслуговування та ремонту і пропуск дефектів системами контролю. Одним з напрямків для вирішення цього завдання є створення ефективної організації технічного обслуговування та ремонту електричних машин із застосуванням засобів неруйнівного контролю й технічного діагностування електричної та механічної частин ТЕД.

Аналіз несправностей та відмов електричного обладнання електровозів на магістралях Укрзалізниці показує, що 25 – 35 % від їх загального числа становлять пошкодження колісно-моторних блоків (КМБ) і в тому числі ТЕД. Тому найважливішим завданням ефективної експлуатації ТРС є забезпечення необхідної працездатності ТЕД при постійному збільшенні останніми роками навантажень на локомотиви та їх технічному старінні.

Аналіз обстежень ТРС при технічних обслуговуваннях та поточних ремонтах показав зростання порушення працездатності та збільшення кількості виходів з ладу тягових електричних машин унаслідок підвищення середньої ваги поїздів на 20-25 %. Більшість електричних машин після пошкоджень потребують проведення капітального ремонту за технічним станом з причин, пов'язаних з пошкодженнями електричної та механічної частин, несумісними з експлуатацією.

З аналізу відмов стає зрозумілим, що найбільше число виходів з ладу ТЕД припадає

на пробої ізоляції обмоток якоря та міжвиткові замикання полюсних котушок. Багато в чому це визначається складними умовами експлуатації машин: перевантаженнями, комутаційними перенапруженнями, зволоженням охолоджуючого повітря і т.д. Крім того, найбільше число виходів з ладу тягових двигунів від пробою ізоляції спостерігається у вологу пору року, коли значно зростає ймовірність зволоження обмоток через потрапляння вологи у двигуни. Звідси можна зробити висновок, що існує невідповідність застосовуваних електроізоляційних матеріалів і просочувальних складів, конструкції ряду вузлів підвищеним вимогам умов експлуатації електричних машин.

Підвищення працездатності ТЕД в експлуатації можливе шляхом зміни застарілого діагностичного обладнання на етапі технічного обслуговування для проведення діагностичних заходів з метою більш об'єктивного і достовірного контролю технічного стану таких деталей і вузлів ТЕД, як підшипникові вузли, ізоляція обмоток, колекторно-щітковий вузол. Для підтримання працездатності на необхідному рівні необхідно також відкорегувати величину міжремонтних пробігів, що забезпечить своєчасне проведення необхідних процедур, спрямованих на надійну роботу ТЕД.

Вибір напрямку підвищення працездатності значною мірою визначається стадією, на якій він реалізується. Серед них, очевидно, виділяються три основних. Перший спосіб стосується перспективних розробок ТЕД, інші два – існуючих машин, що перебувають в експлуатації та на ремонті шляхом зниження кількості відмов за рахунок упровадження перспективних електроізоляційних і просочувальних матеріалів. До останніх, як до компаундів, висуваються вимоги щодо вмісту летких речовин не більше 3-5 %.

Для дотримання необхідного рівня працездатності ТЕД до ізоляційних матеріалів висунуто такі вимоги:

- клас нагрівостійкості не нижче F (до 155 °C) або H (до 180 °C);
- електроізоляційні матеріали повинні мати електричну міцність не менше 25 кВ/мм;
- ізолююче покриття повинно мати стійкість до атмосферних впливів та теплопровідність.

Для можливості підвищення працездатності та надійності ТЕД у їх конструкції можливо застосовувати комбінацію різних видів ізолюючих матеріалів та речовин.

Технічне обслуговування щітково-колекторного вузла в тяговому двигуні становить основну частку витрат на утримання двигуна в цілому і є трудомістким процесом. Вирішення проблеми працездатності щітково-колекторного вузла лежить на шляху комплексного використання наявних резервів:

- застосування колекторних профілів з мідно-кадмієвого сплаву (бронзи) БРКД 1 для тягових двигунів усіх знову проєктованих електровозів;

- підвищення стабільності електрощіток.

Певні резерви підвищення експлуатаційної працездатності щітково-колекторного вузла існують при подальшому вдосконаленні його конструкції і технології.

В умовах створення сучасного ТРС до електродвигунів висувається ряд вимог, які

полягають у підвищенні ефективності використання тягового привода за рахунок удосконалення конструкції, збільшення величини обертового моменту на валу двигуна, підвищення ККД, підвищення ефективної потужності та ін.

Висновки. Для нових електричних машин підвищення працездатності необхідно передбачити на стадії проєктування електричної частини ТЕД унаслідок використання ізоляційних матеріалів підвищеної міцності, для механічної частини – це використання нових матеріалів та сплавів при виготовленні деталей. При проведенні ремонтів ТЕД необхідним є повна заміна ізоляції та використання сучасних засобів визначення технічного стану електромашини.

Список використаних джерел

1. У найближчі п'ять років Укрзалізниця необхідно придбати 275 локомотивів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/index.php?f=Doc.View &p=news_6073.0.news&lng=uk – Назва з екрана.
2. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту [Текст]: розпорядження КМУ від 27 грудня 2006 р. N 651-р. – К., 2006.
3. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки [Текст]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2009. – 301 с.
4. Меерзон Ю.М. Анализ технического состояния тяговых двигателей [Текст] / Ю.М. Меерзон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. трудов. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С. 15-19.
5. Лайдабон, Ч.С. Организационно-технические мероприятия по повышению надежности электрических машин [Текст] / Ч.С. Лайдабон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. трудов. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С. 91-95.
6. Карякин, А.В. Повышать надёжность парка локомотивов [Текст] / А.В. Карякин // Локомотив. – 2006. – № 7. – С. 2-3.
7. Носков, В.И. Состояние и перспективы внедрения тяговых электроприводов переменного тока [Текст] / В.И. Носков, Н.И. Шпика // Гидроэнергетика Украины. – 2006. – № 2. – С. 63-67.
8. Четвергов, В.А. Надёжность локомотивов [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков; под ред. В.А. Четвергова. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.
9. Галкин В.Г., Надёжность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
10. Половко, А.М. Основы теории надёжности [Текст] / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
11. Шор, Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности [Текст] / Я.Б. Шор. – М.: Сов. радио, 1962. – 304 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Зінківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.
Гусев Василь Олександрович, магістр ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.

Zinkivskyi Artem, cand. of techn. sciences, Maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-1999.

Gusev V., master student, Ukrainian State University of Railway Transport.

Наукова праця здана до друку 24.09.2015 р.

УДК 629.4.077-592

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДИСЛОКАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, магістрант Н.В. Данів

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДИСЛОКАЦИИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, магистрант Н.В. Данив

DEVELOPMENT OF FREIGHT CARS' REMOTE MONITORING NAVIGATION SYSTEM

Cand. of techn. sciences V. Bondarenko, master student N. Daniv

Запропоновано нову систему, що призначена для спостереження у реальному масштабі часу за дислокацією та станом вантажних вагонів. Вона дає змогу здійснювати спостереження компаніями операторів та учасників перевізного процесу за місцезнаходженням вантажних вагонів залізничного транспорту, визначати їх технічний стан і стан вантажу по всій мережі залізниць, використовуючи технологію супутникового зв'язку.

Ключові слова: *навігаційний пристрій, вантажний вагон, супутниковий зв'язок.*

Предложена новая система, предназначенная для наблюдения в реальном масштабе времени за дислокацией и состоянием вагонов. Она позволяет осуществлять наблюдение компаниями операторов и участников перевозочного процесса за местонахождением грузовых вагонов железнодорожного транспорта, определять их техническое состояние и состояние груза по всей сети железных дорог, используя технологию спутниковой связи.

Ключевые слова: *Навигационное устройство, грузовой вагон, спутниковая связь.*

A new system that is designed to monitor in real time by dislocation and cars as an e-card railways. Object monitoring of freight cars can be of any type and model that additionally is equipped with navigation equipment. The structure of the navigation equipment includes a navigation controller in a plastic case with a set of sensors, battery and electrical network. All equipment is located in a metal strong body with a plastic cover that transmits radio waves and is based on the wagon and is attached to the main part by using welding or bolting. The device allows companies to monitor operators and participants of transportation process at the location of freight cars railways, to determine their technical condition and cargo throughout the rail network using satellite communication technology.

Keywords: *The navigation device, freight car, satellite communications.*

Вступ. Публікація відноситься до галузі технологій та систем моніторингу за дислокацією та технічним станом вантажних вагонів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Старіння вантажного вагонного парку, збільшення довжини поїздів та швидкостей руху висувують високі вимоги до забезпечення надійності вагонів у експлуатації та безпеки руху. У зв'язку з цим останнім часом у світі значними темпами розвиваються нові технології супутникового моніторингу вагонів,

які дають змогу спостерігати у реальному масштабі часу за дислокацією та технічним станом вагонів в експлуатації. Ураховуючи ефективність використання таких технологій у світі, необхідним є розроблення вітчизняних систем та навігаційного обладнання, призначених для спостереження за дислокацією вагонів та їх станом у експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Устаткування вантажних вагонів працює в дуже жорстких умовах. У зв'язку з цим, актуальною є задача розробки та впровадження бортових автоматичних систем, призначених для постійного контролю за

дислокацією та діагностування вагонів під час рейсу, а також забезпечення функцій дистанційного моніторингу технічного стану обладнання у реальному масштабі часу під час рейсу поїздів. Найбільше розповсюдження системи GPS отримали на залізницях Німеччини, Франції, Швеції та ін. [1-10]. Останнім часом на кафедрі „Вагони” проводяться науково-практичні дослідження щодо перспектив використання на залізницях України сучасних супутникових навігаційних технологій GPS для моніторингу за дислокацією та технічним станом вантажних вагонів у експлуатації [2, 3].

Визначення мети і завдання дослідження. Розроблення та опис нового пристрою, який призначений для спостереження у реальному масштабі часу за дислокацією та станом вагонів по електронній карті залізниць.

Основна частина дослідження. Розроблений пристрій дає змогу здійснювати спостереження компаніями операторів та учасників перевізного процесу за місцезнаходженням вантажних вагонів залізничного транспорту, визначати їх технічний стан і стан вантажу по всій мережі залізниць, використовуючи технологію супутникового зв'язку.

Поставлене завдання вирішується на основі використання способу спостереження за дислокацією вагонів [1]. В основу розробки поставлено завдання зменшити час обороту вантажних вагонів за рахунок скорочення нераціонального використання вагонів на всіх стадіях логістичного процесу залізничних перевезень, а також забезпечити можливість спостереження за вагонами у реальному масштабі часу, дистанційно контролювати стан вагонів та вантажів під час рейсу. Це здійснюється на основі використання системи супутникового моніторингу, у якій застосовуються навігаційні модулі GPS (США) або ГЛОНАСС (РФ), мережа мобільного зв'язку GSM/GPRS, Інтернет, сервер та АРМ наземного пункту контролю. Об'єктом моніторингу може бути вантажний вагон будь-якого типу та моделі, який додатково оснащується навігаційним обладнанням. До складу навігаційного обладнання входить навігаційний контролер у пластиковому

корпусі з комплектом датчиків, акумуляторна батарея та електрична мережа. Усе обладнання розміщено у металевому пиловологостійкому та міцному до ударів корпусі з пластиковою кришкою, яка пропускає радіохвилі (рис. 1, 2) та розташовується на вагоні і кріпиться до основної частини шляхом зварення або з використанням болтового з'єднання.

Навігаційний контролер (трекер) являє собою типовий функціонально закінчений пристрій, який застосовується у складі різних систем спостереження за мобільними об'єктами, у яких використовуються такі функції, як реєстрація географічного місця розташування об'єктів, контроль параметрів від датчиків та дистанційне керування виконавчими пристроями. Навігаційний контролер має включати до свого складу такі основні елементи, як GPS або ГЛОНАСС приймач для визначення дислокації вагона, бездротовий приймач/передавач, процесор та модуль пам'яті для розміщення інструкцій від процесора, всі елементи інтегровані в компактному корпусі. Навігаційний контролер забезпечує: видалений режим моніторингу вагона з обчисленням його географічних координат, використовуючи сигнали систем GPS або ГЛОНАСС та передачу їх через мережу Інтернет, на основі технології пакетної передачі даних (GPRS) або з використанням коротких повідомлень (SMS), на диспетчерський комп'ютер з відомою IP адресою; керування зовнішніми виконавчими пристроями (вмикання/вимикання); видалене оновлення версій вбудованого програмного забезпечення через протокол TCP/IP використовуючи GPRS; видалену (через GPRS або SMS) та по шині USB конфігурацію параметрів і режимів роботи; запис маршрутів в енергонезалежну пам'ять при відсутності GPRS з'єднання та передачу їх при відновленні зв'язку; визначення стану зовнішніх дискретних та аналогових датчиків. Контролер формує звіти за корегувальним користувачем адаптивним алгоритмом, що дає змогу одержувати максимально детальні маршрути пересування об'єкта, з урахуванням характеру його руху, при істотній економії заряду батареї і вбудованої пам'яті. Для доставки команд і звітів контролера використовують мережу мобільного зв'язку GSM з послугою GPRS.



Рис. 1. Розроблений навігаційний пристрій GPS вантажного вагона



Рис. 2. Елементна база навігаційного пристрою GPS

Для енергозабезпечення бортового навігаційного обладнання, систем керування, безпеки, діагностики та контролю пристрій має автономне джерело електричної енергії, оскільки вантажні вагони за своєю конструкцією його не мають. Контролер обладнаний схемою захисту від підвищеної напруги живлення, яка автоматично формує звіти під час відсутності живлення. До складу контролера входить SIM карта оператора з PIN кодом, який задається на етапі конфігурації для роботи в GSM мережі. Дана система має надійно працювати в автономному режимі у термін 6 місяців без зовнішньої підзарядки або заміни акумуляторної батареї.

За допомогою використання навігаційних модулів GPS (США) або ГЛОНАСС (РФ), які входять до складу навігаційного контролера, визначають

географічні координати вагона під час рейсу, які передають разом з іншою бортовою інформацією від датчиків по каналу бездротового радіозв'язку та мережі Інтернет до сервера та АРМ наземного пункту дистанційного моніторингу, де відображають на електронній карті (рис. 3) та заносять до бази даних.

Висновки. Обладнання вантажних вагонів розробленим навігаційним пристроєм GPS з датчиками дасть змогу оперативно спостерігати за місцезнаходженням вагонів та їх станом, виконувати моніторинг небезпечних вантажів, ефективно здійснювати формування поїздів, скоротити час обороту вагонів та слідкувати за їх нерациональним використанням, зменшити кількість крадіжок вантажу.

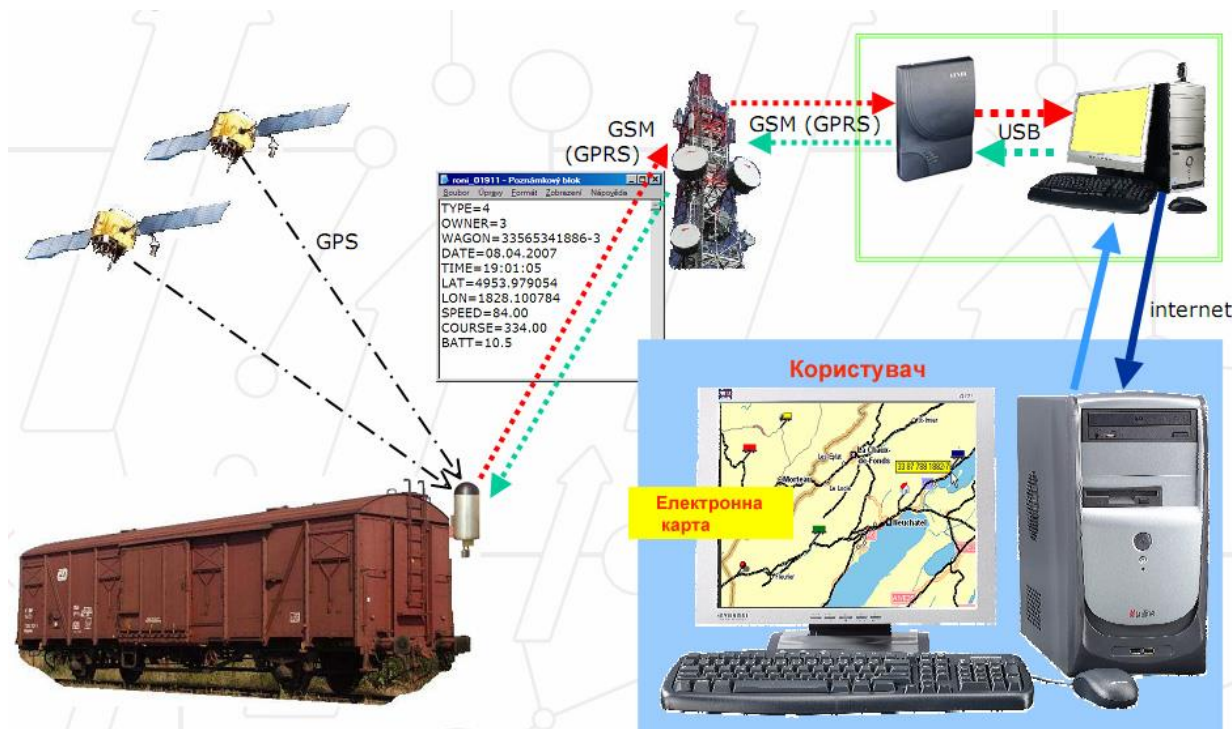


Рис. 3. Дислокація вагонів на електронній карті залізниць

Список використаних джерел

1. Спосіб спостереження за дислокацією вагонів [Текст]: пат. 61636 Україна: МПК H04N 7/00, G08B 17/06 (2006.01) / Бондаренко В.В.; заявник та патентовласник Бондаренко В'ячеслав Володимирович. – № u201015799; заявл. 27.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14/2011. – 4 с.
2. Спосіб дистанційного контролю автоматичних гальм рейкового рухомого складу [Текст]: пат. України на корисну модель № 55429 / Бондаренко В.В., Дерев'янчук Я.В.; заявник та власник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u201007799 заявл. 21.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23/2010. – 4 с.
3. Система дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст]: пат. 96483 Україна МПК B61K 9/08 (2006.01), G01S 5/14(2006.01) / Бондаренко В.В., Візник Р.І., Скуріхін Д.І.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u201101014; заявл. 04.11.2009; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 20/2011. – 5 с.
4. Спосіб дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст]: пат. 95863 Україна МПК B61K 9/08 (2006.01), G01S 5/14(2006.01) / Бондаренко В.В., Візник Р.І., Скуріхін Д.І.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № a201005510; заявл. 05.05.2010; опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17/2011. – 5 с.
5. Система дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст]: пат. 96483 Україна МПК B61K 9/08 (2006.01), G01S 5/14(2006.01) / Бондаренко В.В., Візник Р.І., Скуріхін Д.І.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u201101014; заявл. 04.11.2009; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21/2011. – 7 с.
6. Burgwinkel, F. Rensmann. Glasers Annalen. – 2003. - №3/4. – P. 132-138.
7. M. Schmeja. Glasers Annalen. – 2002, 126 Tagungsband, – P. 258-266.
8. C. Ytuarte. Railway Age. - 2002. - №1. P. 37-39.
9. T. Judge. Railway Age. - 2001. - №4. P. 45-46.

10. Демин, Р.Ю. Компьютерная система контроля состояния ходовых частей вагона [Текст] / Р.Ю. Демин, Ю.В. Демин, Д.В. Дмитриев // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 5. – С. 4-6.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е.Мартинів

Бондаренко В'ячеслав Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35, e-mail: bonvya@mail.ru.

Данів Назар Васильович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35.

Vyacheslav V. Bondarenko, cand. of techn. sciences, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-10-35, e-mail: bonvya@mail.ru.

Daniv Nazar, master student Ukrainian State University of Railway Transport, contact phone: 057-730-10-35.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 629.421.4

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Д-р техн. наук О.В. Устенко, магістр А.В. Рева

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д-р техн. наук А.В. Устенко, магістр А.В. Рева

IMPROVEMENT OF SYSTEMS AUTOMATION OF VIRTUAL ENTERPRISES

Doct. of techn. sciences O. Ustenko; master student A. Reva

Пропонується поступова інтеграція вже розроблених систем автоматизації віртуальних підприємств з готовими пакетами, яка ґрунтується на формалізованих типових завданнях і процедурі. Доведено, що для невеликих підприємств найбільш прийнятним виходом є інтеграція власних розробок з готовими пакетами окремих підприємств. При цьому значно розширюються фінансові операції і забезпечується інформаційна прозорість.

Ключові слова: віртуальне підприємство, інформаційні системи управління, автоматизація обліку і контролю.

Предлагается постепенная интеграция уже разработанных систем автоматизации виртуальных предприятий с готовыми пакетами, которые основываются на формализованных типичных заданиях и процедуре. Доказано, что для небольших предприятий наиболее приемлемым выходом является интеграция собственных разработок с готовыми пакетами отдельных предприятий, которую эффективно используют корпоративные информационные системы управления. При этом значительно расширяются финансовые операции, и обеспечивается информационная прозрачность.

Ключевые слова: виртуальное предприятие, информационная система управления, автоматизация учета и контроля.

Gradual integration of the already developed systems automation of virtual enterprises is offered with the prepared packages which are based on formalization typical tasks and procedure. It is well-proven that for small enterprises the most acceptable output is integration of own developments with the prepared

packages of separate enterprises, which is effectively used by corporate management in formations. Thus financial operations broaden considerably, and provided.

Keywords: *virtual enterprise, information control system, automation of account and control.*

Аналіз поточного достатку ринку інформаційних систем управління (ІСУ) показує, що практика, коли кожне підприємство розробляло власне програмне забезпечення АСОБІ, за кордоном закінчилася понад 5 років тому. Це пов'язано з тим, що до цього часу були виявлені і формалізовані типові завдання і процедури, які складають основу діяльності різних підприємств. Програмне забезпечення, що реалізовує ці процедури, є тими платформами, на яких сьогодні побудовані різноманітні системи корпоративного управління конкретними підприємствами. Кожна з таких платформ має власний інструментарій, який забезпечує реалізацію унікальної системи управління підприємства, а потім її розвиток і вдосконалення. Така тенденція, коли підприємство набуває інваріантної платформи, а далі "налаштовує" її на власні потреби, у світі стала розповсюдженою і повністю себе виправдала.

У результаті аналізу праць [1-5] усі запропоновані "готові" рішення із упровадження систем автоматизації на підприємствах можна поділити на дві великі групи:

- 1) почати автоматизацію за допомогою західного продукту;
- 2) зробити ставку на вітчизняних систему і фірму-розробника.

Однак для невеликих підприємств або підприємств, що не мають сьогодні достатніх засобів для придбання так званих "важкоатлетів" ІСУ, найбільш прийнятним виходом є інтеграція власних розробок з готовими пакетами, вирішальними завданнями окремих підрозділів підприємства. Проте не варто забувати про перспективи розвитку компанії і про ступінь готовності наявного програмного забезпечення реагувати на зміни в системі управління самого підприємства. Цілком може трапитися, що протягом не дуже тривалого часу системних можливостей може бути недостатньо і доведеться, якщо не взагалі відмовитися від створеного програмного контура, то як мінімум нарощувати за допомогою готових рішень, а проблему інтеграції вирішувати шляхом постійних "дописок", зупинок роботи ІСУ для тестування і корегувань, введенням інформації "заднім

числом" і так далі. А питання, що робити в разі виходу підприємства на нові ринки і надання нового виду послуг або випуску нових видів продукції, з точки зору ведення автоматизованого обліку і контролю, так і залишиться відкритим, тема ж планування діяльності всього підприємства і тим більше корпорації, визначення його стратегічного розвитку стане примарною мрією, яку не можна досягти.

Такий підхід дає лише ілюзію виграшу, оскільки, по-перше, він не охоплює всі напрями діяльності підприємства і, отже, відсутня цілісна картина діяльності підприємства, по-друге, кожен відділ "живе своїм життям", оперуючи своїми власними цифрами, які, як правило, не збігаються з даними інших підрозділів, а тим більше не відображають реального достатку підприємства. Наприклад, бухгалтерські дані з кількості готової продукції можуть значно відрізнятися від даних складського обліку, а вірогідність збігу останніх з даними виробництва взагалі-то теж не відома.

Оскільки ефективність системи управління значною мірою залежить від повноти, своєчасності і достовірності інформації, яка використовується для прийняття управлінських рішень, вживання інструментарію інтегрованих систем або програмних засобів тих, що реалізують це завдання, стає умовою виживання в конкурентній боротьбі. Фінансова політика великих холдингів спрямована на максимальну продуктивність вкладень капіталу при мінімальних витратах із його залучення. Це завдання ефективно вирішують корпоративні ІСУ, які дають змогу розширювати сфери фінансових операцій, гарантуючи при цьому гнучкість їх здійснення і даючи змогу компанії збалансувати практичний результат з витратами. Інформаційна прозорість, що забезпечується такими системами, – необхідний атрибут діяльності на міжнародних ринках; вона створює атмосферу комфортності як для інвесторів, так і для партнерів із зовнішньоторговельних операцій, надає реальні можливості і з оперативного ведення фінансово-господарської діяльності.

Список використаних джерел

1. Болотин, М.М. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов [Текст]: учеб. для вузов / М.М. Болотин, В.Е. Новикова. – М.: Маршрут, 2004. – 310 с.
2. Вальков, В.М. Автоматизированные системы управления технологическими процессами [Текст] / В.М. Вальков, В.Е. Вершинин. – Л.: Политехника, 1991. – 266 с.
3. Головкин, М. CALS: последний шанс отечественной промышленности [Текст] / М. Головкин // Директор информационной службы. – 2003. – № 3. – С. 5-8.
4. Ильенкова, С.Д. Резервы производства [Текст] / С.Д. Ильенкова. – М.: Статистика, 1973. – 96 с.
5. Петрунин, А.В. Автоматизация и механизация ремонта локомотивов – веление времени [Текст] / А.В. Петрунин // Локомотив. – 2009. – № 8. – С. 4-5.
6. Кірка, Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему [Текст]: монографія / Г.М. Кірка. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
7. Лукашин, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования [Текст] / Ю.П. Лукашин. – М.: Статистика, 1979. – 254 с.
8. Межотраслевая инструкция по определению производственной мощности машиностроительных и металлообрабатывающих заводов [Текст]. – М.: НИИМАШ, 1970. – 250 с.
9. Наговицын, В.С. Метод и алгоритм принятия решения о постановке подвижного состава на техническое обслуживание по состоянию [Текст] / В.С. Наговицын // Труды IV науч.-практ. конф.; МИИТ. – М., 2003. – С. IV-64-IV-69.
10. Организация технического диагностирования локомотивов [Текст] / Н.Н. Капранов, Д.Я. Носырев, В.С. Павлович, Ю.Е. Просвилов. – Куйбышев: КИИТ им. М.Т. Елизарова, 1989. – С. 49-51.

Устенко Олександр Вікторович, д-р техн. наук, професор, декан механічного факультету, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-09. E-mail: ai@kture.kharkov.ua.
Андрій Рева, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.

Oleksandr Ustenko, doct. of techn. sciences, professor, dean of mechanical faculty of the Ukrainian state university of railway transport. Tel. : (057)730-10-09. E-mail: ai@kture.kharkov.ua.
Andriy Reva, master student of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Наукова праця здана до друку 25.09.2015 р.

УДК 629.421.4

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВІРТУАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Д-р техн. наук О.В. Устенко, магістр Р.В. Пендюрін

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д-р техн. наук А.В. Устенко, магистр Р.В. Пендюрин

DEVELOPMENT MODELS OF VIRTUAL ENTERPRISES

Doct. of techn. sciences O. Ustenko, master student R. Pendurin

Проаналізовано доцільність створення віртуального підприємства власними силами. Установлено, що на підприємствах існують граничні межі можливостей власних відділів автоматизації. Доведено, що технологія створення системи корпоративного управління з

використанням розвинених програмних платформ підвищує ефективність програмування. Удосконалення системи управління оголошується при цьому стратегічним і має ряд переваг.

Ключові слова: віртуальне підприємство, інформаційні системи управління, корпоративне управління.

Проанализирована целесообразность создания виртуального предприятия собственными силами. Установлено, что на предприятиях существуют значительные грани возможностей собственных отделов автоматизации. Доказано, что технология создания систем корпоративного управления с использованием развитых программных платформ повышает эффективность программирования. Усовершенствование систем управления объявляется при этом стратегическим и имеет ряд преимуществ.

Ключевые слова: виртуальное предприятие, информационная система управления, корпоративное управление.

Expediency of creation of virtual enterprise own forces is analyzed. It is set that there are considerable verges of possibilities of own departments of automation on enterprises. It is well-proven that creations of the systems of corporate management with the use of the developed programmatic platforms are promoted by efficiency of programming. The improvement of control system is declared here strategic and has a row of advantages.

Keywords: virtual enterprise, information control system, corporate management.

Створення моделі конкретного віртуального підприємства під його індивідуальні потреби можливо "власними силами" або із залученням підрядних організацій за участю фахівців підприємства.

Існує ряд досліджень, які показують недоцільність самостійного "писання" системи за критеріями: час, вартість, ризик [1-4]. За простотою, що видається, і дешевизною, цей шлях у край довгий і не приводить до бажаного результату, а трудові і матеріальні витрати, що стали за багато років значними, не дають економічного ефекту [5].

У цій схемі створення програмного забезпечення можна відзначити такі недоліки:

- відірваність фахівця наочної області від процесу написання програм;
- наявність великої кількості фахівців, що беруть участь у створенні програмного продукту, і, як наслідок, тривалий період розроблення; дорожняча створення програмного продукту; поява ефекту "несправного телефону", при якому після довгого і дорогого процесу проектування користувач може виявити й отримати зовсім не те, що йому потрібно насправді;
- алгоритмічність програми. Основна увага в традиційних системах приділяється не опису наочної області, а написанню фіксованого алгоритму розв'язання конкретної задачі, що призводить до таких обмежень:

- складність взаємодії з іншими програмами;

- унаслідок жорсткості зв'язків між фахівцями виникають складнощі у налагодженні і супроводі програмного продукту. Наприклад, якщо користувач захотів додати нову функціональну можливість, він повинен заново запустити весь процес створення програми.

На багатьох підприємствах відчуваються межі можливостей власних відділів автоматизації, які колись почали вирішувати окремі завдання за допомогою різноманітних, часто не розрахованих на великі обсяги даних, засобів (наприклад, СУБД класу FoxPro, Paradox, MSAccess і т. д.). У результаті виявилось, що напрацювань багато, але, щоб об'єднати їх в єдину систему власними силами, "з нуля", необхідно дуже багато часу і сил. На деяких підприємствах використовувались застарілі ЕС і СМ ЕОМ, їх термін експлуатації минув, і перехід на сучасну техніку неминучий. А перехід на нове апаратне забезпечення, як правило, спричиняє за собою вибір нового програмного забезпечення.

Розроблення моделі конкретного підприємства на його індивідуальне замовлення фірмою-розробником програмних систем доцільне із застосуванням алгоритмічних мов високого рівня (CASE-технології).

Найвагоміша перевага при створенні і впровадженні інформаційних систем управління (ІСУ) із застосуванням CASE-технологій полягає в тому, що технологія створення системи корпоративного управління з використанням розвинених програмних платформ різко переміщує центр тяжіння робіт з рутинного програмування, в якому, як правило, в'язнули змістовні аспекти, саме у бік останніх.

У межах цієї технології "ключ" у роботах із створення систем управління нового покоління переходить від відділів АСОВІ, як це практикується на вітчизняних підприємствах аж до теперішнього часу, безпосередньо до управлінців. На зарубіжних підприємствах, ураховуючи важливість проблематики вдосконалення організаційно-економічного управління для зміцнення конкурентоспроможності, роботами із

створення і розвитку систем корпоративного управління керує один з вищих керівників підприємства, як правило, на рівні заступника першої особи. Завдання вдосконалення системи управління оголошується при цьому стратегічним. При цьому:

- створюється модель об'єкта реального світу;
- відсутня така структурна одиниця, як розробник програми, що дає зменшення часу на розроблення і впровадження програмного продукту (у 10-15 разів) та зменшення числа помилок, скорочення часу налагодження і модифікації програми;
- з'являється легкість взаємодії з іншими програмами;
- документація на програму виходить автоматично разом з програмою з мови специфікацій.

Список використаних джерел

1. Головкин, М. CALS: последний шанс отечественной промышленности [Текст] / М. Головкин // Директор информационной службы. – 2003. – № 3. – С. 5-8.
2. Киркина, В.И. Управление международными перевозками с использованием новых информационных технологий [Текст] / В.И. Киркина, А.П. Киркин // Тезисы докладов X НТК. – Мариуполь: ПГТУ. – 2002. – Т. 1. – С. 207.
3. Киркин, А.П. Концепция виртуального логистического предприятия в Приазовье [Текст] / А.П. Киркин // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць. – Мариуполь, 2002. – Вип. 12. – С. 268-271.
4. Мельниченко, С.В. Нові інформаційні технології як необхідні умови реінжинірингу бізнес-процесів в туризмі [Текст] / С.В. Мельниченко // Вісн. Донецького ун-ту: наук. журн. – 2007. – Т. 2, № 1. – С. 309-319.
5. Мельниченко, С.В. Моделювання інформаційних систем менеджменту суб'єктів господарювання в туристичній сфері [Текст] / С.В. Мельниченко // Управління розвитком: зб. наук. праць ХНЕУ. – Харків, 2007 – № 7. – С. 29-30.
6. Пушкарев, И.Ф. Контроль и оценка технического состояния тепловозов [Текст] / И.Ф. Пушкарев, Э.А. Пахомов. – М.: Транспорт, 1985.
7. Результаты эксплуатационных испытаний электронных регуляторов на маневровых тепловозах [Текст] / Э.Д. Тартаковский, А.Ф. Агулов, А.П. Фалендыш [и др.] / Тез. докл. IV науч.-практ. междунар. конф. «Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте». – Днепропетровск: ДНУЗТ, 2008. – С. 5.
8. Феоктистов, В.П. Принципы построения системы технической диагностики для преобразователей электроэнергии и устройств автоматики подвижного состава [Текст] / В.П. Феоктистов // Сб. науч. трудов. – М.: МИИТ, 1981. – Вып. 687. – С. 79-85.
9. Геннадиев, Г. Метод оценки эффективности системы технического обслуживания и ремонта на железнодорожном транспорте [Текст] / Г. Геннадиев // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 3. – С. 30-33.

10. Горский, А.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1994. – 209 с.

Устенко Олександр Вікторович, д-р техн. наук, професор, декан механічного факультету, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-09. E-mail: ai@kture.kharkov.ua.
Пендюрін Роман Васильович, слухач ІППК, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: cryptic91@rambler.ru.

Oleksandr Ustenko, doct. of techn. sciences, professor, dean of mechanical faculty of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-09. E-mail: ai@kture.kharkov.ua.

Roman Pendurin, master student of the Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: cryptic91@rambler.ru.

Наукова праця здана до друку 25.09.2015 р.

УДК 629.4.014

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ У ТЯГОВОМУ АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ РУХОМОГО СКЛАДУ

Канд. техн. наук С.І. Яцько, магістр Б.В. Паршин, асп. Я.В. Ващенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ В ТЯГОВОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Канд. техн. наук С.И. Яцько, магистр Б.В. Паршин, асп. Я.В. Ващенко

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES UNDER EMERGENCY CONDITIONS IN ASYNCHRONOUS TRACTION ELECTRIC RAIL VEHICLE

Cand. of techn. sciences S.I. Yatsko, master student B.V. Parshin, postgraduate Y.V. Vashchenko

Наведено результати досліджень електромагнітних процесів при виникненні аварійних режимів у тяговому асинхронному електроприводі. Описано аналітичні залежності перехідних процесів та результати імітаційного моделювання аварійних режимів. Визначено принципи можливих способів запобігання розвитку таких процесів.

Ключові слова: асинхронний електропривод, автономний інвертор напруги, короткі замикання, провал напруги, неповнофазні режими.

Приведены результаты исследований электромагнитных процессов при возникновении аварийных режимов в тяговом асинхронном электроприводе. Описаны аналитические зависимости переходных процессов и результаты имитационного моделирования аварийных режимов. Определены принципы возможных способов предотвращения развития таких процессов.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, автономный инвертор напряжения, короткие замыкания, провал напряжения, неполнофазные режимы.

It is considered investigation results of electromagnetic processes under emergency conditions in asynchronous traction electric rail vehicle. Analytical dependences and results of transient simulation in emergency operation are described. It defines the principles of possible ways to prevent the development of such processes.

Keywords: asynchronous drive, voltage source inverter, short circuit, voltage failure, unbalance mode.

Вступ. У процесі експлуатації в тяговому асинхронному електроприводі (ТАЕП) рухомого складу завжди можливі випадки виникнення аварійних режимів, які супроводжуються значними струмовими перевантаженнями та призводять до тяжких пошкоджень як в електричних силових колах, так і в механічній частині електропередачі [1,2].

Створення систем діагностування та захисту для запобігання виникненню аварійних режимів обумовлює необхідність досліджень процесів, що відбуваються при таких режимах.

Оскільки експериментальні дослідження стосовно до аварійних режимів на практиці виявляються малоефективними та обмеженими для використання [3], актуальними є дослідження електромагнітних процесів на основі математичних (імітаційних) моделей.

Аналіз публікацій. Питанням дослідження електромагнітних процесів в аварійних режимах присвячено багато робіт у вітчизняній та зарубіжній науково-технічній літературі [4,5]. На основі аналізу існуючих джерел можна зробити висновок, що зміни електромагнітних величин в аварійних режимах пов'язані:

1) із системою управління приводом та формою модуляції. Відповідні дослідження у вітчизняній літературі стосуються розгляду скалярних систем для тягового привода та промислових векторних [6,7]. У зв'язку з браком досвіду експлуатації, майже немає даних з аварійних режимів у тяговому приводі з векторним управлінням та прямим управлінням моментом;

2) робочою точкою. Як правило, для досліджень у тяговому приводі, з погляду на критичність, обирається робоча точка в біля резонансній зоні двигуна, номінальному режимі роботи або в точках зміни режимів [2,5,8];

3) параметрами тягового асинхронного двигуна. Основним у цьому випадку є вибір потужності двигуна: для моторвагонного рухомого складу та електровозів (наприклад, для АД906 (ДЕЛ-02) $P_H=240$ кВт) та АД914 (ДС-3) $P_H=1200$ кВт) [9];

4) значенням напруги шини постійного струму U_d . Від величини цієї напруги залежить здатність привода витримувати прикладений до нього момент навантаження. Цей параметр

тісно пов'язаний з межами діапазонів системи автоматичного керування (наприклад, 600-1500 В) [9,10]. Для ЕРС постійного струму зв'язок між напругою U_d та фазною напругою тягового двигуна U_1 для інвертора напруги $U_d = 2,22 U_1$ [2];

5) параметрами ланки постійного струму (L_d , R_d). Від величини індуктивності згладжувального реактора L_d залежить розвиток аварійного процесу (чим більша L_d , тим повільніше наростає аварійний струм) [11].

6) типом несправності. Найбільш повну, з точки зору охоплення більшості різних та водночас типових несправностей (найбільш імовірних та найбільш небезпечних аварійних режимів) в асинхронному електроприводі, прийнято класифікацію, розглянуту в роботі [12]:

- зовнішні та внутрішні короткі замикання в автономному інверторі напруги (АІН) на стороні постійного та змінного струму;
- провали та відновлення напруги живлення АІН;
- неповновнофазні режими АІН.

Мета роботи. Уточнене визначення параметрів електромагнітних процесів при аварійних режимах у тяговому асинхронному електроприводі рухомого складу.

Результати досліджень. Особливостями системи ТАЕП в аварійних станах є малі часи протікання електромагнітних та механічних процесів, значні величини ударних струмів та моментів, низький рівень напруги в проміжній ланці при коротких замиканнях та ін.

Відмови в автономних інверторах є найбільш частою причиною аварійних режимів в ТАЕП, тому доцільним є аналіз електромагнітних процесів саме в АІН, як найбільш критичному до таких режимів.

У процесі перетворення енергії АІН працює із заданою частотою перемикачів у двох станах напівпровідникових ключів (відкритому і закритому) з кінцевим числом топологій – зв'язків, з яких 8 – можна віднести для нормального функціонування, а інші (248) – до порушень у роботі (аварійних режимів).

Можна виділити три групи комбінацій стану АІН при різних поєднаннях вихідних полюсів із вхідними (рис. 1) [12, 13].

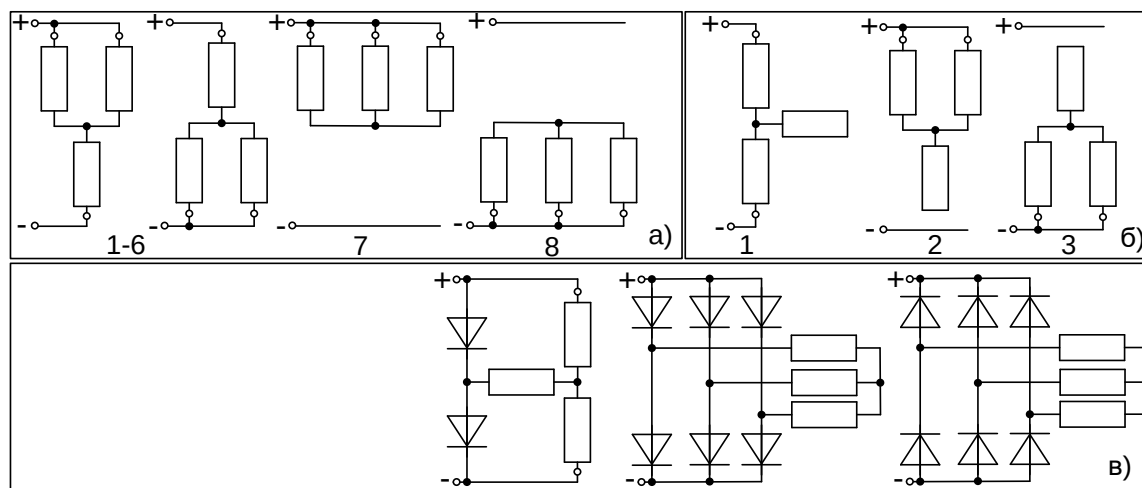


Рис. 1. Групи комбінацій стану схеми АІН: а – нормальні режими; б – неповнофазні режими; в – наскрізні КЗ по колах АІН

Загалом можна класифікувати аварійні режими коротких замикань на внутрішні і зовнішні короткі замикання (КЗ) в АІН. Під внутрішнім КЗ в автономному інверторі мається на увазі аварійний режим, що виникає після виходу з ладу одного із силових ключів інвертора (наскрізного КЗ фази інвертора через пробій транзистора) або внаслідок надходження на силові ключі інвертора «помилкових» (хибних) відкриваючих керувальних імпульсів. Під зовнішніми КЗ надалі маються на увазі закорочення «+» та «-»

вхідного живлення інвертора або двофазного (трифазного) замикання між собою вихідних фаз автономного інвертора.

У ситуації, що розглядається, режим внутрішнього КЗ виникає одночасно з надходженням на силовий ключ -А чергового відкриваючого імпульсу управління за умови, що раніше відкритий ключ +А при цьому не закрився (симетричне КЗ). Описаному режиму внутрішнього КЗ відповідає розрахункова еквівалентна електрична схема, показана на рис. 2 [5,12].

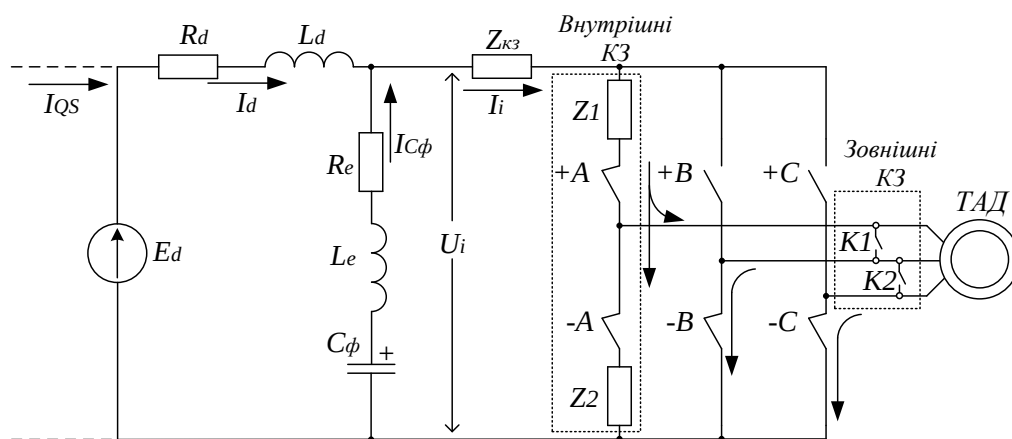


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема для режиму внутрішнього КЗ

Якщо припустити, що опори Z_1 і Z_2 дорівнюють нулю, то ємність вхідного фільтра

буде розряджатися через повний опір короткого замикання Z_{k3} і асинхронний двигун.

Математична модель у режимі внутрішнього КЗ описується співвідношеннями:

для перетворювача частоти:

$$\left. \begin{aligned} E_d - R_d I_d - L_d \frac{dI_d}{dt} &= U_i = 0, \\ U_{C\phi}(0) - \frac{1}{C} \int_0^t I_{C\phi} dt - L \frac{dI_{C\phi}}{dt} &= U_i = 0, \\ I_i &= I_d + I_{C\phi}, \\ \overline{U}_s &= \frac{2}{3} U_i e^{j\theta_U} = 0 \end{aligned} \right\}$$

для короткозамкнутого АД:

$$\left. \begin{aligned} \overline{U}_s = 0 &= R_s \bar{I}_s + L_\sigma \frac{d\bar{I}_s}{dt} + k \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt}, \\ L_m \bar{I}_s &= \bar{\Psi}_r + T \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} - j z \omega T \bar{\Psi}_r, \\ M &= \frac{3}{2} z k \Psi_r I_s \sin(\theta_I - \theta_{\Psi_r}), \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

Струм короткого замикання, що протікає через ключ -А (через транзистори аварійної фази), в режимі внутрішнього КЗ буде визначатися сумою струмів: випрямленого струму I_d , розряду конденсатора фільтра $I_{C\phi}$ та ударного струму ТАД I_A :

$$I_{\text{кз}} = I_d + I_{C\phi} + I_A.$$

Указані три струми виражаються приблизно аналітично через закон Ома з урахуванням початкових значень на момент аварії та відповідних опорів нелінійних елементів [2].

Відповідні значення струмів утворюють значний ударний від'ємний електромагнітний

момент двигуна, який можна записати як множення коефіцієнта на векторний добуток пари векторів потокозчеплень:

$$M_e = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_m}{L_r} \cdot (\bar{\Psi}_s \times \bar{\Psi}_r).$$

Виникнення ударного гальмівного моменту при КЗ пояснюється зміною взаємного положення векторів потокозчеплення шляхом випередження вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$ вектора потокозчеплення статора $\bar{\Psi}_s$, а, отже, переходу двигуна в генераторний режим роботи (рис. 3) [3-5].

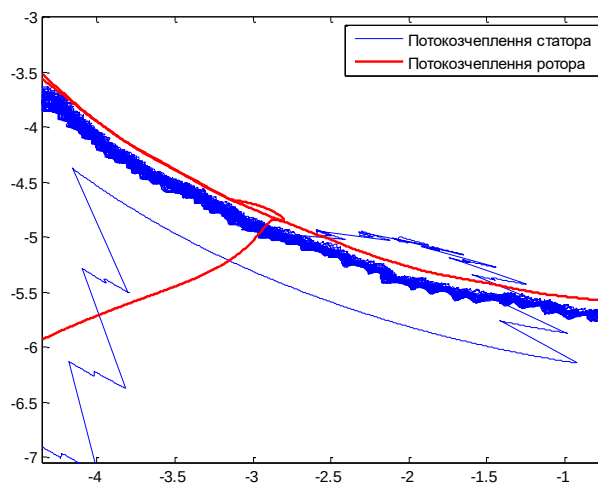
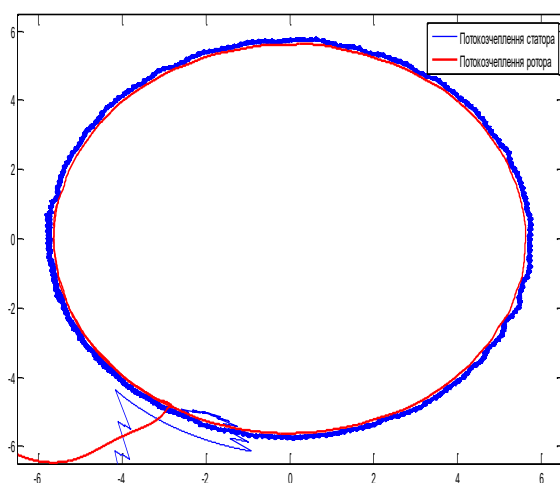


Рис. 3. Годограф потокозчеплень при наскрізному пробії ключа VT1

Зовнішні КЗ в ТАЕП можуть бути двох можливих різновидів:

1) двофазне зовнішнє КЗ (наприклад, між вихідними фазами A і B інвертора) за наявності перемички $K1$. При цьому вказане КЗ призводить, очевидно, до подальшого одночасного внутрішнього КЗ в інверторі по колу: «+» інвертора - відкритий ключ (+ A) - перемиčka $K1$ - відкритий ключ (- B) - «-» інвертора;

2) аналогічно, трифазне зовнішнє КЗ інвертора в схемі на рис. 2, призводить до внутрішнього КЗ по колу: «+» інвертора - відкритий ключ (+ A) - перемиčka $K1$ - паралельного між собою підключення: відкритий ключ (- B) і коло з послідовно з'єднаних перемички $K2$ і ключа (- C) - «-» інвертора.

На рис. 4 наведено змодельовані характерні електромагнітні процеси для аварійних режимів зовнішніх КЗ в ТАЕП.

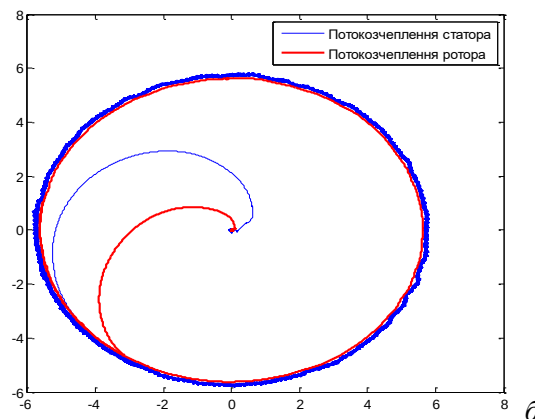
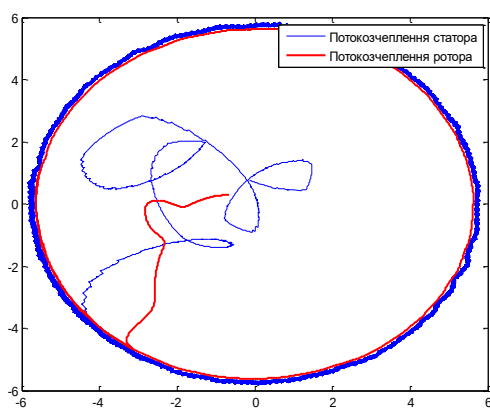


Рис. 4. Годографи потокозчеплень при 2-фазному (а) та 3-фазному (б) зовнішніх КЗ

Завдання автоматичного захисту ТАЕП в аварійних режимах КЗ полягає, по-перше, у забезпеченні неприпустимості наростання струму силових ключів понад його встановлене максимально допустиме значення і, по-друге, в одночасному обмеженні статорного струму АД. Для того, щоб в аварійних режимах внутрішнього і зовнішнього КЗ зберегти справними всі силові ключі, необхідно їх примусово закрити не пізніше часу t_{max} .

Забезпечення надійної та безаварійної роботи ТАЕП при короткочасних (зазвичай тривалістю 1-3 с) раптових глибоких зниженнях живильної напруги, або так званих «провалах» напруги, потребує реалізації певних алгоритмів автоматичного управління або захисту електропривода [4].

При падінні напруги в асинхронному двигуні відбувається різке зменшення крутного моменту в залежності від величини і тривалості падіння напруги та інерції обертових мас. Якщо створюваний двигуном крутний момент стає меншим від моменту опору, двигун зупиняється («перекидання двигуна»).

Перетворювачі частоти зазвичай переходять у стан аварії, коли падіння напруги перевищує 15 %.

Найгіршим випадком зазначеного провалу є стрибкоподібна зміна мережевої напруги від поточного значення до нуля, що відбувається, як правило, при відриві струмоприймача від проводу контактної мережі. При цьому через відкриті в цей момент часу силові ключі АІН відбувається розряд конденсатора фільтра C_ϕ на тяговий двигун. Напруга конденсатора U_K у свою чергу однозначно визначає поточне значення модуля створюваного узагальненого вектора вихідної напруги трифазного АІН:

$$U_s = \frac{2}{3} \cdot U_{C_\phi}.$$

Розглядуваному режиму провалу до нуля та відновленню напруги відповідають розрахункові еквівалентні схеми, показані на рис. 5.

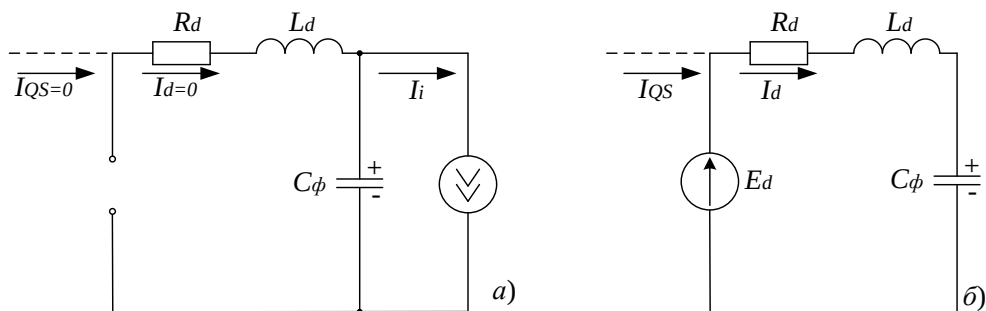


Рис. 5. Розрахункові еквівалентні схеми при провалі (а) та відновленні напруги (б)

Електромагнітний процес при відновленні напруги описується як

$$E_d = R_d I_d + L_d \frac{dI_d}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t I_d dt + U_{C\phi 1}(0).$$

де $U_{C\phi 1}(0) \geq 0$ – початкове значення напруги на конденсаторі фільтра C_ϕ (наявне в момент часу відновлення мережевої напруги); t –

поточний час, що відраховується від моменту часу відновлення мережевої напруги.

При відновленні після провалу напруги живлення спостерігається підвищення вхідного струму інвертора I_i та фазних струмів I_A, I_B, I_C до рівня пускових, прирощення моменту M_e , а також значне миттєве зростання напруги на конденсаторі фільтра C_ϕ .

Як ілюстрації до описаного вище, на рис. 6 показано електромагнітні процеси при провалі та відновленні мережевої напруги.

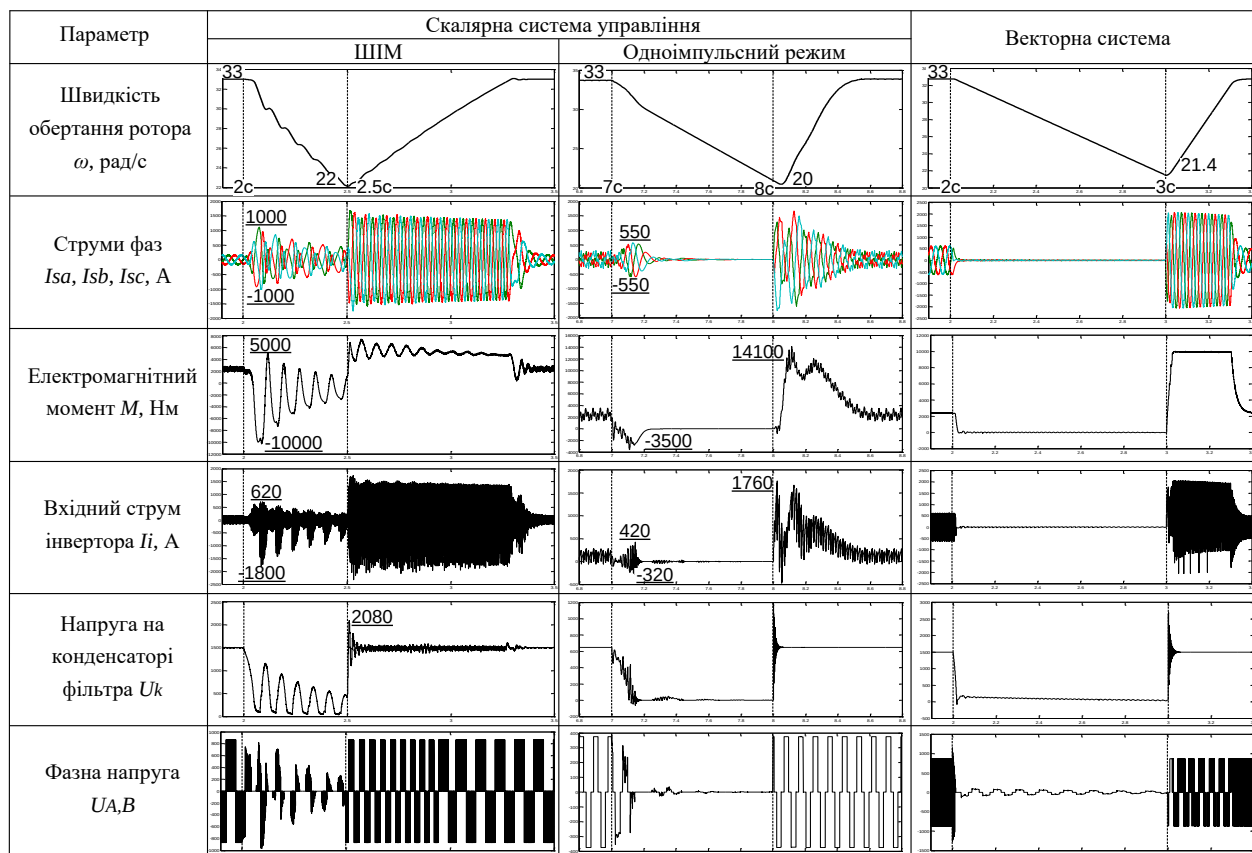


Рис. 6. Електромагнітні процеси в ТАЕП при провалі і відновленні напруги

Виходячи з електромагнітних процесів, що відбуваються при провалі і відновленні напруги, в цих режимах необхідні засоби для зменшення стрибків струмів через силові ключі АІН та зниження перенапруги на конденсаторі фільтра при відновленні напруги.

Вирішення відповідних задач можливе як за допомогою системи керування (наприклад комбінування різних способів модуляції [10]), так і методами діагностики [12]. При цьому необхідне також розроблення алгоритму прийняття рішення щодо відключення асинхронного електропривода, а також автоматичного повторного вмикання (АПВ) при відновленні напруги.

Неповнофазні режими інвертора в ТАЕП включають обриви вихідних фаз інвертора (фаз статора ТАД), або зникнення імпульсів управління на одному або декількох силових ключах автономного інвертора. Такі режими виникають на практиці через несправності в системі керування інвертором, пошкодження у драйверах або спрацьовування одного з власних захистів самого драйвера.

Електрична схема з позначеннями ключів, використаних при подальших дослідженнях, наведена на рис. 7.

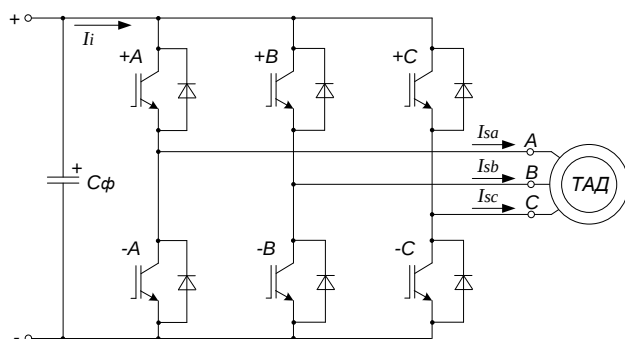


Рис. 7. Електрична схема АІН-ТАД з позначеннями ключів

Незважаючи на різноманіття можливих варіантів неповнофазних режимів інвертора, за ідентичністю характеру протікання електромагнітних процесів їх можна об'єднати в такі шість варіантів при зникненні імпульсів управління: +A; +A,-A; +A,-B; +A,+B; +A,-A,+B; +A,+B,+C.

Очевидно, що неповнофазні режими, які виникають при зникненні імпульсів управління на двох силових ключах (наприклад, +A,-A),

що перебувають в одній фазі інвертора, ідентичні режиму обриву однієї зі статорних обмоток (відповідно фази A) ТАД.

При неповнофазних режимах інвертора з'являються нові можливі варіанти підключення статорних обмоток ТАД (рис. 1, б), що характеризуються двофазним підключенням двигуна до різномісних або до одного з полюсів інвертора відповідно (1 – з підключенням двох статорних обмоток АД до різних полюсів інвертора і знеструмленій третій фазі; 2,3 – з замиканням між собою двох статорних обмоток АД і знеструмленій третій фазі (міжфазні КЗ)). При таких варіантах підключення статорних обмоток АД одна із статорних обмоток двигуна перебуває в знеструмленому стані. Тому в моменти, коли ця обмотка має бути в провідному стані, струм цієї фази буде являти собою «зрізану» синусоїду (втрата черговості додаткових напівхвиль струму фази).

Оскільки для всіх неповнофазних режимів інвертора характерна наявність інтервалів часу, при яких одна із статорних обмоток ТАД знеструмлена, а дві інші з'єднані послідовно, то на цих інтервалах часу дві вихідних фазних напруги інвертора рівні між собою за амплітудою (відповідно $0,5U_{\kappa}$ або нулю), а третя фазна напруга дорівнює нулю. Отже, при неповнофазних режимах створюється інше, ніж у повнофазних значення модуля узагальненого вектора вихідної напруги інвертора:

$$U_s = \begin{cases} \left\{ \frac{2}{3} \left[\frac{U_{\kappa}^2}{4} + \frac{U_{\kappa}^2}{4} + (0)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3}} \\ \left\{ \frac{2}{3} [(0)^2 + (0)^2 + (0)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} = 0. \end{cases}$$

Режим пропуску імпульсів управління не викликає значних перевантажень по струму, однак незбалансований розподіл струмів інвертора призводить до додаткового нагріву для плеча фази.

Слід зазначити, що при аналізі неповнофазних режимів інвертора в обов'язковому порядку слід урахувати нелінійність кривої намагнічування ТАД. Це дає змогу більш точно оцінювати значення струмів, які в цьому випадку будуть значно більшими (рис. 8).

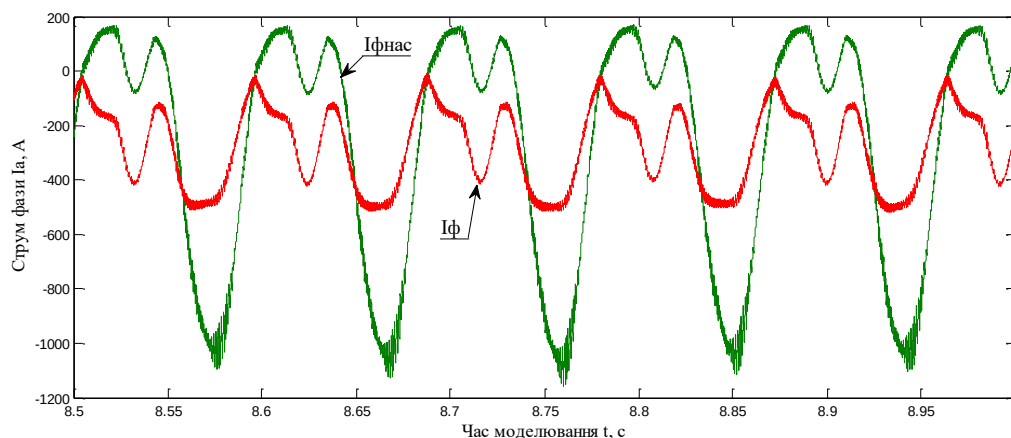


Рис. 8. Фазний струм з урахуванням нелінійності кривої намагнічування ТАД (при несправності пропуску імпульсів управління)

За допомогою розробленої імітаційної моделі ТАЕП досліджені зазначені неповнофазні режими для електродвигуна АД906, що працює в стаціонарному режимі з номінальним навантаженням (рис. 9).

Висновки. Розгляд процесів при аварійних режимах тягового асинхронного

електропривода дов змогу виконати аналітичне описання та встановити характерний вигляд осцилограм електромагнітних параметрів. Наведені дослідження дають змогу визначати діагностичні ознаки, що можуть бути використані при розробленні систем захисту обладнання з таким типом привода.

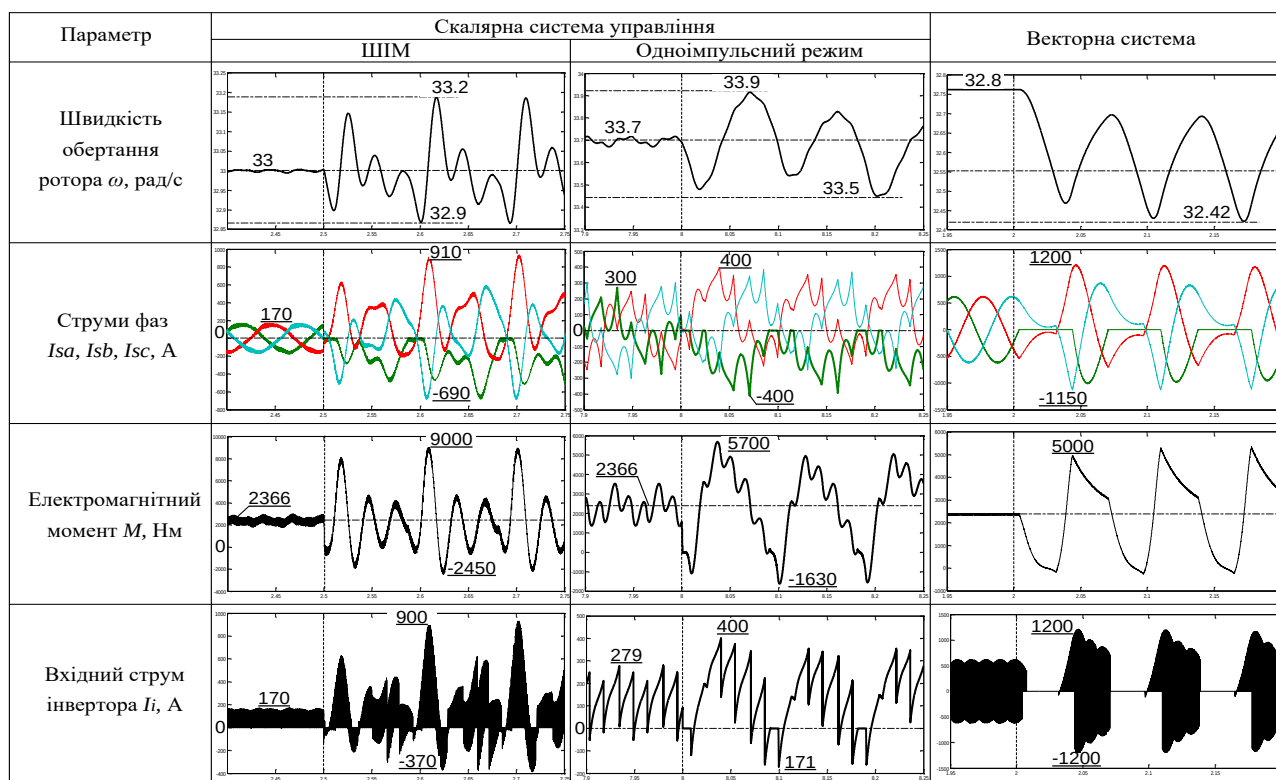


Рис. 9. Електромагнітні процеси, відповідні зникненню імпульсу управління на ключі + А інвертора

Список використаних джерел

1. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе [Текст] / И.К. Колесник, Т.Ф. Кузнецов, В.И. Липовка [и др.]. – М.: Транспорт, 1978. – 149 с.
2. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко; под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
3. Лашко, Ю.В. Концепция построения интеллектуальных защит асинхронных двигателей [Текст] / Ю.В. Лашко, А.П. Черный // Сб. науч. трудов Кременчугского ГПИ. – Кременчуг: КГПУ. – 2001. – Вып. 1(10). – С. 221-226.
4. Калінов, А.П. Метод діагностики пошкоджень стрижнів ротора [Текст] / А.П. Калінов, Ж.І. Ухань, І.В. Урдін // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Вип. 4/2009(57). – С. 98-101.
5. Retier, N. Etude des defauts dans les associations onduleur – machine asynchrone. Exemple d'une chaine de traction / These pour obtenir le grade de docteur de l'institut national polytechnique de Grenoble. – 1997. – 202 p.
6. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов [Текст] / А.Д. Степанов, В.И. Андерс, В.А. Пречисский, Ю.И. Гусевский. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с.
7. Мельников, В.О. Поліпшення енергетичних показників електропривода з векторним керуванням при несиметрії обмоток асинхронного двигуна [Текст]: дис. ... на здобуття канд. техн. наук 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи / В.О. Мельников. – Кременчук, 2013. – 205 с.
8. Метельский, В.П. Ударный момент асинхронного двигателя в частотно-регулируемом электроприводе при коротких замыканиях [Текст] / В.П. Метельский, А.Г. Лохматов // Вісник КДПУ. – 2007. – Вип. 3/(44), ч. 1. – С. 40-43.
9. Кулагін, Д.О. Проектування систем керування тяговими електропередачами моторвагонних поїздів [Текст]: монографія / Д.О. Кулагін. – Бердянськ: ФОП Ткачук О.В., 2014. – 154 с.
10. Покровский, С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 [Текст] / С.В. Покровский. – М.: Интекст, 2009. – 356 с.
11. Чиженко, И.М. Основы преобразовательной техники [Текст] / И.М. Чиженко, В.С. Руденко, В.И. Сенько. – М.: Высш. шк., 1974. – 430 с.
12. Метельский, В.П. Эффективные алгоритмы управления в аварийных режимах частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами с автономными инверторами напряжения [Текст] / В.П. Метельский, А.Г. Лохматов // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – № 1. – С. 54-58.
13. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием [Текст] / Г.Г. Соколовский. – М.: Academia, 2006. – 265 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Яцько Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем електричного транспорту, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (050) 907-16-58, E-mail: si_yatsko@mail.ru.
Паршин Борис Валерійович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: xxborissxx@gmail.com.

Вашченко Ярослав Васильович, аспірант, кафедра автоматизованих систем електричного транспорту, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (050) 728-21-92, E-mail: yar17680@gmail.com.

Yatsko Sergiy Ivanovitch, cand. of techn. sciences, docent chair of the automated systems of electric transport, Ukrainian State University of Railway Transport, contact tel.: (050) 907-16-58, E-mail: si_yatsko@mail.ru.
Parshin Boris Valerijovych, master student, Ukrainian State University of Railway Transport, E-mail: xxborissxx@gmail.com.
Vashchenko Yaroslav Vasylovych, postgraduate, chair of the automated systems of electric transport, Ukrainian State University of Railway Transport, contact tel.: (050) 728-21-92. E-mail: yar17680@gmail.com.

Наукова праця здана до друку 25.09.2015 р.

УДК 629.4.027

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Канд. техн. наук П.О. Харламов, магістрант Е.Л. Шабанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Канд. техн. наук П.А. Харламов, магистрант Э.Л. Шабанов

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SERVICE SUBWAY TRAINS

Cand. of techn. sciences P. Kharlamov, master student E. Shabanov

Розширення зовнішнього конкурентного середовища потребує пошуку нових резервів зниження витрат при забезпеченні високої якості надаваних послуг. Питання регулювання внутрішньогалузевих взаємин на основі оптимізації витрат на експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт рухомого складу стають у цей час досить актуальними.

Ключові слова: моторвагонний рухомий склад, ефективність, ефективна система утримування, діагностика.

Расширение внешней конкурентной среды требует поиска новых резервов снижения расходов при обеспечении высокого качества оказываемых услуг. Вопрос регулирования внутриотраслевых взаимоотношений на основе оптимизации расходов на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава становятся в это время довольно актуальными.

Ключевые слова: моторвагонный подвижной состав, эффективность, эффективная система содержания, диагностика.

The extension of the external competitive environment requires searching of new reserves to reduce costs while providing high quality services. The issue of regulating intra-industry relationship on the basis of optimizing the costs of operation, maintenance and repair of rolling stock be at this time quite relevant.

Keywords: Railcar rolling stock, efficiency, efficient system maintenance, diagnostics.

Вступ. Транспортна стратегія України передбачає поетапне входження залізничного транспорту в ринкові відносини, що визначає вдосконалювання системи керування перевізним і ремонтно-експлуатаційними процесами. Розширення зовнішнього конкурентного середовища потребує від Укрзалізниці пошуку нових резервів зниження витрат при забезпеченні високої якості надаваних послуг. Таким чином, питання регулювання внутрішньогалузевих взаємин на основі оптимізації витрат на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу стають у цей час досить актуальними [1].

У цій статті особливого значення набуває система підтримки ТО та ТР, яка базується на інформації про стан вузлів та деталей ТРС у реальному масштабі й часі. Така система

повинна містити три основні складові, що об'єднанні відкритою комп'ютерною мережею:

- інформаційно-керуюча система для оцінки поведінки ТРС в експлуатації;
- моделі моніторингу технічного стану та його прогнозування.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Для організації сервісного обслуговування моторвагонного рухомого складу на весь життєвий цикл необхідно науково обґрунтувати відповідні критерії та провести розрахунки ефективності прийняття рішень з урахуванням особливості конструкції та умов експлуатації як транспортного засобу в цілому, так і окремих складових одиниць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки було виконано ряд досліджень як в Україні, так і в Росії з удосконалення системи та технології обслуговування й ремонту з використанням методів та засобів діагностування й контролю [2-9].

Але стосовно нового наукоємного ТРС досліджень ще замало. Крім цього, не вистачає досліджень, присвячених аналітичним моделям стратегічного пошуку рішень удосконалення технології та системи ТО і ТР сучасних інформаційних комплексів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є оцінка ефективності сервісного обслуговування моторвагонного рухомого складу (МВРС) за рахунок використання науково обґрунтованих та технологічних рішень побудування системи сервісного обслуговування.

Основна частина дослідження. Щоб знизити експлуатаційні витрати на використання МВРС, необхідно формувати систему утримування моторвагонного рухомого складу з урахуванням технічного стану на основі інформаційних технологій для обліку й аналізу даних про експлуатацію і ремонт їх обладнання.

Формування раціональної системи утримування МВРС здійснюється з використанням характеристик надійності, отриманих з місця експлуатації або випробувань і оброблених за допомогою інформаційної системи з розрахунку надійності. Статистична інформація про надійність вузлів та систем МВРС збирається з початку їх випробувань.

Для формування системи сервісного обслуговування необхідно визначити

аналітичні залежності витрат на ремонт від параметрів системи утримування. Задача визначення раціональної системи утримування є задачею багатопараметричною і зводиться до визначення мінімуму функції, що залежить від трьох основних змінних: мінімальної припустимої швидкості приросту середньої кількості відмов $\bar{\lambda}$, максимального пробігу між найближчими ремонтами ℓ і пробігу до кінця експлуатації технічного об'єкта та мінімальною вартістю виконання обслуговування та ремонту.

Економічний ефект від підвищення ефективності сервісного обслуговування складається із зменшення капітальних і експлуатаційних витрат через:

- скорочення кількості ремонтів у ремонтному циклі й оптимізації номенклатури виконуваних робіт;
- скорочення часу на виконання окремих видів ремонту та діагностики шляхом упровадження новітнього устаткування та ін. [3, 4].

При цьому необхідно вирішити завдання оптимізації матеріально-технічного постачання ремонтів. Основні напрямки оптимізації – зменшення рівня запасів, вибір оптимального постачальника, зниження незапланованих закупівель [5, 6].

Для визначення економічного ефекту від використання найбільш ефективної системи утримування була розроблена модель, що наведена далі.

Загальну множину техніко-економічних характеристик використання МВРС з урахуванням капітальних і експлуатаційних витрат можна подати у вигляді

$$\lambda_i'' = \left\{ L, C_j, C_j, \Phi_j, Z_{л.бр.}, n, C_{ТОЗ}, C_{ПР1}, C_{ПР3}, C_{КР}, Z_{ТОЗ}, Z_{ПР}, Z_{ПР3}, Z_{КР}, P_{ТОЗ}, k_1, k_2, \tau, C_{мврс.}, t_{нр.}, \sigma, g_T, L_j, C_{нал}, C_{мас}, G_{Mj} \right\}, \quad (1)$$

де L – обсяг виконаної роботи за весь термін експлуатації; C_j – чистий прибуток; C_j – витрати виробництва; Φ_j – вартість виробничих фондів; $Z_{л.бр.}$ – заробітна плата локомотивної бригади за місяць; n – тривалість циклу в роках; $C_{ТОЗ}$ – витрати на ТО-3; $C_{ПР1}$ – витрати на ПР-1; $C_{ПР3}$ – витрати на ПР-3;

$C_{КР}$ – витрати на КР; $Z_{ТО-3}$ – вартість одного ТО-3; $Z_{ПР-1}$ – вартість одного ПР-1; $Z_{ПР-3}$ – вартість одного ПР-3; $Z_{КР}$ – вартість одного КР; $P_{ТОЗ}$ – кількість ТО-3 до і після першого ПР-2 до КР-1; k_1 – кількість ПР-1 до першого ПР-2; k_2 – кількість ПР-1 після першого ПР-2 до КР-1; τ – кількість ПР-3 за цикл; $C_{мврс.}$ –

ціна МВРС; t_{np} – середній час на простої на НР; σ – кількість НР за цикл; g_T – питома витрата палива, $к\text{г}/10^3\text{ткм}\cdot\text{брутто}$; L_j – продуктивність ТРС за j -й цикл, $10^3\text{ткм}\cdot\text{брутто}$; U_{nal} – ціна 1 т палива (1 кВт електроенергії); $U_{мас.}$ – ціна 1 т мастила; G_{mj} – витрата мастила в j -му циклі.

Результатом розрахунків буде масив $R_{55} = \{\Theta_{Aj}, Z_{\Pi}, Z_{ACj}, Z_{A\Phi j}\}$.

Ефективність роботи МВРС оцінювалася за критерієм рівня рентабельності Θ . Рентабельність Θ визначається як відношення чистого прибутку $\sum \Pi_i$, вираженого в оптових цінах, і витрат виробництва $\sum C_i$ до вартості виробничих фондів $\sum \Phi_i$

$$\Theta_{Aj} = \left(\sum_{j=1}^t \Pi_j - \sum_{j=1}^t C_j \right) / \sum_{j=1}^t \Phi_j. \quad (2)$$

При перерахуванні ціни за виконану роботу $\sum_{j=1}^t \Pi_j$, а також витрат при експлуатації $\sum_{j=1}^t C_j$ і величини виробничих фондів $\sum_{j=1}^t \Phi_j$ у питомі показники (залежність від обсягу виконаної роботи за весь термін експлуатації роботи) формула набуде такого вигляду:

$$\Theta_{Aj} = (Z_{\Pi} - Z_{ACj}) / Z_{A\Phi j}, \quad (3)$$

де Z_{Π} – питома ціна виконаної роботи; Z_{ACj} – питома собівартість одиниці витрат виробництва; $Z_{A\Phi j}$ – питомі середньорічні витрати на виробничі фонди.

У загальному вигляді, при терміні служби машини, рівному τ міжремонтним циклам, собівартість одиниці роботи запишемо так:

$$Z_{ACj} = \left(S + \sum_{j=1}^t E_j + \sum_{j=1}^t R_j \right) / L, \quad (4)$$

де S – оптова ціна МВРС; $\sum_{j=1}^t E_j$ – сума експлуатаційних витрат за t циклів; $\sum_{j=1}^t R_j$ – сума витрат на капітальні ремонти.

Питомі середньорічні витрати на виробничі фонди оцінюються за формулою

$$Z_{A\Phi j} = \frac{T}{L} \cdot \Phi_{cp}, \quad (5)$$

де T – термін служби ТРС; Φ_{cp} – величина виробничих фондів [10].

За наведеною моделлю були виконані розрахунки ефективності експлуатації МВРС для трьох варіантів організації ТО, ТР: без проведення діагностики на ТО-3, ПР-1; з діагностикою на кожному ПР-1 і ТО-3 та на кожному ПР-1 через ТО-3.

Аналіз результатів розрахунків показує, що рівень рентабельності зі збільшенням амортизаційного терміну експлуатації МВРС змінюється від циклу до циклу і досягає максимального значення: для I варіанта – до кінця четвертого міжремонтного циклу, а для II і III варіантів – до кінця п'ятого циклу.

Отримані показники економічного ефекту впровадження є швидше оцінкою потенційних можливостей, що надає система утримування. За зробленими розрахунками ефективна система утримування дає змогу:

- шляхом створення єдиної БД використовуюваного устаткування й агрегатів, збільшити кількість детально описаного устаткування з 25-40 % до 90-95 %;

- за рахунок кращого планування робіт, використання архівних даних при підготовці завдання на роботи скоротити загальні трудозатрати на 30 %;

- за рахунок кращої організації спільної роботи експлуатаційного й ремонтного персоналу скоротити час позапланових простоїв на 50 %;

- досягти переходу від планово-попереджувальної системи ремонту до ремонтів за станом, що дасть змогу скоротити витрати на ремонт і технічне обслуговування до 50 %.

Наведені техніко-економічні розрахунки свідчать про те, що впровадження ефективної

системи утримування МВРС з використанням новітнього устаткування діагностики та інформаційного середовища дозволить знизити вартість життєвого циклу МВРС.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.
Було розглянуто шляхи підвищення

ефективності використання та утримування МВРС. Запропоновано модель визначення економічного ефекту від упровадження ефективної системи утримування. Визначені основні переваги ефективної системи утримування для моторвагонного рухомого складу метрополітену.

Список використаних джерел

1. Про програму реструктуризації на залізничному транспорті України на 1998 – 2003 роки [Текст]: протокол № 10 засідання Ради Укрзалізниці від 26.05.98р. // Магістраль ділова. – 1998. – № 6. – С. 61-69
2. Бутко, Т.В. Удосконалення методів розрахунку параметрів системи технічного утримання локомотивів [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Т.В. Бутко. – Харків: ХарДАЗТ, 1996. – 43 с.
3. Боднар, Е.Б. Підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи управління [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / Е.Б. Боднар. – Харків: ХарДАЗТ, 2004. – 21 с.
4. Головащ, А.Н. Совершенствование системы ремонта и эксплуатации подвижного состава на основе комплексной системы управления качеством [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. – Новосибирск, 2006. – 44 с.
5. Геннадиев, Г. Метод оценки эффективности системы технического обслуживания и ремонта на железнодорожном транспорте [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 3. – С. 30-33.
6. Гиричева, В.А. Анализ расходов на текущий ремонт и амортизацию локомотивов в условиях падения объемов перевозок и инфляции [Текст] / В.А. Гиричева, Р.А. Емельянова, Е.В. Быкова; Моск. гос. ун-т. путей сообщ. – М., 1997. – 15 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 15.05.97, № 6100-жд.
7. Исаев И.П., Разработка оптимальной системы ремонта локомотивов [Текст] / И.П. Исаев, С.Н. Журавлев, В.И. Седов // Ж.-д. трансп. – 1970. – № 10. – С. 40 – 44.
8. К оптимизации межремонтных сроков деталей и узлов тепловозов [Текст] / В.Д. Басалаев, Е.С. Павлович, А.А. Серегин, В.А. Четвергов Исследование надежности деталей и узлов тепловозов: науч. труды ОмИИТа. – Омск: ОмИИТ, 1970. – Т. 11. – С. 9-17.
9. Бабанін, О.Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / О.Б. Бабанін. – Харків: УкрДАЗТ, 2001. – 36 с.
10. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте [Текст] / ВНИИЖТ МПС. – М.: Транспорт, 1991. – 93 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Шабанов Ельміхан Латир-огли, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: shabanov.elmixan@gmail.com.

Kharlamov Pavlo, cand. of techn. sciences, lecturer of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Shabanov Elmikhan, master student of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: shabanov.elmixan@gmail.com.

Наукова праця здана до друку 27.09.2015 р.

ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ

УДК 629.4.028

АТЕСТАЦІЯ ДЕПО ЯК ОДИН ЗІ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук А.П. Фалендиш, магістр В.О. Байков, асп. О.В. Клецька

АТТЕСТАЦИЯ ДЕПО КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д-р техн. наук А.П. Фалендыш, магистр В.А. Байков, асп. О.В. Клецкая

CERTIFICATION DEPOT AS ONE OF WAYS TO ENHANCE PERFORMANCE MULTIPLE UNITS

Doct. of techn. sciences A. Falendysh, magistr student V.Baikov, O. Kletska

Технічний стан локомотивного парку безпосередньо пов'язаний з безпекою руху поїздів. Однак згідно зі щорічно проведеним Департаментом приміських пасажирських перевезень Укрзалізниці аналізом безпеки руху негативна тенденція погіршення технічного стану моторвагонного рухомого складу (МВРС) зберігається.

Ключові слова: атестація, рухомий склад, ефективність, безпека, колісно-редукторний блок, редуктор, система якості.

Техническое состояние локомотивного парка напрямую связано с безопасностью движения поездов. Однако согласно ежегодно проводимым Департаментом пригородных пассажирских перевозок Укрзалізниці анализ по безопасности движения негативная тенденция ухудшения технического состояния моторвагонного подвижного состава (МВПС) сохраняется.

Ключевые слова: аттестация, подвижной состав, эффективность, безопасность, колесно-редукторный блок, редуктор, система качества.

The technical condition of the locomotive fleet is directly related to traffic safety. However, according to the Department's annual suburban passenger Ukrzaliznytsia analysis Traffic Safety negative trend of the deteriorating condition of the motor-car rolling stock (MVPS) is stored.

Keywords: certification, rolling stock, efficacy, safety, wheel-gear unit, gear system quality.

Вступ. Безпека руху поїздів безпосередньо пов'язана з технічним станом локомотивного парку. Однак згідно зі щорічно проведеним Департаментом приміських пасажирських перевезень Укрзалізниці аналізом безпеки руху негативна тенденція погіршення технічного стану моторвагонного рухомого складу (МВРС) зберігається.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Основними причинами погіршення стану моторвагонного парку є:

- фізичне старіння і неповна заміна МВРС, що виробив ресурс (знос складає більше 80 %);

- незадоволення потреб парку МВРС у капітальних ремонтах;

- наявність перепробігу між поточними і капітальними ремонтами;

- підміна капітальних видів ремонту на більш легкі ПР-3, ПР-3у, або капітальні ремонти, що проводяться в умовах депо. Через це ресурс обладнання, заміна якого на нове входила до обсягу КР, повністю не відновлюється;

- недостатній рівень або клас кваліфікації ремонтного персоналу, локомотивних бригад МВРС, їх неукomплектованість та ін.

Ще одна причина погіршення технічного стану МВРС, яка впливає на всі перераховані вище, – це низький рівень контролю якості ремонту в депо, що обумовлено рівнем організації виробництва.

Завдання вдосконалення виробництва на підприємствах залізничного транспорту може бути вирішене одним із шляхів:

- грамотним вибором виробничої політики;

- створенням структур, здатних виконати весь комплекс завдань і функцій, що впливають з обраної політики;

- розробленням і функціонуванням системи якості, здатної забезпечити економічну ефективність діяльності підприємства і створити передумови для підвищення безпеки руху МВРС.

Тому визначення основних шляхів підвищення ефективності роботи моторвагонних депо в теперішній час є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система якості – це сукупність організаційних процедур, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення загального керівництва якістю. Свого часу Міністерством транспорту України, Державною адміністрацією залізничного транспорту України був затверджений порядок атестацій локомотивних депо (2002 р.). Згідно з цим порядком усі технічні засоби підлягають обов'язковій сертифікації. Шість основоположних міжнародних стандартів (МС) ISO 9000-1, 9001, 9002, 9003, 9004-1 і +8402 стали ядром великого комплексу стандартів, які отримали загальну назву «Сімейство стандартів ISO 9000», яке поширюється на всі види продукції промислового та економічного секторів. Для МВРС доцільно використовувати МС ISO 9002 - 94 «Системи якості – модель для забезпечення якості при виробництві, монтажі та обслуговуванні» і ISO 9004-1-94 «Управління якістю та елементи системи якості. Частина 1. Настанови».

Загальне керівництво якістю здійснюється через управління всією сукупністю виробничих процесів. Політика якості визначається як реальна мета, а система якості розглядається як засіб досягнення мети.

Процеси виробництва, монтажу та технічного обслуговування чинять вирішальний вплив на якість ремонту МВРС. Ключовим положенням серед них є виробничий цикл, який являє собою сукупність взаємопов'язаних процесів від моменту отримання матеріальних ресурсів до випуску МВРС з ремонту.

Важливе місце в управлінні виробничим процесом має обладнання. Згідно з вимогами ISO все обладнання, включаючи стаціонарні механізми, складальні пристрої, стенди, технологічне оснащення, шаблони, калібри та інші вимірювальні засоби, слід перевіряти на точність до їх використання. Прийняття будь-яких технічних і керуючих рішень ґрунтується на інформації і залежить від її повноти, своєчасності та достовірності.

Стандарт ISO 9004-1 виділяє витрати на забезпечення якості у вигляді окремого елемента «Витрати на якість». Класифікація витрат на якість передбачає: попереджувальні витрати; оцінні витрати; витрати внаслідок внутрішніх і зовнішніх відмов.

При класифікації витрат на якість використовують такі методи: калькуляція витрат на якість; калькуляція витрат, пов'язаних з виробничими процесами; визначення втрат внаслідок низької якості.

Ефективна система якості може істотно впливати на рентабельність технічного обслуговування МВРС [1-13].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення і введення основних принципів атестації моторвагонних депо для вдосконалення проведення регламентних робіт у структурних підрозділах залізниць Головним управлінням приміських пасажирських перевезень.

Основна частина дослідження. Атестація депо є процедурою, спрямованою на досягнення впевненості в тому, що його ремонтне виробництво і виробничі умови забезпечують можливість виконання ремонту МВРС або його складових частин з рівнем, який відповідає вимогам техногенно-екологічної безпеки. Вона проводиться за наказом Укрзалізниці згідно з планом-графіком, який затверджується щорічно заявкою підприємства про готовність до атестації.

Атестація депо здійснюється атестаційною комісією, до складу якої входять такі представники головних управлінь Укрзалізниці: пасажирських перевезень, безпеки руху та екології, охорони праці та

пожежної охорони. Головою комісії призначається головний інженер Головного управління приміських пасажирських перевезень Укрзалізниці.

Алгоритм атестації подано на рисунку.

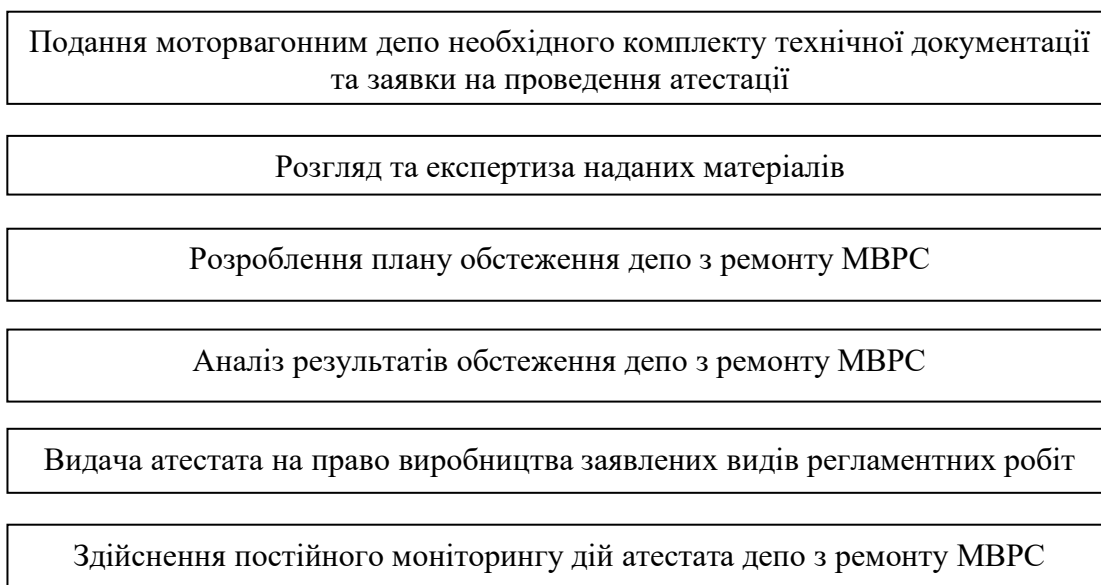


Рис. Алгоритм атестації моторвагонного депо

Депо з ремонту МВРС надає атестаційній комісії такі документи: паспорт моторвагонного депо, відомості про відповідність ремонтного виробництва вимогам нормативно-технічної документації, копії акта перевірок

Оцінка організаційно-технічного рівня ремонтного виробництва проводиться з метою встановлення його відповідності вимогам правил ремонту. Оцінка проводиться по кожному ремонтному підрозділу, який передбачається схемою управління депо. Перевіряються: технології ремонту, кваліфікація персоналу і наявність системи її підвищення, характеристики обладнання, метрологічне та інструментальне оснащення, екологічна безпека, введення нових засобів контролю та діагностування, наявність і використання раціоналізаторських пропозицій у депо.

Експлуатаційні післяремонтні випробування МВРС виконуються тільки на повністю відремонтованих зразках. Результати

оформляються протоколами встановленої форми. Копії протоколів додаються до акта обстеження. Зауваження комісії, виявлені під час атестації, перевіряються повторно. За результатами обстеження складається акт обстеження ремонтного виробництва, який підписується всіма членами атестаційної комісії та надається для ознайомлення керівництву депо. На підставі аналізу актів і протоколів обстеження депо, протоколів експлуатаційних і ремонтних випробувань комісією складається висновок про відповідність ремонтного виробництва чинним нормативно-технічним документа і можливість видачі атестата.

Атестат видається депо з ремонту МВРС на строк до трьох років, набираючи чинності з моменту підписання начальником Головного управління приміських пасажирських перевезень Укрзалізниці. При негативних висновках, зроблених атестаційною комісією, Головне Управління приміських пасажирських перевезень Укрзалізниці приймає рішення про

неможливість видачі атестата виробництва і депо забороняється виконувати ремонти в зазначених обсягах. Рішення комісії доводиться до начальника депо негайно, а його письмове обґрунтування повідомляється в 10-денний термін.

На жаль, незважаючи на всі вживані зусилля, до теперішнього моменту не вирішено питання стійкої експлуатації вузла гумо-кордової муфти колісно-редукторного блока моторних вагонів електропоїздів. Тільки в поточному році згідно з телеграфними вказівками Укрзалізниці допущено два випадки виходу з ладу вузла гумо-кордової муфти з розльотом її елементів і потраплянням всередину пасажирських салонів.

Цілком очевидно що якісний ремонт колісно-редукторного блока (КРБ) стає основою безпеки руху електропоїздів серії ЕР. Досвід експлуатації поїздів серії ЕР моторвагонного депо Одеса-Застава 1 показує, що їх екіпажна частина працює належно за умови, якщо всі її деталі і вузли виготовлені або відремонтовані згідно з технічними умовами.

Як показує досвід, неякісний деповський ремонт є результатом незнання причин, що викликали той чи інший характер пошкодження. Тому в основу якісного ремонту електропоїздів у першу чергу було закладено суворе дотримання всіх правил, технологій і технічних умов на виготовлення комплектуючих деталей і вузлів. І звичайно ж грамотне, кваліфіковане складання, випробування і контроль за якістю ремонту, тільки в цьому випадку деповський ремонт забезпечить безвідмовну експлуатацію електропоїздів на лінії.

Існують різні підходи до вирішення проблем надійності нарізного з'єднання. Так, зокрема, досить поширені технічні довідки про

невідповідність характеристик міцності болтів випробовуваним у процесі експлуатації навантажень, неправильний підбір зубів тягової зубчастої передачі КРБ, недостатня кількість болтів, що кріплять вінець великого зубчастого колеса до колісного центра. Можна навести ще безліч прикладів, які свідчать про недостатню грамотність наших ремонтних кадрів. Тому, приступаючи до відновлення вузла, що відмовив, необхідно пам'ятати, що ремонт повинен починатися з кваліфікованого, правильного установалення причини відмови. Тільки знаючи справжню причину пошкоджень вузла, деталі і правильно прийнявши технічні рішення щодо їх запобігання можна сподіватися на успіх.

Висновки. Для підвищення ефективності експлуатації моторвагонного депо необхідно регулярно виконувати атестацію депо у відповідності до затверджених положень.

За результатами атестації моторвагонного депо Одеса-Застава 1 передбачається проведення додаткових закупівель обладнання, необхідного для організації роботи електромашинного цеху. Удосконалення позицій обкатки колесомоторних блоків. Розроблення стенда для притирання посадочних поверхонь фланця тягового двигуна і малої шестірни.

Для успішної реструктуризації залізничного транспорту та його якісної інтеграції в економіку України і Євроінтеграції на новому рівні необхідно виконати значний обсяг додаткових підготовчих робіт, а це насамперед гармонізація нормативно-правового та технічного документального забезпечення. Упровадження нових правил технічно регульованої політики, перехід від системи атестації до системи управління якістю та сертифікацією виробництва.

Список використаних джерел

1. Общетеchnический справочник [Текст] / под ред. Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1982.
2. Каталог нестандартного оборудования измерительного и проверочного инструмента для предприятий локомотивного хозяйства [Текст]. – М.: Транспорт, 1999.
3. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих [Текст]. – М.: Транспорт, 1970. – Вып. 56.
4. Тарифно-квалификационный справочник рабочих промышленных и эксплуатационных предприятий железнодорожного транспорта [Текст]. – М.: МПС СССР, 1960. – Ч. 2.
5. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України, 2002.

6. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і електросекцій [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України, 2002.
7. Методичні вказівки з проведення технічних ревізій та контрольних перевірок на роботи підприємств та станцій щодо забезпечення безпеки руху поїздів [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України, 1999.
8. Правила по охране труда при техническом обслуживании и текущем ремонте тягового подвижного состава и грузоподъемных кранов на железнодорожном ходу [Текст]. – М.: МПС, 1992.
9. Галкин, В.Г. Надёжность тягового подвижного состава [Текст] / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981.
10. Электропоезд ЭР9П. Руководство по эксплуатации [Текст]. – М.: Транспорт, 1969.
11. Электропоезда переменного тока [Текст]: учеб. пособие. – М.: Транспорт, 1985.
12. Плахотник, В.Н. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения [Текст] / В.Н. Плахотник, Л.А. Ярышкина, А.Н. Бойченко. – К.: Транспорт Украины, 2001.
13. Технологическое оборудование. Средство контроля и диагностирования для технического обслуживания и ремонта железнодорожной техники [Текст]. – Омск: НИИТКД, 2006.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-21-25.

Байков Віктор Олександрович, магістр, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Клецька Ольга Віталіївна, аспірант, кафедра теплотехніки і теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-78. E-mail: gurao@yandex.ru.

Falendysh Anatoliy, doct. of techn. sciences, profesor department of operation and maintenance of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-21-25.

Baikov Viktor, master student department of operation and maintenance of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport.

Kletska Olga, aspirant the Department of Thermal Engineering and Heat Engines Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-78. E-mail: gurao@yandex.ru.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.

УДК 629.4

ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗІВ ЧМЕЗ

Магістр І.В. Мельник, д-р техн. наук А.П. Фалендиш

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАРИАНТА МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЗОВ ЧМЭЗ

Магістр И.В. Мельник, д-р техн. наук А.П. Фалендиш

DEFINITION OF OPTIONS FOR THE MODERNISATION OF LOCOMOTIVES CMEЗ

Magistr I. Melnik, doct. of techn. sciences A. Falendysh

У статті розглянуто різні варіанти модернізації тепловозів ЧМЕЗ й надана пропозиція ремоторизації застарілих та зношених двигунів на сучасні з кращими економічними й екологічними показниками.

Ключові слова: ЧМЕЗП, ЧМЕЗМ, тепловоз, модернізація, ремоторизація, надійність, Полтавський ТРЗ.

В статье рассмотрены различные варианты модернизации тепловозов ЧМЭЗ и предложена ремоторизация устаревших и изношенных двигателей на современные с лучшими экономическими и экологическими показателями.

Ключевые слова: ЧМЭЗП, ЧМЭЗМ, тепловоз, модернизация, ремоторизация, надежность, Полтавский ТРЗ.

In the article considered different versions of the modernization of locomotives CHMEЗ and proposed remotorization obsolete and worn-out engines on modern with better economic and environmental performance.

Keywords: CHMEЗP, CHMEЗM, diesel locomotive, modernization, remotorization, diesel engines, freliability, Poltava MIG.

Вступ. Технічний стан рухомого складу Укрзалізниці перебуває у край важкому стані, маневрова робота більш ніж на 90 % виконується парком локомотивів, що виробив свій ресурс. При цьому їх середній вік складає близько 30 років [1, 2]. Згідно з прогнозними планами Укрзалізниці обсяги перевезень набуватимуть тенденції до зростання, що потребує збільшення парку локомотивів на 20 % до 2020 р. В умовах фінансової кризи, яка спостерігається в Україні, оновлення парку локомотивів шляхом закупівлі нових є практично неможливим.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У зв'язку з фізичним та моральним зношенням парку маневрових тепловозів типу ЧМЕЗ та великим розмаїттям їх видів модернізації в різних країнах необхідно вибрати раціональний варіант модернізації даних тепловозів.

Мета статті. Визначити для залізниць України раціональний варіант модернізації тепловозів ЧМЕЗ з установленням сучасної енергетичної установки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день інвентарний парк тепловозів серії ЧМЕЗ на залізницях України становить 1520 одиниць. З цього загального числа в експлуатації перебуває 1032 локомотиви вищезгаданої серії.

Старіння локомотивного парку Укрзалізниці потребує його швидкої заміни, але в умовах скорочення фінансування закупівля нових маневрових локомотивів є неможливою. Виходом зі створеної ситуації є модернізація існуючого парку локомотивів, яка є особливо ефективною в умовах дефіциту фінансів та високої вартості нового локомотива. Таким чином, як вихід із даної ситуації було прийнято модернізацію існуючих

локомотивів, так як у країні є всі можливості для реалізації даної програми. Перевагою модернізації є менші капітальні витрати в порівнянні з придбанням нових локомотивів.

Одним із основних вузлів тепловозів, який морально і фізично застарів, є дизель. Застосовувані на тепловозах енергетичні установки розробки 60-70 рр. минулого століття сьогодні є неекономічними (ні за витратою палива, ні з обслуговування та ремонту) і до того ж зараз дані дизелі не випускаються. Аналіз робіт [5-8] показав, що в багатьох випадках економічно доцільніше проводити модернізацію або ремоторизацію дизельного рухомого складу замість закупівлі нового.

На залізницях України, починаючи з 1998-2001 рр., виконувалася ремоторизація застарілих тепловозних дизелів К6S310DR дизельними двигунами виробництва ДП «Завод імені В.А. Малишева» типу 4Д80Б. Дизель являє собою дванадцятициліндровий чотиритактний дизель з газотурбінним наддувом потужністю 993 кВт. При ремоторизації проводили лише заміну дизеля. Головний генератор та допоміжне обладнання залишалось як і на штатному тепловозі. Електрична схема має незначні зміни у порівнянні зі штатною [9, 10].

Перший модернізований локомотив ЧМЕЗ-2799 з 1998 р. експлуатувався та випробовувався в локомотивному депо Харків Сортувальний Південної залізниці, загалом було модернізовано декілька тепловозів ЧМЕЗ-2944, 2799, 2426, 4235. Локомотиви працювали на рівні з іншими локомотивами на вивозі, при маневровій роботі на гірці. Випробовування показали, що витрати палива на 8,1 % менші в порівнянні зі штатним дизелем К6S310DR. Витрата палива за тепловозною характеристикою практично

однакова на низьких позиціях і менша в 4Д80Б починаючи з 5-ї позиції. Експлуатаційні витрати палива менші на 5-12 % в порівнянні зі штатним дизелем, що практично виражається економією палива в експлуатації до 2 %.

Укрзалізниця має досвід модернізації тепловоза ЧМЕЗ № 1744 за проектом фірми CZ LOCO з використанням дизелів фірми Caterpillar, [2] двох тепловозів. Ці проекти широко застосовано у багатьох європейських країнах. Найбільше розповсюдження отримав варіант комплексної модернізації тепловоза із застосуванням дизельного двигуна Caterpillar 3512В, який в Україні одержав позначення ЧМЕЗП, Прибалтиці – ЧМЕЗМ. Модернізований шестивісний тепловоз типу ЧМЕЗП призначений для важкої маневрової та вивізної роботи на загальнодержавних, регіональних та інших залізничних шляхах з шириною колії 1520 мм. Осьова формула локомотива 3о – 3о, маса на вісь складає 20 т. Тепловоз оснащений електричною передачею потужності змінно-постійного струму. На тепловоз установлений двигун внутрішнього згоряння Caterpillar 3512В потужністю

1455 кВт і тяговий генератор змінного струму Siemens 1FC2 631. Дизель Caterpillar 3512В являє собою чотиритактний дванадцятициліндровий V-подібний дизель з турбонаддувом і електронним уприскуванням палива. Запуск двигуна внутрішнього згоряння електричний, від акумуляторних батарей. Локомотив обладнаний мікропроцесорною системою діагностики, яка під час експлуатації локомотива забезпечує безперервний автоматичний контроль параметрів роботи вузлів і агрегатів. Наявність пристроїв автоматичної діагностики дає змогу стежити за основними технічними параметрами тепловоза в експлуатації. Тепловоз обладнаний дворезимним електродинамічним гальмом, автоматичним і прямодіючим пневматичним гальмом з електроуправлінням KNORR-BREMSE, двоступінчастим стоянковим гальмом [11-14].

У 2013 р. на Полтавському ТРЗ за проектом словацької компанії було модернізовано локомотив ЧМЕЗ-2047 для депо Одеса-Сортувальна (рисунок), що отримав позначення ЧМЕЗМ.



Рис. Тепловоз ЧМЕЗ-2047 після модернізації на Полтавському ТРЗ

На локомотиві встановлена мікропроцесорна система управління. Система управління СУ автоматично управляє за допомогою периферійного обладнання ДД тяговим і допоміжним обладнанням, забезпечує контроль робочого стану локомотива, діагностику підлеглих систем та компонентів, попереджає про несправності і забезпечує комунікацію з іншим локомотивом (система

двох одиниць). Локомотив спроектовано таким чином, щоб для його управління було достатньо однієї людини. Кабіна машиніста металеві конструкції. Основа кабіни складається із закритих металевих профілів і листів. Лобові вікна огляду суцільні з обігрівом, мають негативний ухил і обладнані електричними двірниками з поливом і механічними шторками. Лобові вікна посилені.

На даху кабіни машиніста розташована система кондиціонування яка забезпечує мікроклімат у літній період. У комплект обладнання кабіни також входить плитка, холодильник, ящик для одягу і вогнегасників, умивальник з теплою водою, ємність з нержавіючої сталі для води, дзеркало заднього виду, охоронний козирок над бічними вікнами.

Силова установка складається з дизеля, тягового та допоміжного генераторів, гасителя вихлопу газів, вихлопної труби, рами агрегату з вібраційними елементами і рами вихлопного гасителя.

На локомотиві встановлений дизельний двигун Катерпіллер 3508B SCAC потужністю 970 кВт при 1800 об/хв. Даний двигун є чотири-тактним восьмициліндровим дизелем з прямим уприскуванням палива за допомогою електронної системи уприскування EUI, керованої електронним модулем ECM-ADEM III з власною діагностикою. Дизель з наддувом від турбокомпресора, який приводиться в рух вихлопними газами. Розташування циліндрів V-подібне.

Об'єм паливного бака – 5600 л дизпалива з виконаними змінами у верхній частині, внаслідок встановлення ящика АКБ в нижній частині головної рами та встановлення елементів системи контролю витрат палива в паливному баку. Дизель охолоджується за допомогою двох незалежних контурів охолодження. Установка охолодження складається з двох холодильників, які встановлені на зварній рамі. Для кожного контуру дизеля є окремий холодильник.

Тягові двигуни використані штатні ТД тип ТІ 006В, які пройшли капітальний ремонт КР-2 згідно з «Правилами ремонту електричних машин тепловозів і дизель-поїздів» ЦТ-0205 зі збільшенням класу ізоляції на Н.

Локомотив має два тривісні візки зварної конструкції з двох поздовжніх, двох

поперечних і шворневої балок. Поперечні балки з'єднані шворневою балкою, яка має отвір для шворня локомотива. У поздовжньої осі локомотива шворінь впирається в гумометалеві упори. Рама візка без початкових консолей з навареними консолями для встановлення гумометалевих блоків і консолей для встановлення поперечних гідравлічних гасителів. Передача маси локомотива на осі колісних пар здійснюється через буксові вузли.

На кожній стороні осі колісних пар у процесі модернізації встановлюються датчики обертів для запобігання пробуксовці і юзу, на третій та четвертій колісній парі – датчики АЛС, а на п'ятій – датчики для системи управління локомотивом. На локомотиві встановлене пневматичне гальмо системи ДАКО ДП, управління яким – електричне.

Висновки. З проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

- зношеність штатного дизеля К6S310DR тепловоза ЧМЕЗ призводить до значних витрат на поточне утримання та експлуатацію;

- модернізація зі збереженням потужності в основному проводиться шляхом ремоторизації. За таким напрямом модернізувалися тепловози в Росії та Україні. У першому випадку встановлювали дизель 1-ПД4 або дизель-генератор 4-36ДГ, а в другому випадку встановлювали дизель 4Д80Б;

- основним напрямом модернізації тепловозів ЧМЕЗ для залізниць України є модернізація за проектом словацької компанії, що отримала найбільше поширення. Оновлення кожного локомотива обходиться на 30 % дешевше, ніж закупівля нового. До того ж додаткова вигода – модернізований в умовах заводу тепловоз має меншу витрату палива (до 30 %) і мастила (в 3—4 рази), ніж локомотив із серійним двигуном.

Список використаних джерел

1. Основные направления обновления тягового подвижного состава Украины в 2006-2010 гг. [Текст] / А.Д. Лашко, В.Н. Самсонкин, А.М. Гончаров, А.В. Коновалов // Локомотив-информ. – 2006. – № 6. – С. 8-12.
2. Сергиенко, Н.И. Решение проблем подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики [Текст] / Н.И. Сергиенко // Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 40-46.
3. Зайончковский, В.Н. Определение эксплуатационных свойств тепловозных дизелей 1Д80 и 4Д80 [Текст] / В.Н. Зайончковский, С.А. Ерошников, Н.И. Сергиенко // Залізнич. транспорт України. – 2000. – № 2. – С. 18-21.

4. Дизель 4Д80 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://malyshevplant.com/content/4D80B>
 5. Обновление парка тепловозов [Текст] // Железные дороги мира. – 2003. – № 7. – С. 34-39.
 6. Использование старогодных локомотивов [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. – № 10. – С. 51-53.
 7. Модернизация тепловозов [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. – №12. – С.53-57.
 8. Ремоторизация магистральных тепловозов [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 5. – С. 43-50.
 9. Дизели типа ЧН26/27 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.propulsionplant.ru/dvigateli/dizelnye-dvigateli/proizvodstvennoeobedinenie-zavod-imeni-v-amalysheva>.
 10. Дизель 4Д80 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://malyshevplant.com/content/4D80B>.
 11. «CZ LOKO» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.czloko.cz/ru>.
 12. Скала, Б. Модернизация ЧМЭЗ – новые возможности. [Текст] / Б. Скала, В. Франк // Локомотив-информ. – 2006. – № 4. – С. 20-24.
 13. Скала Б., Модернизация ЧМЭЗ – новые возможности. [Текст] / Б. Скала, В. Франк // Локомотив-информ. – 2006. – № 5. – С. 20 - 25.
 14. Открытое Акционерное Общество «Тепловозоремонтный завод» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trz.com.ua/upgrade.html>.
-

Мельник Ігор Володимирович, магістр, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Melnik Igor, master student, department of operation and maintenance of rolling stock, Ukraine State University of Railway Transport.

Falendysh Anatoliy, doct. of techn. sciences, professor, department of operation and maintenance of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-21-25.

Наукова праця здана до друку 25.09.2015 р.

УКДН 13.040.50

НОРМУВАННЯ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК У ВИКИДАХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ

Кандидати техн. наук А.О. Каграманян, В.В. Захарченко

НОРМИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ВЫБРОСАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАННЫМИ ГАЗАМИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Кандидаты техн. наук А.А. Каграманян, В.В. Захарченко

CHANGES TO GATS 32.001-94 VIBROSY POLLUTANTS FROM EXHAUST GASES OF DIESEL ENGINES

Candidate of techn. sciences A. Kagramanian, V. Zakharchenko

Установлено необхідність та внесені зміни до діючого стандарту ГСТУ 32.001-94 «Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення» у відповідності до вимог стандартів, що діють у країнах ЄС.

Ключові слова: викид, відпрацьовані гази, норматив вмісту забруднюючої речовини, ваговий коефіцієнт, цикл випробувань.

Установлена необходимость и внесены изменения в действующий стандарт ГСТУ 32.001-94 «Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами тепловозных дизелей. Нормы и методы определения» в соответствии с требованиями стандартов, действующих в странах ЕС.

Ключевые слова: выброс, отработанные газы, норматив содержания загрязняющего вещества, весовой коэффициент, цикл испытаний.

Established the need and amendments to existing standards GATS 32.001-94 "Emissions of pollutants from exhaust gases diesels. Norms and methods of determination." In compliance with the standards in force in the EU.

Keywords: emissions, waste gases, pollutant standard content, weight, cycle tests.

Вступ. Тепловозний парк України є досить великим споживачем природних ресурсів і джерелом забруднення навколишнього середовища. Економічні та соціальні збитки від викидів забруднюючих речовин підприємствами залізничного транспорту пов'язані з тим, що унаслідок цього знижується продуктивність праці робітників, поширюються захворювання як працівників підприємств, так і мешканців районів, де розташовані підприємства, а це у свою чергу призводить до додаткових витрат на медичне обслуговування. Викиди забруднюючих речовин негативно впливають на довговічність машин, обладнання, рухомого складу, будинків і споруд.

Значний збиток навколишньому середовищу наносять забруднюючі речовини, що входять до складу відпрацьованих газів дизелів тепловозів. Потрапляючи спочатку в атмосферу, вони негативно впливають не тільки на організми людей й тварин, але й на рослинність, ґрунт, воду, будинки й споруди.

Аналіз існуючої закордонної та вітчизняної нормативної бази, яка стосується нормування забруднюючих речовин від дизелів тепловозів, показав, що діючий Галузевий стандарт ГСТУ 32.001-94 «Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення» [1] (Наказ Міністерства транспорту України від 1994-10-06 № 521) необхідно корегувати шляхом внесення до нього змін у частини нормування у викидах тепловозних дизелів середньоексплуатаційного питомого викиду твердих частинок.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Тверді частинки, що містяться у відпрацьованих газах дизелів, виникають з різних причин і можуть мати різний склад. До твердих частинок раніше відносили сажу, яка

являє собою тверді вуглеводні, що утворюються при частковому згорянні палива або термічному розкладанні вуглеводнів. Тому концентрацію твердих частинок у відпрацьованих газах однозначно зв'язували з димністю, яку визначають за оптичною щільністю відпрацьованих газів. З'явилися навіть емпіричні залежності, що зв'язують концентрацію сажі у відпрацьованих газах з димністю. У теперішній час до твердих частинок відносять усі субстанції, які перебувають у суміші відпрацьованих газів, із чистим повітрям при максимальній температурі 52 °С, затримуються фільтром зі скловолокна з тефлоновим покриттям і не є рідиною [2].

Тверді частинки діляться на розчинні й нерозчинні. Розчинні тверді частинки – це адсорбовані вуглеводні, що виділяються з палива або мастил. Ці частинки можуть бути затримані фільтром при їхній конденсації або абсорбцією при відповідних температурах. Нерозчинні тверді частинки складаються із сажі, золи, пилу, а також оксидів металів, що додають до палива та мастила як присадки, і абразивних частинок (продуктів зносу деталей). Як показали дослідження, на сажу припадає близько 50 % частинок, а на вуглеводні – близько 40 % [2].

Тверді частинки мають велику сумарну поверхню, адсорбують інші речовини, що містяться у відпрацьованих газах, і можуть бути каталізаторами підвищення активності інших речовин. Разом з твердими частинками інші речовини набувають високої біологічної і хімічної активності, нових властивостей, у тому числі і небезпечних. Тверді частинки вражають легені людини, при розмірах до 1 мкм проникають глибоко в легені і не видаляються. Перебуваючи в атмосфері, вони знижують сонячне освітлення і видимість, підвищують хмарність і туманність, підвищують кількість опадів, руйнують і забруднюють матеріали,

підвищують швидкість хімічних та фотохімічних реакцій в атмосфері, впливають на ґрунти та рослинність [3,4].

Таким чином, у нормативних документах, спрямованих на захист навколишнього природного середовища від забруднюючих речовин у відпрацьованих газах дизелів, у першу чергу треба особливу увагу приділяти саме тим речовинам із зазначених, які є найбільш небезпечними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні, як і у більшості розвинених країн, створена нормативна база з питань природоохоронної діяльності. Державне регулювання у сфері захисту навколишнього природного середовища, зокрема атмосферного повітря, базується на встановлених технічних нормативах забруднення та гранично допустимих викидів.

Як відомо, одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря на залізничному транспорті є його тяговий рухомий склад, зокрема тепловози та дизель-поїзди. Як показав аналіз останніх досліджень та публікацій в розвинутих країнах обов'язковим показником нормування викидів забруднюючих речовин від тепловозних дизелів є тверді частинки [2]. Це забруднення передбачається у вимогах відповідно до Євро V [5].

Визначення мети та задачі дослідження. Основні положення вітчизняних нормативних документів поширюються на всі джерела забруднення навколишнього природного середовища, зокрема на пересувні джерела, до яких відносяться тепловози. Але нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах повинні встановлюватись для кожного типу пересувних джерел [6-8] з урахуванням виду палива та особливостей даного джерела, які впливають на викиди. Для тепловозів, як пересувних джерел забруднення, можна відмітити дві особливості. По-перше, на тепловозах установлюють потужні дизелі, двигунів такої потужності немає на інших наземних транспортних засобах. По-друге, режими роботи дизелів тепловозів суттєво відрізняються від режимів роботи двигунів інших наземних транспортних засобів. Тому розроблені для інших пересувних джерел, наприклад для двигунів автомобільного транспорту, нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах не можуть бути поширені на дизелі тепловозів. Тобто для

нормування викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах дизелів тепловозів повинні бути окремі нормативні документи.

Основна частина дослідження. Нормування викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах дизелів тепловозів здійснюється зараз за ГСТУ 32.001-94. Цей стандарт введений у дію з 1995 року, за минулий час у нього не вносились зміни або доповнення. Разом з тим після його введення в дію було прийнято нові державні стандарти щодо захисту навколишнього природного середовища або змінені та доповнені існуючі. Прийнято також низку інших нормативних документів з цього ж питання. З'явилися нові міжнародні зобов'язання України з обмеження викидів забруднюючих речовин. У розвинених країнах світу, зокрема в європейських країнах і в ЄС взагалі, обмеження викидів забруднюючих речовин стає все більш жорстким. Тому Україна змушена підтягуватись до вимог Європейського Союзу щодо викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах дизелів.

Крім того, за діючим ГСТУ 32.001-94 нормуються викиди оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів. Сьогодні вказаних трьох складових забруднюючих речовин уже недостатньо. Вважають, що коло складових треба розширювати, зокрема, необхідно нормувати викиди твердих частинок. У цьому напрямку просувається робота з нормування викидів для різних пересувних джерел забруднення, у тому числі для дизелів тепловозів. Україна у цих питаннях не має права відставати від європейських країн.

Згідно з нормативним документом «Порядок розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря» підставами для перегляду нормативів є:

- наявність можливостей щодо зменшення вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел забруднення атмосферного повітря і відповідні технічні рішення;

- зміни у національному законодавстві та законодавстві Європейського Союзу щодо обмеження вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел забруднення атмосферного повітря.

До цього слід додати, що з часу введення в дію ГСТУ 32.001-94 накопичився досвід визначення фактичних викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах дизелів тепловозів, що перебувають в експлуатації. Цей досвід може бути використаний для наближення вимог зазначеного стандарту до сучасних.

Крім того, з'явилися нові технічні можливості для вимірювання викидів забруднюючих речовин, зокрема для вимірювання викидів твердих частинок.

З урахуванням наведених зауважень нами було розроблено і внесено до діючого ГСТУ 32.001-94 «Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення» зміни.

Для відповідності стандарту європейським вимогам був введений показник середньоексплуатаційний питомий викид твердих частинок – $E_{TЧ}$.

Для його визначення були введені такі величини: натуральний показник ослаблення світлового потоку K ; коефіцієнт ослаблення світлового потоку N ; димове число фільтра FSN ; питомий викид твердих частинок $e_{TЧ}$.

Викиди твердих частинок $C_{TЧ}$ вимірюють прийнятою в європейських країнах «Системою визначення вмісту твердих частинок у відпрацьованих газах». Допускається визначати викиди твердих частинок шляхом вимірювання димності відпрацьованих газів з подальшим переведенням показника димності у викиди на основі встановлених взаємозв'язків між ними та перерахунком на середньоексплуатаційні питомі викиди.

Нами запропоновано, що вимірювання димності відпрацьованих газів допускається проводити одним з таких методів:

- оптичним методом з вимірюванням натурального показника K ослаблення світлового потоку і коефіцієнта N ослаблення світлового потоку;

- фільтраційним методом з вимірюванням димового числа FSN фільтра.

Визначені показники димності перевіряють на відповідність стандартним умовам за допомогою коефіцієнта атмосферних умов F , який обчислюють за формулою

$$F = \left(\frac{t_a + 273}{293} \right)^{0,5} \times \left(\frac{101}{p_a} \right)^{0,65}, \quad (1)$$

де t_a – температура атмосферного повітря під час проведення випробування, $^{\circ}\text{C}$;

p_a – атмосферний тиск під час проведення випробування, кПа.

Результати випробувань не потребують корегувань, якщо коефіцієнт F у межах від 0,98 до 1,02. Якщо значення коефіцієнта F виходить за вказані межі, то отримані значення показників димності слід корегувати за методикою виробника димоміра.

Величини викидів твердих частинок $C_{TЧ}$ у залежності від коефіцієнта N ослаблення світлового потоку визначають за рис. 1.

Величини натурального показника ослаблення світлового потоку K у залежності від коефіцієнта ослаблення світлового потоку N визначають за рис. 2.

Питомий викид твердих частинок $e_{TЧ}$, г/(кВт·год), на кожному режимі роботи дизеля обчислюють за формулою:

$$e_{TЧ} = \frac{3600 C_{TЧ} V_2}{P_e}. \quad (2)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведене дослідження дало змогу отримати теоретичні залежності та методичні вимоги й рекомендації щодо змін стосовно проведення вимірювань наявності та кількісного вмісту твердих частинок у відпрацьованих газах тепловозних дизелів. Відмічені результати було впроваджено у вигляді змін до діючого ГСТУ 32.001-94 і затверджено Міністерством інфраструктури України від 25.05.2015 р. № 179. Запропоновані зміни у складі ГСТУ 32.001-94 запроваджені для покращення рівня екологічних випробувань тепловозних дизелів на підприємствах Укрзалізниці та підпорядкованих Міністерству інфраструктури України. У подальшому отримані матеріали можуть бути використані при розробленні нових або перегляді існуючих нормативних документів з питань екологічної безпеки транспортних засобів.

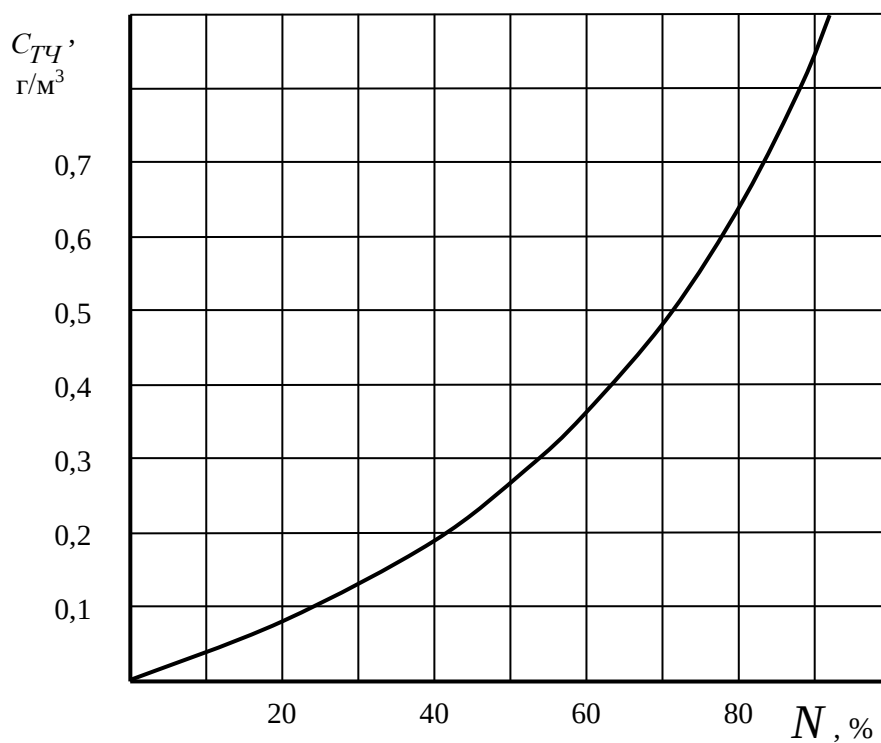


Рис. 1. Залежність викидів твердих частинок $C_{TЧ}$ від коефіцієнта ослаблення світлового потоку N

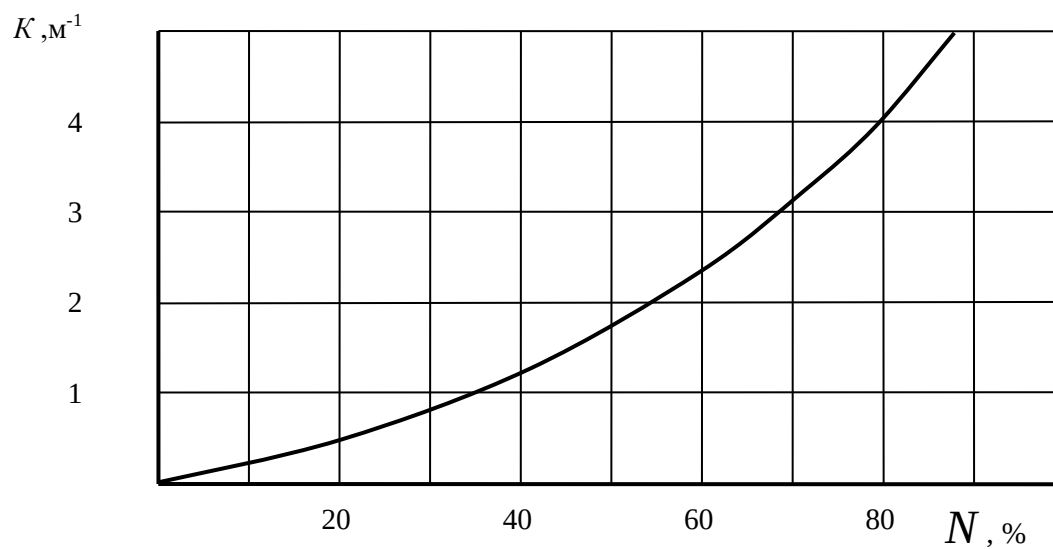


Рис. 2. Залежність натурального показника ослаблення світлового потоку K від коефіцієнта ослаблення світлового потоку N

Список використаних джерел

1. ГСТУ 32.001-94. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами тепловозных дизелей. Нормы и методы определения [Текст]. – К.: Министерство транспорта Украины, 1994. – 12 с.
2. Каграманян, А.О. Нормування викидів забруднюючих речовин від тепловозних двигунів [Текст] / А.О. Каграманян, А.В. Онищенко, П.В. Рукавишников // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – № 16. – С. 94-106.
3. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування [Текст]: навч. посібник / Н.А. Шаройко, А.О. Каграманян, І.П. Полтавський, В.В. Савенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 400 с.
4. Про охорону атмосферного повітря: закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecopravo.org.ua/2010/03/15/zakon-ukrani-pro-ohoronu-atmosfernogo-povtrja/>.
5. Каграманян, А.О. Дослідження впливу основних факторів експлуатації дизелів тепловозів на викиди забруднюючих речовин [Текст] / А.О. Каграманян, П.В. Рукавишников // Зб. наук. праць ДонІЗТ. Донецьк, 2010. – № 21. – С. 160-170.
6. ГОСТ Р 50953-96. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения [Текст]. – М.: Госстандарт России, 1996. – 16 с.
7. ГОСТ Р 50953-2008 Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: - <http://www.opengost.ru//3791-gost-r-50953-2008-vybrosy-vrednyh-veschestv-i-dymnost-otrabotavshih-gazov-magistralnyh-i-manevrovyh-teplovov.-normy-i-metody-opredeleniya.html>.
8. Каграманян, А.О. Визначення параметрів тепловозного дизеля 5Д49 при його роботі з різними варіантами суміші дизельного палива та метилового ефіру ріпакової олії [Текст] / А.О. Каграманян, О.Г. Крушедольский, В.В. Захарченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – № 141. – С. 137-154.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Каграманян Артур Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра теплотехніки та теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-07. E-mail: kartal2@ukr.net.
Захарченко Вячеслав Вікторович, канд. техн. наук, доцент, кафедра механіки та проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-07. E-mail: vz304@ukr.net.

Kagramanian Artur, cand. of techn. sciences, associate professor, department teplotekhnika and heat engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-07. E-mail: kartal2@ukr.net.
Zakharchenko Vyacheslav, cand. of techn. sciences, associate professor, department of mechanics and machine design, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-07. E-mail: vz304@ukr.net.

Наукова праця здана до друку 05.10.2015 р.

УДК 631.371

КРИТЕРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Магістрант Е.А. Ткаченко, канд. техн. наук С.В. Угольников

КРИТЕРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СПОРУДЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ІНДИВІДУАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Магістрант Є.О. Ткаченко, канд. техн. наук С.В. Угольніков

CRITERIA FOR DESIGN AND CONSTRUCTION BIOGAS PLANT IN INDIVIDUAL FARMS

Master student E. Tkachenko, cand. of techn. sciences S. Ugolnikov

Биогаз – один з перспективних напрямків генерації та використання відновлюваних енергоресурсів. У зв'язку з великими варіаціями в кількості і якості сировини, умов функціонування та цілей створення проектування біогазових установок не формалізоване і ґрунтується на практичному досвіді розробників. Розглянуто критерії, які надають визначальний вплив на структуру і комплектацію БГУ для фермерських господарств. Раціонально спроектована БГУ підвищує енергоефективність і екологічність сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, відходи тваринництва, біодобриво, проектування БГУ, фермерське господарство.

Биогаз – одно из перспективных направлений генерации и использования возобновляемых энергоресурсов. В связи с большими вариациями в количестве и качестве сырья, условий функционирования и целей создания проектирование биогазовых установок не формализовано и основывается на практическом опыте разработчиков. Рассмотрены критерии, оказывающие определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ для фермерских хозяйств. Рационально спроектированная БГУ повышает энергоэффективность и экологичность сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, отходы животноводства, биоудобрение, проектирование БГУ, фермерское хозяйство.

Biogas – one of the promising areas of generation and use of renewable energy resources. In many countries, farmers are considered as promising sites for the production and use of biogas. Due to the large variations in the quantity and quality of raw materials, modalities and goals of the design of biogas plants are not formalized and is based on practical experience of the developers. It is shown that the critical parameters in the design of biogas digesters are a source of raw materials, the amount of energy consumed by household and accommodation. Considered criteria (power, size, equipment, modes of operation, safety, etc.), which have a decisive influence on the structure and functional composition of BSU for farms. Variants of technological schemes of individual bioreactors, as well as the characteristics of farms that should be considered when designing the BSU. Rationally designed BSU improves energy efficiency and environmentally friendly agricultural production.

Keywords: biogas, biogas plant, animal waste, bio-fertilizer, design BSU, farm.

Введение. Биогаз — газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы [1, 6]. Состав и качество биогаза: 50—87 % метана, 13—50 % CO₂, незначительные примеси H₂ и H₂S. После очистки биогаза от CO₂ получается биометан.

Биометан — полный аналог природного газа, отличие только в происхождении. В мире существует большое разнообразие промышленных и кустарных установок для производства биогаза. Биогаз используют в качестве топлива для производства:

электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива. В сельскохозяйственном производстве, где имеется большое количество разнообразного органического сырья для генерации биогаза, его производство и применение особенно перспективно [5, 9]. Во многих случаях биогаз позволяет решить все вопросы, связанные с энергоснабжением индивидуальных фермерских хозяйств. Разработка и построение эффективных биогазовых установок (БГУ) является актуальной задачей с точки зрения использования возобновляемых энергоресурсов.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Анализ проектов индивидуальных биогазовых установок для фермерских хозяйств. Формирование набора критериев, оказывающих определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ и учитывающих вариации в количестве и качестве сырья, условиях функционирования с целью практического применения при разработке и построении индивидуальных систем БГУ [2, 6].

Анализ последних исследований и публикаций. Первая задокументированная биогазовая установка была построена в Бомбее (Индия) в 1859 году. В 1930 году, с развитием микробиологии, были обнаружены бактерии, участвующие в процессе производства биогаза [7].

Перечень органических отходов, пригодных для производства биогаза, широк и чрезвычайно разнообразен, состав органического сырья отличается индивидуальностью для различных хозяйств: навоз, птичий помёт, зерновая и меласная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха, трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов, отходы от производства биодизеля, отходы от производства соков, виноградная выжимка, водоросли, отходы переработки картофеля, производства чипсов и многое другое. Кроме отходов биогаз можно производить из специально выращенных энергетических культур [4, 10].

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 50—65 м³ биогаза с содержанием

метана 60 %. Максимальное количество биогаза — это 1300 м³ с содержанием метана до 87 % — можно получить из жира. Сегодня применение энзимов, бустеров для искусственной деградации сырья и других приспособлений позволяет увеличивать выход биогаза на самой обычной установке с 60 до 95 % [8]. На практике из 1 кг сухого вещества получают от 300 до 500 л биогаза.

Производство биогаза позволяет предотвратить выбросы метана в атмосферу. Метан оказывает влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем CO₂, и находится в атмосфере 12 лет. Захват метана — лучший краткосрочный способ предотвращения глобального потепления.

Переработанные органические отходы применяются в качестве удобрения в сельском хозяйстве. Это позволяет снизить применение химических удобрений, сокращается нагрузка на грунтовые воды.

При всех, казалось бы очевидных, положительных сторонах, производство биогаза имеет ряд недостатков [3].

1. Получаемый продукт (биогаз) содержит в себе соединения серы. Требуется дополнительная очистка от таких соединений.

2. Исходное сырьё в процессе анаэробного сбраживания выделяет большие количества азотных соединений. Данные соединения также создают парниковый эффект.

3. Требования к технологическому процессу: процесс происходит при температуре ~50 °C, саморазогрева не происходит и требуется подогрев внешними источниками тепла.

Биогаз используют в качестве топлива для производства: электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива. Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах. Весьма перспективно использование БГУ в фермерских хозяйствах.

Определение цели и задачи исследования. На основе анализа проектов индивидуальных биогазовых установок для фермерских хозяйств формирование набора критериев, оказывающих определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ и учитывающих вариации в количестве и качестве сырья, условиях функционирования с целью практического применения при

разработке и построении индивидуальных систем БГУ.

Основная часть исследования. Одним из наиболее интересных приспособлений для переработки органического сырья, в том числе и отходов, является биогазовая установка (БГУ), или биореактор [2, 3].

Данное устройство при помощи анаэробного брожения перерабатывает органические вещества, производя из них метан, углекислый газ (смесь метана и углекислого газа в соотношении 60-40 %), воду и смесь различных минеральных веществ. Данный процесс происходит естественным образом в природе. БГУ лишь создаёт для его протекания оптимальные условия и повышает его скорость и эффективность.

Переброженная масса, остающаяся после переработки, является практически идеальным удобрением. Она содержит все необходимые компоненты удобрений (азот, фосфат, калий, макро- и микроэлементы) в растворенном виде в соотношениях нужных для растений, а также активные биологические стимуляторы, повышающие выход урожая в два и более раза.

Индивидуальные БГУ могут иметь самую разнообразную конструкцию, начиная от простейших – без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе – и до комплексно

механизированных и автоматизированных. Термины «простейшие» и «индивидуальные» не означают примитивность и неэффективность БГУ, они лишь характеризуют целевую ориентацию при проектировании. Использование рассматриваемых ниже критериев позволяет построить эффективную энергоустановку с учетом всего комплекса индивидуальных особенностей конкретного хозяйства. Для сравнения рассмотрим два практически предельных варианта комплектации БГУ [1, 6].

Биогазовая установка с ручной загрузкой без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе. Простейшая БГУ (рис. 1) предназначена для небольших фермерских хозяйств. Объем реактора от 1 до 10 м³ рассчитан на переработку 50 — 200 кг навоза в сутки (до 10 голов КРС). Содержит минимум составных частей для обеспечения процесса переработки навоза и получения биоудобрений и биогаза. БГУ может быть использована в южных районах без подогрева и перемешивания и предназначена для работы в психофильном температурном режиме от 5 до 20 °С. Вырабатываемый биогаз сразу направляется на использование. Такую БГУ может построить своими силами любой фермер.

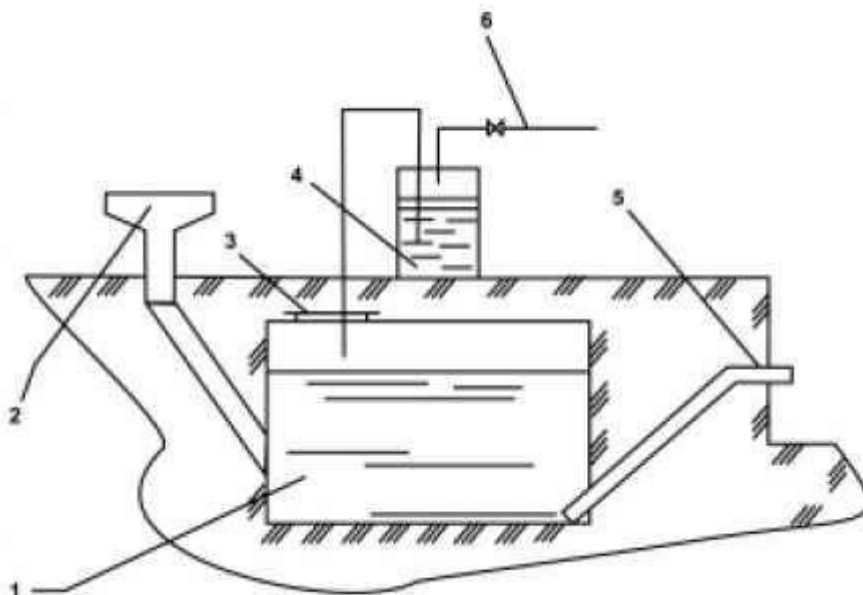


Рис. 1. Схема простейшей БГУ с ручной загрузкой без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе: 1 – реактор; 2 – бункер загрузки; 3 – люк для доступа в реактор; 4 – водяной затвор; 5 – выгрузочная труба; 6 – отвод биогаза

Биогазовая установка с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе. Установка (рис. 2) предназначена для средних и крупных фермерских хозяйств с возможностью переработки от 0,5 до 2,0 т сырья в сутки (до 100 голов КРС). Объемы реакторов — от 5 до 30 м³. Отличительной особенностью этой установки является наличие специальной

емкости для подготовки сырья, откуда оно подается при помощи компрессора в бункер загрузки, а затем с помощью сжатого биогаза — в реактор установки. Для работы системы обогрева используется часть вырабатываемого биогаза. Установка снабжена автоматическим отбором биогаза и газгольдером для его хранения. Наличие системы обогрева позволяет эксплуатировать биогазовую установку во всех температурных режимах сбраживания.

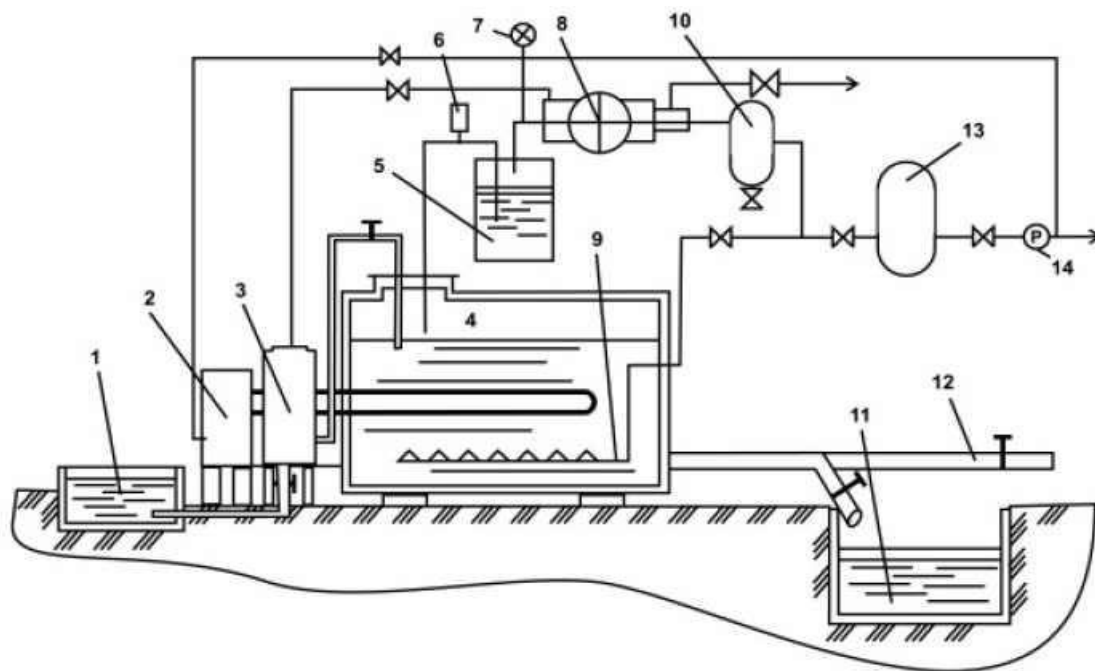


Рис. 2. Биогазовая установка средних и крупных крестьянских хозяйств: 1 – приемник навоза; 2 – водонагревательный котел; 3 – бункер загрузки; 4 – реактор; 5 – водяной затвор; 6 – предохранительный клапан; 7 – манометр электроконтактный; 8 – компрессор; 9 – мешалка газовая; 10 – ресивер; 11 – хранилище для биоудобрений; 13 – газгольдер; 14 – редуктор газовый

До начала строительства БГУ нужно учитывать условия, необходимые для ее эффективной работы. Тщательное и всестороннее планирование очень важно для исключения ошибок до того, как они станут причиной непоправимых поломок. Планирование должно начинаться с определения потенциала производства биогаза и биоудобрения на основании имеющегося количества сырья, а также необходимого хозяйству количества энергии.

Если биогазовая установка предназначена в первую очередь как источник энергии, строительство рекомендовано только в том случае, когда

расчеты потенциального производства биогаза достаточны для удовлетворения потребности хозяйства в энергии.

Выбор размера реактора. Размер реактора зависит от количества, качества и типа сырья, а также от выбранной температуры и времени сбраживания. Есть несколько способов определения необходимого объема реактора [2, 9].

1. По суточной дозе загрузки сырья размер реактора определяется исходя из времени сбраживания и выбранного температурного режима. Для мезофильного режима время оборота реактора составляет от 10 до 20 сут, а суточная доза загрузки — от

1/20 до 1/10 от общего объема сырья в реакторе.

Сначала исходя из количества животных определяется суточное количество навоза для переработки в БГУ. Затем учитывается добавка воды для достижения 86 — 92 % влажности.

Для переработки сырья при мезофильном режиме рекомендуется использовать дозу

суточной загрузки, равную 10 % от объема общего загруженного в установку сырья. Общий объем сырья в установке не должен превышать 2/3 объема реактора.

Расчет суточного выхода биогаза подсчитывается в зависимости от типа сырья и суточной порции загрузки с учетом выхода биогаза для разных типов сырья (таблица) [10].

Таблица

Расчет выхода биогаза для разных типов сырья

Тип сырья	Выход газа, м ³ на 1 кг сухого вещества	Выход газа, м ³ на 1 т при влажности 85 %
Навоз КРС	0,250 – 0,340	38 – 51,5
Свиной навоз	,0340 – 0,580	51,5 – 88
Птичий помет	0,310 – 0,620	47 – 94
Конский навоз	0,200 – 0,300	30,3 – 45,5
Овечий навоз	0,300 – 0,620	45,5 – 94

2. По балансу между потребностью в энергии и выходом биогаза. Необходимость в энергии для каждого хозяйства определяется исходя из суммы всех настоящих и будущих потребностей, таких как, приготовление пищи, освещение, производство энергии и др. Необходимо также учитывать потребление биогаза на подогрев сырья в реакторе. Количество биогаза, необходимое хозяйству, можно определить по количеству энергии, потребляемой ранее. Например, сжигание 1 кг дров аналогично сжиганию 0,65 м³ биогаза, а 1 кг угля — 1,1 м³ биогаза, для приготовления одной порции пищи для одного человека требуется 0,15-0,3 м³ биогаза, для кипячения 1 л воды необходимо 0,03 — 0,05 м³ биогаза, для отопления 1 м² жилой площади – около 0,2 м³ биогаза в сутки.

Выбор места расположения установки.

Золотое правило расположения БГУ гласит, что установка принадлежит ферме, а не кухне. Лучше, если емкость для смешивания сырья напрямую соединяется с полом фермы. Даже если придется проложить несколько метров газовых труб, это дешевле, чем транспортировка сырья. Уровень пола фермы должен располагаться выше уровня емкости для подготовки сырья, тогда навоз и урина животных будут попадать в эту емкость под действием сил гравитации.

Выбор конструкции биогазовой установки. В настоящее время разработано множество конструкций биогазовых установок, подходящих для работы в различных климатических условиях [2, 5]. Выбор конструкции биогазовой установки – важнейший этап процесса планирования.

Критерии для выбора конструкции.

Место определяет в основном подземный или надземный реактор будет строиться, а также вертикальный или горизонтальный. Для уменьшения затрат необходимо учитывать наличие уже существующих сооружений и готовых частей установки. Наличие сырья определяет размер и форму емкости для смешивания сырья и объем реактора, подогревающие и перемешивающие устройства. В местностях со сравнительно холодным климатом изоляция и подогрев реактора важны для круглогодичной работы установки. Выбор конструкции установки также зависит от наличия строительных материалов.

Реактор. Главный критерий при выборе конструкции реактора — это возможность реализовать ее на практике и удобство обслуживания и эксплуатации. Вне зависимости от выбора конструкции реактор должен отвечать следующим требованиям: водо- и газонепроницаемость, теплоизоляция, прочность конструкции.

С точки зрения динамики жидкостей оптимальна яйцеобразная форма реактора. Второй наилучшей формой является цилиндр с коническим или полукруглым дном и верхом. Квадратные реакторы из бетона или кирпича не рекомендуются к использованию.

Реакторы могут сооружаться из следующих материалов.

Стальные обладают преимуществом герметичности, могут выдерживать большое давление и сравнительно легки в изготовлении. Большой проблемой является чувствительность к ржавчине. Экономически такие емкости выгодны только в случае использования уже готовых емкостей.

Пластиковые емкости бывают мягкие и твердые. Мягкие емкости легко повредить и сложно утеплить. Твердые емкости отличаются стабильностью конструкции и не подвержены коррозии, поэтому рекомендуются к использованию для психофильной переработки органических отходов.

Бетонные емкости приобрели большую популярность в последние годы. Необходимая газонепроницаемость требует качественного строительства и специальных покрытий. Большими плюсами являются недорогое строительство и практически неограниченный срок эксплуатации.

Кладка – часто используемый метод для маленьких реакторов. Можно использовать только хорошо обожженные кирпичи, бетонные блоки или каменные кирпичи хорошего качества.

Для обеспечения герметичности реактора применяются цементное покрытие с добавками, асфальт с алюминиевой фольгой, парафин и другие материалы.

Месторасположения установки зависит от нескольких факторов — наличия свободных площадей, отдаленности от жилых помещений, места складирования отходов, расположения мест содержания животных, глубины залегания грунтовых вод, удобства загрузки и выгрузки сырья и т.д. Реактор может быть размещен над поверхностью земли, заглублен в землю или установлен внутри помещения. По возможности рекомендуется подземное размещение, так как оно позволяет уменьшить капиталовложения и исключает использование дополнительного оборудования для загрузки сырья, значительно улучшает качество терморегулирования, а также дает возможность

использовать дешевые теплоизоляционные материалы — глину и солому.

Отсутствие теплоизоляции позволяет установке работать только на протяжении теплого времени года. Термоизоляционные материалы должны иметь хорошие изолирующие свойства, быть дешевыми и доступными.

Системы загрузки и выгрузки сырья. Работа БГУ в режиме непрерывной загрузки, оптимальная с точки зрения получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений, а также стабильности работы установки, предполагает ежедневную загрузку сырья и выгрузку сброженной массы.

Свежий навоз обычно собирается в емкость для подачи сырья, откуда загружается в реактор. Емкость используется для достижения нужной однородности и влажности сырья. В зависимости от типа установки размер емкости должен равняться суточному или двойному суточному объему сырья. Нужно строить емкость так, чтобы сырье стекало туда под действием гравитации. Загрузочное и выгрузочное отверстия оборудуются гидравлическими затворами, препятствующими проникновению воздуха в реактор. Расположение емкости на солнечной стороне способствует предварительному подогреву сырья.

Ручная загрузка и выгрузка является наиболее простым способом подачи сырья в реактор и удаления биоудобрений. Насосы становятся необходимы, когда большое количество сырья требует быстрой загрузки и рельеф местности не позволяет производить загрузку самотеком.

Оптимальным способом подачи и перемешивания сырья является пневматический. Этот способ требует, чтобы корпус реактора выдерживал давление до 0,5 Мпа, 5 кгс/см², и трубопроводы диаметром не менее 100 мм с задвижкой. Сырье загружается в бункер и в реактор с помощью компрессора, который одновременно служит для откачки вырабатываемого биогаза.

Системы сбора биогаза. Система сбора биогаза состоит из распределительного газового трубопровода с запорной арматурой, сборника конденсата, предохранительного клапана, компрессора, ресивера, газгольдера и потребителей биогаза.

Биогаз содержит большое количество водяных паров, которые могут конденсировать на стенках трубопроводов и приводить к их закупорке. Желательно, чтобы конденсирующаяся влага могла стекать прямо в реактор. Если это невозможно, на низких участках системы должны быть установлены водяные затворы.

Газовая система соединяет биогазовую установку с газовыми приборами с помощью труб. Эта система должна быть безопасной, экономичной и предоставлять необходимое количество газа для каждого прибора. Наиболее часто используются трубы из стали или пластиковые трубы. Очень важно, чтобы газовая система была газонепроницаемой и служила на протяжении всего эксплуатационного периода биогазовой установки. Газопровод также должен быть оснащен предохранительно-сбросным клапаном и необходимой запорной арматурой.

Оптимальный способ накопления биогаза зависит от того, для каких целей будет использован биогаз. Если предусмотрено прямое сжигание, то большие газгольдеры не нужны. В таких случаях газгольдеры используются для выравнивания неравномерности газовыделения и улучшения условий последующего горения. Чаще всего используются пластиковые или стальные газгольдеры.

Размер газгольдера должен быть рассчитан для того, чтобы вмещать суточный объем вырабатываемого биогаза. В зависимости от типа газгольдера и выдерживаемого им давления объем газгольдера составляет от 1/5 до 1/3 от объема реактора.

Пластиковые газгольдеры используются в совмещенных установках. Еще одним вариантом является отдельный пластиковый газгольдер. Стальные газгольдеры можно разделить на два вида: газгольдеры низкого давления, сухие и мокрые ($0,01-0,05 \text{ кг/см}^2$) и газгольдеры среднего ($8-10 \text{ кг/см}^2$) и высокого (200 кг/см^2) давления.

Системы перемешивания.

Перемешивание сырья в реакторе повышает эффективность работы БГУ и обеспечивает: высвобождение образующегося биогаза; перемешивание свежего субстрата и популяции бактерий; предотвращение формирования корки и осадка; предотвращение появления участков разной температуры внутри реактора;

равномерное распределение популяции бактерий; предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих рабочую площадь реактора. Перемешивание позволяет увеличить скорость образования метана и сократить время пребывания сырья в реакторе.

Перемешивание сырья может осуществляться механическими мешалками, биогазом, пропускаемым через толщу сырья, и перекачиванием сырья из верхней зоны реактора в нижнюю.

Рабочими органами механических мешалок являются шнеки, лопасти, планки. Приводиться в действие они могут вручную или от двигателя. Механические мешалки с ручным приводом наиболее просты в изготовлении и эксплуатации.

Перемешивание может быть постоянным или периодическим в зависимости от режима работы реактора. Оптимальный режим перемешивания значительно уменьшает время сбраживания сырья и предотвращает образование корки. Перемешивание должно производиться регулярно. Слишком редкое перемешивание сырья приведет к расслоению сырьевой массы и образованию корки. Слишком частое перемешивание может навредить ферментационным процессам внутри реактора. Хорошо перемешиваемое сырье может дать на 50 % больше биогаза. Идеальным является осторожное, но интенсивное перемешивание каждые 4-6 ч.

Системы подогрева сырья. Отсутствие системы подогрева позволит получать меньшее количество биогаза и биоудобрения. Для обеспечения высокого производства, а также лучшего обеззараживания сырья используются два метода подогрева: прямой подогрев в форме пара или смешивающейся с сырьем горячей воды и не прямой подогрев через теплообменник.

При прямом подогреве паром установка нуждается в парогенерирующей системе, включающей очистку воды. Такая система имеет высокую стоимость. Добавление горячей воды повышает влажность субстрата и должно использоваться только там, где это необходимо.

Непрямой подогрев осуществляется теплообменниками, расположенными внутри или снаружи реактора. Внутренний подогрев является хорошим решением, если теплообменник достаточно прочен, чтобы не сломаться при движении сырья в реакторе.

Внешний подогрев менее эффективен из-за потерь тепла.

Наиболее распространенной системой подогрева сырья является система с водонагревательным котлом, работающим на биогазе, электричестве или твердом топливе. В качестве нагревательных элементов применяют теплообменники, где теплоносителем служит горячая вода с температурой около 60 °С. Более высокая температура повышает риск налипания взвешенных частиц на поверхности теплообменника.

Теплообменники рекомендуются располагать в зоне действия перемешивающего устройства, что помогает избежать осаждения твердых частиц на их поверхности.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Биогаз является перспективным возобновляемым энергоресурсом. Для его получения может использоваться большое разнообразие органического сырья. Производство биогаза комплексно решает проблему утилизации органических отходов – генерируется высококачественный энергоресурс, улучшается экология, вырабатывается удобрение. Особенно

актуально использование биогазовых технологий в сельскохозяйственном производстве. Большинство индивидуальных фермерских хозяйств имеют возможность построить биореакторы и тем самым обеспечить себя, хотя бы частично, энергоресурсами собственной генерации. При проектировании и строительстве биогазовых установок критически важно соблюдать рекомендации, выработанные на основе имеющегося практического опыта. Весьма важно адаптировать проект к конкретным условиям (состав сырья, его количество, режимы и виды потребления энергии, имеющееся и доступное оборудование и пр.). Качественное выполнение проекта позволяет на 40-60 % повысить выход биогаза, интенсифицировать процесс его генерации, обеспечить безостановочную и безаварийную работу биореактора. Эти факторы определяют важность и необходимость соблюдения выработанных практикой рекомендаций, а также ставят задачу все более полного изучения процессов генерации биогаза и методов повышения их эффективности поскольку биогаз – это один из путей к экологичной возобновляемой энергетике.

Список использованных источников

1. Баадер, В. Биогаз. Теория и практика [Текст] / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Технологическое оборудование для получения биогаза [Текст]: Руководство по биогазу. От получения до использования / Дж. Постел, У. Юнг, Эл. Фишер [и др.]. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – С. 32 - 76.
3. Эдер, Б. Биогазовые установки [Текст]: практ. пособие / Б. Эдер, Х. Шульц. – 1996. – 268 с.
4. Биогаз на основе возобновляемого сырья [Текст] / под ред. Б. Геммеке, К. Ригер, П. Вайланд. – Брауншвайг, 2010. – 118 с.
5. Биоэнергия. Общая информация [Текст] / Агентство по возобновляемым ресурсам. – Гюльцов-Прюцен, 2012. – 15 с.
6. Руководство по биогазу. От получения до использования [Текст] / Агентство по возобновляемым ресурсам. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – 215 с.
7. Bauer, C.; Korthals, M.; Gronauer, A.; Lebuhn, M.:Methanogens in biogas production from renewable resources– a novel molecular population analysis approach.Water Sci. Tech. 2008, 58, No. 7, S. 1433–1439.
8. Lebuhn, M.; Bauer, C.; Gronauer, A.: Probleme der Biogas produktionausnachwachsenden Rohstoffenim Langzeitbetrieb und molecular biologische Analytik. VDLUFA-Schriftenreihe 64, 2008, S. 118–125.
9. Биогаз для чайников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biogas.vn.ua>. – Заголовок с экрана.

10. Фрих, Ю. Основы анаэробной ферментации [Текст]: руководство по биогазу. От получения до использования / Ю. Фрих, П. Вейланд, А. Шаттаур. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – С. 20-31.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.П. Фалендиш

Ткаченко Євген Олександрович, магістрант кафедри теплотехніки та теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-78.

Угольников Сергій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-78, E-mail: Ugolnikov-FO@rambler.ru.

Tkachenko Evgeniy, master student of the department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-78.

Ugolnikov Sergey, Ph.D., lecturer of the department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-78, E-mail: Ugolnikov-FO@rambler.ru.

Наукова праця здана до друку 29.09.2015 р.

УДК 629.4.027

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК ТИПУ W14 ТА МТРУЗ 38.90.712205 НА ЛОКОМОТИВАХ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук А.М. Зінківський

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ТИПОВ W14 И МТРУЗ 38.90.712205 НА ЛОКОМОТИВАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук А.Н. Зинковский

COMPARISON OF OF EFFICIENCY OF BRAKE PADS W14 AND МТРУЗ 38.90.712205 FOR LOCOMOTIVES OF RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of sciences A. Zinkivskyi

Проаналізовано використання різних типів гальмівних колодок на локомотивах. Визначено основні види несправностей, які виникають під час експлуатації гальмівних колодок та встановлено причини виникнення цих несправностей. Запропоновано альтернативний вид гальмівних колодок, який має кращі експлуатаційні властивості у порівнянні з гальмівними колодками, які вже експлуатуються на залізницях України. Встановлено переваги застосування гальмівних колодок типу W14.

Ключові слова: гальмівні колодки, чавун, композитні матеріали, тяговий рухомий склад, гальмівні системи, залізниці України.

Проанализировано использование различных типов тормозных колодок на локомотивах. Определены основные виды неисправностей, возникающих при эксплуатации тормозных колодок и установлены причины возникновения данных неисправностей. Предложен альтернативный вид тормозных колодок, который имеет лучшие эксплуатационные свойства по сравнению с тормозными колодками, которые уже эксплуатируются на железных дорогах Украины. Установлено преимущества применения тормозных колодок типа W14.

Ключевые слова: тормозные колодки, чугун, композитные материалы, тяговый подвижной состав, тормозные системы, железные дороги Украины.

The author identified the type of braking system used on the railway network of Ukraine, and set the main executive body of the braking system - the brake pads. A comparison of the two types of brake pads. The main fault of brake pads, which arise in the course of their operation. The causes of malfunctions of brake pads. The evaluation of the use of the brake pads on the main locomotives of railways of Ukraine. An alternative view of the brake pads - W14 production plant in Bydgoszcz, that have the best performance characteristics as compared to the brake pads MTRUZ 38.90.712205 who already operated on the railways of Ukraine. The advantages of the use of brake pads type W14.

Keywords: brake pads, cast iron, composite materials, traction rolling stock braking systems, railways of Ukraine.

Вступ. Безпека руху поїздів – головна вимога до функціонування залізничного транспорту України та світу в цілому. Ця вимога на залізницях України забезпечується широким спектром технічних та організаційних заходів, які спрямовані на дотримання безпечного руху поїздів, їх взаємодії з іншими учасниками руху на залізницях. Головною системою, що забезпечує безпеку руху, на рухомому складі та зокрема на локомотивах є гальмівна система, яка спрямована на регулювання швидкості руху локомотивів та поїздів, а також їх зупинку в необхідному місці.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Пневматична фрикційна система гальмування, що використовується на всіх типах рухомого складу залізниць України, передбачає установа гальмівних колодок, які під дією зусилля, створеного наповненими стисненим повітрям гальмівними циліндрами, притискаються до поверхні кочення коліс і, за рахунок створених сил тертя в місці контакту, створюють регульовану силу опору руху поїзда, що дає можливість зменшувати швидкість руху від будь-якого її значення до нуля. Отже, гальмування відбувається за рахунок сил тертя, що виникає в площині контакту гальмівної колодки з колесом рухомого складу. При цьому відбувається зношення поверхонь, що контактують, і локомотивні гальмівні колодки за час експлуатації до заміни втрачають до 70 % маси [1, 2].

На тяговому рухомому складі залізниць України переважно використовуються чавунні бандажні гальмівні колодки відповідно до вимог ГОСТ 30249-97 «Колодки гальмівні чавунні для локомотивів. Технічні умови», які у порівнянні з колодками з інших матеріалів себе добре зарекомендували. Однак з розвитком

технічного прогресу та підвищенням швидкостей руху посилюються вимоги до безпеки руху на залізничному транспорті. Останнім часом перед експлуатаційниками постало питання пошуку нових матеріалів для гальмівних колодок, який повинен забезпечити їх кращі експлуатаційні характеристики. У ході аналізу запропонованих варіантів було обрано гальмівні колодки типу W14.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є обґрунтування застосування гальмівних колодок типу W14 для експлуатації на залізницях України.

Основна частина дослідження. Для забезпечення безпечних умов роботи працівників залізничного транспорту, безпосередньо пов'язаних з рухом поїздів, безпеки руху на залізничному транспорті та для нормального забезпечення перевезень залізничний рухомий склад, як і інші види транспорту, обладнується системою пневматичних гальм, виконавчим органом яких є колодки, що притискаються до поверхні кочення коліс стисненим повітрям, яке надходить до гальмівних циліндрів через систему важелів. Основною і головною несправністю гальмівних колодок в експлуатації є їх розтріскування та викришування, що призводить до передчасної заміни колодок на нові. Головною причиною таких несправностей є низька якість матеріалу та низький контроль деталей, що виготовляються.

На локомотивах Укрзалізниці в теперішній час застосовують чавунні колодки виробництва Івано-Франківського ТРЗ типу МТРУЗ 38.90.712205 (рис. 1). Ці колодки відповідають ГОСТ 30249-97 та мають на своїй поверхні невеликі канавки для кращого відведення тепла та запобігання утворенню іскор. При спрацюванні колодок більш ніж на 25 % ці канавки зникають і їх ефективність зникає.



Рис. 1. Гальмівні колодки типу МТРУЗ 38.90.712205

Ці колодки себе позитивно зарекомендували, однак, під час експлуатації мали ряд несправностей, що впливали на безпеку руху залізничного транспорту. Серед таких несправностей можна назвати:

- викришування та відламування шматків колодки;
- утворення раковин та пустот у тілі колодки через неякісний процес лиття.

Альтернативою застосування цих колодок є гальмівні колодки типу W14 (рис. 2), розроблені на Чавуноливарному заводі в місті

Бдигощ. Вони відливаються з чавуну марки Р10.

У своїй конструкції на площині контакту колеса та гальмівні колодки мають канавки, які призначені для усунення іскріння в момент притискання поверхонь тертя під час процесу гальмування. Оскільки канавки для гасіння іскор за своєю конструкцією досить глибокі, то і їх ефективність буде значно триваліша за часом при експлуатації. Основні характеристики колодки наведені в таблиці, на рис. 3 подано габаритні розміри цих колодок [3, 4].



Рис. 2. Загальний вигляд гальмівної колодки типу W14

Таблиця

Технічні характеристики гальмівних колодок типу W14

Параметр гальмівної колодки	Значення
Матеріал	Чавун
Марка матеріалу	P10
Габаритні розміри, мм	340×145×95
Товщина нової колодки, мм	40
Бракувальна товщина колодки, мм	10
Ширина робочої поверхні, мм	94
Маса нової колодки, кг	13

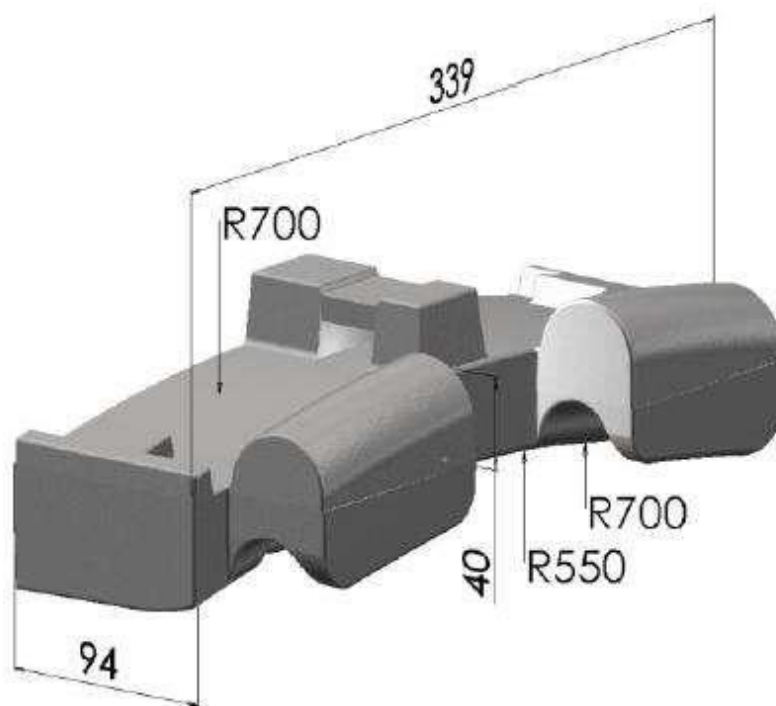


Рис. 3. Габаритні розміри гальмівних колодок типу W14

Реальний знос гальмівних колодок типу МТРУЗ 38.90.712205, виробництва Івано-Франківського ТРЗ та колодок типу W14 виробництва заводу Бидгощ визначався під час порівняльних випробувань. Нові колодки обох типів установлювались на колісні пари різних візків одних і тих же локомотивів для можливості повного вирівнювання умов випробувань. Під час випробувань локомотиви експлуатувалися в штатному режимі без виникнення нештатних ситуацій та значних порушень функціонування колодок обох типів.

Колодки для перевірки широкого спектра застосування установлювались на тепловози та електровози різних серій, які працювали у всіх видах руху: маневровому, маневрово-вивізному, вантажному, пасажирському.

За даними, отриманими за результатами випробувань, було побудовано графік залежності питомого зносу гальмівних колодок обох типів від пробігу локомотивів (рис. 4). Установлено, що величина зносу гальмівних колодок вітчизняного виробництва в середньому на 14 % вища, ніж закордонного.

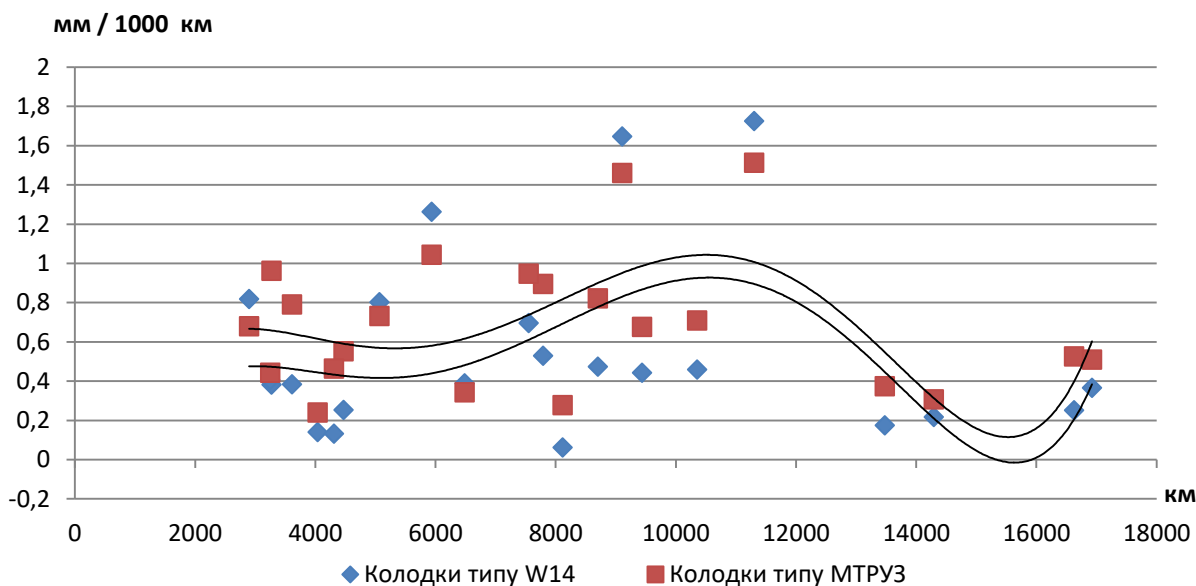


Рис. 4. Залежність питомого зносу гальмівних колодок від пробігу

Висновки з дослідження:

1. Застосування на локомотивах гальмівних колодок типу W14 забезпечує збільшення пробігу локомотива до їх заміни за рахунок зносу цього типу колодок на 14 % у порівнянні з колодками типу МТРУЗ 38.90.712205.
2. Використання колодок типу W14 на локомотивах не спричиняє суттєвого

збільшення величини зносу бандажів колісних пар у порівнянні з використанням гальмівних колодок типу МТРУЗ 38.90.712205.

3. Для отримання більш точних результатів досліджень і визначення повного ресурсу колодок та їх надійності необхідно продовжити експлуатацію колодок та розширити галузь їх застосування на більшу кількість серій локомотивів.

Список використаних джерел

1. Колодки тормозные чугунные для локомотивов. Технические условия [Текст]: ГОСТ 30249-97. – [Введен 1999. – 01. – 01.]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 9 с.
2. Красиков, Г.В. Повышение ресурса чугунных тормозных колодок локомотива [Текст] / Г.В. Красиков // Молодой ученый. – 2011. – №2, Т.1. – С. 35-38.
3. Odlewnię Żeliwa Bydgoszcz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.odlewnia.com.pl/ru>.
4. Інформація щодо виданих сертифікатів протягом квітня 2013 р. – травня 2013 р. державним підприємством “Дніпропетровський орган з сертифікації залізничного транспорту” [Текст] // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2013. – № 3 – С. 37.
5. Тартаковський, Е.Д. Використання гальмівних колодок нової конструкції на залізницях України [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, Є.М. Шапран, Л.І. Залеський, А.Л. Сумцов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 100-104.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Зінківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 057-730-1999. E-mail: kumasiktem@ukr.net.

Zinkivskyi Artem, PhD assistant, Maintenance and repair of rolling stock. Tel. 057-730-1999.

Наукова праця здана до друку 05.11.2015 р.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINS'KOGO DERZAVNOGO
UNIVERSITETY ZALIZNICNOGO TRANSPORTU**

Випуск 158

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

Статті друкуються мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Захарченко Л.М.

Редактори Ібрагімова Н.В., Еткало О.О., Третьякова К.А.

КВ № 21515-11415 ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 30 жовтня 2015 р.
Формат паперу 60x84 1/8. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 16,0. Тираж 130. Замовлення № .

Видавець і виготовлювач Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.