



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 147

Харків 2014

УДК 656.2

До збірника увійшли матеріали науково-дослідних робіт магістрів Української державної академії 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 Української державної академії залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща). Реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com/masterlist.php?page=127>

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 8617 видане 06.04.2004 р. Друкується за рішенням Вченої ради академії від 11 вересня 2014 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
завідуючий НДЧ – заступник голови
д.т.н., професор А.Б. Бойнік
д.т.н., професор Т.В. Бутько
д.е.н., професор В.Л. Дикань
д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко
д.т.н., професор А.М. Котенко

д.т.н., професор С.В. Лістовий
д.т.н., професор Д.В. Ломотько
д.е.н., професор Л.О. Позднякова
д.т.н., професор А.А. Плугін
д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський
д.т.н., професор Л.А. Тимофеева
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
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 А.П. Фалендиш
д.т.н., професор О.Б. Бабанін
д.т.н., професор Я.В. Щербак
д.х.н., професор В.Г. Пузир
д.т.н., професор І.Е. Мартинов
д.т.н., професор Ю.Є. Калабухін
д.т.н., професор В.І. Кисельов
д.т.н., професор О.М. Грищенко

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 В.М. Зайончковський
д.т.н., професор А.П. Марченко
к.т.н., професор А.О. Каграманян
д.т.н., професор С.А. Єрошечков
д.т.н., професор Д.С. Жалкін
к.т.н., доцент В.В. Савенко

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

д.т.н., професор А.А. Плугін – головний редактор
д.х.н., професор А.М. Плугін
д.т.н., професор В.С. Софронів
д.т.н., професор М.Ю. Ізбаш
д.т.н., професор Г.М. Шабанова
к.т.н., професор Х. Фішер
к.т.н., доцент Г.Л. Ватуля
д.т.н., професор В.С. Лесовик
д.т.н., професор А.Д. Омаров
д.т.н., професор Ю.О. Ландау
д.т.н., професор О.М. Даренський

Автоматизовані системи електричного транспорту

д.т.н., професор Я.В. Щербак – головний редактор
д.т.н., професор Мирослав Люфт Радомський
д.т.н., професор Ю.І. Гусевський
д.т.н., професор Г.Г. Жемеров
д.т.н., професор В.Б. Клепиков
д.т.н., професор В.І. Омеляненко
д.т.н., професор В.Г. Ягуп
к.т.н., доцент С.І. Яцько

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

© Українська державна академія
залізничного транспорту, 2014

ЗМІСТ

Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Вагони

<i>Бондаренко В.В., Бірченко О.М.</i> Навігаційний пристрій вантажного вагона	5
<i>Петухов В.М., Варницький М.І.</i> Удосконалення технічного обслуговування буксових вузлів за допомогою вбудованих засобів контролю	9
<i>Труфанова А.В., Грицов Ю.В.</i> Підвищення ефективності технологічного процесу фарбування пасажирських вагонів	14
<i>Візняк Р.І., Гудко А.В.</i> Удосконалення конструкції вузла заділки проміжного стояка та балки кузова напіввагона з метою забезпечення міцності в експлуатації	18
<i>Візняк Р.І., Денисенко В.В.</i> Розробка спеціалізованого стенда для проведення технічного обслуговування та ремонту пасажирських візків моделей 68-7007 і 68-7012 в умовах вагонного депо Мінськ-Пасажирський Білоруської залізниці	22
<i>Борзилов І.Д., Шевченко К.В., Калитюк В.Ю.</i> Підвищення якості неруйнівного контролю осей колісних пар вагонів за допомогою коерцитиметрії	27
<i>Скуріхін Д.І., Кучеров А.Л.</i> Підвищення безпеки руху поїздів на основі безперервного акустичного контролю колісних пар вагонів	32
<i>Маслиев В.Г., Литвинова Е.Л.</i> Влияние принудительного наклона кузова вагона на силы взаимодействия колес с рельсами	36
<i>Ловська А.О., Хацкевич М.П.</i> Удосконалення несучої конструкції кузова універсального напіввагона	40
<i>Мартинов І.Е., Ільчишин В.М., Шаталова Л.В.</i> До питання забезпечення безпеки руху поїздів	45
<i>Труфанова А.В., Шовкун В.О., Міроненко С.О.</i> Аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів вагонів	50
<i>Мартинов І.Е., Сліпченко М.В.</i> Аналіз особливостей конструкцій буксових вузлів вагонів електропоїздів	54

Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Локомотиви

<i>Харламов П.О., Люлін О.С.</i> Підвищення ресурсу колісних пар локомотивів в умовах депо	61
<i>Масний О.А.</i> Удосконалення системи аналізу та нормування витрат енергоресурсів на тягу поїздів у локомотивному депо	68
<i>Агулов А.Ф., Петрова І.А.</i> Зниження витрат енергоресурсів на тягу поїздів	72
<i>Решетняк І.С., Фалендиш А.П., Зінківський А.М.</i> Підвищення надійності роботи тягових електродвигунів існуючих локомотивів	77
<i>Жалкін Д.С., Тарасенко М.К.</i> Діагностування циліндро-поршневої групи двигуна тепловоза	82
<i>Дацун Ю.М., Філатов А.І.</i> Дослідження відмов колісних пар тепловозів в експлуатації із застосуванням FMEA-методології	87
<i>Бабанін О.Б., Циплаков О.О.</i> Особливості експлуатації високошвидкісних поїздів TGV у Франції	92
<i>Жалкін О.Д.</i> Гібридна передача дизель-поїзда	100
<i>Бабанін О.Б., Громов В.І.</i> Прогнозування збільшення ресурсу тягових зубчатих передач електропоїздів за рахунок удосконалення технології ремонту	104
<i>Астахова К.В.</i> Удосконалення технології ремонту механізму газорозподілу енергетичних установок тепловозів з дизелями Д49	109

Залізничні споруди та колійне господарство

<i>Даренський О.М., Бугаєць Н.В., Бадражан А.М.</i> Моделювання рейкошпальної основи залізниць незагального користування методом кінцевих елементів	113
<i>Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Синчук С.Д., Величко С.А.</i> Задача оптимального проектування шпренгельної балки при дійстві постійної навантаження	118
<i>Потанов Д.О., Кривогуз А.М.</i> Перспективи впровадження рейок типу UIC60 на залізницях України	123
<i>Прокопенко О.І., Мануйленко В.Г.</i> Залізнична колія в сучасних умовах та її посилення	129
<i>Вітольберг В.Г., Рева В.М.</i> Вплив терміну експлуатації на зміну параметрів жорсткості проміжного рейкового скріплення типу КБ	133
<i>Калюжна О.В., Шевченко В.М., Бєлікова Н.В.</i> Аналіз та контроль безвідмовної роботи контактної мережі	139

Електричний транспорт

<i>Буряковський С.Г., Грига С.О.</i> Дослідження на математичній моделі перехідних процесів у системі ПЧ-АД компресорної установки	143
<i>Яцько С.І., Тараненко В.О.</i> Енергоощадний модернізований електропривод електропоїзда типу ЕПЛ9Т	148
<i>Хамевко О.М., Сушко Д.Л.</i> Аналіз методів контролю і діагностичних параметрів ізоляції тягових двигунів постійного струму	152

Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання

<i>Кравець А.М., Бичек Р.О.</i> Дослідження мастильних матеріалів для пари тертя «реборда кранового колеса – рейка»	156
<i>Романович Є.В., Афанасов Г.М., Нагієв Г.І.</i> Дослідження процесів змерзання насипних вантажів у напіввагонах	162
<i>Стефанов В.О., Олійник М.Ю.</i> Експериментальні дослідження впливу концентрації присадки та електростатичної обробки робочої рідини на швидкість зносу гідроагрегатів засобів залізничного транспорту	167
<i>Воронін С.В., Сладков Г.М., Османов Е.І.</i> Процес формування мастильної плівки на поверхнях тертя в умовах електростатичної обробки оливи	172
<i>Онопрейчук Д.В., Мірієв К.І.</i> Визначення ресурсу аксіально-поршневих насосів гідроприводів будівельних машин	177

РУХОМИЙ СКЛАД ТА СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ВАГОНИ

УДК 629.4.077-592

НАВИГАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, О.М. Бірченко

НАВИГАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, О.М. Бирченко

NAVIGATION UNIT OF RAILWAY CAR

Cand. of techn. sciences V.V. Bondarenko, O.M. Birchenko

Запропонований новий пристрій, який призначений для спостереження у реальному масштабі часу за дислокацією та станом вагонів за електронною картою залізниць. Розроблений пристрій дозволяє 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.

Предложено новое устройство, которое предназначено для наблюдения в реальном масштабе времени за дислокацией и состоянием вагонов по электронной карте железных дорог. Разработанное устройство 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 device 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. Старіння вантажного вагонного парку, збільшення довжини поїздів та швидкостей руху висувають високі вимоги до забезпечення надійності вагонів у експлуатації та безпеки руху. У зв'язку з цим у останні роки у світі значними темпами

розвиваються нові технології супутникового моніторингу вагонів, які дозволяють спостерігати у реальному масштабі часу за дислокацією та технічним станом вагонів в експлуатації. Враховуючи ефективність використання таких технологій у світі, необхідною є розробка 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 актуальним є завдання 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]. Останніми роками 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 та завдання дослідження. Розробка та опис нового пристрою, який призначений для спостереження у реальному масштабі часу за дислокацією та станом вагонів за електронною картою залізниць.

Основна частина дослідження. Розроблений пристрій дозволяє 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 поставлена задача 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, в 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

обладнується навігаційним обладнанням. До складу навігаційного обладнання входить навігаційний контролер у пластиковому корпусі з комплектом датчиків, акумуляторна батарея та електрична мережа. Все обладнання знаходиться у металевому пилевологостійкому 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, в 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 (увімкнення/вимкнення); 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 звіт за користувачем, що корегується адаптивним алгоритмом, що дозволяє 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 шість місяців без зовнішнього підзарядження 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 мережу 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 дозволить оперативно слідкувати за місцезнаходженням вагонів та їх станом, виконувати моніторинг небезпечних вантажів, ефективно здійснювати формування поїздів, скоротити час обороту вагонів та слідкувати за їх нераціональним використанням, зменшити кількість крадіжок вантажу.

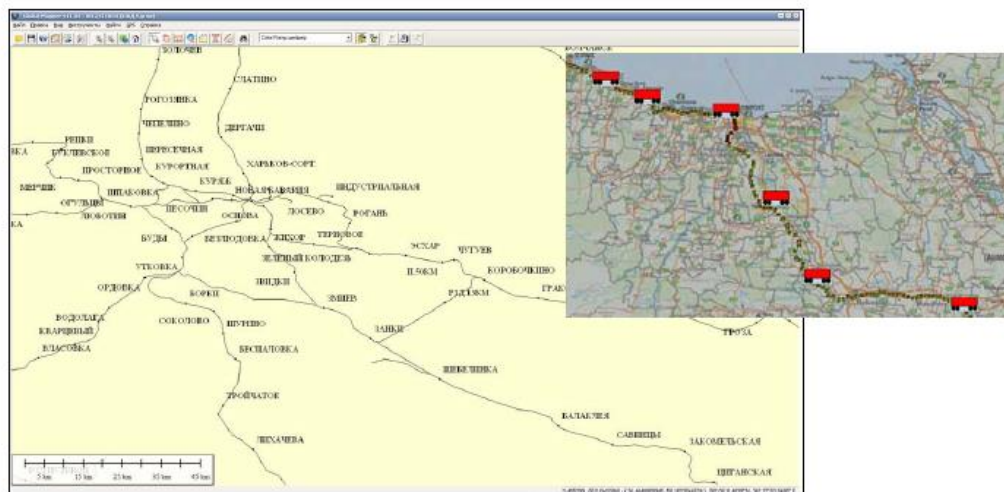


Рис. 3. Дислокація вагонів на електронній карті залізниць

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. Мартинов

Бондаренко В'ячеслав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35. E-mail: bonvya@mail.ru.

Бірченко Олена Миколаївна, магістрант, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35.

Vyacheslav V. Bondarenko, Cand. of techn. sciences, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. 057-730-10-35. E-mail: bonvya@mail.ru.

Birchenko.O.M. master student Ukrainian State Academy of Railway Transport. Phone: 057-730-10-35.

УДК 629.4.027.11:681.518.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВБУДОВАНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ

Канд. техн. наук В.М. Петухов, М.І. Варницький

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВСТРОЕННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ

Канд. техн. наук В.М. Петухов, Н.И. Варницкий

IMPROVEMENT OF TECHNICAL INSPECTION OF AXLE EQUIPMENT WITH BUILT-IN CONTROL DEVICES

Cand. of techn. sciences V.M Petuhov, N.I. Varnickiy

Обґрунтований напрямок удосконалення технічного обслуговування буксових вузлів вантажних вагонів за допомогою використання вбудованих засобів контролю. Наведені позитивні результати експлуатаційних випробувань вбудованої системи контролю їх технічного стану, що дозволяє: аналізувати дані щодо температурного режиму буксового вузла для раннього виявлення дефектів, що розвиваються, але ще не є аварійними: визначати залишковий ресурс буксового вузла; відчіпляти вагон в ремонт за фактичним станом буксового вузла.

Ключові слова: технічне обслуговування, буксовий вузол, технічний стан, засоби контролю, діагностична станція, бортовий модуль, наземний модуль.

Обосновано направление усовершенствования технического обслуживания буксовых узлов грузовых вагонов с помощью использования встроенных средств контроля. Приведены позитивные результаты эксплуатационных испытаний встроенной системы контроля их технического состояния, что позволяет: анализировать данные о температурном режиме буксового узла для раннего выявления дефектов, которые развиваются, но еще не являются аварийными; определять остаточный ресурс буксового узла; отцеплять вагон в ремонт по фактическому состоянию буксового узла.

Ключевые слова: техническое обслуживание, буксовый узел, техническое состояние, средства контроля, диагностическая станция, бортовой модуль, наземный модуль.

In the article are proved trends of improvements of technical inspection of wagons axle equipment with use of built-in control devices of axle equipment that helps to increase railway traffic safety and accuracy of the estimation of technical condition of axles and identify the origin of the defect at an early stage of its development. Such control is possible to perform regardless of the design of running parts, the types of bearings and lubricant. Here are given positive results of service testing of built-in control system of their technical condition, which also allow: analyze the temperature conditions of axle equipment for early detection of axles with defects that develop, but are not yet alert; determine the remaining service life of axle equipment; disengage the waggon for repair by actual state of the axle equipment. Test results showed high availability of the system under actual operating conditions and the possibility of long-term information about the technical condition of axle equipment for further its analysis.

Keywords: technical service, буксовый knot, technical state, controls, диагностическая station, side module, surface module.

Постановка проблеми. Система технічного обслуговування вагонів дозволяє оглядачам вагонів виявити значну кількість відмов буксових вузлів під час обробки составів. В середньому оглядачами

визначається 43,6 % несправностей букс. Це свідчить про те, що цей процес недостатньо автоматизовано та велику роль відіграє «людський чинник». Тому завжди існує ймовірність пропуску оглядачами несправної

букси в складних метеорологічних умовах, в нічний час та ін. Існуюча апаратура дистанційного (безконтактного) теплового контролю не вільна від певних недоліків, тому непоодинокі випадки помилкового спрацьовування апаратури, що становить близько 13 % від всіх випадків виявлення надмірного нагріву букс. Також спостерігається тенденція до їх зростання внаслідок появи на залізницях України вагонів з удосконаленими буксовими вузлами. Це приводить до необґрунтованих затримок у русі та нераціональних витрат трудових і матеріальних ресурсів.

Тому застосування у вагонах вбудованих засобів контролю буксових вузлів дозволить насамперед підвищити безпеку руху, підвищити точність оцінки технічного стану букс, дозволить виявляти зародження дефекту ще на ранній стадії його розвитку. Такий контроль можливо здійснювати незалежно від конструкції ходових частин, типу використовуваних підшипників та змащування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд і аналіз робіт з теорії та практики методів контролю технічного стану буксових вузлів в експлуатації [1,2] показали, що поза увагою дослідників залишилися методи діагностики букс вбудованими засобами контролю. Всі ознаки розпізнавання несправних букс, які використовуються в існуючих системах контролю, спираються на різні алгоритми математичної обробки лише одного діагностичного параметра – зовнішньої температури букси.

Останнім досягненням у напрямку контролю букс є установка вбудованих датчиків для визначення частоти обертання, напрямку обертання та температури підшипників. У цей час підшипники з вбудованими датчиками стають стандартними компонентами сучасного рухомого складу [3,4]. Передові виробники буксових вузлів, такі як SKF (Швеція), FAG (Німеччина), Timken (США), оснащують свої букси такими системами. Але дані системи неможливо використовувати на вантажних вагонах України через їх конструктивні і технічні особливості, а також через високу вартість.

Постановка завдання. Основне завдання даної статті полягає в тому, щоб показати доцільність удосконалення технічного обслуговування буксових вузлів вантажних вагонів за результатами експлуатаційних

випробувань вбудованої системи контролю технічного стану буксових вузлів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Кафедрою «Вагони» на ПАТ «Полтавський ГЗК» в рамках науково-дослідної роботи для Державної адміністрації залізничного транспорту України були проведені експлуатаційні випробування вбудованої системи контролю букс – буксової діагностичної станції (БДС). Метою випробувань була перевірка працездатності системи в реальних умовах експлуатації та отримання довгострокової діагностичної інформації про технічний стан буксового вузла для її подальшого аналізу.

Вбудована система контролю букс складається з бортових і наземних модулів (рис. 1).

Бортовий модуль призначений для безпосереднього контролю технічного стану буксового вузла та безпроводного передавання результатів контролю на наземний модуль.

Бортовий модуль має у своєму складі такі компоненти: мікроконтролер; модуль пам'яті; датчик температури; датчик частоти обертання; датчик цілісності торцевого кріплення; радіоблок; вбудована антена; джерело живлення (літієва батарея).

Наземний модуль призначений для зчитування даних про результати контролю, отриманих бортовими модулями. Цей модуль може бути стаціонарним і розміщатися безпосередньо біля шляху й бути підключеним, наприклад, до перегінного встаткування системи теплового контролю букс (КТСМ, АСДКБ). А також може бути виконаний у вигляді малогабаритного переносного терміналу.

Структура наземного модуля складається з таких компонентів: мікроконтролер; модуль пам'яті; датчик температури; датчик частоти обертання; датчик цілісності торцевого кріплення; радіоблок; вбудована антена; джерело живлення (літієва батарея).

Враховуючи зауваження Головного управління вагонного господарства Укрзалізниці після натурних випробувань, було проведено модернізацію системи. При цьому було зменшено габарити бортового модуля БДС та змінено кріплення модуля на торці осі. Встановлений в буксі вагона-самоскида модернізований бортовий модуль БДС наведено на рис. 2.

Зняття даних здійснювалося за допомогою переносного терміналу (рис. 3) без зняття оглядової кришки буксового вузла. Результати

контролю за допомогою спеціальної програми відображалися у вигляді кривої температури букси й частоти обертання колісної пари.

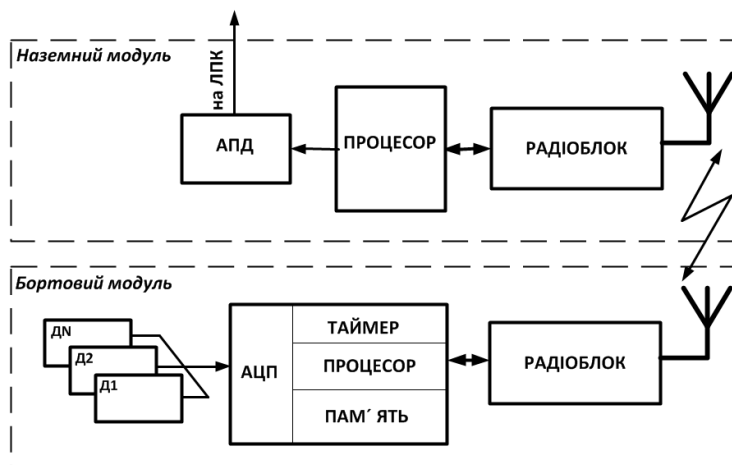


Рис. 1. Структура вбудованої системи контролю букс БДС

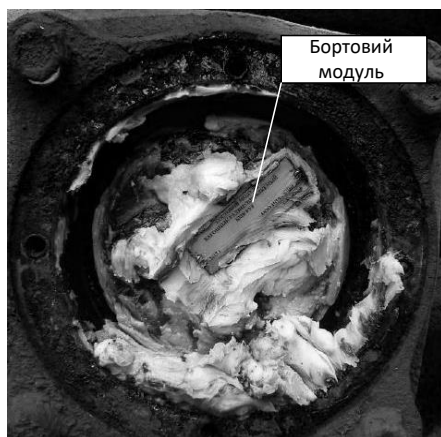


Рис. 2. Бортовий модуль БДС, що встановлений у буксі

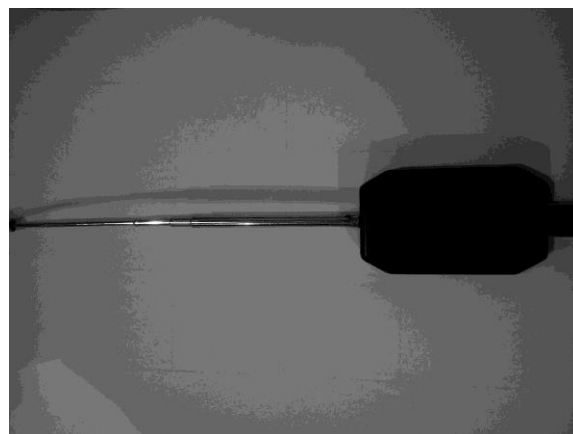


Рис. 3. Переносний термінал БДС

Бортовий модуль кріпиться болтами торцевого кріплення безпосередньо до тарілчастої шайби й призначений для контролю температури й частоти обертання, а також зберігати результати контролю у своєму модулі пам'яті.

Частота опитування датчиків задається програмно – 1 вимір за 2 хв. Обсяг внутрішньої пам'яті дозволяє зберігати результати контролю протягом 45 діб.

Радіоблок за допомогою вбудованої антени спеціальної конструкції здатний здійснювати передачу даних з букси без зняття оглядової кришки на відстань до 10 метрів.

Вісім бортових модулів системи були встановлені в буксах вагона-самоскида, що

здійснював перевезення руди між кар'єром і збагачувальним комбінатом.

Отримана інформація дозволила також оцінити пробіг вагона в навантаженому й порожньому стані, залежність температури букси від частоти обертання колісної пари.

При проходженні вагона з дослідними буксами з БДС через пункт контролю отримувалася така оперативна інформація з бортових модулів:

- поточна температура шийки осі;
- максимальна температура шийки осі між пунктами контролю;
- частота обертання колісної пари для виявлення загальмованості;
- стан торцевого кріплення.

Ця інформація відображалася у вікнах програми, що наведені на рис. 4.

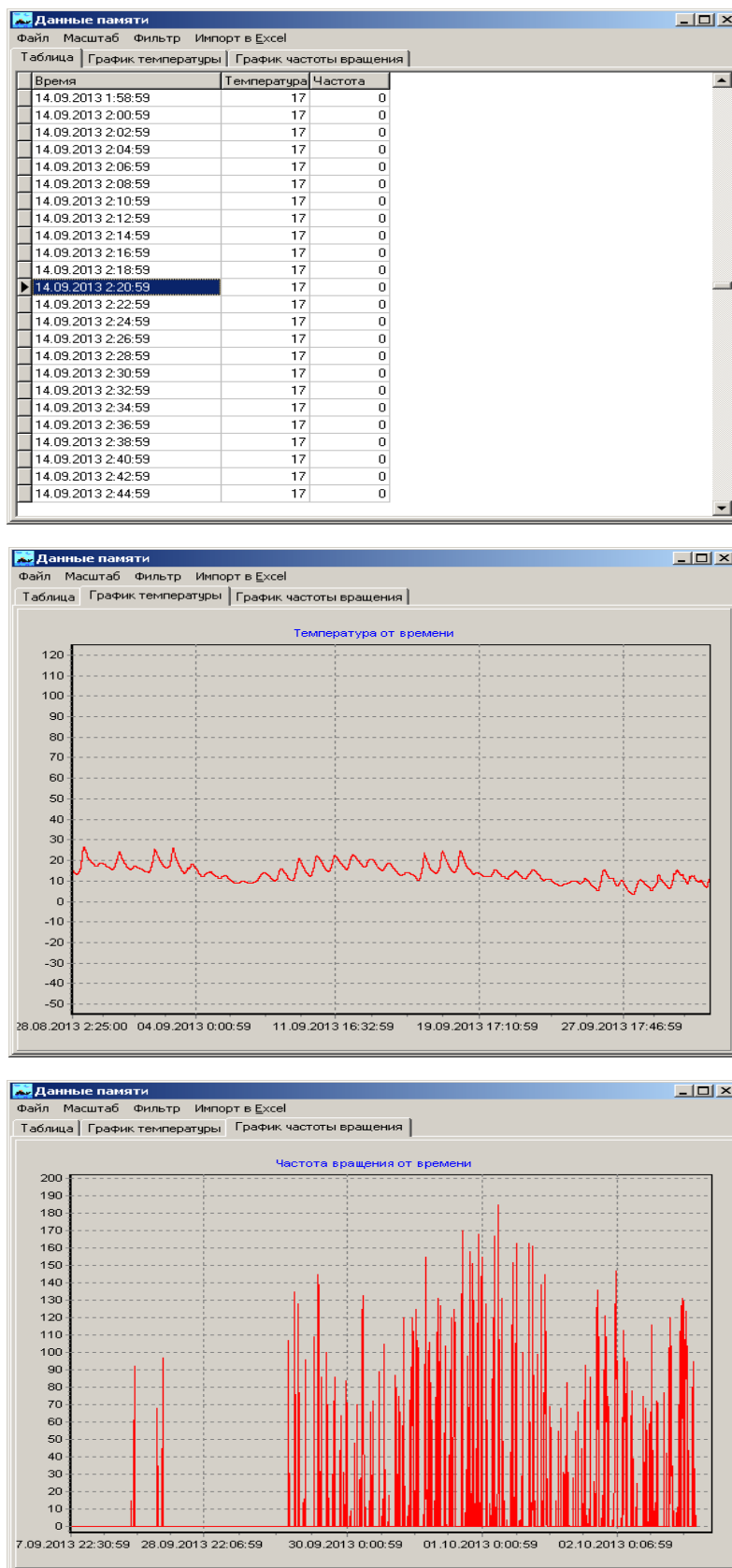


Рис. 4. Вікна програми «Таблиця», «Графік температури», «Графік частоти оберту»

Відмінною особливістю цих випробувань є те, що запропонована система контролю отримує не тільки оперативну інформацію про поточний стан букси, але також бортовий модуль накопичує у своїй внутрішній пам'яті діагностичну інформацію, яка потім зчитується за допомогою бездротового терміналу.

За цими даними визначається температурний режим букси, пробіг вагона, співвідношення температури букси і частоти обертання, а також статистичні дані: час руху вагона, його швидкість, час простою під навантаженням - розвантаженням.

Об'єм пам'яті дозволяє зберігати дані до 45 діб при частоті зчитування – 1 зчитування / 2 хв. Такі дані дозволяють оцінити технічний стан вузла, його ресурс, а також виявити дефекти підшипника, які почали утворюватися.

Висновок. Таким чином, система БДС дозволяє:

1. Аналізувати дані про температурний режим буксового вузла для виявлення букс з дефектом, що розвивається, але які ще не вважаються несправними, з метою недопущення експлуатації вагона, що є потенційним джерелом аварійної ситуації;

2. Визначати залишковий ресурс буксового вузла;

3. Виводити в ремонт буксовий вузол за фактичним станом;

4. Накопичувати статистичні дані про пробіг вагона в порожньому і завантаженому стані, а також про час його простою.

Всі запропоновані заходи сприятимуть удосконаленню технічного обслуговування букс, а також підвищать безпеку руху поїздів.

Список використаних джерел

1. Регеда, В.В. Анализ методов контроля букс грузовых вагонов на ходу поезда [Текст] / В.В. Регеда, В.М. Петухов // Зб. наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип.84. – Ч.3. – С. 94–98.
2. Борзилов, И.Д. Тепловые информационные зоны букс подвижного состава [Текст] / И.Д. Борзилов, В.М. Петухов // Зб. наук.праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 10. – С. 78-84.
3. Петухов, В.М. Основні задачі бортової системи автоматичного контролю букс на ходу поїзда [Текст] / В.М. Петухов // Зб. наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 86. – С. 84-91.
4. Петухов, В.М. Буксовая диагностическая станция [Текст] / В.М. Петухов // Сб. научн. работ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вып. 13. – С. 96-101.

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

Петухов Вадим Михайлович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35, 097-217-84-51.

Варницький Микола Ігорович, слухач НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту.

Petuhov Vadim M., Ph. D. (Tech), associate professor of the department of railway cars of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel. (057) 730-10-35.

Varnickiy Nikolay I., student-master of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel. (057) 730-10-35.

УДК 669.056.9:629.45

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФАРБУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук А.В. Труфанова, С.О. Грицов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОКРАСКИ ПАСАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Канд. техн. наук А.В. Труфанова, С.О. Грицов

IMPROVING THE EFFICIENCY TECHNOLOGY OF PAINTING PASSENGER WAGONS

Can. techn. sciences A. V. Trufanova, S. Hrytsov

Поліпшення ефективності та конкурентоспроможності залізничного транспорту може бути досягнуте за рахунок модернізації морально застарілих і менш надійних вузлів вагонів з метою ліквідації відмов устаткування в експлуатації, вдосконалення технологічного процесу ремонту і обслуговування пасажирських вагонів, впровадження сучасних і ефективних технологій, технічних засобів, що дозволяють зменшити вплив "людського чинника". Так, використання якісних лакофарбових матеріалів поліпшує в першу чергу протикорозійний захист рухомого складу в атмосферних умовах, а також підвищує ефективність фарбування пасажирських вагонів. Здобуття якісного декоративного покриття з підвищеним терміном служби можливо при використанні сучасних методів нанесення.

Ключові слова: декоративне покриття, протикорозійний захист, технологічний процес, лакофарбові матеріали, пошкодження покриття.

Улучшение эффективности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта может быть достигнуто за счет модернизации морально устаревших и менее надежных узлов вагонов с целью ликвидации отказов оборудования в эксплуатации, совершенствования технологического процесса ремонта и обслуживания пассажирских вагонов, внедрения современных и эффективных технологий, технических средств, позволяющих снизить влияние "человеческого фактора". Так, использование качественных лакокрасочных материалов улучшает в первую очередь противокоррозионную защиту подвижного состава в атмосферных условиях, а также повышает эффективность окрашивания пассажирских вагонов. Получение качественного декоративного покрытия с повышенным сроком службы возможно при использовании современных методов нанесения.

Ключевые слова: декоративное покрытие, противокоррозионная защита, технологический процесс, лакокрасочные материалы, повреждения покрытия.

An improvement of the efficiency and competitiveness of rail transport can be achieved by modernizing outdated and less reliable car units to eliminate equipment failures in service improvement process of repair and maintenance of passenger cars, the introduction of modern and efficient technologies, technical means to reduce the impact of "human factor".

The cost of painting a passenger car is about 27-30 thousand UAH. However, passenger cars after staining with depot repair and overhaul in the first year of operation is largely lose a decorative look, the paint is subjected to rapid destruction: microcracks appear, chips, discontinuities and other defects. Poor quality of the protective coating on the car body for the following reasons: the use of paints of poor quality; imperfect preparation of metal surfaces prior to painting car bodies.

So, the use of high-quality paints and varnishes primarily improves corrosion protection of the rolling stock in the atmospheric conditions, as well as improving the efficiency of staining of carriages. Obtaining high-quality decorative coating with increased service life is possible with the use of modern methods of application.

Keywords: decorative coating, corrosion protection, process, paints, coating damage.

Вступ. Залізничний транспорт відіграє вирішальну роль в єдиній транспортній системі України. Його діяльність забезпечує економічні зв'язки між виробниками та споживачами продукції, областями та економічними регіонами України, а також з іншими країнами.

Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Україна має одну з найбільш розвинених у Європі мережу залізниць, експлуатаційна довжина якої складає понад 22 тис. км. За густотою вона займає провідне місце серед країн СНД і наближається за цим показником до європейських країн. Залізничний транспорт України забезпечує потреби економіки та населення у перевезеннях. Гостра конкуренція між різними видами транспорту сприяє підвищенню якості транспортних послуг.

Для забезпечення безпеки руху поїздів парк пасажирських вагонів повинен мати високу надійність. У той же час вагон

складається з великої кількості вузлів, технічний стан яких безпосередньо впливає на експлуатацію пасажирських вагонів.

Починаючи з 1991 року інвентарний парк пасажирського рухомого складу скоротився на 25 % через виключення вагонів, що відпрацювали призначений термін служби. Для часткового вирішення цієї проблеми на залізницях було запроваджено обстеження кожної одиниці рухомого складу, яка відпрацювала нормативний встановлений термін служби, і після відповідного висновку наукових установ здійснюється проведення капітально-відновлювального ремонту з подовженням терміну експлуатації на 10-15 років. Однак цього недостатньо для того, щоб забезпечити зростаючі потреби у перевезеннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На мережі залізниць України експлуатується понад 7 тис. пасажирських вагонів і 60 секцій електропоїздів [3] (рис. 1).

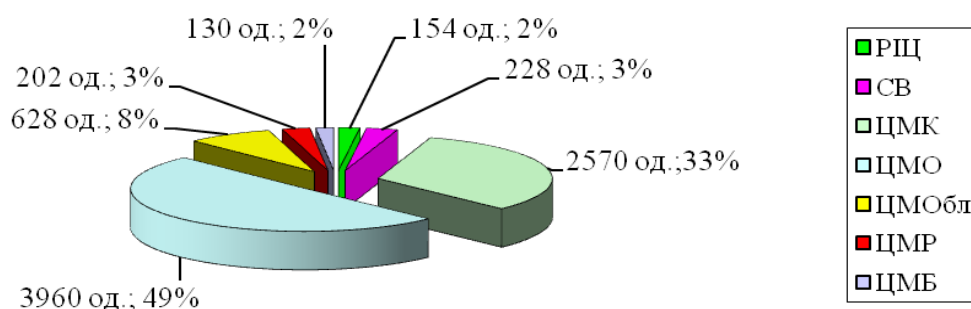


Рис. 1. Структура інвентарного парку пасажирських вагонів

Аналіз існуючого парку пасажирських вагонів залізниць України свідчить про його значне зношення. Середній вік пасажирського вагона – 24 роки, що відповідає 86 відсоткам зношеності [3], рис. 2.

В подальшому ситуація з пасажирськими перевезеннями може набути критичного характеру через дефіцит вагонів: впродовж 2006-2013 рр вичерпається ресурс 1681 од.[3], тому необхідно визначитися з планом робіт, які необхідно виконати з парком пасажирських вагонів для утримання його на належному рівні.

Основна частина. Щорічно все більше пасажирських вагонів та електропоїздів підда-

ється перефарбовуванню внаслідок низької якості лакофарбового покриття їх кузовів. Вартість фарбування одного пасажирського вагону складає приблизно 27-30 тис. грн. Для фарбування одного вагону необхідно 1,3 тис. тонни лакофарбових матеріалів. Проте пасажирські вагони після фарбування при деповському і капітальному ремонті в перший же рік експлуатації значною мірою втрачають декоративний вигляд, лакофарбове покриття піддається швидкому руйнуванню: з'являються мікротріщини, відколки, порушення суцільності та інші дефекти (див. таблицю).

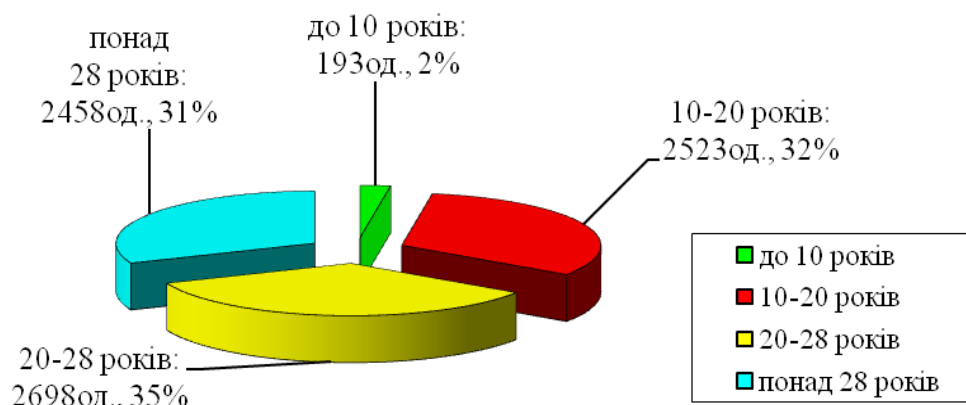


Рис. 2. Структура інвентарного парку пасажирських вагонів за віком

Таблиця

Дефекти фарбування кузовів пасажирського вагона

Найменування	Несправності	Причини	Спосіб усунення
Фарбування кузова, захисно-декоративні покриття	Здуття, сітка тріщин, осипання, покриття осередками корозії	Старіння в процесі експлуатації	Відновлення, з прагненням максимально продовжити термін експлуатації покриття
	Дрібні тріщини, подряпини	Старіння в процесі експлуатації	Підправити за допомогою пензлів малих номерів
	Здуття плівки емалі при нанесенні її на поверхню	Нанесення ґрунтовки на забруднену поверхню, порушений режим сушки, шару ґрунтовки, неправильна технологія фарбування	Розчистити, нанести ґрунтовку за правильною технологією фарбування
	Напливи, патьоки на поверхні	Густа емаль, погано розтушована по поверхні емаль при ручному забарвленні	Просушити, зрізати патьоки, напливи, начистити наждачною шкуркою, нанести емаль рівномірно

Низька якість захисного покриття на кузовах вагонів пояснюється такими причинами: використанням лакофарбових матеріалів низької якості; недосконалою підготовкою металевих поверхонь кузовів вагонів перед фарбуванням; низьким рівнем технологій фарбування при деповському і капітальному ремонті, включаючи шпаклю-

вально-шліфувальні роботи, відсутністю механізованих методів нанесення покриттів.

Пасажирський рухомий склад в основному забарвлюється не досить якісними лакофарбовими матеріалами. Тому це призводить до руйнування покриття і корозії металевій поверхні вагонів внаслідок проникнення води і інших агресивних агентів через плівку покриття.

Основним напрямом підвищення якості фарбування пасажирського рухомого складу є використання якісних лакофарбових матеріалів, які призначені для тривалого протикорозійного захисту вагонів в атмосферних умовах. Це використання матеріалів на епоксидній, акриловій і поліуретановій основах.

Якість робіт з фарбування багато в чому визначається вибором устаткування фарбування для таких технологічних операцій, як шліфування, нанесення покривних шарів,

відновлення дефектів та ін. Отримання якісного декоративного покриття з підвищеним терміном служби можливо при використанні механізованих методів нанесення. При впровадженні лакофарбових матеріалів на поліуретановій основі необхідно оснастити фарбувальні ділянки спеціальними камерами, що мають відповідну припливно-втяжну вентиляцію, і установками для механізованого нанесення матеріалів (рис. 3).



Рис. 3. Фарбувально-сушильний комплекс

Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Використання сучасних методів очищення від іржі, окалини і лакофарбового покриття, що руйнується, з застосуванням дробоструминно-фарбувальних комплексів забезпечує необхідну

підготовку поверхні при хорошій адгезії лакофарбового покриття з металом. Такий технологічний процес фарбування пасажирських вагонів прогресивними матеріалами дозволить підвищити термін служби фарблення кузовів до 10 років.

Список використаних джерел

1. Скиба, И.Ф. Комплексная механизация и автоматизация ремонта подвижного состава [Текст] / И.Ф. Скиба, Я.А. Норкин. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
2. Фельд, П.А. Подготовка пассажирских вагонов в рейс [Текст]: учеб. пособие для вузов / П.А. Фельд, Б.А. Юрьевич. – М.: Транспорт, 1984 - 75 с.
3. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу [Текст] // Державна адміністрація залізничного транспорту України „Укрзалізниця”. – К., 2006. – С. 233.

Рецензент д-р техн. наук, професор

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Грицов Сергій Олександрович, магістр кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Trufanova Alyona Volodimirovna, Cand. of techn. sciences department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Hrytsov S., mahystrant department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

УДК 629.488.519

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА ЗАДІЛКИ ПРОМІЖНОГО СТОЯКА ТА БАЛКИ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, А.В. Гудко

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ЗАДЕЛКИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СТОЙКИ И БАЛКИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук Р.И. Визняк, А.В. Гудко

Design improvements FILLER ASSEMBLY INTERIM RACK BAR BODY IN ORDER TO ENSURE gondola cars of strength in service.

Ph.D., associate professor R.I.Viznyak, A.V.Gudko

Ця стаття містить відомості про міцність і надійність універсальних напіввагонів, проведений аналіз їх типових пошкоджень та несправностей. Пропонується рішення щодо зміцнення і модернізації конструкції одного з важливих елементів кузова - проміжного вузла заделки, який схильний до значних знакозмінних навантажувальних у експлуатації.

Ключові слова: напіввагон, пошкодження вагонів, насипний вантаж, удосконалення конструкції.

В статье рассмотрены вопросы прочности и надежности универсальных полувагонов, проведен анализ их характерных повреждений и неисправностей. Предложено решение по усилению и модернизации конструкции одного из важных элементов кузова - промежуточного узла заделки, который подвержен значительным знакопеременным нагрузкам в эксплуатации.

Ключевые слова: полувагон, повреждение вагонов, насыпной груз, усовершенствование конструкции.

This article contains information about the strength and reliability of universal gondola cars, the analysis of their typical damages and malfunctions. Proposed solution to enhance and modernize the structure of one of the important elements of the bodywork of the car-a smart host that is prone to significant continuous operation

Keywords: wagon, damaged cars, bulk cargo, design improvement.

Вступ. Дана стаття стосується до зміцнення та модернізації конструкції одного з важливих елементів кузова-проміжного вузла заделки, також міцності і надійності універсальних напіввагонів (НПВ).

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Несуча конструкція існуючих напіввагонів принципово не змінювалася з 70-х років минулого століття, тобто кузовна частина потребує значних удосконалень та зміни конструкції, для того щоб відповідати сучасним тенденціям світового вагонобудування та потребам і вимогам вантажоперевізників, де важливими аспектами є підвищення

вантажопідйомності, швидкості руху та загалом надійності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою збору статистичних даних характерних пошкоджень при проведенні вантажно – розвантажувальних робіт і подальшої оцінки надійності елементів несучої конструкції кузовів суцільнометалевих напіввагонів проводилися дослідження у цьому напрямку. При цьому головним чином приділялася увага характерним несправностям і пошкодженням, що відповідають застосуванню існуючих технічних засобів при виконанні вантажно – розвантажувальних робіт (ВРР) згідно з проведеною авторською класифікацією.

Визначення мети та задачі дослідження. Для оцінювання технічного стану напіввагонів (НПВ) на початковому етапі було обстежено більше 500 НПВ різних моделей. При цьому, згідно з розробленою методикою, фіксувались такі вихідні дані:

- номер ПВ, модель;
- дата і місце побудови або останнього деповського ремонту;
- дата і місце останнього заводського ремонту;
- найменування характерних пошкоджень, зона розташування, розміри.

Зібраний ряд пошкоджень фіксувався за конструкційними вузлами кузова і класифікувався детальніше за елементами конструкції окремого вузла. Таким чином, було поставлено за мету дослідження надійності напіввагонів і розроблення рекомендацій і заходів щодо її підвищення. При дослідженні надійності за основу було взято розрахунок показників такої властивості технічних виробів, як безвідмовність, що характеризує роботоспроможність вагона у початковий період експлуатації до першого планового деповського ремонту, або поміж поточними відчіпними ремонтами за умови 100 % відновлення несправних або пошкоджених вузлів і деталей кузова вагона.

Безвідмовність [1] об'єкта також можна характеризувати щільністю ймовірностей моменту першої відмови. Як відомо, основні показники безвідмовності, що дозволяють оцінити надійність НПВ, є:

- імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ або імовірність виникнення відмов $R(t)$;
- параметр потоку відмов $\omega(t)$ характеризує середнє число відмов, очікуваних на малому інтервалі часу;
- середнє напрацювання на відмову $T_{ср}$ - це відношення напрацювання відновлюваного об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього напрацювання.

Основна частина дослідження. На початковому етапі дослідження надійності як закон розподілення функції відмов було взято не логарифмічний або логарифмічно-

нормальний закон, як фактично прийнято у техніці, а експоненціальний. Результати розрахунку усередненого показника імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ для кузова напіввагона за блочно-модульним принципом наведено на рис. 1. При побудові відповідних гістограм закону розподілення несправностей функції $P(t)$ визначено, що найменш надійними елементами конструкції кузова напіввагона в експлуатації є підлога, що створена кришками люків, торцеві стіни, а особливо вузли заділок проміжних бокових стояків з рамою. В експлуатації саме ці елементи зазнають масової кількості пошкоджень та отримують різні за характером складності несправності. Тому як рекомендації, що направлені на підвищення надійності цих елементів конструкції, мають бути розглянуті напрямки зміцнення їх найбільш слабких місць шляхом доопрацювання існуючих. Для розв'язання задачі з визначення найбільш завантажених вузлів з метою їх подальшого удосконалення була побудована тривимірна модель універсального напіввагона 12-757 (рис. 2) за допомогою програмного комплексу SolidWorks 2012. Розрахункову модель кузова з прикладенням навантажень за першим розрахунковим режимом наведено на рис. 3. З наведених розрахунків (рис. 4) видно, що вузол з'єднання стояка бокової стіни з рамою є одним з найбільш завантажених частин кузова напіввагона. Це пов'язано з кінематикою прикладення зусиль розпору та сили від ваги вантажу. Найбільші значення напружень виявлені у зонах вузлів стояків та балок посередині довжини рами з зовнішнього боку, де вони працюють на стискання і часто перевищують припустимі значення, згідно з [2]. З метою відведення та розподілення концентрації напружень пропонується зробити підсилюючу металеву накладку товщиною 20 мм (рис. 5) Вузол задовольняє межі міцності сталі, яка використовується у вагонобудуванні, але при проектуванні конструкційних вузлів нових зразків напіввагонів треба приділяти ретельну увагу проектним рішенням з метою забезпечення міцності та надійності конструкції у цілому.

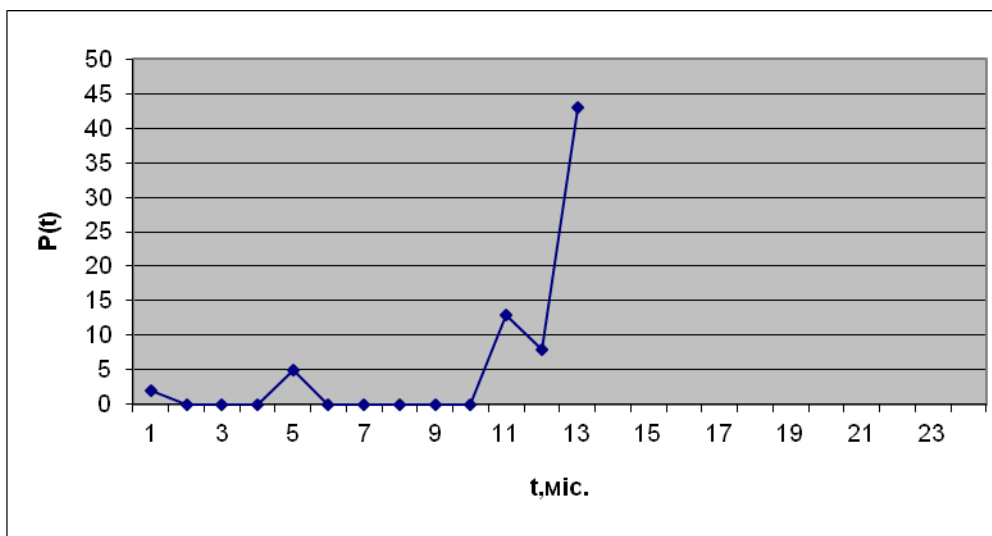


Рис. 1. Функція імовірності безвідмовної роботи напіввагона $P(t)$

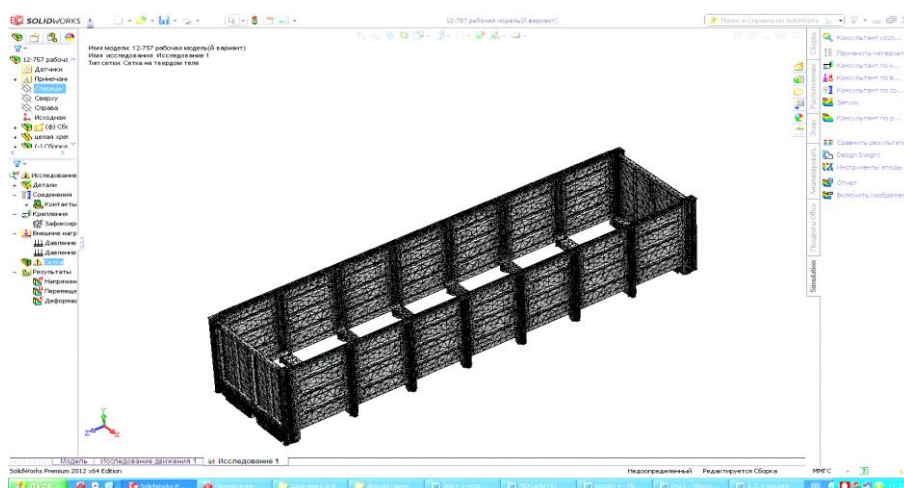


Рис. 2. Скінченноелементна модель з нанесенням сітки кузова напіввагона мод. 12-757

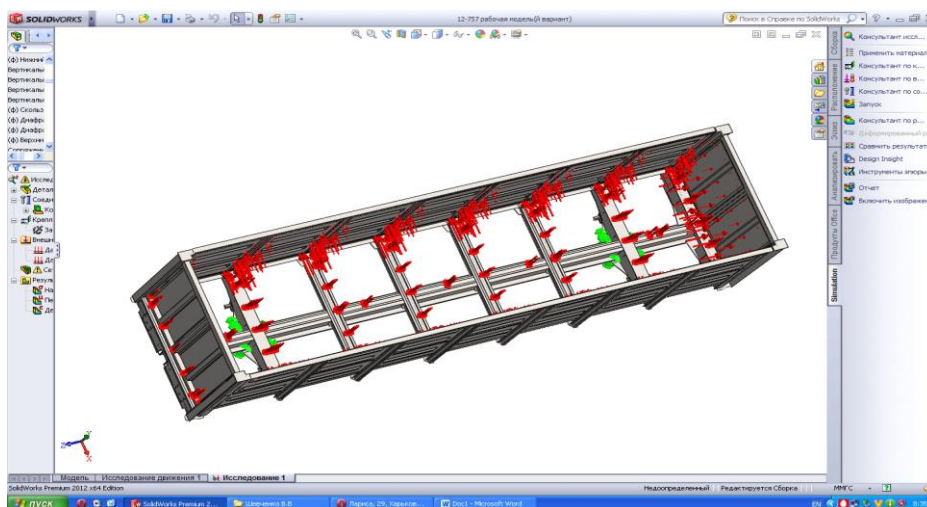


Рис. 3. Розрахункова схема завантаження кузова за першим режимом

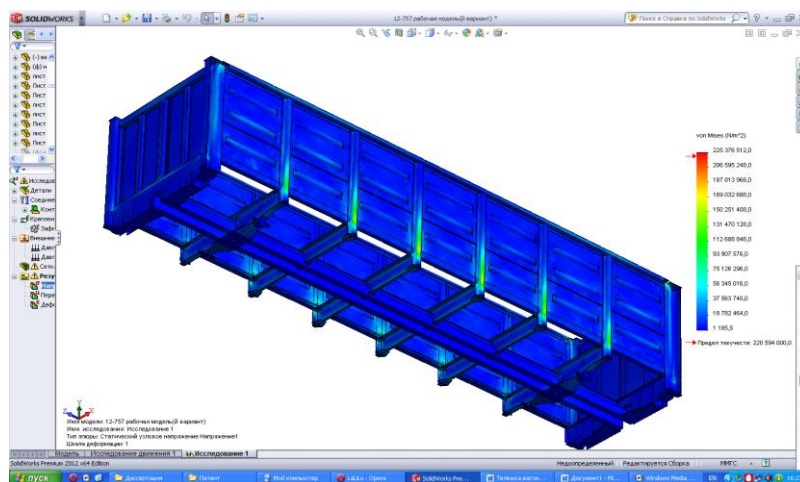


Рис. 4. Розподіл полів напружень у конструкції кузова

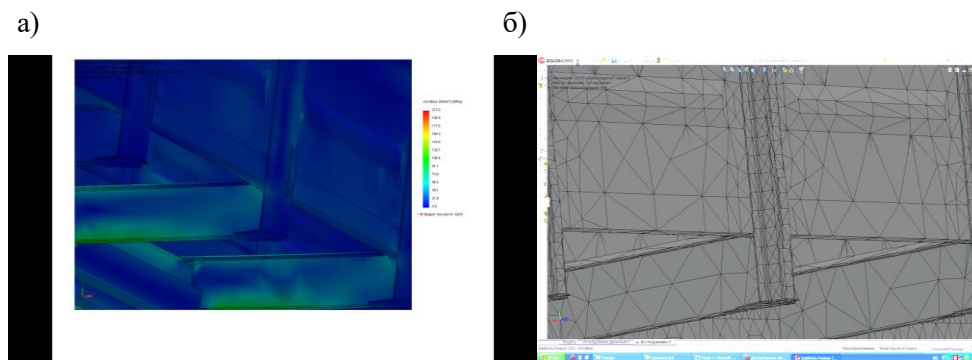


Рис. 5. СЕМ підсиленого вузла заділки стояка з балкою:

а) з нанесенням сітки; б) з визначенням полів напружень за першим режимом

Шляхом встановлення спеціально спроектованого підсилення у конструкцію вузла заділки вертикального стояка несучої конструкції кузова вдалося зменшити концентрацію напружень, які виникають внаслідок прикладання зусиль розпору насипного вантажу, і позитивно перерозподілити їх на балки рами, які мають суттєво більший запас міцності і працюють на вигин. Максимальні напруження не перевищили 212 МПа і знаходяться у межах границі текучості сталей, згідно з [2], які використовуються у вагонобудуванні для несучої конструкції на піввагона, та значно менші значення напружень, ніж у непідсиленому стояці.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

При існуючій механізації та недотриманні вимог нормативних документів для здійснення вантажно-розвантажувальних операцій існуюча конструкція напіввагона і далі буде схильна до пошкоджень і несправностей, що вимусить переводити вагони до неробочого парку з передбачуваними наслідками для вантажовідправників та вантажоприймальників. Для забезпечення міцності та підвищення показників властивостей надійності універсальних напіввагонів і при проектуванні їх нових зразків необхідно передбачити такі конструкційні рішення, які дозволять краще адаптувати вагони до класичних способів вантажно-розвантажувальних робіт і значно покращити збереження парку вантажного рухомого складу в цілому.

Список використаних джерел

1. Устич, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: Вариант, 1999. – 416 с.

2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (не самоходных) [Текст]. – М., 1996. – 258 с.
3. Візняк, Р.І. Піввагон і грейфер: вічна проблема несумісності [Текст] / Р.І.Візняк, І.В. Чепурченко, В.О. Шевченко // Вагонний парк. – 2011. - № 1. – С. 24-28.
4. Борзилов, І.Д. Технічне обслуговування вагонів [Текст] / І.Д. Борзилов. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 42 с.
5. Борзилов, І.Д. Технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів [Текст]: підруч. для вищих навчальних закладів: у 3-х т. / І.Д. Борзилов. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Т.1. – 246 с.
6. Борзилов, І.Д. Розробка технологічного процесу та організації роботи дільниці вагонного депо [Текст] / І.Д. Борзилов. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 34 с.
7. Гридюшко, В.І. Вагонное хозяйство [Текст] / В.І.Гридюшко, В.Я. Бугаев, Н.З. Криворучко. - М.: Транспорт, 1988. - 295 с.
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. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст]. - М.: Транспорт, 1984. - 32 с.
10. Типовий технологічний процес роботи пунктів технічного обслуговування вагонів. Т 12.01. № ЦВ - 0041 [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2004. – 312 с.

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

Візняк Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.+380502308245. E-mail:viz-ruslan@ua.ru.

Гудко Артур Вікторович, магістр Української державної академії залізничного транспорту. Тел.+380508147746.

Viznyak Ruslan I. Ph.D. Associate Professor of cars, Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel. + 380502308245, e-mail: viz-ruslan@ua.ru.

Gudko Arthur V., master student, Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel. + 380 508 147 746.

УДК 629.488.519

РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВІЗКІВ МОДЕЛЕЙ 68-7007 І 68-7012 В УМОВАХ ВАГОННОГО ДЕПО МІНСЬК ПАСАЖИРСЬКИЙ БІЛОРУСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, В.В. Денисенко

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПАССАЖИРСКИХ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛЕЙ 68-7007 И 68-7012 В УСЛОВИЯХ ВАГОННОГО ДЕПО МИНСК ПАСАЖИРСКИЙ БЕЛАРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Канд. техн. наук Р.И. Визняк, В.В. Денисенко

DEVELOPMENT OF SPECIALIZED STAND FOR SERVICING AND REPAIR OF PASSENGER TRUCKS MODELS 68-7007 AND 68-7012 IN TERMS DEPOT MINSK PASSAZHIRSKIY THE BELARUSIAN RAILWAY

Ph.D., associate Professor of R.I. Visnyak, V.V. Denisenko

У статті розглядається питання технічного обслуговування і ремонту нового конструкційного виконання візків з безколісковим підвішуванням моделей 68-7007(7012). Запропоновано 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 рассматриваются вопросы технического обслуживания и ремонта нового конструкционного исполнения тележек с безлючным подвешиванием моделей 68-7007(7012). Предложен специализированный стенд для выполнения монтажа и демонтажа тележек в условиях пассажирских депо.

Ключевые слова: пассажирский вагон, безлючная тележка, стенд для монтажа (демонтажа) тележки.

This article deals with the maintenance and repair of the new structural performance of bogies with non-cradle spring suspension model 68-7007 (7012). A special stand for mounting and dismantling bogies in a passenger Depots is suggest.

Keywords: passenger car, bezmalinovic cart, stand for installation (dismantling) truck.

Вступ. Стаття відноситься до галузі систем та технологій технічного обслуговування рухомого складу залізниць і безпосередньо стосується вдосконалення технології ремонту 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 та ремонту (ТО та РВ) із застосуванням новітнього та технологічного обладнання на підприємстві «Мінське вагонне депо» Білоруської залізниці (БЧ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У період експлуатації

пасажирських вагонів моделі 61-779 та їх модифікацій побудови ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» проводиться планово-запобіжна система обслуговування й ремонту відповідно до наказу Української залізниці 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 коліскового типу моделей I, II (Тверського вагонобудівного заводу) при ремонті й технічному обслуговуванні не потребує завантаження надресорної балки на відміну від візків моделей 68-7007/68-7012 та їх російських аналогів 68-4065/68-4066, у яких необхідно завантажити надресорну балку за допомогою розробки, впровадження та застосування спеціального стенда, що наведений на рис. 1.

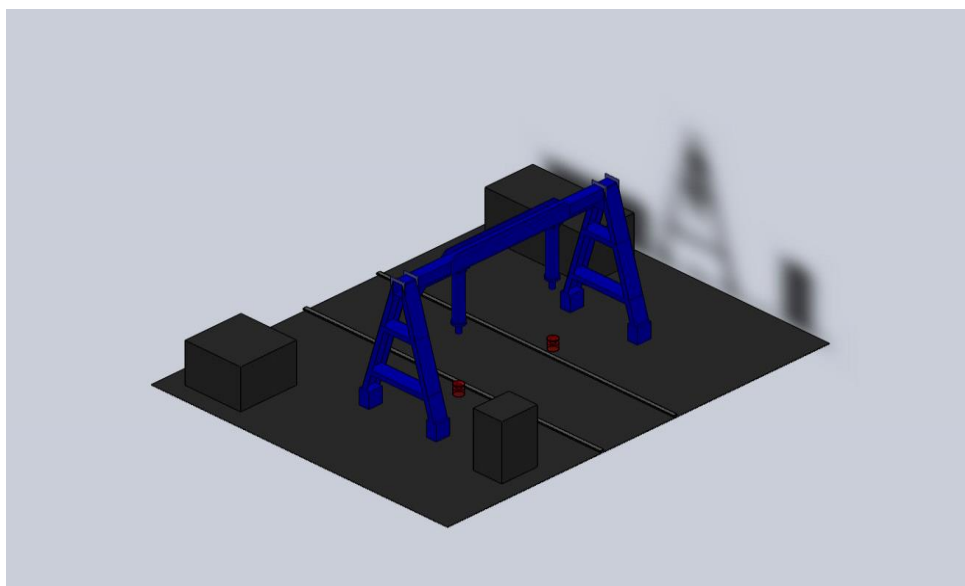


Рис. 1. Тривимірна модель стенда:

1 – гідростанція; 2 – стенд; 3 – стелаж; 4 – домкрат; 5 – опора для кошиків пружин центрального підвішування візка; 6 – колія 1520 мм; 7 – пульт керування

При обслуговуванні та ремонті візків необхідно керуватися [1,2] та нормативно-технічною документацією, що затверджена та діє на залізницях Білорусії, й відповідною конструкторською документацією. Перед ТО та РВ 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 «Крюківський вагонобудівний завод» (КВБЗ) та його технічні характеристики наведені на рис. 2 та у таблиці.



Рис. 2. Стенд для розбирання (складання) візків моделей 68-7007 і 68-7012

Таблиця

Технічна характеристика спеціалізованого стенда

Максимальне зусилля, кН	240,0
Діаметр гідроциліндра, мм	250
Хід штока, мм	1100
Максимальний тиск масла в гідросистемі, МПа	35
Подача гідростанції, л/хв	10,5
Об'єм бака гідростанції, л	27
Насос гідростанції	Радіально-поршневий ексцентриковий, Н400В
Тип гідророзподілювача	Р-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 та РВ. 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 підйому візків разом з вагоном, якщо виникне така потреба. Виконується складання привода візка, приєднують рознімання пневмосистеми візка до пневмосистеми вагона, проводяться комутаційні роботи в системі установа датчиків, з'єднується пластина ручного гальма вагона із тросовим приводом ручного гальма візка (для візків моделі 68-7012), кріпляться струмознімачі, що з'єднують по струму раму вагона з рамами візків і надресорних балок.

Основна частина дослідження. Першим виробником даного спеціалізованого обладнання є КВБЗ, але вкрай необхідна передача документації для доопрацювання до умов ремонтних підприємств, виготовлення і впровадження подібних установок у базових пасажирських депо БЧ. Таким чином, колективом авторів на базі існуючого прототипу було спроектовано стенд-аналог для

застосування в умовах пасажирського вагонного депо Мінськ. 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 з метою здійснення технічного обслуговування і ремонтних робіт принципово нової технології наведено на рис. 3-5. Як видно, максимальні величини механічних напружень, переміщень та деформацій не перевищують припустимі для обраних марок сталей ($\sigma=110-140$ МПа, $\delta=8,8 \cdot 10^{-3}$; $\varepsilon=1,2 \cdot 10^{-6}$ мм), що свідчить про геометричну та кінематичну незмінюваність системи і може бути запропоновано для впровадження за даними параметрами, як в умовах вагонного депо Мінськ Пасажирський, так і Білоруської залізниці, як одних із перших державних підприємств, що почали експлуатацію пасажирських вагонів на принципово нових візках.



Рис. 3. КЕМ та розрахункова схема стенда

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, зможуть виконувати планові та внепланові види ремонтів за значно

скорочений час та з меншим штатом працівників. Якість ремонту візків на спеціалізованому стенді буде відповідати вимогам технології ТО та РВ заводу-виробника візків, що напряду буде впливати на підвищення безпеки руху потягів у швидкому пасажирському сполученні.

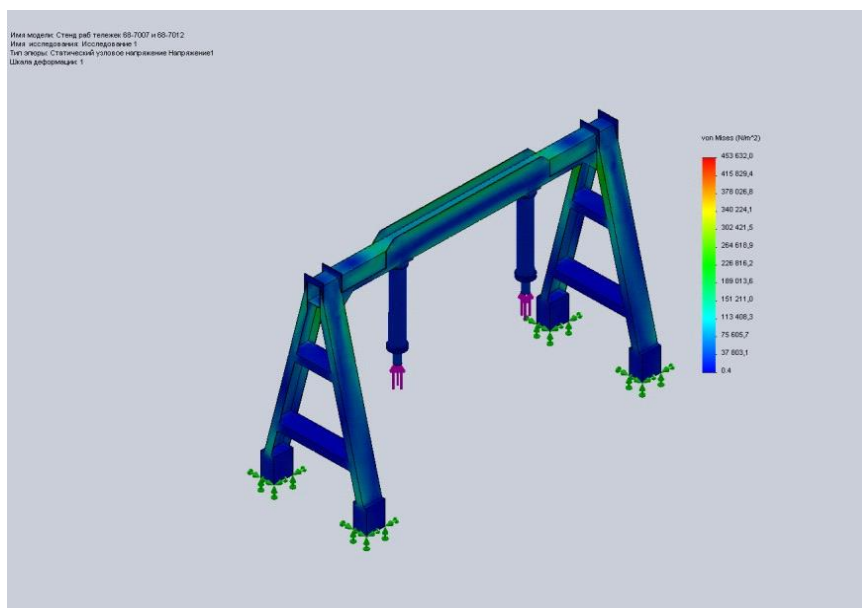


Рис. 4. Поля напряжений в несущей конструкции станда

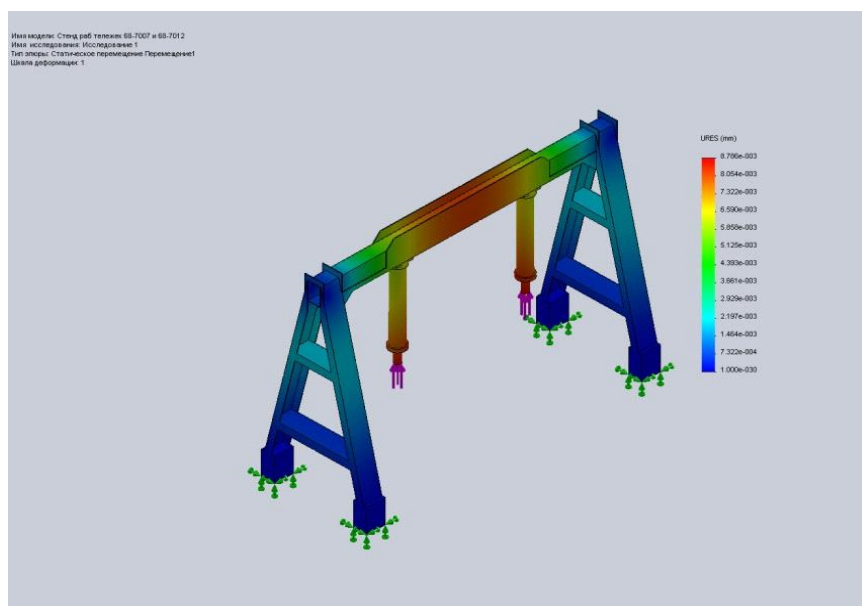


Рис. 5. Поля деформаций в несущей конструкции станда

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].
2. ТУ У 35.2-05763814-054:2007 Тележка двухосная для магистральных пассажирских вагонов локомотивной тяги модели 68-7007/68-7012. Технические условия [Текст].
3. “Тимчасова інструкція з деповського ремонту (ДР) дослідних пасажирських вагонів моделі 61-788 та моделі 61-779Э з високовольтними статичними перетворювачами на візках моделі 68-7007/7012” [Текст].
4. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту і формування колісних пар № ЦВ/3429 [Текст].

5. Временные нормы. Технологическое проектирование предприятий машиностроения, приборостроения и военно-промышленного комплекса Украины [Текст]. – К.: Государственный проектный институт «Гипрохиммаш», 1995.
6. Криворучко, Н.З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н.З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1976. – 278 с.
7. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст]. – М.: Транспорт, 1984. – 32 с.
8. Гридюшко, В.И. Вагонное хозяйство [Текст] / В.И. Гридюшко. – М.: Транспорт, 1988. – 294 с.
9. Балака, Є.І. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті [Текст]: навч. посібник / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колесникова, І.М. Писаревський. - Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.
10. Інструкція з технічного обслуговування букс, обладнаних касетними конічними підшипниками ЦВ-ЦЛ-0092 [Текст].

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

Візняк Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел. +38050-230-82-45, E-mail: viz-ruslan@ya.ru.
Денисенко Віталій Вадимович, магістрант Української державної академії залізничного транспорту. Тел. +7029-684-66-08.

Visnyak Ruslan Ivanovich, candidate associate professor of department of carriages, Ukrainian state academy of railway transport, tel. 38050-230-82-45, e - mail: viz - ruslan@ya.
Denisenko Vitalij Vadimovich, master student the Ukrainian state academy of railway transport, tel. 7029-684-66-08.

УДК 629.4.027

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЕРЦИТИМЕТРІЇ

Канд. техн. наук І.Д. Борзилов, старш. викл. К.В. Шевченко, В.Ю. Калитюк

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ВАГОНОВ С ПОМОЩЬЮ КОЭРЦИТИМЕТРИИ

Канд. техн. наук И.Д. Борзилов, старш. преп. К.В. Шевченко, В.Ю. Калитюк

UPGRADING OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF AXES OF WHEELPAIRS OF CARRIAGES BY MEANS OF COERCIMETER

Cand. of techn. sciences I.D. Borzilov, K.V. Shevchenko, V. U. Kalutyuk

Для підвищення якості неруйнівного контролю осей колісних пар вагонів запропоновано, поряд з існуючими методами неруйнівного контролю використовувати на вагоноремонтних підприємствах неруйнівний контроль коерцитивної сили з визначенням залишкових і робочих внутрішніх напружень металу. Наведені результати проведеної коерцитиметрії поверхневого та глибинного шару металу осі колісної пари, яка мала явні ознаки на поверхневому шарі множинних втомних мікротріщин.

Ключові слова: вісь колісної пари, втомне руйнування, неруйнівний контроль, коерцитиметрія, структуроскоп.

Для повышения качества неразрушающего контроля осей колесных пар вагонов предложено, наряду с существующими методами неразрушающего контроля, использовать на вагоноремонтных

предприятиях неразрушающий контроль коэрцитивной силы с определением остаточных и рабочих напряжений металла. Приведены результаты коэрцитиметрии поверхностного и глубинного слоев металла оси колесной пары, которая имела явные признаки в верхнем слое множественных микротрещин.

Ключевые слова: ось колесной пары, усталостное разрушение, неразрушающий контроль, коэрцитиметрия, структуроскоп.

Recently the number of cases of fatigue destruction of wheel sets axles wagons in operation has sharply increased in. Fractures of the axes wheel sets carriages in cold appears mainly in consequence of its limiting condition which occurs due to metal aging, gradual accumulation of metal fatigue stresses under action alternating loads, origin and development of fatigue cracks. To improve the quality of non-destructive testing of wheel axles waggon pairs was invited to use non-destructive testing coercitive force with determination of residual and operating metal tension on car-repair enterprises along with existing methods of non-destructive testing. In the article are showed results of coercimeter in upper and lower layers of metal wheel pair, which had significant signs of multiple micro cracks in the upper layer.

Keywords: axis of wheelpair, fatigue failure, non-destructive control, coercimeter, structurescope.

Постановка проблеми. За останній час стрімко зросла кількість випадків втомного руйнування осей колісних пар вагонів в експлуатації. Причина цього явища бачиться в тому, що в процесі обстеження колісних пар на вагоноремонтних підприємствах не відбувається оцінка рівня накопичених втомних пошкоджень в осях через відсутність методів та засобів неруйнівного контролю цього явища. Саме через це існує проблема підвищення якості неруйнівного контролю шляхом визначення рівня накопичених втомних пошкоджень осей колісних пар на вагоноремонтних підприємствах за допомогою коерцитиметрії як доповнення до існуючих методів ультразвукового та магнітопорошкового методів неруйнівного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками коерцитиметрія [1,2] стала широко застосовуватися для контролю рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій, що є досить актуальним й для неруйнівного контролю основних елементів ходових частин вагонів.

Можливості застосування коерцитиметрії в процесі застосування неруйнівного контролю металоконструкцій вагонів описані в роботах [3,4]. Встановлено, що всі зміни в структурі матеріалу відображаються у відповідних змінах магнітних і електрофізичних параметрів. Зміни, що відбуваються в матеріалі металоконструкцій вагонів, можливо відстежувати за допомогою коерцитиметрії, прогнозуючи руйнівні пошкодження, які можуть виникнути внаслідок накопичення

втомних пошкоджень. Але фактори невизначеності, які завжди існують у використанні методів неруйнівного контролю, вносять елемент ризику в оцінку рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій. У зв'язку із цим виникає необхідність аналізу обраного методу магнітної структуроскопії для осей колісних пар, щоб можна було даний метод науковообґрунтовано рекомендувати в практику використання.

Постановка завдання. Злами осей колісних пар вагонів у холодному стані (рис. 1) відбуваються в основному внаслідок граничного стану, який настає через старіння металу, поступове накопичення в металі втомної напруги під дією знакозмінних навантажень, зародження та розвиток утомленої тріщини.

Тому основне завдання даної статті полягає в тому, щоб показати доцільність визначення залишкового ресурсу осей колісних пар вагонів, що дозволить, з одного боку, підвищити якість неруйнівного контролю під час обстеження колісних пар на вагоноремонтних підприємствах, з іншого боку — спрогнозувати вірогідність появи відмови вагонів у міжремонтний період та, як результат, підвищити безпеку руху поїздів в експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, вісь колісної пари являє собою брус змінного по довжині поперечного перетину, що зазнає складного характеру напруженого стану. Найбільші напруження викликані деформацією згину та обумовлені дією вертикального навантаження.

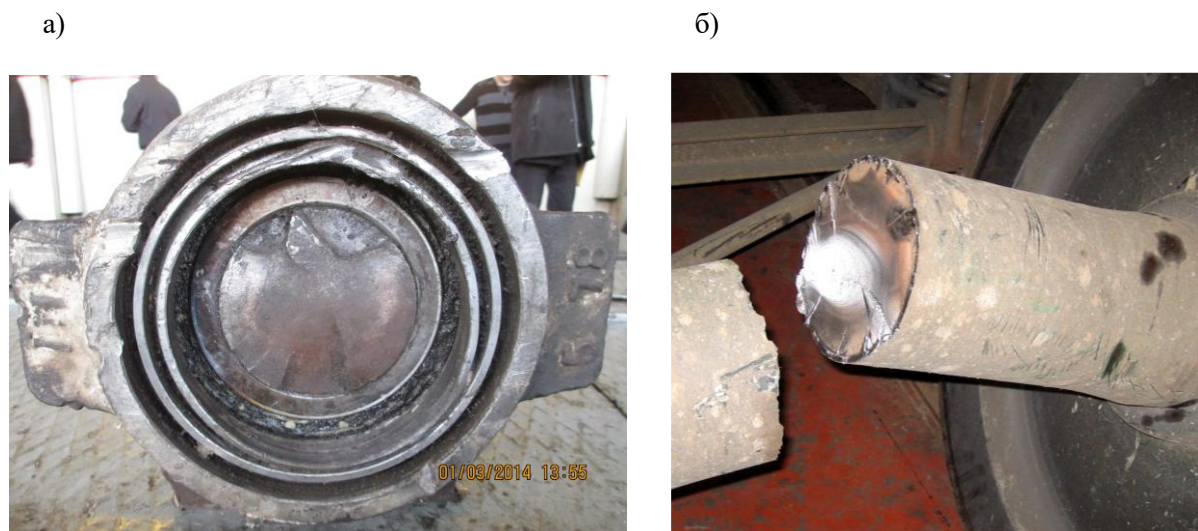


Рис. 1. Зломи осей колісної пари, що відбулися в холодному стані через зародження та розвиток утомлених тріщин: а) злом шийки в зоні лабіринтного кільця; б) злом в середній частині осі

Мікро- та макродефекти структури, накопичуючись в металі в процесі циклічного навантаження при розтягуванні, стисненні, вигині або крученні, мовби збирають і зберігають інформацію, пов'язану з максимальними величинами навантажень, які діяли на вісь, внаслідок чого структура металу виконує функцію своєрідного запам'ятовуючого датчика пікового значення сили [4].

Як основний контрольований магнітний параметр обирається величина коерцитивної сили H_c , так як вона однозначно пов'язана із залишковою пластичною деформацією ϵ_{pl} при статичному і циклічному навантаженні металоконструкцій в процесі експлуатації. За своєю природою H_c і ϵ_{pl} є взаємопов'язаними параметрами, що зростають при циклічному навантаженні, а за фізичним змістом коерцитивна сила H_c - це напруженість магнітного поля, що необхідна для повного розмагнічування попередньо намагніченого до насичення феромагнетика і може бути подана так:

$$H_c = B/E + (B/K)1/n, \quad (1)$$

де B - залишкова індукція;

K - циклічний коефіцієнт напруги;

n - циклічний коефіцієнт зміцнення;

E - модуль пружності.

Залишкова деформація ϵ_{pl} - амплітуда необоротної деформації - визначається аналогічними параметрами

$$\epsilon_{pl} = \sigma/E + (\sigma/K)1/n, \quad (2)$$

де σ - амплітуда навантаження;

E - модуль пружності.

За наявності кореляційних залежностей між H_c і ϵ_{pl} за величиною коерцитивної сили можна вести контроль накопичення пошкоджень в металі, пружно-пластичної деформації металу, а також прогнозувати втомну довговічність металу. При знятті намагнічуючого поля H через незворотність процесів індукція не обертається на нуль, а залишається деяка величина залишкової індукції. Поява великої кількості дефектів у кристалічних ґратах, напруги, які накопичуються за час експлуатації, викликають зменшення проникності і збільшення коерцитивної сили.

Різниця між цими двома значеннями коерцитивної сили (початковим та кінцевим) рівнозначна експлуатаційному ресурсу метала. Прирошення від початкового до будь-якого проміжного поточного значення коерцитивної сили являє собою відпрацьований ресурс, а різниця між кінцевим та поточним - залишковий ресурс за реальним станом накопиченої втоми.

Прикладом доцільності практичної реалізації методу вимірювання магнітної

характеристики (коерцитивної сили) осі колісної пари за допомогою магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М є результати досліджень, надані в роботі [3].

Проведена коерцитиметрія поверхневого та глибокого шару металу осі колісної пари,

яка мала явні ознаки на поверхневому шарі множинних втомних мікротріщин.

Значення коерцитивної сили, що перевірено на поверхневому шарі осі колісної пари за допомогою магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М, показані на рис. 2.

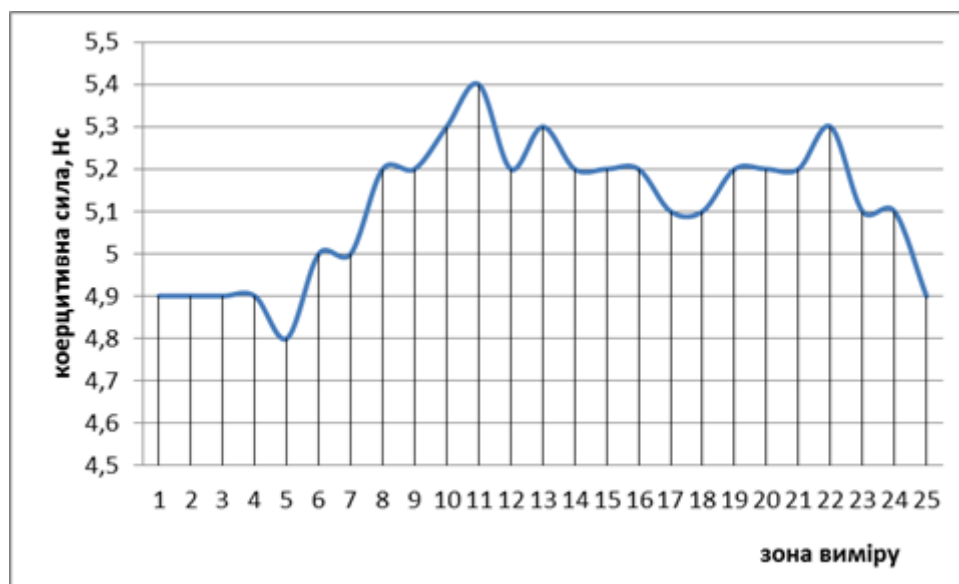


Рис. 2. Коерцитиметрія поверхневого шару металу осі колісної пари

Коерцитивна сила має мінімальні значення на кінцях осі і максимальні значення - в середній частині осі. Найбільша різниця між мінімальним значенням коерцитивної сили і максимальним з виміряних припадає саме на середню частину осі, тобто зону найбільшої втомної деградації, і становить $\Delta H_{clmax} = 0,5 \text{ A / см}$, або 10 % від мінімального значення. Це початковий стан накопиченої пошкодженості металу.

Для режиму багатоциклової втоми характерно накопичення втомного мікропошкодження металу саме в поверхневому шарі металу товщиною у частки міліметра. Мікротріщини є концентраторами напружень. Чим більше мікропошкодження металу втомних тріщин, тим вище значення коерцитивної сили. В середній частині осі значення показань магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М найбільші.

Ці мікропошкодження при певному рівні накопиченої пошкодженості зароджують

макротріщину, яка веде до лавиноподібного руйнування осі поперечним крихким зломом.

Якщо відбуваються глибокі втомні зміни в товщі металу осі, то вимір їх датчиком глибокого контролю на стані поверхневого шару ніяк не позначиться. Це є переконливим підтвердженням того, що втомне пошкодження металу з поверхні перейшло вже в глибокі шари металу осі, тобто в стадію передруйнування.

Максимальне значення вимірів глибоких шарів металу осі колісної пари (рис. 3) припадає на середину довжини осі, що відповідає області найбільшої концентрації напружень і, як наслідок, найбільшої втоми.

Середня частина осі є зоною найбільшого приросту коерцитивної сили, $\Delta H_{clmax} = 0,5 \text{ A / см}$, що також становить приблизно 10 % від величини для даного металу в стані поставки. Вимірювання коерцитивної сили показують, що середня частина осі знаходиться в стані переходу від поверхневого пошкодження до пошкодження по всій товщині.

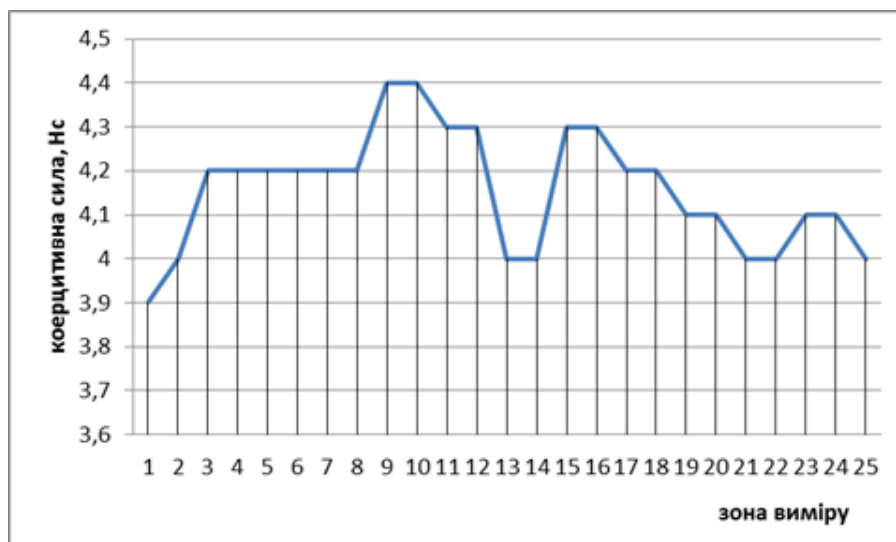


Рис.3. Коерцитиметрія глибинних шарів металу осі колісної пари

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, для визначення технічного стану осей колісних пар вагонів, поряд з існуючими методами неруйнівного контролю, доцільно використовувати неруйнівний контроль коерцитивної сили з визначенням залишкових і робочих внутрішніх напружень металу. На

етапі впровадження методу магнітної структуроскопії для вимірювання магнітної характеристики – коерцитивної сили осей колісних пар вагонів, бажано виконати втомні багаточислові випробування нової осі до стану руйнування, з вимірюваннями коерцитивної сили, з метою визначення ступеня деградації металу.

Список використаних джерел

1. Бида, Г.В. Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле [Текст] / Г.В.Бида // Дефектоскопия. – 2000. - № 10. – С. 3-28.
2. Богачева, Н.Д. Расширение возможностей применения коэрцитивной силы [Текст] / Н.Д. Богачева // В мире неразрушающего контроля. – 2005. - № 2 – С. 8-10.
3. Безлюдько, Г.Я. Оценка степени усталости металла как наиболее эффективного средства повышения безопасности движения [Текст] / Г.Я. Безлюдько // Вагонный парк. – 2010. – № 4. – С.44-46.
4. Шевченко, К.В. Магнітний контроль рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій вантажних вагонів [Текст] / К.В.Шевченко, С.А. Кравченко // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 75-79.

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

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, професор кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35, 066-771-01-81.

Шевченко Костянтин Віталійович, старш. викл. кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35, 099-009-96-79.

Калитюк Володимир Юрійович, слухач НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту.

Borzilov Ivan D., Ph. D. (Tech), associate professor of the department of railway cars of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35, 066-771-01-81.

Shevchenko Kostantin V., senior lecturer at the department of railway cars of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35, 099-009-96-79.

Kalutyuk Vladimir U., student-master of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35.

УДК 629.4.083:629.45

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ БЕЗПЕРЕРВНОГО АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ

Асист. Д.І. Скуріхін, А.Л. Кучеров

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ВАГОНОВ

Ассист. Д.И. Скурихин, А.Л. Кучеров

INCREASED SAFETY OF TRAINS ON THE BASIS OF CONTINUOUS ACOUSTIC MONITORING OF WAGON WHEELSETS

Assistant D. Skurikhin, A. Kucherov

У публікації розглянуто найпоширеніші пошкодження колісних пар та обґрунтований їх негативний вплив на безпеку руху поїздів. Зосереджено увагу на тому, що функціональна акустична діагностика є найбільш інформативною і розвиненою на залізничному транспорті, а звукові коливання при русі вагона можуть бути достовірним джерелом інформації про технічний стан колісних пар.

Ключові слова: акустика, діагностика, шумоутворення, вагон, пара колісна, безпека руху.

В публикации рассмотрены распространенные повреждения колесных пар и обосновано их негативное влияние на безопасность движения поездов. Сосредоточено внимание на том, что функциональная акустическая диагностика является наиболее информативной и развитой на железнодорожном транспорте, а звуковые колебания при движении вагона могут быть достоверным источником информации о техническом состоянии колесных пар.

Ключевые слова: акустика, диагностика, шумообразование, вагон, пара колесная, безопасность движения.

The publication considered widespread damage wheelsets and justified their negative impact on the chassis components of cars. It is noted that the railways of Ukraine operated only ground detection system overheated axle boxes and braked wheelsets and other control operations are conducted waitstaff. Focused attention on the fact that the functional acoustic diagnostics is the most informative and well-developed among the other rail transport, and sound vibrations when driving the car can be a reliable source of information about the technical condition of the wheelsets. Paying attention to the specifics of the application of the acoustic method for identifying damage wheelsets to freight cars that are not equipped with regular sources of electricity, and are also increasingly vulnerable to vandalism.

It is concluded that the effectiveness of the continuous acoustic monitoring method wheelsets, as one of the most technologically advanced and unified means of improving the safety of trains.

Keywords: acoustic, diagnostics, noise level, the car, wheelset, traffic safety.

Вступ. Публікація відноситься до галузі систем та технологій технічного обслуговування рухомого складу залізниць і безпосередньо стосується вдосконалення акустичного контролю колісних пар пасажирських та вантажних вагонів під час руху.

Постановка проблеми. Одними з найпоширеніших пошкоджень колісних пар

вантажних вагонів є повзуни, навари та вищербини поверхні кочення коліс (рис. 1).

Негативний вплив експлуатації колісних пар з даними пошкодженнями для буксових вузлів та інших елементів ходових частин вагонів доведений в ряді праць [3-5]. Крім того, дані пошкодження при укочуванні утворюють нерівномірний прокат, який особливо небезпечний при підвищених швидкостях руху

(120-160 км/год) і важко піддається виявленню в експлуатації. У місцях повзунів і наварів, що укочені, також відбувається викришування

матеріалу обода, що при подальшій експлуатації приводить до руйнування колеса [6].

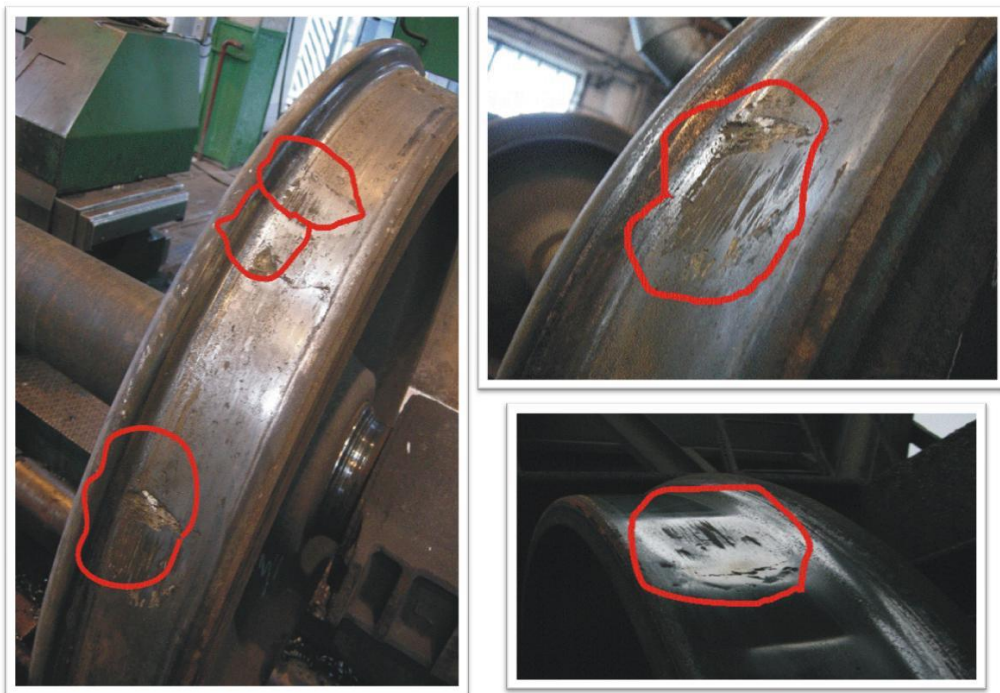


Рис. 1. Пошкодження поверхні кочення коліс

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виявлення пошкоджень колісних пар вантажних вагонів під час рейсу існує велика кількість систем діагностики і контролю. Наземні (стаціонарні) системи, серед яких КРАП-2М, ТДК, «Комплекс», «Експрес-профіль», «Експрес-локомотив», DafuR, Gotcha, мають спільний недолік – вони не забезпечують безперервності контролю, тобто не дають можливості відстежувати технічний стан колісних пар у реальному режимі часу і оперативно реагувати на відмови [6, 7]. Вільними від вказаних недоліків є бортові системи, розробці і впровадженню яких на залізницях світу приділена значна увага [8-12].

На залізницях України експлуатуються тільки наземні системи виявлення перегрітих букс і загальмованих колісних пар (ПОНАБ-3, АСДК-Б, ДИСК-Б), інші операції контролю проводяться оглядачами вагонів. Це не відповідає сучасним тенденціям розвитку технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) вагонів, таким як автоматизація, підвищення достовірності і оперативності технологічного процесу контролю.

Визначення мети та завдання дослідження. Шляхом впровадження конструкційних, технологічних і експлуатаційних заходів повністю виключити появи відмов у вигляді коротких нерівностей коліс складно, оскільки причинами їх виникнення, поряд з іншими, можуть бути випадкові непрогнозовані чинники, серед них: короткочасні динамічні розвантаження колісних пар при проході по нерівностях рейок, зниження коефіцієнта зчеплення коліс з рейками під час атмосферних опадів, взаємний вплив відмов коліс та ін.

У цьому випадку актуальним уявляється завдання оперативної реєстрації пошкоджень коліс, що вже виникли на шляху прямуювання, і своєчасного сповіщення поїзної бригади і наземних служб для підвищення безпеки руху, мінімізації можливих наслідків і скорочення часу на ТО і Р вагонів.

Основна частина дослідження. Функціональна (робоча) акустична діагностика є найбільш інформативною і розвиненою серед інших на залізничному транспорті, оскільки володіє рядом очевидних переваг:

- широка інформативність (в акустичному сигналі міститься вся інформація про робочі процеси об'єкта);
- висока чутливість до несправностей, що виникають;
- достатня простота технології вимірювання;
- широкі можливості автоматизованого аналізу результатів [14].

Акустична діагностика впроваджується як бортова система контролю технічного стану на пасажирських вагонах та локомотивах [15, 16]. Недоліками систем, у яких первинні перетворювачі діагностичних параметрів розташовані безпосередньо на кожному об'єкті контролю (рис. 2), є громіздкість конструкції, невисока надійність і труднощі при ТО і Р.

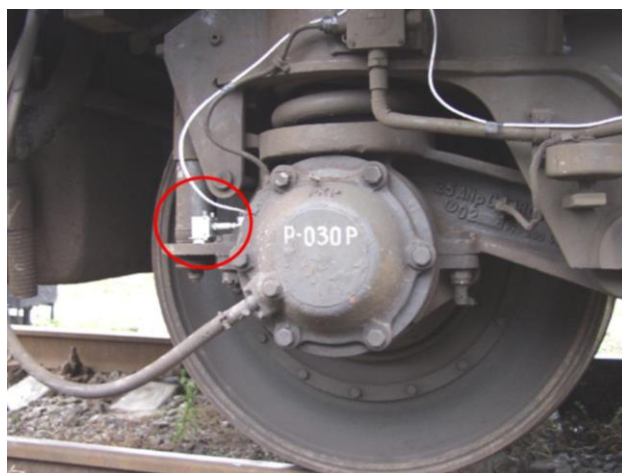


Рис. 2. Ходова частина вагона з п'єзоелектричним датчиком

Звукові коливання при русі вагона можуть бути достовірним джерелом інформації про технічний стан колісних пар. Акустичний сигнал від взаємодії колеса і рейки утворюється як сума збурень, що мало різняться за величиною і утворюють складну квазістохастичну послідовність. При проході вагоном рейкових стиків, стрілок та ін. на фоні квазістохастичної послідовності порівняно слабких імпульсів з'являється кілька послідовностей з великою амплітудою. При

наявності на поверхні кочення колеса короткої нерівності період проходження імпульсів пропорційний швидкості руху вагона, а амплітуда пропорційна інтенсивності співударяння (рис. 3).

Використання як первинних перетворювачів мікрофонів спрощує конструкцію системи контролю технічного стану колісних пар вагона. Для виявлення колісної пари з короткою нерівністю достатньо одного датчика на вагон [1, 2].

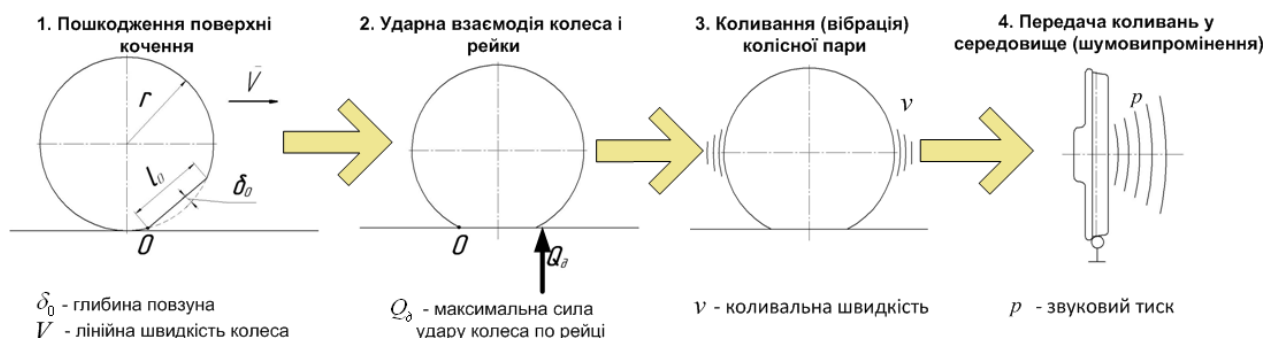


Рис. 3. Схема шумоутворення від ударної взаємодії колеса з короткою нерівністю на поверхні кочення з рейкою

Для роботи діагностичного пристрою на вантажному вагоні під час руху необхідне автономне джерело електричної енергії, яке повинно відповідати таким вимогам:

- забезпечення електричною енергією споживачів при малих швидкостях руху та під час відстою;

- міцна, стійка до різних погодних умов та вандало захищена конструкція;

- зручність при ТО та забезпечення безпеки руху.

Вказані вимоги задовольняє буксовий генератор, що працює спільно з акумуляторною батареєю. Роботи з дослідження особливостей експлуатації та розроблення технічного завдання пропонованої конструкції ведуться на кафедрі «Вагони» УкрДАЗТ.

Висновки:

1. Пошкодження колісних пар у значній мірі загрожують безпеці руху та обмежують пробіг вагонів між деповськими ремонтами, а простої, викликані поточним ремонтом, приводять до порушення графіка руху поїздів.

2. Доведена ефективність застосування безперервного акустичного способу контролю колісних пар як найбільш технологічного і уніфікованого джерела інформації в режимі реального часу.

3. Як джерело електричної енергії для живлення діагностичних пристроїв на вантажному вагоні необхідно використовувати буксовий генератор спільно з акумуляторною батареєю.

4. В результаті запропонованих заходів підвищується безпека руху поїздів та досягається скорочення часу вимушеного простою вагона на ПТО на 1,3 год.

Список використаних джерел

1. Спосіб дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст]: пат. 95863 Україна МПК В61К 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. - № а201005510; заявл. 05.05.2010; опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17/2011. – 5 с.
2. Система дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху [Текст]: пат. 96483 Україна: МПК В61К 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.
3. Кривошеев, В.Н. Оценка состояния колесных пар по статистическим данным на направлении Москва-Ленинград [Текст] // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – Вып. № 608. – М.: Транспорт, 1979. – С. 5-12.
4. Кривошеев, В.Н. Анализ неровностей на поверхностях катания колес, выявленных методом силового контроля [Текст] // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – Вып. № 608. – М.: Транспорт, 1979. – С. 60-74.
5. Блохин, Е.П. Влияние состояния ходовых частей пассажирского вагона на его динамические характеристики [Текст] / Е.П. Блохин, А.Н. Пшинько, Г.И. Богомаз, Е.Н. Ковтун, О.М. Маркова, Малый В.В. // Залізничний транспорт України. – 2005. - № 2. – С. 92-94.
6. Данченко, О.А. Исследование принципов построения и разработка устройства автоматического обнаружения неравномерного проката колес железнодорожных вагонов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / О.А. Данченко ; [ВНИИЖТ]. – М., 1983. – 18 с.
7. Венедиктов, А.З. Колеса диагностирует комплекс «Экспресс-локомотив» [Текст] / А.З. Венедиктов, В.Н. Тирешкин, О.В. Пальчик, Д.С. Доков // Локомотив. – 2005. - № 12. – С. 28-29.
8. С. Ytuarte. Railway Age. - 2002. - №1. P. 37-39.
9. T. Judge. Railway Age. - 2001. - №4. P. 45-46.
10. Покровский, С.В. Системы диагностики на электровозах нового поколения [Текст] / С.В. Покровский, Ф. Фалько, Ш. Гай, М. Вюст // Локомотив. – 2006. - № 2. – С. 44-46.
11. Burgwinkel, F. Rensmann. Glasers Annalen. – 2003. - №3/4. – P. 132-138.
12. M. Schmeja. Glasers Annalen. – 2002, 126 Tagungsband, – P. 258-266.

13. ЦЛ-0030 Типовий технологічний процес підготовки та екіпіровки в рейс пасажирських вагонів та швидкісних поїздів (Т 07.02) [Текст].

14. Осяев, А.Т. Перспективы вибродиагностики [Текст] / А.Т. Осяев, А.А. Сергеев // Локомотив. – 2006. - № 9. – С. 40-41.

15. 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.

16. Пристрій для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу [Текст]: пат. 19305 Україна: МПК В61К 9/00 / Войтенко В.П., Осенін Ю.І., Войтенко Г.О.; заявник та патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. - №u200606125 ; заявл. 02.06.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. – 6 с.

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

Скуріхін Дмитро Ігорович, асистент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35, e-mail: skurikhin@i.ua.

Кучеров Антон Леонідович, магістрант Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-35.

Skurikhin Dmitry, assistant department of "Wagons", Ukrainian State Academy of Railway Transport. Phone: 057-730-10-35. E-mail: skurikhin@i.ua.

Kuchеров A., master student Ukrainian State Academy of Railway Transport. Phone: 057-730-10-35.

УДК 629.454.22.015

ВЛИЯНИЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО НАКЛОНА КУЗОВА ВАГОНА НА СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕС С РЕЛЬСАМИ

Д-р техн. наук В.Г. Маслиев, Е.Л. Литвинова

ВПЛИВ ПРИМУСОВОГО НАХИЛУ КУЗОВА ВАГОНА НА СИЛИ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА З РЕЙКАМИ

Д-р техн. наук В.Г. Маслієв, О.Л. Литвинова

EFFECT OF FORCED TILTING WAGONS ON THE INTERACTION FORCES WHEEL AND RAIL

V.G. Masliyev, E.L. Litvinova

В статье приведена информация о расчетных силах взаимодействия в системе «колесо-рельс» при движении по кривым участкам пути со скоростью до 180 км/ч и прогнозируются изменения износа колес.

Ключевые слова: колесная пара, колесо-рельс, влияние наклона кузова вагона, «кузов-пассажиры».

У статті наведено інформацію щодо розрахункових сил взаємодії в системі «колесо-рейка» при русі вагона по кривих ділянках колії зі швидкістю до 180 км/год та прогнозується зміна зносу коліс.

Ключові слова: колісна пара, колесо-рейка, вплив нахилу кузова вагона, «кузов-пасажери».

In article the information on settlement forces of interaction in system "wheel-rail" is resulted at movement on curve sites of a way with a speed to 180 km/h and predicted changes of deterioration of wheels.

Keywords: wheel pair, the wheel-rail, the influence of slope Wagon "body-passengers."

Допустимые возвышения наружного рельса в кривых, принятые на отечественных железных дорогах, не позволяют повышать скорости движения из-за ограничений по непогашенному ускорению. Эта проблема может быть решена путем оборудования поездов устройствами для наклона кузова [1, 2].

В литературе информации о динамике вагонов с наклоняемыми кузовами недостаточно и, прежде всего, относительно сил взаимодействия колес с рельсами. В [3] отмечается, что оборудование вагона механизмом наклона кузова ухудшает динамику движения в прямых участках пути, а именно – увеличивается боковая качка вагонов. Кроме того, наклон кузова приводит к взаимному смещению центров масс экипажных частей, что может влиять на их динамические показатели.

В данной работе преследовалась следующая цель: исследовать влияние наклона кузова вагона на силы взаимодействия в системе «колесо-рельс» при движении по кривым, оценить изменение износа колес при различных конструкциях механизмов и устройств, реализующих этот наклон.

Поворот кузова лучше всего осуществлять относительно продольной оси симметрии вагона, размещенной на высоте центра масс пассажиров, чтобы обеспечить для них наиболее комфортные условия. Однако координата центра масс пассажиров по высоте является величиной переменной, т.к. зависит от типа вагона (спальный, пригородного сообщения с сидячими местами, двухэтажный и др.). Кроме того, у каждого пассажира расположение центра масс индивидуальное (например, у детей и взрослых). Следовательно, координата центра масс пассажиров является случайной величиной. Все это влечет за собой либо увеличение номенклатуры конструкций механизмов поворота кузова, либо необходимость в их настройке в зависимости от типа вагона.

По месту расположения продольной оси кузова относительно общего центра масс механизмы поворота можно разделить на два типа.

К первому типу отнесем механизмы, реализующие повороты кузова вокруг продольной оси, размещенной ниже общего центра масс. Они могут быть реализованы, например, с помощью пневматических рессор. Под воздействием центробежной силы кузов

отклоняется (заваливается) наружу кривой, принуждая увеличивать угол поворота (внутрь кривой), реализуемый механизмом наклона кузова. Применение пневматических рессор, жесткость которых поддается регулированию, позволяет предотвратить заваливание кузова. Более того, возможна реализация наклона кузова внутрь кривой на угол до 4° . Такая система получила название «гибридной» и получила воплощение на японских поездах с принудительным наклоном кузова и активным пневматическим рессорным подвешиванием [4, 5].

Ко второму типу устройств отнесем механизмы, осуществляющие повороты кузова вокруг продольной оси, размещенной выше центра масс. Такие устройства содержат роликовые опоры кузова на тележки, которые перемещаются по направляющим, выполненным в виде дуг окружностей и размещенных на раме тележки. Известны также устройства второго типа, конструкция которых подобна люлечному подвешиванию вагонов. В последнем случае наблюдаются вертикальные перемещения координаты продольной оси поворотов кузова, приводящие к поперечным смещениям общего центра масс системы «кузов-пассажиры». Это перераспределяет нагрузки от колес на наружный и внутренний рельсы, изменяя направляющие силы, действующие на гребни колес, углы набега гребней, их износ и прокат колес. Количественные оценки этих изменений в научно-технической литературе освещены недостаточно.

Исследование производилось путем математического моделирования с использованием компьютерных технологий. Рассмотрено установившееся движение по кривым обобщенного экипажа вагона, имеющего нелинейные характеристики связей рам тележек с кузовом и буксами, пневматическое рессорное подвешивание во второй ступени, опорно-рамную подвеску тяговых электродвигателей (у моторного вагона), устройства для наклона кузова различной конструкции. Силы в контактах поверхностей качения колес с рельсами находились по нелинейной модели крипа или сухого трения [6].

Исследование показало, что наклон кузова не оказывает заметного влияния на распределение вертикальных сил между наружным и внутренним рельсами, если центр

поворота кузова совпадает с центром масс системы «кузов-пассажиры». Смещение же продольной оси поворота вверх или вниз от центра масс вызывает поперечные отклонения центра масс.

Первый тип устройств смещает центр масс внутрь кривой, а второй тип смещает его наружу кривой. При этом изменяются вертикальные нагрузки от колес на рельсы, а вместе с ними изменяются силы трения (крипа) в контактах колес с рельсами.

Направляющая сила, действующая на гребень колеса, набегающего на рельс, определяется по известной зависимости

$$Y_H = Y_B \pm F_{TP},$$

где Y_B – боковая сила, действующая от колеса, на рельс, вызывая его упругое отжатие;

F_{TP} – поперечная составляющая силы трения на поверхности качения этого же колеса.

У двухосных тележек со шкворнем, размещенным в середине рамы, полюс поворота находится позади передней колесной пары. Поэтому знак перед F_{TP} будет положительным, т.е. уменьшение нагрузки на набегающее колесо приведет к уменьшению направляющей силы, а увеличение ее – к соответствующему увеличению этой силы у систем наклона кузова первого и второго типов. Следовательно, можно ожидать соответствующих изменений износа гребня этого колеса, поскольку он прямо пропорционален направляющей силе (рис. 1).

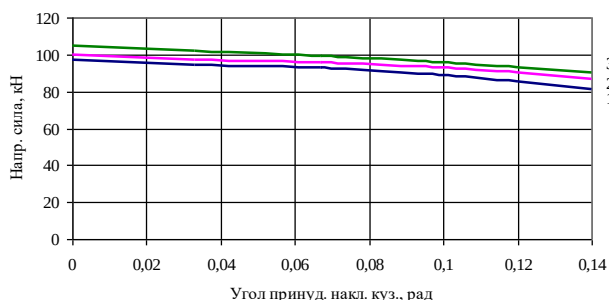


Рис. 1. Зависимость направляющей силы, действующей на гребень колеса, катящегося по наружному рельсу кривой радиусом: 1 – 1000 м, 2 – 650 м, 3 – 350 м, от угла наклона кузова; скорость движения 160 км/ч; механизм наклона первого типа

Исследование показало, что при первом типе устройств для наклона кузова уменьшение износа гребня набегающего колеса снижается в сравнении с экипажем без наклона кузова, но в меньшей мере, чем ожидалось. Это объясняется тем, что одновременно увеличивается угол перекаса тележки в колесе, составляющий основную долю угла набега гребня на рельс (рис. 2). Этот угол возрастает в связи с тем, что увеличение угла наклона кузова приводит к уменьшению непогашенного ускорения и соответствующей центробежной силы, передающейся через шкворень на тележку. При этом снижается эффект от наблюдаемого уменьшения направляющих сил.

Моделирование показало, что износ гребня направляющего колеса экипажа снижается при использовании механизмов первого типа, смещающих центр масс системы «кузов-пассажиры» внутрь кривой (рис. 3). Эта особенность свойственна механизму наклона кузова на основе пневморессор.

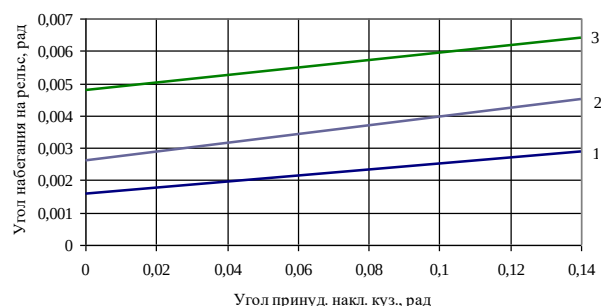


Рис. 2. Зависимость угла набега гребня колеса, катящегося по наружному рельсу кривой радиусом:

1 – 1000 м, 2 – 650 м, 3 – 350 м, от угла наклона кузова; скорость движения до 160 км/ч

Исследование влияния на процесс взаимодействия направляющих колес экипажа, оборудованного устройствами для наклона кузова второго типа с рельсами, выявило следующие особенности. Центр масс системы «кузов-пассажиры» смещается в поперечном направлении наружу кривой, что увеличивает вертикальные нагрузки от колес на наружный рельс.

В результате этого возрастают направляющие силы, действующие на гребни набегающих колес экипажа. Исследование показало, что при реализации наклона кузова

износ гребней при тех же условиях будет больше, чем у вагона без наклона кузова (рис. 3).

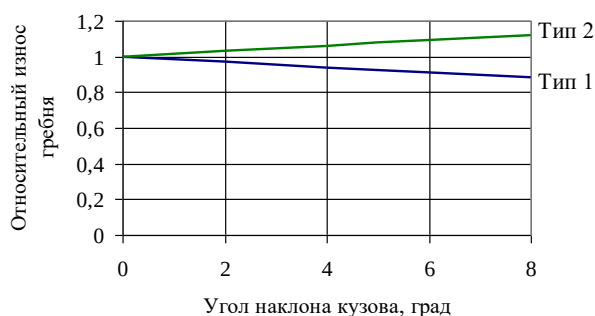


Рис. 3. Зависимость износа гребня колеса от угла наклона кузова для механизмов наклона первого и второго типа

Прокат колес изменяется пропорционально величине смещения центра масс системы.

Выводы:

1. Проведен анализ наиболее характерных конструкций механизмов, осуществляющих наклон кузова вагона в кривых.
2. Поперечные смещения центра масс системы «кузов-пассажиры» приводят к перераспределению нагрузок на наружный и внутренний рельсы кривой: при первом типе устройств наружный рельс разгружается, а при втором типе – догружается до 11 % при угле наклона 8°.
3. Конструктивно механизмы первого типа содержат пневматические рессоры в центральной ступени, а механизмы второго типа содержат опорные ролики, размещаемые в

дугообразных направляющих, установленных между кузовом и тележкой, либо содержат устройства типа люлечного подвешивания вагонов.

4. Механизмы первого типа, осуществляющие поворот кузова путем изменения давления или количества воздуха в правой и левой группах рессор с помощью многофункциональных питательных высоторегулирующих клапанов (или других устройств), незначительно усложняют конструкцию экипажа, но угол принудительного наклона, который можно реализовать, не превышает 4° по условиям надежной работы автосцепных устройств.

5. Механизмы второго типа позволяют получить угол наклона кузова до 8°.

6. Наклон кузова в кривых не приводит к существенным изменениям направляющих сил при движении со скоростями до 180 км/ч.

7. Боковые силы изменяются в зависимости от поперечной составляющей силы трения колеса по внутреннему рельсу: смещение центра масс внутрь кривой приводит к увеличению боковой силы, а наружу – к ее уменьшению.

8. Увеличение боковых сил наблюдается у первого типа механизмов вследствие того, что у них смещение центра масс системы «кузов-пассажиры» происходит в направлении от центра кривизны пути наружу кривой, когда перегружается внутренний рельс.

9. Таким образом, выбор типа механизма для наклона кузова вагона в кривых в процессе проектирования экипажной части решается конструктором с учетом технологических возможностей производства.

Список использованных источников

1. Корниенко, В.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
2. Омеляненко, В.И. Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения / В.И. Омеляненко, Г.В. Кривякин, Д.И. Якунин, Е.С. Редченко // Локомотив-информ. – Харьков: Техностандарт, 2008. – № 5. – С. 12-17.
3. Zolotas A.C., Goodall R. M., Halikiast G. D. A Comparison of Tilt Control Approaches for High Speed Railway Vehicles, Proc ICSE 2000, Coventry, UK, vol 2(2000), September, pp.632-636.
4. Маслиев, В.Г. К вопросу о выборе системы управления наклоном кузова скоростного подвижного состава [Текст] / В.Г. Маслиев, Д.И. Якунин // Східноукр. нац. ун-т. ім. В. Даля. - Луганськ, 2008. – № 5 (123). – С.33-36.

5. Kamoshita S., Sasaki K., Kakinuma H. etc. A control method for hybrid tilting system using tilting beams and air spring inclination. QR of RTRI, Vol. 48, No1, Feb 2007.

6. Маслиев, В.Г. Некоторые результаты компьютерного моделирования динамики перспективного подвижного состава / В.Г. Маслиев, Д.И. Якунин, Ю.В. Макаренко, Ю.В. Краснобрижева; [Східноукр. нац. ун-т. ім. В. Даля]. - Луганськ, 2007.— № 8 (114). – С.31-34.

Маслієв В'ячеслав Гергійович, д-р техн. наук, професор кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту.

Литвинова Олена Леонідівна, слухач НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 050-6869750, 096-5530524.

Masliyev V.G., Professor, Department wagons.

Olena Litvinov, NN listener IPPK UkrDAZT. Tel. 050-6869750, 096-5530524.

УДК 629.463.65

УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА УНІВЕРСАЛЬНОГО НАПІВВАГОНА

Канд. техн. наук А.О. Ловська, М.П. Хацкевич

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУВАГОНА

Канд. техн. наук А.А. Ловская, М.П. Хацкевич

DEVELOPMENT OF A CARRYING STRUCTURE OF OPEN-TOP WAGON BODIE

Candidate of technical sciences A. A. Lovskaya, M.P. Hatskevich

У статті наведені результати досліджень міцності несучої конструкції кузова універсального напіввагона. Виявлені зони рами кузова напіввагона, які зазнають найбільшої концентрації напружень в умовах експлуатації. З метою забезпечення міцності рами напіввагона в зоні взаємодії шворневої балки рами з хребтовою запропоновані заходи щодо удосконалення її конструкції.

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

В статье представлены результаты исследований прочности несущей конструкции кузова универсального полувагона. Выявлены зоны рамы кузова, которые поддаются наибольшей концентрации напряжений в условиях эксплуатации. С целью обеспечения прочности рамы полувагона в зоне взаимодействия шворневой балки с хребтовой предложены мероприятия по усовершенствованию ее конструкции.

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

The present scientific article is dedicated to the solution of an acute scientific-applied problem - namely, the improvement of bearing constructions of wagons bodies to increase the safety under operation. The operating conditions of wagons in operations have been investigated in previous works for the solution of this problem. The article analyses the efforts effecting strength on elements of wagons bodies under operations.

The model of durability of a carrying structure of open-top wagons bodies is constructed. The model considers the main loadings which affect the open-top wagons frame in the conditions of the operations.

The strength-deformed condition of a carrying structure of open-top wagons bodies is investigated intense. Ways for wagon structures adaptation for operations were developed. For reduction of tension in the frame of the wagon constructive addition with its strengthening elements is offered.

Such technical solution will allow decreasing expenses for unscheduled repair of wagons under operations.

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

Вступ. Україна здавна була перехрестям найважливіших транспортних маршрутів, які забезпечували зв'язок євразійських країн між собою. У теперішній час державою створена велика інфраструктура транзитних перевалочних пунктів, головними з яких є морські торговельні порти. У зв'язку з цим з метою забезпечення перевізного процесу необхідним є забезпечення його учасників справним рухомим складом. Відомо, що найбільш затребуваним типом рухомого складу в експлуатації є універсальні напіввагони. Тому в рамках статті зосереджено увагу на питаннях удосконалення несучої конструкції саме цього типу рухомого складу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Статистичні дані пошкоджень напіввагонів в умовах МТП Маріуполь дозволили зробити висновок, що найбільша кількість пошкоджень припадає на їх кузови, що обумовлено, перш за все, використанням застарілих агресивних технологій вивантаження.

Найважливішою складовою несучої конструкції кузова напіввагона, яка сприймає всі навантаження, що діють на нього в експлуатації, є рама. При цьому вертикальні навантаження від маси вантажу через шворневу балку передаються на надресорну балку візка та далі через колісні пари на рейки, а горизонтальні навантаження (повздовжні та поперечні), які діють на вагон при рушанні з місця, під час руху та при зупинці поїзда, сприймаються, безпосередньо, самою рамою [1].

Дії інтенсивних змінних за часом навантажень зазнає основний опорний вузол рами – шворнева балка.

Основними несправностями шворневих вузлів в експлуатації є відрив за звареним швом вертикального листа шворневої балки від вертикальних стінок зетових профілів хребтової балки, тріщини в накладках, променеві тріщини від кута зета в вертикальному листі шворневої балки, повздовжні тріщини зетів хребтової балки [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою забезпечення міцності шворневої балки в експлуатації запропоновані заходи щодо удосконалення її конструкції. Відома конструкція шворневої балки вагона, запропонована ЗАТ “Инженерный центр Объединения вагоностроителей” [3].

Недоліками даної конструкції є значна маса та складнощі при здійсненні технічного обслуговування та ремонту.

Також відома конструкція зварної рами [4], що складається з хребтової балки, виконаної з двох зетподібних профілів, до яких встик приварена шворнева балка, кожна половина якої складається з верхнього, нижнього і вертикального листів. При цьому верхній і нижній листи виконані з плавним переходом до хребтової балки з боку автозчепного пристрою, а вертикальний лист забезпечений вирізом, що компенсує напруження в його стику з верхнім листом і хребтовою балкою.

Дана конструкція шворневої балки має невеликий момент опору перетину та може застосовуватися лише у вагонах із зниженим осьовим навантаженням.

Відома рама кузова універсального напіввагона, що складається з хребтової, кінцевих, шворневих і проміжних балок [5]. Хребтова балка зварена з двох зетподібних профілів, в місці з'єднання перекритих двутавром. Шворнева балка замкненого коробчатого перетину складається з верхнього листа, двох вертикальних листів та нижнього листа. На нижньому листі кріпиться п'ятник та ковзуни. Між вертикальними листами встановлені підсилюючі діафрагми.

Недоліком даної конструкції є низька надійність при інтенсивній експлуатації вагона, що виявляється у виникненні тріщин в з'єднанні шворневої та хребтової балок.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень, які наведені в статті є удосконалення несучої конструкції кузова універсального напіввагона. Для досягнення поставленої мети визначені такі задачі:

1) провести дослідження міцності рами універсального напіввагона в експлуатації та виявити зони найбільшої концентрації напружень;

2) розробити заходи щодо забезпечення міцності рами напіввагона в експлуатації.

Основна частина дослідження. З метою забезпечення міцності шворневої балки в експлуатації пропонується проведення заходів щодо удосконалення її конструкції. Для виявлення зон шворневої балки напіввагона, які зазнають найбільших напружень в експлуатації, проведено розрахунок на міцність несучої конструкції рами універсального напіввагона моделі 12-757, побудови ПАТ “КВБЗ”. Розрахунок на міцність проведений з

використанням методу скінченних елементів у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. Скінченноелементну модель рами напіввагона наведено на рис. 1. При визначенні кількості елементів сітки застосований графо-аналітичний метод. Як скінченні елементи застосовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри. Кількість елементів сітки склала 55886, вузлів – 18227. При цьому максимальний розмір елемента склав 320,75 мм, мінімальний – 64,15 мм, максимальне співвідношення боків – 4623,1, відсоток елементів зі співвідношенням боків $<3 - 3,14$, $> 10 - 51$. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання кузова на візки.

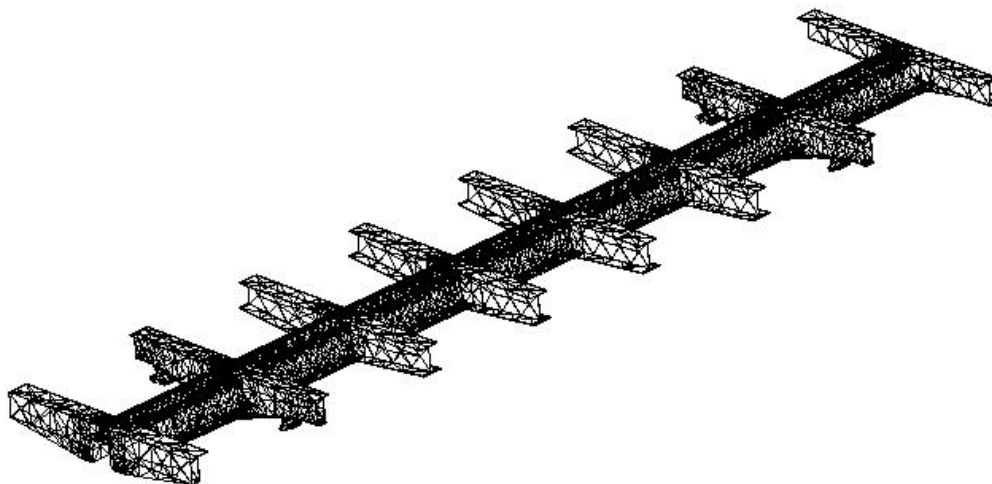


Рис. 1. Скінченноелементна модель рами універсального напіввагона

При складанні моделі міцності рами напіввагона враховані такі навантаження: вертикальні P_v (вертикально-статичне, вертикально-динамічне), горизонтальні P_z (вітрове, відцентрове, інерційне), повздовжні P_n (рис. 2). При складанні моделі не враховані зварні шви в зонах взаємодії окремих елементів рами між собою.

Результати розрахунків для I розрахункового режиму (удар, ривок) наведені на рис. 3. З проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільша величина напружень зосереджена в зоні взаємодії зетподібного профілю шворневої балки з хребтовою та складає близько 250 МПа, що

нижче напружень плинності матеріалу конструкції на 23 % [6]. Максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині рами вагона та складають – $1,5 \cdot 10^{-1}$ мм, деформації в конструкції становлять $6,5 \cdot 10^{-3}$.

З метою забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою пропонується постановка підсилюючих елементів, представлених кутниками №10 та з'єднувальним листом, товщиною 5 мм (рис. 4).

Заданий тип кутника обраний на підставі технологічних міркувань, а саме, збігу ширини його полок з геометричними параметрами нижньої полки зетподібного профілю.

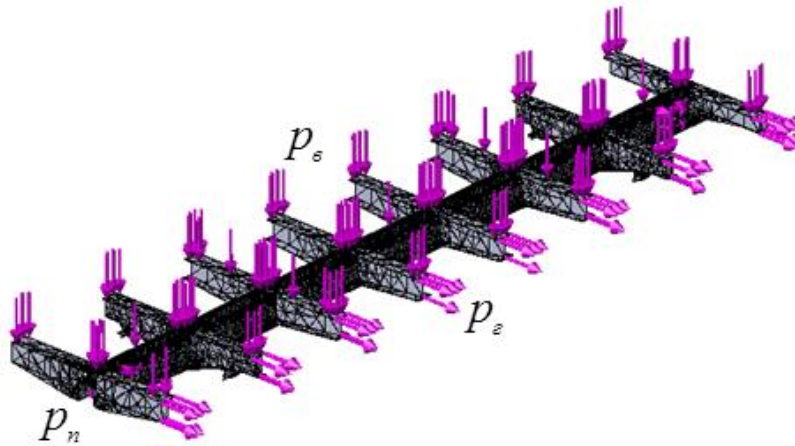


Рис. 2. Модель міцності рами універсального на піввагона

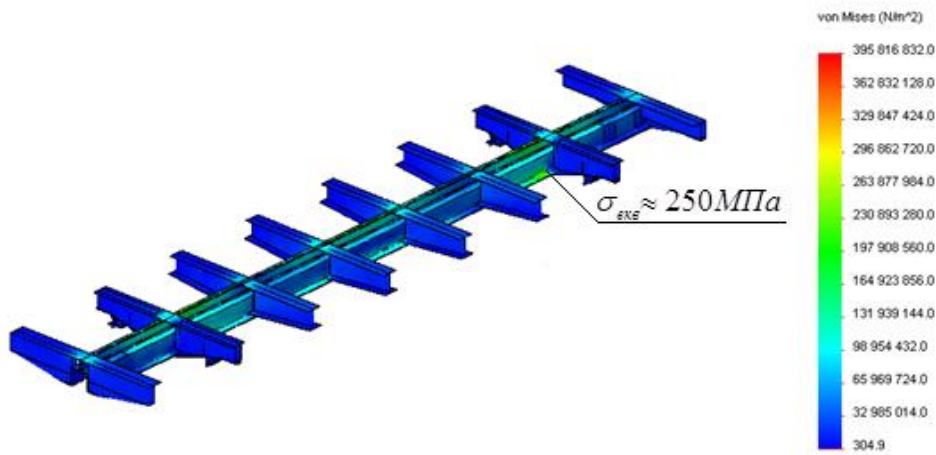


Рис. 3. Напружений стан рами універсального на піввагона

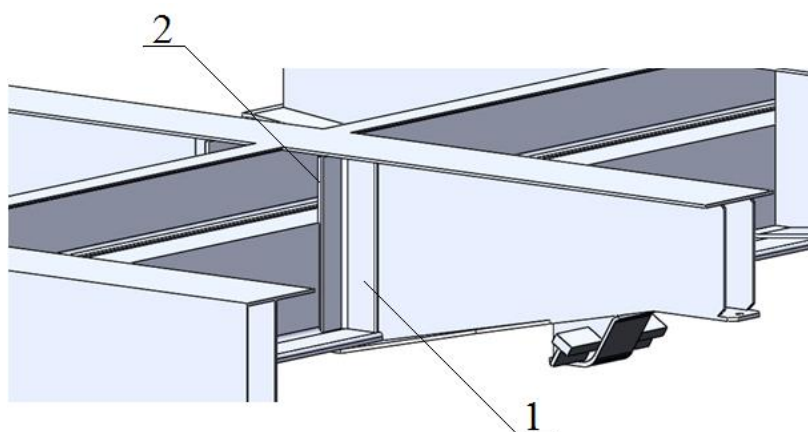


Рис. 4. Заходи щодо удосконалення конструкції шворневої балки універсального на піввагона:
1 – кутник; 2 – з'єднувальний лист

З метою дослідження міцності шворневої балки на піввагона, з урахуванням заходів щодо удосконалення її конструкції, проведено розрахунок. Кількість елементів сітки складала 80257, вузлів – 26352. Максимальний розмір елемента склав 234,79 мм, мінімальний – 46,96 мм, максимальне співвідношення боків – 2395,9, відсоток елементів зі співвідношенням боків $< 3 - 6,67$, $> 10 - 38,8$.

Результати розрахунку на міцність для I розрахункового режиму (удар, ривок) наведені на рис. 5. Максимальні напруження при цьому складають близько 200 МПа, що нижче напружень плинності майже на 40 %, переміщення в конструкції – $1,6 \cdot 10^{-1}$ мм, деформації в конструкції становлять $4,0 \cdot 10^{-3}$.

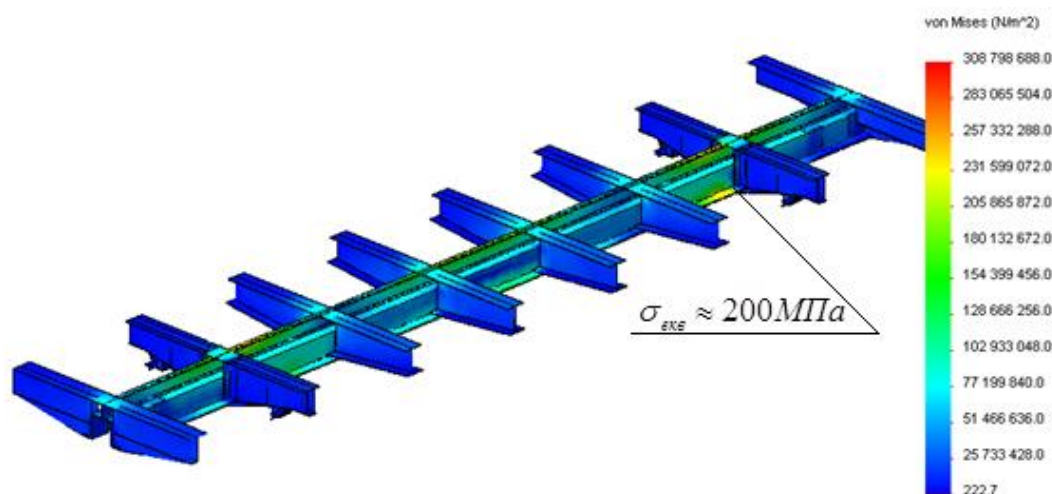


Рис. 5. Напружений стан рами універсального напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення конструкції

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропоновані заходи щодо удосконалення несучої конструкції кузова універсального напіввагона дозволяють

зменшити напруження в найбільш навантажених зонах рами на 20 %, що дозволить забезпечити міцність рами напіввагона в експлуатації. Крім того, дані заходи дозволяють підтримувати технічний ресурс напіввагона при існуючій ремонтній базі.

Список використаних джерел

1. Троцкий, М.В. Анализ повреждений хребтовой балки четырехосных полувагонов после 22 лет эксплуатации [Текст] / М.В. Троцкий, Т.В. Шелейко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – С. 46-48.
2. Сурвилло, А.Б. Перспективные конструкции шкворневых узлов полувагонов [Текст] / А.Б. Сурвилло, В.И. Гамиров // Труды ВНИИЖТа (Уральское отделение), 1969. – Вип. 15. – С. 27-38.
3. Шкворневая балка рамы вагона [Текст]: пат. 44612 Россия: МПК⁷ B61D. / А.А. Битюцкий, Р.А. Савушкин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "Инженерный центр Объединения вагоностроителей"; заявл. 14.10.04; опубл. 27.03.05, Бюл. № 7. – 7 с.
4. Pat. 2931319 USA, B61D. Welded bolster construction / James E. Candlin, Jr., Hammond Ind.; assignor to Pullman-Standard Car Manufacturing Company, Chicago, Ill., a corporation of Delaware Application, March 30, 1953.
5. Лукин, В.В. Конструирование и расчет вагонов [Текст] / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.И. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.

6. 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, старш. викладач кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35.

Хацкевич Марія Павлівна, магістр кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту.

Lovskaya Alyona Aleksandrovna, candidate of technical sciences, sen. lectures, chair Wagons, The Ukrainian state academy of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.

Hatskevich Mariya Pavlovna, student-master, chair Wagons, The Ukrainian state academy of railway transport.

УДК 629.4.027

ДО ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

Д-р техн. наук І.Е. Мартинов, здобувач В.М. Ільчишин, Л.В. Шаталова

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Д-р техн. наук І.Е. Мартинов, соискатель В.М. Ільчишин, Л.В. Шаталова

THE PROBLEM OF ENSURING THE SAFE MOVEMENT OF TRAINS

Doct. of techn. sciences I. Martinov, V. Ilchishin, L. Shatalova

Поліпшення ефективності та конкурентоспроможності залізничного транспорту може бути досягнуте за рахунок модернізації морально застарілих і менш надійних вузлів вагонів з метою ліквідації відмов устаткування в експлуатації. Так, одним з найважливіших резервів підвищення ефективності залізничного транспорту є зниження кількості відчеплень вагонів на шляху прямування через відмови елементів буксових вузлів вагонів. Найбільш перспективним шляхом підвищення надійності буксових вузлів є використання здвоєних підшипників касетного типу, які мають ряд істотних переваг, суттєво впливаючи на безпеку руху поїздів.

Ключові слова: буксовий вузол, надійність, безремонтний пробіг, касетний підшипник, циліндричний підшипник, відмова.

Улучшение эффективности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта может быть достигнуто за счет модернизации морально устаревших и менее надежных узлов вагонов с целью ликвидации отказов оборудования в эксплуатации. Так, одним из важнейших резервов повышения эффективности железнодорожного транспорта является снижение количества отцепок вагонов в пути следования из-за отказа элементов буксовых узлов вагонов. Наиболее перспективным путем повышения надежности буксовых узлов является использование сдвоенных подшипников касетного типа, которые обладают рядом существенных преимуществ, существенно влияя на безопасность движения поездов.

Ключевые слова: буксовый узел, надежность, безремонтный пробег, касетный подшипник, цилиндрический подшипник, отказ.

An Improving the efficiency and competitiveness of rail transport can be achieved by modernizing outdated and less reliable nodes cars to eliminate equipment failures in operation. So one of the most important reserves for increasing the efficiency of rail transport is the reduction doepler cars in transit because of the refusal of the elements axle equipment cars. The most promising way of increasing the reliability of axle equipment is the use of dual bearings cassette type, which have a number of significant advantages, significantly affecting the safety of trains.

Keywords: axle-box, reliability, bearing units, cylindrical roller bearing, failure.

Вступ. Залізничний транспорт відіграє вирішальну роль у єдиній транспортній системі України. Його діяльність забезпечує економічні зв'язки між виробниками та споживачами продукції, областями та економічними регіонами України, а також з іншими країнами.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших резервів підвищення ефективності залізничного транспорту є зниження кількості відчеплень вагонів на шляху прямування через відмови елементів конструкції і, як наслідок, затримок поїздів, а також зменшення тривалості простою вантажних вагонів під позаплановому ремонті. Однак, як показує багаторічний досвід експлуатації, незважаючи на постійне покращення дистанційних і вбудованих засобів контролю технічного стану вантажних вагонів, а також удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту, значна частина життєвого циклу вантажних вагонів витрачається на непродуктивне перебування в ремонті різних видів.

Аналіз попередніх публікацій. Спеціалістам, які працювали в цій галузі, належало вирішити ряд непростих завдань: вибір типу підшипника (сферичні, конічні, циліндричні), підбір мастильного матеріалу, обґрунтування способу передачі навантаження від візка на підшипники і т. п. Сюди ж можна віднести питання організації системи технічного обслуговування і ремонту роликів букс. Дослідження, присвячені технічному й економічному обґрунтуванню переведення, з'явилися ще в кінці 40-х років ХХ століття. Спочатку вибір був на користь сферичних підшипників, які при відносно високій розрахунковій довговічності мали важливу властивість самовстановлення, а також мали можливість за рахунок бочкоподібної форми роликів сприймати тертям кочення як радіальні, так і осьові сили [5]. Проте досвід експлуатації не підтвердив попередні припущення [3]. Втомна довговічність сферичних підшипників була недостатньою. Крім того, трудомісткість проведення монтажно-демонтажних робіт була досить високою.

Тому після проведених експлуатаційних випробувань керівництвом МШС СРСР було прийнято рішення про використання в буксах вантажних і пасажирських вагонів циліндричних підшипників з радіальними короткими роликами [2], які при невеликих

габаритних розмірах і масі мали дуже високі розрахункові показники довговічності.

Перші проблеми із забезпеченням надійності букс, обладнаних циліндричними роликівими підшипниками, які виникли на рубежі 60-70-х років ХХ століття, багатьма дослідниками не сприймалися всерйоз. Здавалося, досить поліпшити якість мастильних матеріалів, впровадити більш досконалі технології виготовлення як підшипників, так і інших елементів конструкції букс, створити більш ефективні прилади контролю технічного стану, підвищити кваліфікацію обслуговуючого персоналу, і необхідний рівень надійності буксових вузлів (БВ) буде забезпечений [1].

Однак, незважаючи на вжиті технічні та організаційні заходи, кількість нагрівів буксових вузлів постійно збільшувалася. Особливо істотно кількість відмов роликівих букс зросла в 1990-ті роки (навіть з урахуванням багаторазового падіння вантажообігу та інтенсивності використання вагонного парку).

Мета роботи. Для забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту, що робить його більш привабливим для споживачів, необхідно використовувати рухомий склад, що має не тільки поліпшені техніко-економічні характеристики, але і підвищену надійність. У зв'язку з цим у практиці і теорії вагонобудування як раніше, так і зараз актуальною є проблема удосконалення буксових вузлів вантажних вагонів.

Основний матеріал статті. Удосконалення буксових вузлів вантажних вагонів вимагає від фахівців знання причин, що викликали відчеплення вагонів. Тому дослідження, спрямовані на визначення причин виникнення ушкоджень буксових вузлів. У таблиці наведено основні причини, що викликали нагрів буксового вузла і відчеплення вагона від поїзда в різні періоди функціонування залізниць України.

Аналіз представлених основних причин нагріву буксових вузлів (див. таблицю) свідчить, що знову спостерігається тенденція до збільшення кількості відчеплень вагонів через несправність сепаратора і пошкодження торцевого кріплення. Однак слід зазначити, що починаючи з 2000 року на залізницях України почалося масове впровадження поліамідних сепараторів. І в подальшому слід чітко

розмежовувати пошкодження латунних і поліамідних сепараторів, оскільки вони мають

різну природу виникнення і розвитку пошкоджень.

Таблиця

Основні причини нагріву буксових вузлів

Причина відчеплення	Відсоток до кількості відчеплень		
	1985-1986	1998-2002	2009-2011
несправність сепаратора	36,1	14,70	16,91
несправність торцевого кріплення	32,7	12,38	19,12
знос типу "ялинка"	0	24,68	10,29
проворот внутрішнього кільця	7,3	3,6	3,68
повне руйнування підшипника	1,8	1,95	1,47
забруднення або обводнення мастила	4,1	4,99	13,24
тріщини та злами кілець	5,8	10,44	6,62
раковини на поверхні кочення кілець	0	3,60	3,68
несправності лабіринтного кільця	-	-	2,94
корозія на кільцях			1,47
нагрів підшипника			0,74
інші причини, у тому числі порушення технологій монтажу	12,20	23,66	19,85
Всього	100,0	100,0	100,0

Практично на тому самому рівні залишилася кількість відчеплень через повне руйнування підшипника. Зменшилася кількість відмов через ослаблення натягу посадки і обертання внутрішніх кілець, що свідчить про більш жорсткий контроль над проведенням монтажу підшипників.

Проте за останнє десятиліття незначно змінилася кількість відчеплень, викликаних впливом "людського фактора" - недотриманням проведення монтажу. Однак слід зазначити, що якщо такі пошкодження, як електроопіки на поверхнях кілець і роликів, практично зникли, то такі види несправностей, як неправильно підібрані радіальний і осьовий зазори, неправильний підбір роликів, недостатня (або надлишкова) кількість мастила, як і раніше, залишилися в переліку причин. У той же час з'явилися нові причини, цілком пов'язані з низькою якістю комплектуючих. Так, потрапляння води в буксу (або забруднення мастила) викликано виключно низькою якістю ущільнюючої гуми. Використання неякісного

змащення обумовлено недосконалою технологією на заводах-виробниках. До цієї групи пошкоджень необхідно також віднести пошкодження лабіринтових кілець, чого раніше протягом багаторічної експлуатації букс з підшипниками кочення просто не спостерігалось.

Незначно зменшилася кількість відчеплень вагонів, викликаних раптовими відмовами підшипників – тріщинами і зламами кілець. Це вказує не тільки на низьку якість випущених підшипників, але і на недосконалість існуючих методів дефектоскопії елементів буксового вузла при проведенні проміжних і повних ревізій.

Досить часто фіксуються випадки нагріву букс через характерний знос типу "ялинка" - майже чверть всіх відчеплень. Причини появи даного дефекту в підшипниках неодноразово розглядалися в літературі. Встановлено, знос типу "ялинка" на торцях роликів і бортах кілець викликаний дією осьових сил, що передаються в режимі тертя ковзання роликів по бортах напрямних кілець.

У якості показника, що характеризує ту частку надійності вагонів, яка забезпечується БВ, використовується параметр потоку відмов вантажних вагонів через відмови букс (у розрахунку на 1 млн ваг.км). На рис. 1 наведена відповідна залежність за період 1995-2005 рр.

Відповідна залежність для параметра потоку відмов вантажних вагонів через нагрів БВ має такий вигляд:

$$\omega(t)=0,000003t^3-0,019t^2+37,88t-24338, \quad (1)$$

де ω – параметр потоку відмов;
 t – роки, що відлічуються після 1995 р.

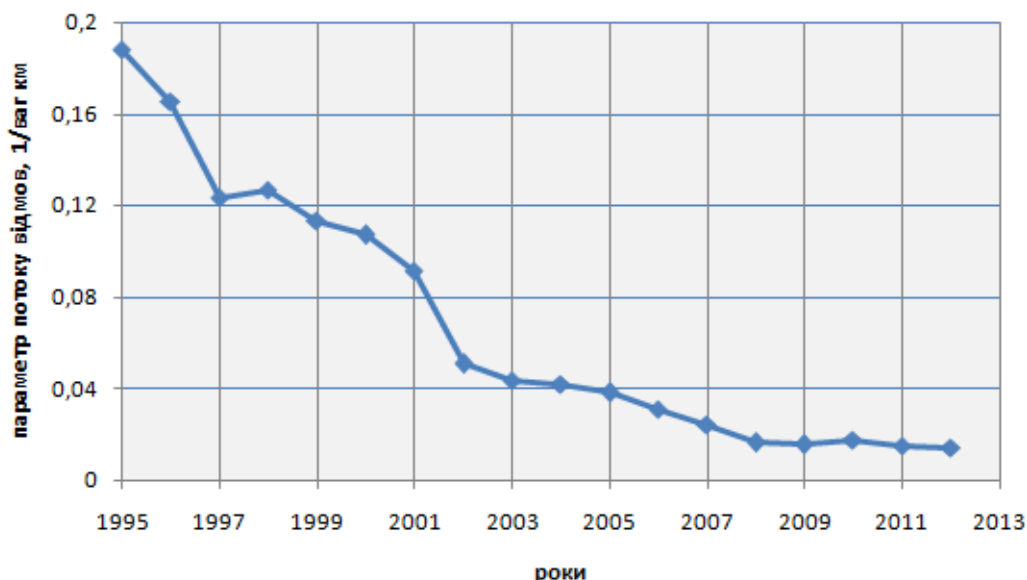


Рис. 1. Залежність зміни параметра потоку відмов вантажних вагонів через нагрів буксових вузлів

Наведені дані характеризують рівень надійності буксових вузлів відносно загального парку вантажних вагонів, який включає в себе багато типів і моделей. При цьому необхідно врахувати, що колісні пари мають знеособлену експлуатацію та не мають конкретної прив'язки до даного вагона.

За останні роки відбулася реструктуризація вагонного парку, внаслідок якої переважна більшість вагонів була розподілена між певними операторами, які стали не лише власниками вантажних вагонів, а й отримали відповідальність за підтримання вагонів у належному технічному стані. Це дало можливість отримати більш точні дані стосовно надійності критих вагонів.

На рис. 2 наведені результати, що характеризують параметр потоку відмов через пошкодження роликів букс для загального вагонного парку порівняно з парком критих універсальних вагонів у 2012 р.

Очевидно, що у критих універсальних вагонів параметр потоку відмов в 1,4 разу

менше, тобто букси критих універсальних вантажних вагонів мають більший рівень надійності.

Шляхи підвищення надійності роликів букс. Найбільш перспективним шляхом підвищення надійності буксових вузлів є використання здвоєних підшипників касетного типу, які мають ряд істотних переваг.

Касетні підшипники для букс рухомого складу можуть бути циліндричними і конічними.

Конструктивні особливості конічних касетних підшипників дозволяють принципово змінити систему ремонту і технічного обслуговування букс. Це пов'язано з тим, що монтаж, регулювання зазорів, змащення і герметизація блока виконуються на заводі-виробнику або його спеціалізованому відділенні. Існуючими як вітчизняними, так і іноземними нормативними документами передбачено, що гарантійний пробіг касетних підшипників повинен становити не менше 800 тис. км без проведення ремонту.

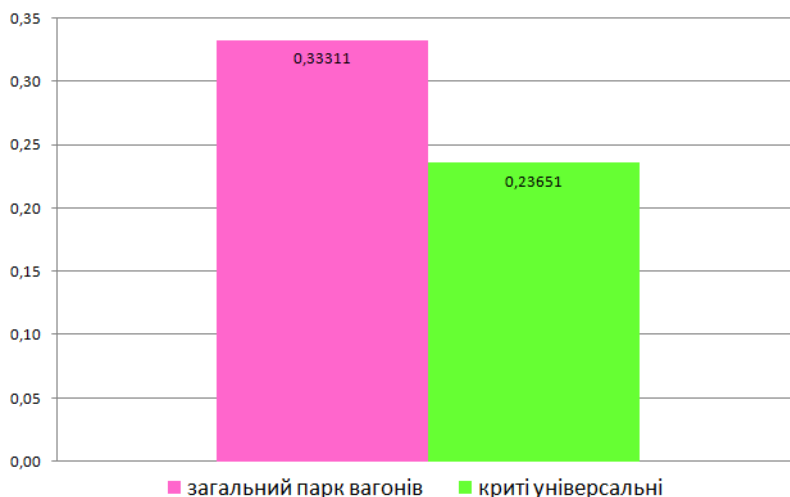


Рис. 2. Значення параметра потоку відмов вантажних вагонів через пошкодження буксових вузлів

При обґрунтуванні системи ремонту роликів букс необхідно враховувати особливості проведеної реструктуризації вагонного господарства. Передача вантажних вагонів на баланс ряду підприємств призведе до того, що ці вагони будуть повертатися для

планових ремонтів на підприємство-власник, якому в цьому випадку вже буде не вигідно дозволити здійснювати неякісний ремонт. Це дозволить поліпшити культуру виробництва і підвищити в кінцевому підсумку надійність рухомого складу.

Список використаних джерел

1. Амелина, А.А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками [Текст] / А.А. Амелина. – М.: Транспорт, 1975. – 286 с.
2. Мотовилов, К.В. К вопросу оценки надежности торцевого крепления буксовых узлов колесных пар грузовых вагонов [Текст] / К.В. Мотовилов; М-во путей сообщения СССР, Моск. ин-т инж. ж.-д. транспорта им. Ф.Э. Дзержинского. – М., 1989. – 6 с.
3. Поляков, А.И. Пути повышения надежности работы торцевого крепления буксовых подшипников [Текст] / А.И. Поляков, В.Н. Цюренко, В.И. Донский // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С. 70-82.
4. Мартинов, І.Е. До питання оцінки показників надійності торцевого кріплення букс вантажних вагонів [Текст] / І.Е. Мартинов // 36. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 46. – С. 76-79.
5. Варфоломеев, В.А. Исследование осевых сил, действующих на буксовые узлы грузовых вагонов [Текст] / В.А. Варфоломеев, К.В. Мотовилов, И.Э. Мартынов и др.; М-во путей сообщения СССР, Моск. ин-т инж. ж.-д. транспорта им. Ф. Э. Дзержинского. – М., 1990. – 13 с.

Мартинов Ігор Ернстович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вагонів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Ільчишин Василь Михайлович, здобувач кафедри вагонів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Шаталова Людмила Валеріївна, магістрант кафедри вагонів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Martynov Igor, Doct. of techn. sciences department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Ilchishin Vasiliy, aspirant, department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Shatalova Ludmila, mahystrant department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport.

Tel.: (057) 730-10-36.

УДК 629.4.027

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук А.В. Труфанова, асп. В.О. Шовкун, С.О. Міроненко

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ВАГОНОВ

Канд. техн. наук А.В. Труфанова, асп. В.О. Шовкун, С.О. Мироненко

ANALYSIS OF PROMISING STRUCTURES AXLE BOX OF CARS

Can. techn. sciences A. Trufanova, V. Shovkun, S. Mironenko

Основним елементом буксового вузла вантажного вагона є роликовий підшипник. Саме його технічний стан головним чином впливає на надійність буксового вузла. Зусилля багатьох дослідників спрямовані на підвищення надійності як буксових підшипників, так і буксового вузла в цілому. Існує багато різних конструкцій буксових вузлів, одними з яких є конічні касетні підшипники. У якості переваг подібних підшипників необхідно зазначити підвищену надійність всіх елементів підшипникового вузла і, як наслідок, збільшений міжремонтний пробіг.

Ключові слова: роликовий касетний підшипник, буксовий вузол, надійність.

Основным элементом буксового узла грузового вагона является роликовый подшипник. Именно его техническое состояние главным образом влияет на надежность буксового узла. Усилия многих исследователей направлены на повышение надежности как буксовых подшипников, так и буксового узла в целом. Существует много различных конструкций буксовых узлов, одними из которых являются конические касетные подшипники. В качестве преимуществ подобных подшипников необходимо отметить повышенную надежность всех элементов подшипникового узла и, как следствие, увеличенный межремонтный пробег.

Ключевые слова: роликовый касетный подшипник, буксовый узел, надежность.

The main element of the axlebox site of a freight car is a roller bearing. It is the condition mainly affects the reliability axlebox site. The efforts of many researchers focused on improving the reliability as axlebox bearings, and axle-boxes of the site as a whole. There are many different designs of axle equipment. One of them is a cassette bearings. Among the advantages of such bearings should be noted : improved reliability of all elements of the bearing Assembly and, consequently, increased turnaround mileage.

Keywords: roller cassette bearing, axle equipment, reliability.

Вступ. Вирішення найважливіших програм розвитку залізничного транспорту об'єднує розробників і виготовників рухомого складу. До таких об'єднуючих чинників належать підвищення швидкості і плавності руху; збільшення проміжків часу між ремонтами; зменшення витрат на технічне обслуговування вагонів; комфортабельність пасажирських вагонів; підвищення надійності рухомого складу в експлуатації.

Виклад основного матеріалу. До підшипників кочення, що використовуються в буксах вагонів, також висуваються споживачами нові вимоги. Цьому сприяли такі заходи, як удосконалення матеріалів для несучих елементів; оптимізація методів

термічної обробки; поліпшення геометрії контакту кілець і роликів; удосконалення змащувально-мастильних матеріалів; вдосконалення конструктивних елементів підшипника сепаратора, ущільнювача, кріпильних деталей; поліпшення обробки поверхні корпусів букс.

Сучасні вантажні та пасажирські вагони обладнуються буксами з двома циліндричними роликовими підшипниками, що мають габаритні розміри 130×250 мм і закріплюються на шийці осі за допомогою теплової посадки.

Ця конструкція експлуатується на залізницях України та інших країн СНД з початку 60-х років минулого сторіччя [1]. Але останнім часом все частіше трапляються

випадки порушення працездатності циліндричних роликів підшипників, що призводить до відчеплення вагонів на шляху прямування і порушенням безпеки руху [2, 0].

Причини низької надійності циліндричних роликів підшипників неодноразово аналізувалися в дослідженнях [4, 5]. Основною причиною є конструктивна схема типової букси, у якій осьові сили сприймаються в режимі тертя ковзання торців роликів об напрямні борти кілець. Очевидно, що саме дія осьових сил викликає велику частину відмов буксових вузлів на підшипниках кочення, внаслідок чого створюються аварійні ситуації і можливі злами шийок осей.

Тому фахівці останнім часом проявляють все більший інтерес до використання в колісних парах сучасного залізничного рухомого складу конічних підшипників. Їх застосовують тільки у вигляді готових підшипникових вузлів, заповнених мастилом і повністю підготовлених до монтажу на рухомому складі всіх типів, включаючи високошвидкісний.

Конічні роликові підшипники можна застосовувати тільки при незначних кутах нахилу; конструкції з такими підшипниками були розроблені спочатку в США, а потім вдосконалені в Європі введенням нових систем ущільнення.

До цих підшипників висуваються такі вимоги: мінімальна довжина шийки осі; ефективні, по можливості нековзні, ущільнення; посадка, що виключає зміну положення на шийці осі. Найважливіші конструкторські рішення реалізовані, зокрема, в опорах колісних пар, призначених для швидкісних потягів Intercity Express (ICE) Державних німецьких залізниць (рис. 1).

На залізницях Японії для швидкісного руху був розроблений поїзд Star 21, де в буксових вузлах (БВ) були застосовані конічні підшипники.

Рішення японських залізниць застосувати конічні роликів підшипники з консистентним мастилом було достатньо сміливим, оскільки раніше в потягах застосовувалися виключно підшипники з циліндровими роликами і масляним мастилом.

Нові підшипники були виготовлені фірмою Timken. Порівняно зі звичайними роликів підшипниками нові підшипники мають помітно менший момент тертя і, отже, значно

нижчу робочу температуру, що продовжує термін служби мастила і підвищує працездатність підшипника в цілому.

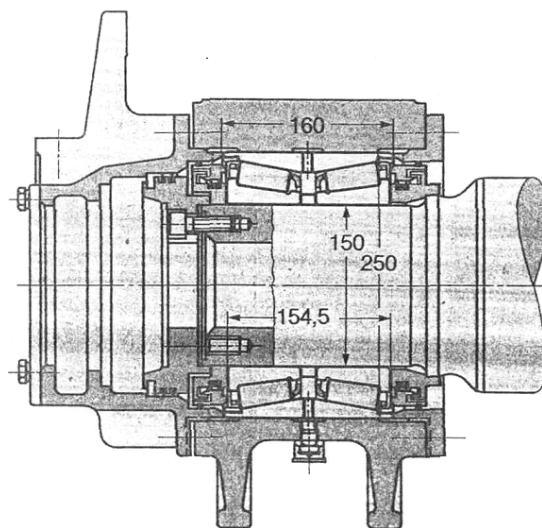


Рис. 1. Підшипниковий вузол потягів Intercity Express (ICE)

Тобто вирішальним чинником є робоча температура, яка залежить, у свою чергу, від геометрії підшипника, діаметру і довжини роликів, їх кількості і середнього діаметра, кута конуса в зовнішньому кільці, властивостей поверхні кілець і властивостей застосованої підшипникової сталі.

Для герметизації підшипників було використано запатентоване гідродинамічне лабіринтове ущільнення HDL, яке виявляє свої переваги саме у високошвидкісному русі.

Конструктивні особливості конічних касетних роликів підшипників полегшують процеси їхнього монтажу, демонтажу і технічного обслуговування. Це пов'язано з тим, що збирання, регулювання зазорів, змащування і герметизація блока виконується на заводі-виготівнику або його спеціалізованому відділенні. Отже, постачання комплектних конічних підшипників у вигляді готової букси звільняє монтажників від багатьох операцій. Це не тільки скорочує витрати праці, але і захищає підшипник від втручання інколи недостатньо кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

Укрзалізниця теж планує використовувати конічні підшипники касетного типу (рис. 2).



Рис. 2. Буксовий підшипниковий вузол вагона з дворядним касетним конічним підшипником (TBU)

Особливістю цієї конструкції є відсутність корпусу букси. Вертикальне навантаження передається через спеціальне сидло-адаптер.

Підшипник також закріплюється на шийці осі за допомогою пресової посадки. З боку передпідматочинної частини підшипник ущільнюється за допомогою задньої кришки з гумовою прокладкою. Аналогічно виконано

ущільнення з боку шийки осі. Кріплення підшипника здійснюється спеціальним вкладишем і чотирма болтами M20. Отвір для центрів коліс токарного верстата закривається спеціальною заглушкою.

Подібні підшипникові вузли з успіхом використовуються на залізницях різних країн світу (рис. 3).



Рис. 3. Вагон австралійських залізниць, обладнаний підшипниковим вузлом з дворядним касетним конічним підшипником (осьове навантаження 270 кН)

У якості переваг подібних підшипників необхідно зазначити підвищену надійність всіх елементів підшипникового вузла і, як наслідок, збільшений міжремонтний пробіг (до 800 тис. км). Це дає змогу принципово змінити систему ремонту буксових вузлів через відсутність необхідності виконувати проміжні ревізії.

Зовнішній діаметр конічного підшипника менше, ніж циліндричного підшипника, при рівній динамічній вантажопідйомності. Тому при однаковому внутрішньому діаметрі і ширині можливе зменшення маси підшипника і БВ в цілому, що зменшує таким чином масу тари вагона (до 300 кг на кожен вагон).

Відомий вітчизняний виробник підшипників для рухомого складу ПАТ ХарП запропонував підшипниковий вузол, обладнаний двома циліндричними підшипниками (рис. 4). Виробник гарантує ресурс цього вузла не менше 800 тис. км пробігу.

Використання таких підшипників дозволить значно збільшити надійність роботи рухомого складу. Проте дані підшипники ще потрібно випробовувати для забезпечення надійності вагонів.



Рис. 4. Буксовий підшипниковий вузол вагона з дворядним касетним циліндричним підшипником (СВУ)

Список використаних джерел

1. Мартынов, И.Э. Буксовые узлы отечественных вагонов: история и перспективы [Текст] / И. Э. Мартынов // Залізнич. транспорт України. – 2002. - №6. – С. 34-37.
2. Мартынов, И.Э. Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликоподшипников букс грузовых вагонов [Текст] / И.Э. Мартынов // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2000. - № 5 (27). - С. 157-159.
3. Гаврилюк, А.Ф. Пути повышения безопасности движения в вагонном хозяйстве [Текст] / А.Ф. Гаврилюк, Н.Е. Вещева, И.Э. Мартынов // Восточно-украинский журнал передовых технологий. – 2003. - №5. – С. 30-32.
4. Цюренко, В.Н. Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения [Текст] / В.Н. Цюренко // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения; Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С. 4-26.
5. К проблеме совершенствования буксового узла вагонов [Текст] / А.П. Горбенко, И.Э. Мартынов, А.В. Донченко // Залізнич. транспорт України. – 1999. - №6. – С. 42-45.

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

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Шовкун Вадим Олександрович, аспірант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Міроненко Сергій Олександрович, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Trufanova Alyona, cand. of techn. sciences department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Shovkun Vadim, aspirant department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Mironenko Sergiy, mahystrant department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

УДК 629.4.027

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Д-р техн. наук І.Е. Мартинов, М.В. Сліпченко

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Д-р техн. наук И.Е. Мартынов, М.В. Слипченко

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF STRUCTURES AXLE BOX ELECTRIC TRAINS

Doct. of techn. sciences I. Martinov, M. Slipchenko

Важливим елементом ходових частин вагона є буксові вузли. Букси призначені для з'єднання колісних пар з візками і передачі навантаження від ваги вагона на шийки осей колісних пар. Букси також сприймають тягові і гальмівні зусилля від колісних пар і передають їх на раму візки. Одним з перспективних шляхів підвищення надійності буксових вузлів електропоїздів є використання здвоєних підшипників касетного типу, які мають ряд суттєвих переваг, істотно впливаючи на безпеку руху поїздів.

Ключові слова: буксовий вузол, безремонтний пробіг, касетний підшипник, експлуатація.

Важным элементом ходовых частей вагона являются буксовые узлы. Буксы предназначены для соединения колесных пар с тележками и передачи нагрузки от веса вагона на шейки осей колесных пар. Буксы также воспринимают тяговые и тормозные усилия от колесных пар и передают их на раму тележки. Одним из перспективных путей повышения надежности буксовых узлов электропоездов является использование сдвоенных подшипников касетного типа, обладающих рядом существенных преимуществ, существенно влияя на безопасность движения поездов.

Ключові слова: буксовой узел, безремонтный пробег, касетный подшипник, эксплуатация.

An important element is the undercarriage of the car axle bearings nodes. The axle-boxes are designed to connect wheelsets with trolleys and load transfer from the weight of the car on the neck of wheelset axles. Axle box also perceive traction and braking forces from the wheel pairs and pass them on to the bogie frame. One of the most promising ways to improve the reliability of electric axleboxes is the use of dual bearings, cassette-type, have a number of significant advantages, significantly affecting traffic safety.

Keywords: axle-box, maintenance-free mileage, cassette bearing, operation.

Вступ. Вагон, як одиниця рухомого складу, складається з великої кількості вузлів, від працездатності яких залежить надійність вагона в цілому. Важливим елементом ходових частин вагона є буксові вузли. Букси призначені для з'єднання колісних пар з візками і передачі навантаження від ваги вагона на шийки осей колісних пар. Букси також сприймають тягові і гальмівні зусилля від колісних пар і передають їх на раму візки. Крім того, корпус букси захищає шийку осі і підшипники від вологи і бруду. Він заповнений мастилом ЖРО, необхідним для нормальної роботи підшипників.

Виклад основного матеріалу. У буксовому вузлі розташована перша ступінь підвіски, яка пом'якшує удари колії з колісною пари на нерівностях шляху. Букса складається зі сталевго литого корпусу 12 (рис. 1), кришок 7 і 13, лабіринтових кілець 14, підшипників 2 і деталей, що зв'язують буксу з рамою візка. Під внутрішньою порожниною корпусу виконано циліндричний отвір для установки підшипників.

Підшипники складаються з внутрішніх і зовнішніх кілець, між якими розташовані сепараторі, на які сідають ролики. Внутрішні кільця підшипників встановлюють на шийку

осі 5 з натягом у гарячому стані, зовнішні - у корпус 12 букси вільно. Діаметр шийки осі та розміри підшипників підібрані за величиною

максимально можливого навантаження і допустимої частоти обертання (діаметр шийки осі 130 мм, довжина ролика 80 мм).

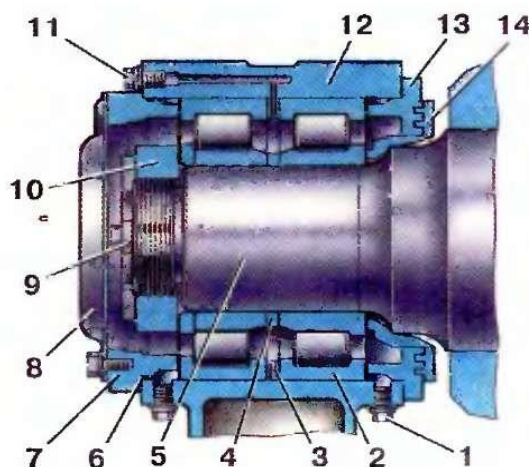


Рис. 1. Букса моторного вагона:

1 – пробки; 2 – підшипник; 3 – велике дистанційне кільце; 4 – мале дистанційне кільце; 5 – вісь колісної пари; 6 – ущільнювальне кільце; 7 – кришка; 8 – оглядова кришка; 9 – стопорна планка; 10 – торцева гайка; 12 – корпус букси; 13 – задня кришка; 14 – лабіринтове кільце

При збиранні букси на шийку осі колісної пари надівають у гарячому стані лабіринтове кільце 14 і внутрішнє кільце підшипника з упорним заднім буртом. Потім на шийку осі надівають внутрішнє дистанційне кільце 4 і внутрішнє кільце підшипника. Після цього встановлюють корпус 12 букси зі заздалегідь вставленими в нього зовнішніми кільцями, сепараторами з роликами.

Деталі підшипника, що встановлені на вісь колісної пари, стягують торцевою гайкою 10, яку фіксують стопорною планкою 9. Планку 9 кріплять на торці осі 5 двома болтами. Зовні букса закрита оглядовою кришкою 8, має кронштейн для приєднання повідця фрикційного амортизатора (гасника). З боку колеса букса ущільнена лабіринтами, розташованими в кільці 14 і в задній кришці 13 букси. Профіль глибоких канавок лабіринтової частини корпусу букси аналогічний профілю нарізки лабіринтового кільця, завдяки чому при збиранні створюється лабіринтове ущільнення, що не дозволяє мастилу витікати з букси. На задній стінці корпусу букси, як і на передній, є кришка.

Таким чином, зовнішні кільця підшипників зафіксовані в корпусі букси кришками 7 і 13, внутрішні кільця - на шийці осі колісної пари торцевою гайкою 10 і лабіринтовим кільцем 4. У верхній частині стінки корпусу букси є отвір для заправки букси консистентним мастилом, а в дистанційному кільці 3 - кільцева канавка і вісім радіальних отворів, через які мастило подається до підшипників. Відпрацьоване мастило видаляють через два отвори в нижній частині корпусу. Отвори в корпусі букси заглушені гумовими пробками 1.

Для з'єднання силового ланцюга тягових двигунів і високовольтної схеми допоміжних машин з "землею" служать пристрої, що заземлюють. Вони змонтовані на всіх чотирьох кришках букс моторного вагона і електрично паралельно з'єднані між собою. Ці пристрої створюють ланцюги для протікання тягових струмів у рейки через колеса та осі колісних пар, минаючи буксові підшипники, чим захищають підшипники від електричної ерозії.

Заземлювальний пристрій являє собою алюмінієвий корпус 1 (рис. 2), всередині якого знаходиться пластмасовий щіткотримач 2.

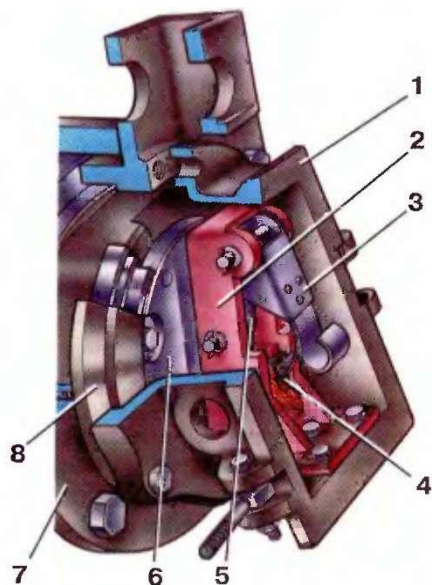


Рис. 2. Заземлюючі пристрої букси моторного вагона: 1 – корпус; 2 – щіткотримач; 3 – важільний пристрій; 4 – щітка; 5 – пружина; 6 – струмознімальна кришка; 7 – букса; 8 – лабіринтова кришка

Корпус 1 з'єднаний з кришкою букси шістьма гвинтами, щітки 4 притиснуті пружинами

5 до струмознімального диску 6, закріпленого в проточці лабіринтового кільця 8 чотирма болтами. Лабіринтове кільце 8 прикріплене до осі двома болтами. Лабіринтове ущільнення, утворене кільцевими канавками кільця і корпусом букси, захищає щітки від проникнення змащення з порожнини букси. Кришка заземлюючого пристрою щільно притиснута до корпусу двома відкидними болтами через гумову прокладку, яка захищає механізм від пилу і бруду.

До заземлюючого болта приєднані дві щітки і наконечник струмопровідного дроту. Для виключення можливості проходження силового струму через корпус букси і підшипники всі струмоведучі частини ізолювані прокладками, а болти, які кріплять щіткотримач, – поліхлорвініловими трубками.

Буксовий вузол колісної пари причіпного вагона електропоїзда має принципово таку саму конструкцію, як букса колісної пари моторного вагона. Основна відмінність полягає в конструкції корпусу букси. Корпус 7 (рис. 3) букси причіпного вагона виконаний тонкостінним і має чашки для встановлення буксових пружин.

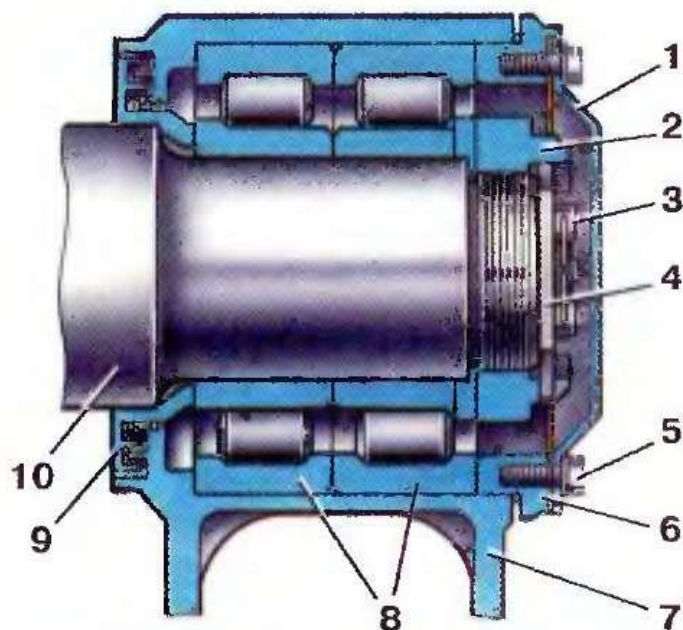


Рис. 3. Буксовий вузол причіпного вагона: 1 – оглядова кришка; 2 – торцева гайка; 3 – болт; 4 – стопорна пластина; 5 – кришка; 6 – корпус букси; 7 – підшипник; 8 – лабіринтове кільце; 9 – лабіринтова кришка; 10 – вісь колісної пари

У чашках є отвори для проходження через них шпінтонів візка. Діаметр отворів на 20 мм більше, ніж діаметр втулок, встановлених на хвостовики шпінтонів. Завдяки цьому букса може вільно, без ударів переміщатися відносно рами, а також самовстановлюватися за рахунок поперечної пружності буксових пружин. На зовнішній стороні букс є дві кришки – оглядова 1 і кріпильна 6. Між корпусом 7 букси і кришкою 6 встановлено ущільнювальне гумове кільце. На правій буксі передньої колісної пари головного вагона додатково змонтований привід швидкостеміра.

У буксах як моторних, так і причіпних вагонів використовуються циліндричні роликів підшипники із зовнішнім діаметром 250 мм, внутрішнім діаметром 130 мм та шириною 80 мм.

Поперечні зусилля відтиску рейок на гребені коліс, що виникають при проходженні

колійною парою кривих ділянок колії, сприймається упорним кільцем, передаються торцями роликів, а далі від них – бортами зовнішніх кільць і далі через кришку на корпус букси.

Досвід експлуатації дворядних конічних підшипників касетного типу на залізницях світу. Дворядні конічні підшипники касетного типу TBU з успіхом використовуються в поїздах Siemens Desiro приміського та далекого сполучення (рис. 4). Габаритні розміри підшипників складають 130×230 мм. Вони експлуатуються зі швидкостями до 160 км/год.

Інші приклади використання дворядних касетних конічних підшипників TBU наведені на рис. 5-11.

У таблиці наведено дані про використання підшипників TBU в різних країнах світу. З неї випливає, що подібні підшипники набувають все більшого поширення у світовій практиці.



Рис. 4. Приміський поїзд Siemens Desiro



Рис. 5. Приміський поїзд X2000 (Швеція)



Рис. 6. Швидкісний поїзд TGV Atlantique (Франція)



Рис. 7. Пасажирський поїзд Talgo (Іспанія)

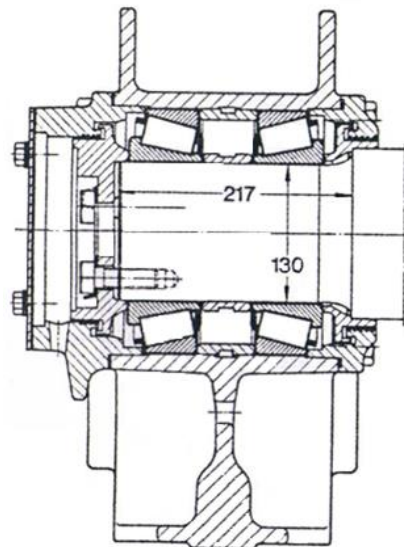


Рис. 8. Букса швидкісного поїзда RATR (Франція)

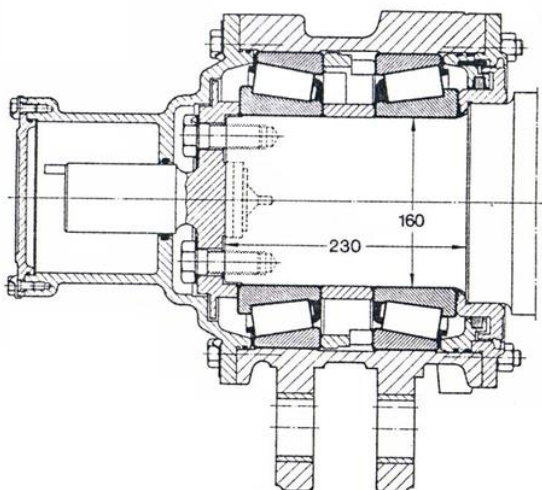


Рис. 9. Букса електровоза Е 56 (Італія)

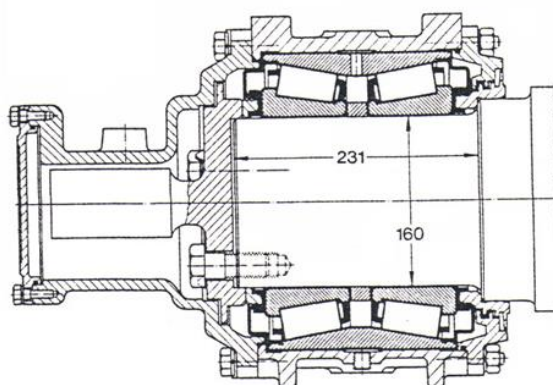


Рис. 10. Букса електровоза Е 402 (Італія)

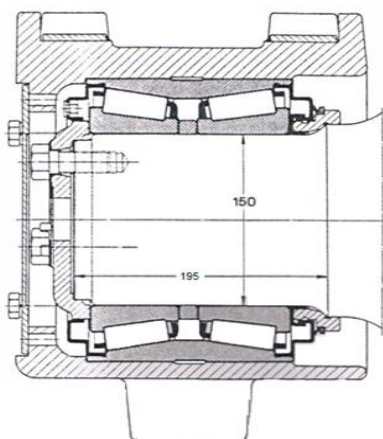


Рис. 11. Букса локомотива О.С.Т.Р.А (Габон)

Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Вагони

Таблиця

Типи рухомого складу, де використовуються дворядні конічні підшипники TBU

	Швидкісний рухомий склад	Локомотиви	Пасажирські вагони та вагони електропоїздів	Вантажні вагони	Вагони метрополітену та трамваї
TBU 90				Австрія, Італія, Німеччина, Швейцарія	Великобританія, Швейцарія
TBU 120			Великобританія		Туніс, Франція, Бельгія
TBU 130×210	Іспанія		Іспанія	Італія	Малайзія, Швеція
TBU 130×220	Італія, Швеція, Норвегія		Швейцарія, Німеччина, Великобританія		Таїланд, Швейцарія
TBU 130×230	Італія, Німеччина, Франція		Австрія, Італія, Нідерланди, Швейцарія	Португалія	
TBU 130×240				Бельгія, Франція	
TBU 140		Швейцарія		Великобританія	Нідерланди
TBU 150		Австрія, Індія, Великобританія	Франція, Нідерланди, Португалія, Швейцарія		

Список використаних джерел

1. Цюренко, В.Н. Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения [Текст] / В.Н. Цюренко // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения: Труды ВНИИЖТ. - М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. - С. 4-26.
2. Мартинов, І.Е. До питання оптимізації конструкції буксових вузлів рухомого складу [Текст] / І.Е. Мартинов, А.В. Труфанова, В.Л. Мельничук, М.В. Христан // Зб. наук. Праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. - С. 70-75.
3. Шавшишвили, А.Д. Анализ опыта эксплуатации вагонных букс с роликовыми подшипниками [Текст] / А.Д. Шавшишвили // Повышение надежности и долговечности подшипников качения букс подвижного состава. – Ростов-на-Дону: РИИЖТ, 1982. - №167. - С. 13-18.
4. Мартинов, І.Е. Технічний стан буксових роликопідшипників вантажних вагонів / І.Е. Мартинов // Зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 41. – С. 38-42.
5. Ільчишин, В.М. Аналіз надійності буксових підшипників критих вагонів [Текст] / В. М. Ільчишин // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2013. – №9 (198). – Ч. 1– С. 157-159.
6. Мотовилов, К.В. Эксплуатационная надежность буксовых узлов вагонов [Текст] / К.В. Мотовилов, С.В. Перов, И.Э. Мартынов // Проблемы повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 1988. – С. 92-99.
7. Труфанова, А.В. Новые пути развития конструкций буксовых узлов [Текст] / А.В. Труфанова // Вагонный парк. – 2008. - № 10. – С. 13-17.

Мартинов Ігор Ернстович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Сліпченко Марина Володимирівна, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-36.

Martinov Igor, doct. of techn. sciences department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

Slipchenko Marina, mahystrant department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-36.

РУХОМИЙ СКЛАД ТА СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ЛОКОМОТИВИ

УДК 629.4.027

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ В УМОВАХ ДЕПО

Канд. техн. наук П.О. Харламов,
О.С. Люлін

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ДЕПО

Канд. техн. наук П.А. Харламов,
О.С. Люлин

INCREASE THE RESOURCES OF THE WHEELS OF THE LOCOMOTIVES IN THE DEPOT CONDITIONS

As. doct. of techn. sciences P. Kharlamov,
O. Lyulin

Ресурс бандажів колісних пар є одним з визначальних факторів величини міжремонтних пробігів - не збільшивши ресурс бандажів, неможливо продовжити міжремонтний період між поточними ремонтами ТР-3, що стримує збільшення пробігів між ремонтами у всій системі технічного обслуговування й поточного ремонту локомотивів.

Ключові слова: локомотив, електровоз, колісна пара, бандаж, наноматеріали, ресурс, довговічність.

Ресурс бандажей колесных пар является одним из определяющих факторов величины межремонтных пробегов – не увеличив ресурс бандажей, невозможно продлить межремонтный период между текущими ремонтами ТР-3, что сдерживает увеличение пробегов между ремонтами во всей системе технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов.

Ключевые слова: локомотив, электровоз, колесная пара, бандаж, наноматериалы, ресурс, долговечность.

Increase the resources of the wheels is designated as one of the priority tasks. Since the intensity of wear of rails and wheels of locomotives depends on many factors, solve this problem comprehensively. Applying regenerative braking, skew Coles, the condition of the rubber elements of silent-blocks, created technical means operative to control the state of the running parts of the rolling stock and track. Studies to evaluate the effectiveness of lubrication zone of contact of the wheel with the rail, affect the amount of hardness wear of wheels and rails, the difference of the diameters of the tires.

Keywords: locomotive, train, wheel pair, tread, nanomaterial, lifetime, endurance.

Вступ. Бандажі колісних пар є одним із найвідповідальніших елементів механічної частини локомотивів. Величина ресурсу бандажів визначає періодичність технічного обслуговування ТЕ-4 (обточування бандажів з метою відновлення конфігурації їхнього профілю), ремонту ТР-3, СР і КР для заміни повністю зношених бандажів колісних пар.

За оцінкою експертів, на початку 1980-х рр. строк служби бандажів колісних пар локомотивів становив 6-7 років, а в 90-ті рр. ХХ століття він скоротився вже до 2-3 років. Відмови через зношування коліс займають «провідне місце» серед інших технічних відмов в експлуатації локомотивів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Проблемою зношування колісних пар прямо або побічно займалися багато вчених і практиків в Україні й за кордоном. На основі натурних спостережень робилися висновки про вплив тих або інших факторів на інтенсивність зношування, на основі теоретичних розробок будувалися моделі.

Статистичний аналіз причин зношування бандажів колісних пар показує, що основна частка зношувань поверхні бандажа припадає на гребінь бандажів колісних пар. Тому більшість обточувань роблять по зношуванню гребеня, причини інших обточувань розподіляються приблизно в рівному співвідношенні.

Інтенсивність зношування гребеня прямо впливає на довговічність бандажів колісних пар. Від довговічності бандажів залежить строк служби всієї колісної пари локомотива, тому що при граничному зношуванні бандажів необхідно робити викочування колісно-моторного блока, що призводить до зростання собівартості перевезень і зниження конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Ресурс бандажів колісних пар є одним з визначальних факторів величини міжремонтних пробігів – не збільшивши ресурс бандажів, неможливо продовжити міжремонтний період між поточними ремонтами ТР-3, що стримує збільшення пробігів між ремонтами у всій системі технічного обслуговування й поточного ремонту локомотивів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У прийнятих Укрзалізницею стратегічних напрямках науково-технічного розвитку залізничного транспорту до 2030 р. підвищення довговічності бандажів локомотивів займає одне із головних місць – на першому етапі встановлений ресурс бандажів не менше 600 тис. км, а на другому етапі – не менше 1 млн км. Підвищення ресурсу колісних пар позначено як одне із пріоритетних завдань [2]. Оскільки інтенсивність зношування рейок і колісних пар локомотивів залежить від багатьох факторів, зазначену проблему вирішують комплексно [3]. Зокрема проведено дослідження з оцінки ефективності лубрикації зони контакту колеса з рейкою [4], впливу на величину зношування твердості коліс і рейок [5], різниці діаметрів бандажів [6], застосування рекуперативного гальмування,

перекосу колісних пар, стану гумових елементів сайлент-блоків, створено технічні засоби оперативного контролю стану ходових частин рухомого состава й колії [7-9]. Однак ухвалені рішення для поліпшення умов взаємодії в системі «колесо-рейка» (застосування гребене- і рейкосмащування [10], підбір профілів кочення бандажа, зміцнення гребенів бандажів колісних пар [11], застосування своєчасного розвороту локомотива, контроль якості проведення ремонту колісних пар, підбір за жорсткістю повідців буксових вузлів, підбір діаметрів колісних пар та ін.) виявилися недостатніми, оскільки зношування продовжують залишатися на неприпустимо високому рівні [12]. У зв'язку із цим необхідні нові рішення, спрямовані на забезпечення стійкої взаємодії розглянутої системи в перспективних умовах і таких, що змінилися.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою є збільшення довговічності бандажів колісних пар локомотивів в умовах депо. Відповідно до поставленої мети сформульовано такі завдання:

- виконати аналіз причин зношування бандажів колісних пар і способів, що істотно підвищують довговічність бандажів локомотивів;

- розробити математичну модель багатофакторного аналізу підвищення довговічності бандажів колісних пар.

Основна частина дослідження. Ступінь впливу способів, спрямованих на зниження зношування бандажів колісних пар, можна представити у вигляді функції багатьох змінних:

$$R = (f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w), \quad (1)$$

де f – обточування бандажів по найкращому профілю поверхні кочення бандажів колісних пар; e – застосування сучасного технологічного встаткування в ремонтному процесі; h – зміцнення гребенів бандажів; l – застосування лубрикації; b – застосування триботехнічного складу НЮД; d – наплавлення гребенів бандажів; o – обточування зі збереженням залишкового прокату; t – збільшення початкової товщини бандажів; k – кліматичні умови; r – підтримка в експлуатації нормованих параметрів верхньої будови колії; c – своєчасна заміна гумометалевих елементів; j – розворот

локомотива; g – підбір діаметрів колісних пар;
 w – підбір повідців за жорсткістю.

Якщо з якихось причин ця функція одержує досить малі випадкові збільшення f_{Δ} ,

$e_{\Delta}, h_{\Delta}, l_{\Delta}, b_{\Delta}, d_{\Delta}, o_{\Delta}, t_{\Delta}, k_{\Delta}, r_{\Delta}, c_{\Delta}, j_{\Delta}, g_{\Delta}, w_{\Delta}$, то її нове значення можна представити у вигляді ряду Тейлора:

$$\begin{aligned}
 R &= F \left(f + f_{\Delta}, e + e_{\Delta}, h + h_{\Delta}, l + l_{\Delta}, b + b_{\Delta}, d + d_{\Delta}, \right. \\
 &\quad \left. o + o_{\Delta}, t + t_{\Delta}, k + k_{\Delta}, r + r_{\Delta}, c + c_{\Delta}, j + j_{\Delta}, g + g_{\Delta}, w + w_{\Delta} \right) = \\
 &= F(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w) + \frac{\partial F}{\partial f} \cdot f_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial e} \cdot e_{\Delta} + \\
 &\quad + \frac{\partial F}{\partial h} \cdot h_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial l} \cdot l_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot b_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial d} \cdot d_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial o} \cdot o_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t_{\Delta} + \\
 &\quad + \frac{\partial F}{\partial k} \cdot k_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial r} \cdot r_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial c} \cdot c_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial j} \cdot j_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial g} \cdot g_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial w} \cdot w_{\Delta} + \\
 &\quad + \frac{1}{1 \cdot 2} \cdot \left[\frac{\partial^2 F}{\partial f^2} \cdot f_{\Delta}^2 + \dots + \frac{\partial^2 F}{\partial w^2} \cdot w_{\Delta}^2 + \right. \\
 &\quad \left. + 2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial f \cdot \partial e} \cdot f_{\Delta} \cdot e_{\Delta} + \dots + 2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial w \cdot \partial g} \cdot w_{\Delta} \cdot g_{\Delta} \right] + \dots
 \end{aligned} \tag{2}$$

Обмежуючись першим ступенем малих збільшень змінних, одержуємо такий вираз:

$$\begin{aligned}
 R &= F \left(f + f_{\Delta}, e + e_{\Delta}, h + h_{\Delta}, l + l_{\Delta}, b + b_{\Delta}, d + d_{\Delta}, o + o_{\Delta}, \right. \\
 &\quad \left. t + t_{\Delta}, k + k_{\Delta}, r + r_{\Delta}, c + c_{\Delta}, j + j_{\Delta}, g + g_{\Delta}, w + w_{\Delta} \right) = \\
 &= F(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w) + \frac{\partial F}{\partial f} \cdot f_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial e} \cdot e_{\Delta} + \\
 &\quad + \frac{\partial F}{\partial h} \cdot h_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial l} \cdot l_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot b_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial d} \cdot d_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial o} \cdot o_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t_{\Delta} + \\
 &\quad + \frac{\partial F}{\partial k} \cdot k_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial r} \cdot r_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial c} \cdot c_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial j} \cdot j_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial g} \cdot g_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial w} \cdot w_{\Delta}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Таким чином, можна в комплексі прогнозувати ефект від впровадження в умовах депо розглянутих основних способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів колісних пар.

Вибір основних способів можна зробити за такими критеріями: 1) потреба в застосуванні; 2) наявність розроблених технологій; 3) технічна можливість локомотивних депо. Зіставлення основних способів із критеріями вибору наведено в табл. 1.

Результати наведеного аналізу показують, що використання практично всіх

способів затребуване й функціонально можливо в локомотивні депо. Визначення впливу різних випадкових факторів на процес зношування бандажів шляхом аналізу вимірів при оглядах (ТЕ) і ремонтах (ТР) електровозів, тобто через певний проміжок часу (пробігу), завдання, здійсненне за допомогою методів математичної статистики й теорії ймовірностей. Статистична обробка дозволяє розрахувати залежність значень контрольованих параметрів бандажів від пробігу та її екстраполяція в область більших значень пробігів і дає можливість побудови прогнозної моделі.

Таблиця 1

Зіставлення способів підвищення довговічності бандажів в умовах депо із критеріями вибору

Досліджуваний спосіб	Критерій		
	1	2	3
Обточування по найкращому профілю поверхні кочення бандажів колісних пар	+	+	+
Застосування сучасного технологічного встаткування в ремонтному процесі	+	+	—
Зміцнення гребенів бандажів	+	+	+
Застосування лубрикації	+	—	+
Застосування триботехнічного складу НІОД	+	+	+
Наплавлення гребенів бандажів	+	+	+
Обточування зі збереженням залишкового прокату	+	—	+
Збільшення початкової товщини бандажа	+	+	+
Кліматичні умови	+	—	—
Підтримка в експлуатації нормованих параметрів верхньої будови колії	+	+	—
Своєчасна заміна гумометалевих елементів	+	+	+
Розворот електровоза	—	—	—
Підбір діаметрів колісних пар	+	—	+
Підбір повідців за жорсткістю	+	—	+

Якщо встановити математичну форму розподілу, що відповідає спостереженням, і на основі останніх обчислити найкращу з можливих оцінок для необхідних параметрів, то значення, що залишилися, можна відкинути від подальших розрахунків. Так, для одержання достовірних результатів при обробці вибірки потрібні: вибір математичної форми генеральної сукупності; визначення способу обчислення, придатного для оцінки контрольованого параметра й виведення точної математичної форми розподілу.

Вихідна інформація для визначення дієвості кожного зі способів, спрямованих на

підвищення довговічності бандажів, отримана із залежностей «зношування-пробіг», де кожному певному пробігу відповідає певне значення зношування. Для спрощення розрахунків і одержання більшої кількості інформації для вивчення варто об'єднати значення із близьким пробігом в одну вибірку сукупність. Ігнорувати різницю пробігу нам дозволяють похибка вимірювального інструмента, а також інертність зношування, тобто мале відхилення значення зношування при невеликій зміні пробігу. Принцип формування вибірових сукупностей наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Формування вибірових сукупностей для проведення розрахунку

Значення пробігу в конкретній точці виміру	Значення пробігу для конкретної вибіркової сукупності	Значення зношування, відповідне конкретній точці виміру
$L_{1,1}$	L_1	$\Delta_{1,1}$
$L_{1,2}$		$\Delta_{1,2}$
...		...
$L_{1,i}$		$\Delta_{1,i}$
$L_{2,1}$	L_2	$\Delta_{2,1}$
$L_{2,2}$		$\Delta_{2,2}$
...		...
$L_{2,i}$		$\Delta_{2,i}$
...	...	...
$L_{n,i}$	L_n	$\Delta_{n,i}$

На підставі зібраної статистичної інформації зі зношування бандажів колісних пар можна побудувати залежності математичного очікування й середньоквадратичного відхилення контрольованого параметра від пробігу. Отримані залежності екстраполюються в область більших значень пробігів, залежно від виду теоретичного розподілу розраховується ймовірність безвідмовної роботи.

Визначивши вид теоретичного розподілу в кожній групі, можна одержати рівняння кривої, що обмежує область значень однієї вибіркової сукупності, а отже, і обчислити ймовірність відмови при пробігах, близьких до «критичних».

$$P(L) = \frac{1}{\sigma_x(L) \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{x_{\text{дп.}}}^{M_x(L) + 3\sigma_x(L)} e^{-\frac{[x - M_x(L)]^2}{2\sigma_x^2(L)}} dx, \quad (5)$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення контрольованого параметра; M_x – математичне очікування контрольованого параметра; $X_{\text{дп.}}$ – значення контрольованого параметра, що допускається; L – пробіг, що відповідає моменту виміру; P – ймовірність безвідмовної роботи.

Якщо робити відновлення зношеного бандажа, його заміну при наробітку (пробігу), що не перевищує 90%-го ресурсу ($P = 0,1$), то ймовірність відмови бандажа в міжремонтному періоді не перевищить 10 %, а відхилення міжремонтного пробігу від установленної величини також виявиться в межах ± 10 %, тобто відповідає відносній похибці застосовуваного в локомотивному депо вимірювального інструмента. Тому доцільно обмежити міжремонтні пробіги 90%-м ресурсом. На підставі виконаних розрахунків будуються залежності $P(L)$, і за ними визначається γ %-й ресурс колісних пар, тобто такий пробіг, якому відповідає ймовірність безвідмовної роботи або ймовірність відмови $P = 1 - \gamma$.

Одержати залежність значень контрольованих параметрів колісних пар від пробігу при застосуванні наплавлення важко, однак, щоб одержати орієнтовні значення, можна скористатися «ідеальним випадком»: інтенсивність зношування – величина постійна

$$P(L) = \int_{X_{\text{дп.}}}^{X_{\text{ном.}}} f(x) dx, \quad (4)$$

де $X_{\text{дп.}}$, $X_{\text{ном.}}$ – значення, що допускаються, і номінальне значення контрольованого параметра об'єкта дослідження; $f(x)$ – значення функції розподілу випадкової величини в конкретному діапазоні вибіркової сукупності.

Стосовно визначення ймовірності безвідмовної роботи бандажів колісних пар при нормальному типі розподілу рівняння (4) буде мати такий вигляд:

й обточування бандажів колісних пар здійснюється тільки по граничному зношуванню гребеня через однакові значення пробігів (90%-ий ресурс до обточування). Використовуючи ці допущення, можна розрахувати технологічне зношування (або економію бандажної сталі при кожному обточуванні), а отже, і ресурс бандажів колісних пар при використанні наплавлення. Величина економії матеріалу бандажа, мм, визначається як

$$\Delta^{\text{напл.}} = \Delta_{\text{ТО-4}} - 2, \quad (6)$$

де $\Delta_{\text{ТЕ-4}}$ – середня товщина бандажа, що знімається при проведенні технічного обслуговування ТЕ-4; 2 – величина витрати бандажа при обточуванні після наплавлення.

Тоді математичне очікування зношування бандажа при використанні наплавлення можна визначити як

$$M_x(L)_i^{\text{напл.}} = M_x(L)_i - \Delta^{\text{напл.}}, \quad (7)$$

де $M_x(L)_i$ – значення математичного очікування зношування гребеня на період запланованого обточування.

Узагальнення результатів дослідження показує ефективність застосування кожного із шести обраних способів. Для кінцевого етапу

моделювання визначено значення первісної функції багатьох змінних:

$$R = F(f + f_{\Delta}, h + h_{\Delta}, c + c_{\Delta}, t + t_{\Delta}, d + d_{\Delta}, b + b_{\Delta}) = \\ = F(f, h, c, t, d, b) + f_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial f} + h_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial h} + \\ c_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial c} + t_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial t} + d_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial d} + b_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial b}. \quad (8)$$

У цьому випадку вплив кожного доданка на систему в цілому можна визначити за допомогою функції повних диференціалів. Визначити ступінь впливу кожного способу можна виходячи з умови

$$R = F(f, h, c, t, d, b) = 1. \quad (9)$$

При поданні виразу (9) у процентному співвідношенні одержуємо рівень впливу кожного способів. Результати розрахунку зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення часток похідних кожного елемента функції $R = F(x)$

Спосіб	Застосовуваний спосіб	Значення похідної функції / 10-5, мм/км	Значення похідної функції, %	Прогнозований ресурс, тис. км
1	Обточування бандажів по профілю ГОСТ 11018	5,991	13,36	678
2	Зміцнення гребенів бандажів	7,080	17,44	668
3	Застосування триботехнічного складу	7,821	17,45	660
4	Наплавлення гребенів	7,821	17,45	638
5	Збільшення початкової товщини бандажа	7,821	17,45	650
6	Своєчасна заміна гумометалевих елементів	8,298	18,51	688

Найбільшу роль у підвищенні довговічності бандажів відіграють застосування обточування колісних пар по профілю ГОСТ 11018; своєчасна заміна гумометалевих елементів; наплавлення гребенів; застосування триботехнічного складу; зміцнення гребенів; збільшення початкової товщини бандажів колісних пар. Середня довговічність бандажа при застосуванні запропонованих способів в умовах депо становить:

$$L_{\text{ср.}} = k_{\text{эф.}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_{\text{исх.}(i)}}{n} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{L_i - L_{\text{исх.}(i)}}{n} \right] \right), \quad (10)$$

де $L_{\text{исх.}(i)}$ – значення ресурсу бандажа до впровадження i -го способу; L_i – значення ресурсу при застосуванні i -го способу; $k_{\text{эф.}}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність ефективності способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів колісних пар, $k_{\text{эф.}} = 0,9$.

Згідно з виразом (10) середня довговічність бандажа при застосуванні запропонованих способів в умовах депо становить 597,3 тис. км [13,14].

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. На основі розробленої математичної моделі багатофакторного аналізу, використовуючи методи теорії імовірності й математичної статистики, а також критерії відбору, обрано найбільш ефективні способи,

спрямовані на підвищення довговічності бандажів колісних пар локомотивів. Установлено частковий розподіл значущості способів підвищення довговічності бандажів.

2. Зроблено ранжирування способів підвищення довговічності бандажів за їхньою ефективністю. Установлено довговічність бандажів колісних пар локомотивів при використанні розглянутих способів в умовах депо.

Список використаних джерел

1. Горский, А.В. Анализ износа бандажем [Текст] / А.В. Горский, А.П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. – 1991. – № 1. – С. 46-47.
2. Буйносов, А.П. Результаты применения нанопористового антифрикционного покрытия на повышение ресурса колесных пар промышленных электровозов [Текст] / А.П. Буйносов, И.М. Пышный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 155-158.
3. Буйносов, А.П. Снизить интенсивность износа гребней [Текст] / А.П. Буйносов // Локомотив. – 1995. – № 6. – С. 31-32.
4. Буйносов, А.П. Обеспечение эффективного смазывания бандажей локомотивов [Текст] / А.П. Буйносов, С.А. Дибров // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 60-61.
5. Буйносов, А.П. Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов [Текст] / А.П. Буйносов // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 11. – С. 16-20.
6. Горский, А.В. Экономичная обточка [Текст] / А.В. Горский, А.П. Буйносов, В.С. Наговицын, В.С. Клинский // Локомотив. – 1992. – № 4. – С. 26-27.
7. Буйносов, А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки [Текст] / А.П. Буйносов // Автоматизация и современные технологии. – 1992. – № 8. – С. 23-25.
8. Буйносов, А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажем [Текст] / А.П. Буйносов // Локомотив. – 1995. – № 1. – С. 33-34.
9. Hartmann H., Schunke H. Mehrzwecklokomotive baureihe 145 der Deutschen Bahn. Elektrische Bahnen, 1997, vol. 95, issue 11, pp. 287–296.
10. Müller R. Veränderung von Radlaufflächen im Betriebseinsatz und deren Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten. Annalen, 1998, no. 11, ss. 7–9.
11. Pefiffer H., Solf W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertdaten des Betriebsmaschinenendienstes des Deutschen Bundesbahn. Elektrische Bahnen, 1978, № 7, pp. 179–186.
12. Буйносов, А.П. Методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов [Текст] / А.П. Буйносов, В.А. Тихонов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 5. – С. 136-144.
13. Худояров, Д.Л. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 [Текст] / Д.Л. Худояров, А.П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 9 – С. 47–48.
14. Худояров, Д.Л. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар [Текст] / Д.Л. Худояров, А.П. Буйносов // Транспорт Урала. – 2010. – № 1 (24). – С. 63–68.

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

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Люлін Олександр Сергійович, магістр кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Kharlamov Pavlo Oleksandrovich cand. science, associate professor of department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

Lyulin Oleksandr Sergeevich, master degree of department of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

УДК 629.47:620.91

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ У ЛОКОМОТИВНОМУ ДЕПО

О.А. Масний

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ В ЛОКОМОТИВНОМ ДЕПО

А.А. Масный

IMPROVEMENT OF THE ANALYSIS AND REGULATION OF ENERGY CONSUMPTION BY RAILROAD LOCOMOTIVES IN THE LOCOMOTIVE DEPOT

О. Masnyy

Ефективне управління енергоресурсами можливо тільки за наявності вичерпної інформації за всіма напрямками їх витрачання. При цьому особливо актуальним є завдання оптимізації інформаційної забезпеченості управління, тобто найбільш повне забезпечення управління інформацією при певному мінімумі витрат на здійснення інформаційних процесів.

Ключові слова: ефективне управління, вичерпна інформація, мінімум витрат, інформаційні процеси.

Эффективное управление энергоресурсами возможно только при наличии исчерпывающей информации по всем направлениям их расходования. При этом особенно актуальной является задача оптимизации информационной обеспеченности управления, т. е. наиболее полное обеспечение управления информацией при определенном минимуме затрат на осуществление информационных процессов.

Ключевые слова: эффективное управление, исчерпывающая информация, минимум затрат, информационные процессы.

Effective energy management is possible only if there comprehensive information on all areas of their expenditure. This is particularly urgent task optimization information security management, i.e. the most comprehensive management software information at a certain minimum implementation cost information processes.

Managing energy intensity of the transportation process is a complex dynamic process, the adoption of planning and management decisions in which occurs continuously as the result of processing large amounts of information. From the information point of view, the energy management system on railroad locomotives in the locomotive depot should be considered as a single object of regulation (control) with his usual combination of interrelated information.

Keywords: effective management, solid information, minimum cost, information processes, difficult dynamic process, high-cube of information.

Вступ. Ресурсозбереження, яке стає важливим супутнім фактором реалізації будь-якого виробничого процесу, на залізничному

транспорті здійснюється в таких напрямках: конструктивні заходи, технологічні заходи, експлуатаційні та організаційно-технічні

заходи. У першу чергу до організаційних заходів належить віднести удосконалення системи нормування енерговитрат, яка широко використовується в локомотивному господарстві. Ця система охоплює усі рівні управління, але найбільший потенціал енергозбереження сконцентрований на найнижчому рівні, тобто безпосередньо в локомотивних депо, де формують систему технологічних норм – так прийнято називати норми енерговитрат на поїздку в межах тягового плеча.

Тема дослідження дуже важлива в нашому сьогоденні. Контроль за витратами енергоресурсів важливий не лише на залізниці, але і в цілому в нашій державі. В умовах втраченого контролю над вугільнодобувною галуззю нашої країни, внаслідок бойових дій, щоб не опинитися у скрутному становищі в опалювальний період, уряд України шукає альтернативні джерела постачання енергоресурсів, зокрема природного газу та кам'яного вугілля. Так, був підписаний контракт на постачання вугілля з Південною Африканською Республікою та реверс газогону з Європи. Невизначена частка залишається з паливно-мастильними матеріалами. Основний постачальник нашої держави – східний сусід, є монополістом на світовому ринку, і дивлячись на політичну складову відносин між нашими державами, можна констатувати лише одне – ціни на нафтопродукти будуть лише зростати. Зважаючи на це, вбачається висновок – нашу державу чекає час тотальної економії енергоресурсів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У більшості локомотивних депо процес аналізу та нормування витрати енергоресурсів на сьогодні автоматизований. Розроблені численні комп'ютерні програми, що отримали назву АРМ для виконання різних розрахунково-облікових функцій: АРМ-ТЧУ, АРМ-ТЧБ, АРМ-ТЧД та інші. Автоматизоване робоче місце інженера-теплотехніка (АРМ-ТЧМ1) дозволяє:

- організувати й удосконалити облік і раціональний розподіл споживання енергоресурсів по підрозділах підприємства;
- здійснити розроблення енергетичних паспортів для експлуатаційних дільниць і локомотивів;

- автоматизувати розроблення режимних карт ведення поїздів;

- забезпечувати поточний облік і контроль за підсумками витрат палива та електроенергії кожною локомотивною бригадою, оцінювати економічну ефективність поїздок;

- забезпечувати доступ до всієї необхідної нормативної та інструктивної документації для здійснення технічного навчання локомотивних бригад;

- розширювати облік і аналіз нормоутворюючих факторів для розрахунків технічно обґрунтованих диференційованих норм витрат палива та електроенергії на тягу поїздів, а також удосконалювати методику нормування і багато інше.

Технологічні норми відображають вплив як постійних факторів, що впливають на результати перевізного процесу (які не змінюються від поїздки до поїздки), так і змінних, аналіз яких і являє собою особливу складність при нормуванні. Суть системи нормування можна представити як сукупність двох компонентів: розрахунок оптимальної норми та облік фактичної витрати енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вирішення завдання енергозбереження на тягу поїздів може бути забезпечено комплексними заходами, що включають у себе широке коло питань.

У наш час існує велика кількість підходів і рекомендацій, призначених для вирішення різних завдань з нормування. Норми, які розробляються, відрізняються як своїм складом, так і методами розрахунків. Найбільше розповсюдження одержали розрахунково-аналітичний, балансовий, розрахунково-статичний та експериментальний (дослідний) методи [1, с. 16-26].

Практично кожен з них, включаючи розроблені в Укрзалізниці документи [2, с. 85, 3, с. 60] базується на узагальнюючих положеннях, які ураховують найбільш характерні особливості експлуатаційної роботи. Як початкові передумови при цьому використовуються дані тягово-енергетичних паспортів локомотивів, що не завжди відповідають реальному технічному стану, адже локомотиви та їхні вузли зношуються, а численні поправкові коефіцієнти, що ураховують вплив окремих факторів, з фізичної

точки зору не завжди цілком достовірно відображають дійсність.

Вплив усіх факторів, що діють на енергетичні процеси під час руху поїзда, врахувати неможливо, оскільки деякі з них не піддаються виміру, а інші недостатньо вивчені. Звідси виникає основне завдання в енергетиці тяги локомотива: визначити ступінь впливу цих факторів на кінцевий результат і взаємозв'язок між характерними параметрами процесів і значущими чинниками, тобто визначити форму даної залежності і інтенсивність, з якою вона проявляється серед численних супутніх впливів.

Як відомо, під час руху поїзда відбувається процес перетворення енергоресурсів в енергію руху поїздів. Цей процес безпосередньо пов'язаний з обсягом і якістю використання енергоресурсів у технології перевезень і є предметом енергетики тяги поїздів [4].

Набір факторів впливу на витрати електроенергії і дизельного палива на тягу рухомого складу в більшості методик подібний, а коефіцієнти впливу різні залежно від метео-географічних умов, технічних характеристик рухомого складу і колії, особливостей режиму ведення поїзда, а також інших параметрів.

Найбільша вірогідність методів, що використовуються, досягається шляхом уточнення параметрів факторів, що розраховуються, і встановлення надійного обґрунтованого зв'язку розмірів споживання дизельного палива та електроенергії локомотивами і основними параметрами перевізного процесу.

До повного набору факторів, які відображають реальний процес руху поїзда, повинні входити маса складу, середнє навантаження на вісь вагона, середня технічна швидкість, частка порожнього пробігу вагона, частка безстикової колії, номінальна дотична потужність локомотива, зчіпна маса локомотива, коефіцієнт технічного стану, коефіцієнт використання потужності допоміжних машин, відносна витрата енергоресурсів у режимі холостого ходу, номінальний ККД локомотива, коефіцієнт дільничної швидкості, затримки біля забороняючих сигналів, неграфікові попередження по швидкості, шляхові попередження по швидкості, еквівалентний нахил, температура навколишнього

середовища, коректування опору руху, структура парку локомотивів, рекуперація електроенергії, організаційно-технічні заходи, введення пасажирського поїзда за графіком, частка вагонів з кондиціонерами в потязі, електричне опалення пасажирських вагонів.

Подальше підвищення точності нормування може бути досягнуте в результаті обліку реального технічного стану локомотива при розрахунку його енергетичного паспорта, збільшення кількості факторів, котрі враховуються при нормуванні, а також за рахунок уточнення залежностей, які розраховуються.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета роботи – підвищення ефективності управління енергоспоживанням на тягу поїздів на основі вдосконалення методів контролю, обліку, аналізу і нормування витрат паливно-енергетичних ресурсів на виконання перевізного процесу.

Для досягнення зазначеної мети поставлено завдання: інформаційне забезпечення управління паливно-енергетичними ресурсами в локомотивному депо повинно бути налагоджене на високому рівні. Ця складова буде розглянута в основній частині.

Основна частина дослідження. Ефективне управління енергоресурсами можливо тільки за наявності вичерпної інформації за всіма напрямками їх витрачання. При цьому особливо актуальним є завдання оптимізації інформаційної забезпеченості управління, тобто найбільш повне забезпечення управління інформацією при певному мінімумі витрат на здійснення інформаційних процесів [7].

Необхідна кількість інформації, яка має бути отримана об'єктом управління для встановлення заданої організації процесу $j_{\text{зад}}$, може бути визначена з такої рівності:

$$j_{\text{зад}} = I_{\text{вх}} - I_{\text{в}} \quad (1)$$

де $H_{\text{вх}}$ - ентропія вихідного стану;

$H_{\text{зад}}$ - ентропія заданого рівня організації процесу.

Якщо система управління буде передавати меншу інформацію j , рівень організації знизиться (міра невизначеності збільшиться), кінцева ентропія процесу $H_{\text{к}}$ буде більше $H_{\text{зад}}$. Навпаки, при $j > j_{\text{зад}}$

буде $H_k < H_{\text{задан}}$ і рівень організації процесу зросте. Однак зазначене вище положення може бути справедливим лише за достовірної інформації. Якщо інформація буде помилковою, то при передачі однієї і тієї самої кількості інформації організація процесу не зросте, а дезорганізація керованого процесу збільшиться. Тому необхідна така міра кількості інформації, яка при її істинності давала б позитивну величину I , а при хибності - негативну.

Якщо позначити ступінь зменшення невизначеності інформації через I_n , а сумарну ентропію перешкод і шумів через $I_{\text{ш}}$, то

$$j_{\text{зад}} = j_i - I_{\text{ш}}, \quad (2)$$

З рівності випливає, що для забезпечення необхідного якості управління необхідно, щоб виконувалася умова:

$$j_i \geq j_{\text{зад}} + I_{\text{ш}}. \quad (3)$$

Висновок. В статті розглянута можливість удосконалення процесу інформаційного забезпечення управління паливно-енергетичними ресурсами в локомотивному депо шляхом подання рівня достатньої інформації за всіма напрямками її використання.

Список використаних джерел

1. Дробаха, В.І. Вірогідність методик нормування витрати дизельного палива на тягу поїздів [Текст] / В.І. Дробаха, В.В. Котов // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип.56. – С. 16-26.
2. Інструкція по технічному нормуванню витрат дизельного палива і електричної енергії на тягу поїздів (№ЦТ-0059) [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2003. – 85 с.
3. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів (ЦТ-0099) [Текст]. – К.: Тов. «Швидкий рух», 2004. – 85 с.
4. Теория локомотивной тяги [Текст] / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель; под ред. В.Д. Кузьмича. – М.: Изд-во «Маршрут», 2005.
5. Молярчук, В.С. Теоретические основы методики нормирования расхода топлива и электрической энергии для тяговых средств транспорта [Текст] / В.С. Молярчук. – М: Транспорт, 1966. – 263 с.
6. Костромин, А.М. Об оптимальном управлении тепловозом при вождении поездов [Текст] / А.М. Костромин // Труды БелИИЖТ. – 1972. – Вып. 116. – С. 10-12.
7. Железняк, С.П. Совершенствование системы анализа и нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов в локомотивном депо [Текст] / С.П. Железняк. – Омск, 2011. – 179 с.

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

Масний Олексій Анатолійович, студент ФПП ІППК Української державної академії залізничного транспорту.
E-mail: wildwind88@list.ru.

Masnuy Oleksiy Anatolijovich, Student FRR Institute of Ukrainian state Academy of railway transport.
E-mail: wildwind88@list.ru.

УДК 629.47.004.18

ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ

Канд. техн. наук А.Ф. Агулов, І.А. Петрова

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Канд. техн. наук А.Ф. Агулов, И.А. Петрова

REDUCED COSTS ENERGORESURSOV FOR TRACTION

Candidate tehn. sciences A.F. Agulov, I.A. Petrova

У даній статті виконано аналіз заходів з економії енергоресурсів на тягу поїздів, наведено основні чинники, які впливають на витрату енергоресурсів у тязі поїздів і запропоновано основні напрямки робіт і пристрої для подальшого вдосконалення систем нормування, обліку та економії енергоресурсів. Проведено аналіз різних технічних рішень за значущістю для поліпшення взаємодії колеса і рейки з метою зниження опору руху та підвищення безпеки роботи системи колесо-рейка. Викладено особливості роботи пристроїв для зменшення сил взаємодії колеса з рейкою і проаналізовано їхню ефективність.

Ключові слова: енергетичний баланс, питомі витрати, тяга поїздів, енергоресурси, колісна пара, гребенезмащувач, опір руху, рекуперація, економія, режим руху, сили взаємодії, мастило.

В данной статье выполнен анализ мероприятий по экономии энергоресурсов на тягу поездов, приведены основные факторы, которые влияют на расход энергоресурсов в тяге поездов и предложены основные направления работ и устройства для дальнейшего совершенствования систем нормирования, учета и экономии энергоресурсов. Проведен анализ различных технических решений по значимости для улучшения взаимодействия колеса и рельса с целью снижения сопротивления движению и повышения безопасности работы системы колесо-рельс. Изложены особенности работы устройств для уменьшения сил взаимодействия колеса с рельсом и проанализирована их эффективность.

Ключевые слова: энергетический баланс, удельные затраты, тяга поездов, энергоресурсы, колесная пара, гребнесмазыватель, сопротивление движению, рекуперация, экономия, режим движения, силы взаимодействия, смазка.

This article gives an analysis of measures to save energy for traction, are the main factors that affect the energy consumption in the deadlift trains and the basic directions of work and equipment to further improve the system of rationing, accounting, and energy savings. The analysis of the different technical solutions leading to better interaction wheel and rail in order to reduce resistance to movement and improving the safety of the wheel-rail system. Outlined the features of the device to reduce the forces of interaction between wheel and rail and analyze their effectiveness.

Keywords: energy balance, unit costs, draft of trains, energy, wheelset, grebnesmazzyvatel, resistance to movement, recovery, economy, driving mode, the interaction force lubrication.

Вступ. За 2013 рік підприємствами залізничного транспорту використано близько 369 тис. тонн дизельного палива, у тому числі близько 304 тис. тонн на тягу поїздів; 5885,1 млн кВт год електроенергії, у тому числі 4887,9 млн кВт год на тягу поїздів; 2,8 тис. тонн мазуту топкового; 134,4 млн м³ природного газу; 70,2 тис. тонн вугілля та 17,4 тис. тонн олив і мастил [1]. Тому зниження витрат

енергоресурсів для підприємств залізничного транспорту, особливо для локомотивних депо, є головним завданням на сучасному етапі розвитку локомотивного господарства країни.

Постановка проблеми. Зниження витрат енергоресурсів на тягу поїздів є актуальним завданням, успішному вирішенню якого сприяє правильне розуміння чинників, що впливають на витрату електроенергії, і можливостей

впливу на них з метою зниження витрат енергоресурсів [2, 3]. Повне й всебічне поняття про це дає енергетичний баланс руху поїздів, отриманий на підставі закону збереження й перетворення енергії, який описується системою лінійних алгебраїчних рівнянь, показники якого перевіряються при тягово-експлуатаційних випробуваннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині широко ведуться численні дослідження з проблеми зниження силової та фрикційної взаємодії «колесо-рейка», яка окрім чисто економічного аспекту (втрати ресурсів на подолання опору руху, зносу коліс і рейок та ін.) тісно пов'язана з безпекою руху на залізничному транспорті [4, 5].

Актуальність проблеми визначається великими експлуатаційними витратами, пов'язаними зі зносом рейок і коліс рухомого складу. За оцінками експертів, щодня у світі обточується близько 70 тисяч колісних пар. Починаючи з 1985 року, фактична інтенсивність зносу в 3-6 разів перевищувала передбачену нормами експлуатації шляху і рухомого складу. Якщо на початку 1980-х років термін служби бандажів колісних пар локомотивів складав 6-7 років, то в 1990-ті роки він скоротився до 2-3 років. Вихід рейок через граничний бічний знос збільшився за 10 років більш ніж у 3 рази [6].

Мета статті. Метою статті є аналіз існуючих заходів і пристроїв для зниження витрат енергоресурсів на тягу поїздів у локомотивному депо, а також впровадження сучасних заходів з метою економії енергоресурсів.

Основна частина дослідження. Аналіз енергетичного балансу руху поїздів показує, що можна використати такі напрямки зниження витрати електроенергії на тягу поїздів [1]:

- підвищення експлуатаційного коефіцієнта корисної дії (ККД) електрорухомого складу (ЕРС) і пристроїв тягового електропостачання;
- зменшення крутості й кривизни траси колії, тобто випрямлення профілю й плану колії;
- зниження основного опору руху рухомого складу;
- зниження витрат енергії в гальмах поїздів;
- зниження витрат енергії на власні потреби поїздів.

Для практичного застосування зазначених заходів на мережі залізниць доцільно рекомендувати таке:

- підвищення маси поїздів і завантаження вагонів, застосування енергооптимальних значень маси й швидкості руху поїздів;
- застосування енергооптимальних режимів водіння поїздів, що передбачають максимальне корисне використання накопиченої механічної енергії (потенційної й кінетичної);
- підвищення ефективності рекуперативного гальмування на ЕРС постійного і змінного струму;
- удосконалювання обліку, аналізу, нормування й прогнозування витрат електроенергії на тягу;
- підвищення енергетичної ефективності електричної тяги шляхом удосконалювання конструкції рухомого складу, електричних схем і електроустаткування ЕРС, пристроїв тягового електропостачання, сигналізації й зв'язку;
- модернізація експлуатованого ЕРС із метою підвищення його економічності, ККД, зниження енерговитрат на власні потреби;
- розширення полігону застосування рекуперації на електрифікованих лініях шляхом оснащення ЕРС новими системами рекуперативного гальмування, відновлення несправних схем рекуперації;
- застосування перспективних електровозів змінного струму й пасажирських електровозів постійного струму з рекуперативним гальмуванням, а також ЕРС подвійного живлення, у тому числі з безколекторними тяговими двигунами.

Аналіз основних експлуатаційних чинників, що впливають на витрату електроенергії в тязі поїздів показує, що при одній і тій самій масі електровоза зі збільшенням маси складу вагонів коефіцієнт впливу маси локомотивів на питому витрату енергії зменшується, отже, знижується питома витрата електроенергії на тягу. Якщо при збільшенні маси складу вагонів пропорційно зростає маса електровоза, то питома витрата електроенергії на тягу, як правило, знижується в меншому ступені. Більш повне й наочне подання про чинники, від яких залежить витрата електроенергії на тягу поїздів, дають такі напрямки роботи:

- розроблення принципів модернізації експлуатованого ЕРС із метою підвищення його економічності, ККД, зниження енерговитрат на власні потреби;

- обстеження полігону електрифікованих залізниць змінного струму з метою розширення полігону застосування рекуперативного гальмування;

- розроблення методики встановлення енергооптимальних значень маси й швидкості руху поїздів;

- розроблення методики складання енергооптимальних графіків руху й режимів водіння поїздів, у тому числі підвищеної маси й довжини;

- розроблення методики обліку, аналізу, нормування й прогнозування витрати електроенергії на тягу поїздів з урахуванням застосування рекуперативного гальмування й електроопалення пасажирських вагонів і електропоїздів на основі методу енергетичного балансу;

- проведення енергетичного обстеження головних напрямків залізниць із метою виявлення найбільше енерговитратних місць і розроблення заходів з їхнього усунення.

Опір руху локомотива залежить від характеру взаємодії колеса і рейки.

Аналіз взаємодії колеса та рейки показує, що на взаємний знос гребеня колеса і бічної робочої грані головки рейки істотно впливають напрямлені сили в місці контакту. На цей процес впливають кути набігання коліс на рейки, кількість набігаючих коліс, наявність абразивних частинок та інші чинники [1]. У якості одного з критеріїв зносу С.М. Андрієвським запропоновано використати так званий чинник зносу

$$\hat{O} = Y_f \alpha, \quad (1)$$

де Y_H – напрямлена сила;

α – кут набігання гребеня колеса на рейку.

Оскільки напрямлена сила в кривій залежить від кута набігання колісної пари $Y_H \equiv \alpha$, можна говорити про те, що чинник зносу приблизно пропорційний квадрату кута набігання.

Значно зменшити чинник зносу можна введенням мастила в зону тертя. Тоді у формулі (1) необхідно врахувати коефіцієнт

тертя ковзання [2]. Формула (1) набуває вигляду

$$\hat{O} = Y_f \alpha f, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання.

Аналізуючи формулу (2), можна виділити чотири основні аспекти зниження зносу:

- зниження рівня поперечних сил;

- зниження статичних і динамічних (у тому числі ударних) вертикальних навантажень;

- зниження контактної напруги в системі колесо – рейка;

- поліпшення динамічних характеристик рухомого складу [7].

Використання наявних у розпорядженні залізниць технічних нововведень або їх поєднань у будь-якому з цих аспектів різною мірою змінює енергетичну картину контакту і відповідно зносу контактуючих тіл. У таблиці показано, як використання того або іншого нововведення є позитивним в одному або декількох аспектах даної проблеми, що пояснює більший або менший інтерес, який проявляється до цих нововведень [8].

За даними теоретичних досліджень можливо досягнути зменшення величини опору рухомого складу при інших рівних умовах на величину до 15% за рахунок змащення зони тертя гребеня колісної пари та бокової грані рейки, а також інших заходів, які зменшують величину енергії, що витрачені на подолання опору від тертя поверхонь.

Якість змащення впливає на ефективність пристроїв, що змащують. Воно визначає умови тертя в контакті, знос і рівень генеруючого шуму. Останні дослідження показали, що мастило для гребеня бандажа має містити певну кількість твердих частинок, необхідних для того, щоб забезпечувався знос гребеня в певних рамках. Це необхідно для підвищення безпеки руху, тому що при небажаному стовщенні гребеня різко зростає небезпека сходу рухомого складу з рейок. Гранулометричний склад твердих компонентів мастила повинен бути таким, щоб виключалася можливість засмічування сопла й виходу з ладу пристрою, що змащує. Крім того, мастило такого складу оптимально вирівнює поверхні контакту з мінімальним зносом.

Таблиця

Значення різних технічних рішень для поліпшення взаємодії рухомого складу та шляху

Технічне рішення	Зниження поперечних навантажень	Зниження вертикальних навантажень	Зниження контактних навантажень	Поліпшення динаміки рухомого складу
Вдосконалення ресорного підвішування	+		+	
Змащування рейок і коліс	+		+	+
Змащування шкворневого вузла	+		+	
Оптимізація профілю рейок	+		+	+
Оптимізація профілю коліс	+	+	+	+
Моніторинг взаємодії рухомого складу та шляху	+	+	+	+
Поліпшення геометрії шляху		+		
Поліпшення стану візків	+		+	

Існує кілька варіантів пристроїв залежно від типу рухомого складу. Основне призначення пристрою, що змащує, полягає в тому, щоб під час руху поїзда в результаті точного нанесення на гребені бандажів дозованої кількості мастила був досягнутий бажаний ефект зниження тертя й зносу без погіршення умов тяги або гальмування, а також без забруднення мастилом елементів ходової частини й колії. Це може бути забезпечено лише правильним вибором пристрою, що змащує.

На рухомому складі Укрзалізниці застосовується українська конструкція локомотивного гребенезмащувача СПП 12-5, який являє собою пристрій з електропневматичним керуванням для подачі мастила на певну зону гребенів бандажів передньої по ходу колісної пари [9, 10].

Застосування її на рухомому складі дозволяє одержати такі переваги:

- істотно знизити інтенсивність зносу гребенів коліс (бандажів) і збільшити їхній ресурс;
- зменшити бічний знос рейок і збільшити їхній термін служби;
- знизити опір руху й зменшити витрати електроенергії (дизпалива) на тягу;
- зменшити ймовірність сходу з рейок завдяки зниженню коефіцієнта тертя;

- знизити невиробничі витрати, пов'язані із простоем рухомого складу при заміні й обточуванні коліс (бандажів) і шліфуванні рейок.

Система являє собою пристрій з електропневматичним керуванням для періодичного змащення гребенів коліс локомотивів. Подача мастильного матеріалу здійснюється у функції пройденого часу й залежить від швидкості руху. Змащення здійснюється консистентним водостійким мастильним матеріалом, стійким до дії низьких температур, що за допомогою стисненого повітря наноситься на поверхні, що набігають, гребенів коліс. Звідси він контактним способом переноситься на бічні поверхні головок рейок, а з них - на гребені бандажів наступних колісних пар, що під'їжджають [9, 10].

Окремі цикли роботи системи здійснюються із установленою періодичністю у функції часу. У заданий момент часу електричний імпульс від електронного блока керування відкриває електропневматичний вентиль. Починається подача й розподіл стисненого повітря з живлячої магістралі на пневмопривод насоса і форсунки (розпилювачі). Насос спрацьовує й подає мастило до дозуючих пристроїв форсунок, а стиснене повітря, що надходить у змішувальні камери форсунок, у цей час захоплює мастильний матеріал і розпорошує його на

гребені бандажів коліс. Робочий цикл закінчується відключенням електропневматичного вентиля й поверненням пневмопривода насоса у вихідний стан. Після завершення кожного робочого циклу змащення насос захоплює з бака мастильний матеріал, а дозуючими пристроями форсунок формується порція для чергового робочого циклу.

При роботі системи звичайно здійснюється змащення гребенів бандажів

тільки передньої по ходу руху колісної пари. Із цією метою електронним блоком керування включається електропневматичний вентиль, що викликає спрацювання насоса, що подає мастильний матеріал на форсунки відповідного напрямку руху.

Схема гребенезмашувача наведена на рисунку.

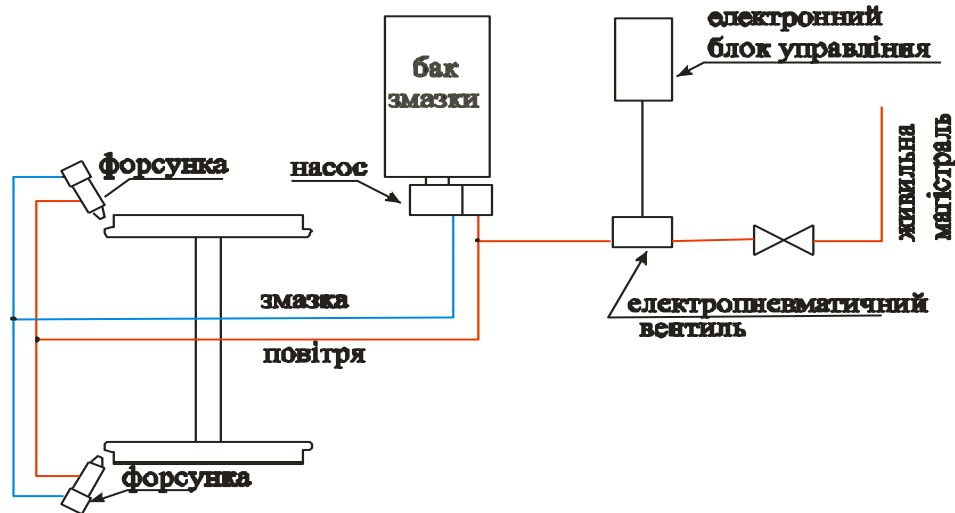


Рис. Схема гребенезмашувача

Очевидна ефективність цих пристроїв сприяла тому, що в цей час технічні вимоги на новий рухомий склад майже завжди містять пункт про їхню наявність. Виконання вимог експлуатаційних служб щодо пробігу колісних пар, терміну служби рейок і рівня випромінюваного шуму було б неможливим без пристроїв, що змащують. Статистика показує, що у випадку їхнього застосування цілком реальне збільшення пробігу колісних пар між переточуваннями до 500 тис. км.

Цими пристроями оснащується не тільки новий тяговий рухомий склад, але й більш старий у ході ремонту. Завдяки високій надійності пристроїв, що змащують, а також

досконалості системи керування й контролю вони можуть бути встановлені на рухомому складі всіх типів.

Висновки. В умовах дефіциту паливно-мастильних матеріалів, постійного зростання цін на енергоносії питання їхньої економії і раціонального використання є надзвичайно актуальним. Локомотивне господарство є найбільшим енергоємним на залізничному транспорті, оскільки несе витрати енергоресурсів на тягу поїздів. Зниження енергоємності може бути досягнуто за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів і посилення контролю за використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів та роботи по енергозбереженню на залізницях України за 2013 рік [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2014. – 56 с.
2. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
3. Сергієнко, М.І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати [Текст] / М.І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. - №4. – С. 24-26.

4. Комплексна Державна програма енергозбереження. Міністерство економіки України [Текст] / Національна академія наук України. – К.: Держком-енергозбереження України, 1996. – 234 с.
5. Гриценко, Н.В. Економічні аспекти впровадження ресурсозберігаючих технологій на залізничному транспорті [Текст] / Н.В. Гриценко, Ю.О. Крихітіна // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. - №32. – С. 89-93.
6. Механическая часть тягового подвижного состава [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
7. Пути снижения износа колесных пар и рельсов [Текст] // Железные дороги мира. – 2001. – №4. – С. 48-57.
8. Оценка износа колесных пар грузового тепловоза с радиальной установкой колесных пар [Текст] / Г.С. Михальченко, А.С. Юршин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2007. – №2. – С. 39-43.
9. Устройство для смазывания гребня бандажа и головки рельса [Текст] // Железные дороги мира. – 2000. – №9. – С. 54-63.
10. Системы смазки гребней колес СПП 12-5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uttm.com.ua/products-2.html>.

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

Агулов Анатолій Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999 (19-99).
Петрова Ірина Анатоліївна, слухач групи МЗ-Л-Б-12 НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 0506928248

Agulov Anatoly, Ph.D., Associate Professor Associate Professor of "Operation and maintenance of rolling stock" UkrDAZT. TEL. 057-730-1999 (19-99).
Iryna Petrova, sluhach groupies MZ- L-B-12 NN IPPK. TEL. 0506928248.

УДК 629.4.025

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВІВ

І.С. Решетняк, д-р техн. наук А.П. Фалендиш, канд. техн. наук А.М. Зінківський

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛОКОМОТИВОВ

И.С. Решетняк, д-р техн. наук А.П. Фалендыш, канд. техн. наук А.Н. Зиньковский

IMPROVING THE RELIABILITY OF TRACTION ELECTRIC MOTOR OF EXISTING LOCOMOTIVES

I. Reshetnyak, Doct. of techn. sciences A. Falendysh, cand. of sciences A. Zinkivskyi

У даній статті розглянуто питання надійності існуючих тягових електродвигунів тягового рухомого складу, визначено основні несправності та запропоновано методи ремонту. Також у роботі розглянуто перспективні напрямки у виробництві електродвигунів нових конструкцій, що дозволить підвищити ефективність їхньої роботи.

Ключові слова: локомотиви, тяговий рухомий склад, тяговий електродвигун, асинхронний привод, міжжиткове замикання.

В данной статье рассмотрены вопросы надежности существующих тяговых электродвигателей тягового подвижного состава, определены основные неисправности и предложены методы ремонта. Также в работе рассмотрены перспективные направления в производстве электродвигателей новых конструкций, что позволит повысить эффективность их работы.

Ключевые слова: локомотивы, тяговый подвижной состав, тяговый электродвигатель, асинхронный привод, межвитковое замыкание.

In this article describes how reliability of the existing traction electric motors of traction rolling stock defines the main problems and suggested methods of repair. Also in the paper the promising areas in the production of electric motors new designs that will improve the efficiency of their work.

Keywords: locomotives, traction rolling stock, traction motor, asynchronous drive interturn fault.

Вступ. Парк рухомого складу залізниць України потребує істотної модернізації, появи нової техніки, що відповідає вимогам світового рівня. А поки йде величезна робота з підтримки його працездатності і вдосконалення систем і вузлів, успішно впроваджуються нові методи і технології ремонту ТРС.

До найбільш навантаженого обладнання тягового рухомого складу (ТРС), з точки зору комплексного впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних чинників, належать електричні машини, тому, незважаючи на профілактичні заходи конструктивно-технологічного характеру, які постійно проводяться при виготовленні і ремонті локомотивів, рівень пошкоджуваності їх в експлуатації недостатньо знижується.

У час розвитку швидкісного ТРС постає питання впровадження тягових електродвигунів (ТЕД), надійність, технічні характеристики, умови експлуатації та порядок сервісного технічного обслуговування і ремонту яких забезпечить довготривалу безперебійну експлуатацію рухомого складу [1-3].

В останні роки за кордоном була виконана велика кількість досліджень, за якими розроблено та впроваджено різноманітні види ТЕД. Найбільшого розповсюдження серед них отримали електричні машини змінного струму, як такі, що мають більш високий показник коефіцієнта корисної дії (ККД), простішу конструкцію, меншу вагу та вартість порівняно з електродвигунами постійного струму.

Постановка задачі. За даними з експлуатації ТЕД встановити пріоритетні напрямки їх обслуговування та ремонту для забезпечення надійної роботи ТРС залізниць України, а також серед сучасних розробок визначити найбільш оптимальний тип ТЕД, який варто встановлювати на сучасному ТРС.

Мета статті. Метою статті є аналіз надійності роботи існуючих типів ТЕД, які встановлені на ТРС Укрзалізниці, і розроблення раціональних заходів з підвищення їхньої надійності.

Виклад матеріалу. Безпека експлуатації залізничного транспорту значною мірою залежить від надійної роботи ТЕД, яка визначається якістю і своєчасністю проведення відновлювальних ремонтів. Історія створення і розвитку тягових електродвигунів залізничного транспорту постійно пов'язана з підвищенням їхнього ресурсу [3, 4].

Основними причинами зниження експлуатаційної надійності тягових електричних машин є незадовільна якість ремонту і пропускання дефектів системами контролю. Один з напрямків для вирішення даного завдання – це створення ефективної організації ремонту електричних машин з застосуванням засобів неруйнівного контролю і технічного діагностування.

Аналіз відмов обладнання локомотивів по мережі залізниць показує, що 25-35% їхньої загальної кількості становлять ушкодження колісно-моторних блоків (КМБ) і в тому числі ТЕД (рисунок). Тому найважливішим завданням ефективної експлуатації ТРС є забезпечення надійної роботи одного з основних вузлів – ТЕД, що відбувається через збільшення в останні роки навантажень на локомотиви та їхнє технічне старіння.

Так, за даними обстеження технічного стану ТРС встановлено, що середня вага поїздів була збільшена на 20-25%, що призвело до зростання кількості випадків виходу з ладу електричних машин. Це підтверджує різке збільшення кількості пошкоджених електричних машин, які надходять у ремонт. У середньому 50% тягових електродвигунів

вимагають ремонту КР (КР-2) не через пробіг, а через технічний стан, з причин пошкоджень, пов'язаних з міжвитковим замиканням якоря і

катушок полюсів, пробою ізоляції якоря і катушок полюсів, тріщин валів якорів, зносу моторно-осьових горловин і т. д.

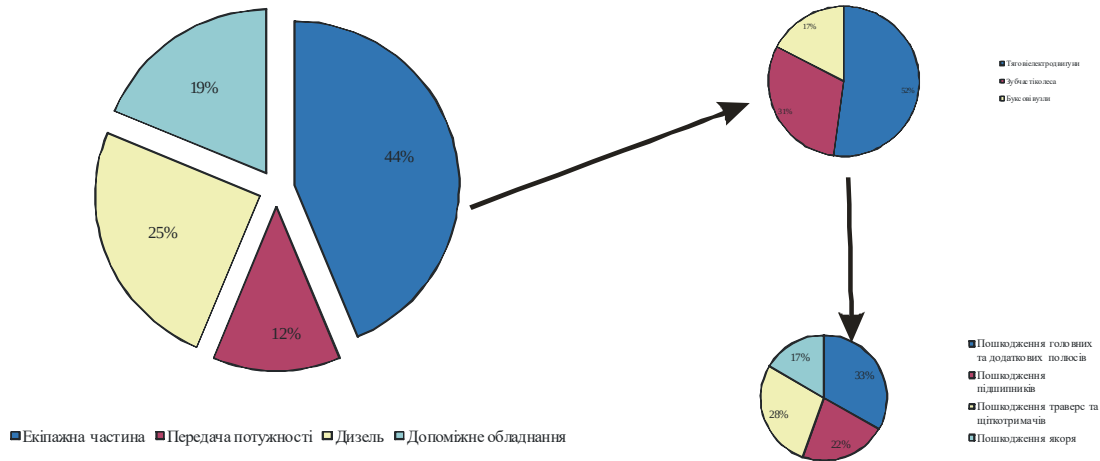


Рис. Залежність відмов і несправностей тягового рухомого складу по групах

З аналізу відмов стає зрозумілим, що найбільша кількість виходів з ладу тягових двигунів припадає на пробої ізоляції. Багато в чому це визначається складними умовами експлуатації машин: перевантаженнями, комутаційними перенапруженнями, зволоженням і т. д. Крім того, найбільша кількість виходів з ладу тягових двигунів від пробою ізоляції спостерігається у вологий період року, коли сильно зростає ймовірність зволоження обмоток через попадання вологи у двигуни. Звідси можна зробити висновок, що має місце невідповідність застосовуваних електроізоляційних матеріалів і просочувальних складів, конструкції ряду вузлів підвищеним вимогам умов експлуатації електричних машин.

Підвищення якості функціонування ТЕД в експлуатації можливо шляхом вдосконалення систем технічного обслуговування на основі проведення діагностичних заходів з метою більш об'єктивного і достовірного контролю технічного стану деталей і вузлів ТЕД, таких як підшипникові вузли, ізоляція обмоток, колекторно-щітковий вузол. Також необхідним є оптимізація міжремонтних періодів, зниження енергоємності та підвищення якості ремонтів ТЕД.

Вибір напрямку підвищення ресурсу значною мірою визначається стадією, на якій

він реалізується. Серед них, очевидно, виділяються три основних. Перша належить до перспективних розробок ТЕД, інші дві – до існуючих машин, що знаходяться в експлуатації, і ремонті.

Для зниження кількості відмов електричних машин проводяться роботи з дослідного впровадження нових перспективних електроізоляційних матеріалів і просочувальних матеріалів.

На сьогодні в якості просочувальних матеріалів обмоток ТЕД застосовують лаки ФО-98, ПЕ-9180, ПЕ-9153. У всьому світі майже повністю відмовилися від використання в якості просочувальних матеріалів лаків з вмістом розчинника 50-60 % на користь просочувальних компаундів, у яких вміст летючих речовин становить не більше 3-5%. Це обумовлено рядом переваг компаундів перед лаками. Звідси сформовано ряд вимог, які слід висувати до електроізоляційних матеріалів і застосовувати в системах ізоляції тягових двигунів:

- електроізоляційні матеріали (ЕІМ) повинні бути відповідного класу нагрівостійкості. У сьогодишніх умовах це клас F (до 155°C) і клас H (до 180°C);
- електрична міцність ЕІМ повинна бути не менше 25 кВ/мм;

– тангенс кута діелектричних втрат ($\tan \delta$) ЕІМ при температурі 130°C повинен бути не більше 25%;

– ЕІМ повинні мати властивість теплопровідності;

– слід використовувати в якості просочувальних матеріалів компанди, при цьому цементуюча здатність просочувального матеріалу повинна бути не менше 300 Н;

– покривна емаль повинна забезпечувати захист тягового двигуна від дії атмосфери, агресивних середовищ, а також мати властивість дугостійкості.

З урахуванням постійного зростання номенклатури електроізоляційних матеріалів кількість можливих їх поєднань при ізолювання обмоток електричних машин також збільшується.

Технічне обслуговування щітково-колекторного вузла в тяговому двигуні становить основну частку витрат на утримання двигуна в цілому і є трудомістким процесом. Вирішення проблеми надійності щітково-колекторного вузла полягає в комплексному використанні наявних резервів, таких як:

- застосування колекторних профілів з мідно-кадмієвого сплаву (бронзи) БРКД 1 для тягових двигунів всіх знову проєктованих електровозів;

- підвищення стабільності електрощіток.

Певні резерви підвищення експлуатаційної надійності щітково-колекторного вузла існують на подальшому вдосконаленні його конструкції і технології.

У зв'язку з цим в якості першочергових заходів пропонується:

- перехід на конструкцію ізоляційних пальців з дугостійкого і трекінгостійкого пресованого матеріалу амінопласт МФЕ-2 замість серійного матеріалу АГ-4В при виготовленні нових і капітальному ремонті експлуатованих двигунів;

- нанесення на ізоляційний виліт конуса колектора фторопластового трекінгостійкого покриття.

Одним з негативних моментів у роботі вузла струмознімання тягових двигунів залишається явище заволоchung колекторних пластин.

Запропонована комбінована установка щіток ЕГ61А в щіткотримачі плюсової полярності і ЕГ75 – у щіткотримачі мінусової полярності дозволила істотно знизити даний

процес. Однак масового застосування даних захід не знайшов через небажання експлуатаційних служб ускладнювати собі процедуру ремонтних робіт. У пошуках прийнятних шляхів вирішення даної проблеми була розроблена нова марка - ЕГ61АІ, до складу якої було введено додаткову кількість графіту ($\approx 10\%$), що, за задумом розробників, повинно було поліпшити умови напрацювання політури, знизити мікротвердість щіток і в результаті якщо не ліквідувати повністю, то хоча б значною мірою скоротити кількість випадків виникнення заволоchung.

Спостереження за роботою щіток ЕГ61АІ намічено продовжувати з тим, щоб дати остаточне обґрунтований висновок.

Можна запропонувати ряд нових напрямів для поліпшення роботи і надійності щіток:

- дослідження нових видів сировини з більш стабільними характеристиками;

- освоєння нової установки для термообробки, що забезпечує розкид температур 20°C і дозволяє отримати матеріал з наперед заданими характеристиками;

- випробування нових просочувальних складів і модернізація існуючого обладнання з метою стабілізації та підвищення зносостійкості щіток;

- освоєння нового виготовлюючого обладнання з метою підвищення точності при складанні композиційних складів.

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.

Проводяться роботи з виробництва та впровадження сучасних ТЕД, які відповідають вимогам високої ефективності й мінімально займаного простору. Розробляються безкорпусні асинхронні тягові двигуни, що робить їх компактними й з більшою величиною активної маси відносно об'єму двигуна. Це дозволяє збільшити обертовий момент, що розвивається на валу, і створити двигуни, що задовольняють усі вимоги тяги. Таким чином, раціональна конструкція та більша потужність електродвигунів відповідають експлуатаційним вимогам рухомого складу.

Конструкція ТЕД виконується уніфікованою для можливості встановлення необхідної потужності шляхом зміни налаштувань деяких параметрів (розташування вентиляційних каналів, коробки виводів, напруги живлення, частоти обертання та обертового моменту) з метою швидкого задоволення потреб і особливих вимог замовника [4]. Дана процедура забезпечується підбором необхідної комбінації стандартних вузлів з великого списку конфігурацій продукту.

Головною вимогою при виробництві ТЕД є забезпечення високого рівня довговічності та надійності роботи протягом всього терміну служби.

Одним з методів забезпечення надійності роботи вузлів ТЕД є встановлення ряду датчиків температури для можливості контролю та коригування режимів навантаження і роботи двигунів.

Забезпеченням необхідного рівня надійності ТЕД також займаються на етапі проектування шляхом застосування методів математичного моделювання конструкції та режимів роботи ТЕД, а також виконується перевірка електромагнітної сумісності з вузлами та системами ТРС.

На кожній стадії проектування використовується метод математичного моделювання. Застосовують аналітичні методи визначення розмірів деталей і вузлів тягових електродвигунів, а також метод кінцевих елементів. Здійснюють перевірку електромагнітної сумісності між тяговим електродвигуном і перетворювальною установкою. Інші перевірки здійснюють аналіз пульсацій обертового моменту.

Для гарантії одержання оптимальних результатів розроблення механічної частини тягового електродвигуна має бути скоординоване з проектуванням електричної частини. Це містить у собі аналіз живлячої напруги й обчислення виникаючих резонансних частот.

Висновки. Для нових електричних машин підвищення ресурсу необхідно і можливо передбачити вже на стадії проектування за рахунок застосування нових ізоляційних конструкцій з підвищеною електричною міцністю і класом ізоляції «Н», 200 і 220°C. Загалом серйозних проблем підвищення ресурсу до 2,5 млн км пробігу по

остову немає, такі пробіги вже реалізовані, наприклад, по остову тягових двигунів чеських електровозів, ТЕД НБ-514 та ін. Більш проблематичним є завдання підвищення ресурсу якорів тягових двигунів, оскільки однією зміною ізоляційної конструкції воно не вирішується і вимагає підвищення рівня технологічних процесів їх виготовлення.

Іншим напрямком підвищення ресурсу тягових електричних машин є застосування при ремонті нових матеріалів і технологій, що можливо не тільки при капітальних, а й середніх ремонтах якорів і остовів.

Найбільші можливості підвищення ресурсу, природно, є при капітальних ремонтах із заміною ізоляції. Однак реалізація нових ізоляційних конструкцій по якорю з використанням матеріалів більш високого класу нагрівостійкості дещо обмежена можливостями зміни перетину дроту і перекомпонування паза якоря. По остову ТЕД при капітальному ремонті можливості підвищення ресурсу знаходяться на рівні нових електричних машин (за умови однакової технологічної оснащеності ремонтних заводів і заводів-виробників).

Слід виділити як найбільш перспективний напрямок, застосування при вакуумно-нагнітальному просочуванні з глибоким вакуумом сучасних компаундів, повністю сумісних з використаними в конструкції ізоляційними матеріалами.

При середніх ремонтах можливості підвищення ресурсу обмежені і пов'язані з поліпшенням властивостей покривних матеріалів, зокрема дугостійкості електроізоляційних матеріалів відповідного класу нагрівостійкості. Такі матеріали в даний час створені і проходять стадію дослідної експлуатації.

Зазначимо ще один напрямок, пов'язаний з контролем параметрів ізоляції електричних машин після виготовлення, ремонту та у процесі експлуатації. Використовувані в даний час параметри у вигляді опору ізоляції при напругах залежно від типу машини в діапазоні 1,0-2,5 кВ випробування підвищеною напругою на випробувальній станції не дозволяють оцінити ресурс електричної машини. У якості додаткових контрольованих параметрів пропонуються, наприклад, коефіцієнт абсорбції, поворотна напруга, тангенс кута діелектричних втрат.

Для цих цілей уже створені такі прилади, як «Кедр-2», електронний мегаомметр М1-ШТ, «УПП-02», «Тангенс-2000», які проходять апробацію. Застосування цих приладів у якості додаткового контролю стану ізоляції дозволило б побічно підвищити ресурс за рахунок

отримання своєчасної інформації про погіршення ізоляційних властивостей. Однак до теперішнього часу ще не визначено допустимі значення контрольованих параметрів по кожному типу електричних машин з урахуванням умов навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Меерзон, Ю.М. Анализ технического состояния тяговых двигателей [Текст] / Ю.М. Меерзон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. работ. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С.15-19.
2. Лайдабон, Я.С. Организационно-технические мероприятия по повышению надежности электрических машин [Текст] / Я.С. Лайдабон // Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сб. науч. работ. – М.: ОАО «РЖД», 2004. – С. 91-95.
3. Карякин, А.В. Повышать надёжность парка локомотивов [Текст] / А.В. Карякин // Локомотив. – 2006. – №7. – С. 2-3.
4. 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.

Решетняк Ігор Сергійович, магістр НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту, група МЗ-Л-Б-12, майстер, локомотивне депо Коломия.

Фалендиш Анатолій Петрович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.

Зінківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.

Reshetnyak Igor, group MR-L-B-12, master, locomotive depot Kolomya.

Falendysh Anatoly, PhD, Professor, Professor of "Maintenance and repair of rolling stock". Tel. 057-730-1999.

Zinkivskyi Artem, PhD, "Maintenance and repair of rolling stock." Tel. 057-730-1999.

УДК 629.423.1

ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНА ТЕПЛОВОЗА

Д-р техн. наук Д.С. Жалкін, М.К. Тарасенко

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

Д-р техн. наук Д.С. Жалкин, М.К. Тарасенко

DIAGNOSIS CYLINDER-PISTON GROUP THE ENGINE LOCOMOTIVE

Doct. of techn. sciences D. Zhalkin, M. Tarasenko

У наведеній статті проведено аналіз відмов циліндро-поршневої групи дизелів тепловозів. Запропоновано систему заходів та обладнання для контролю технічного стану, що створює умови організації ремонту за фактичним технічним станом.

Ключові слова: тепловоз, двигун, циліндро-поршнева група, тиск газів, вібрація, діагностика.

В этой статье проведен анализ отказов цилиндри-поршневой группы дизелей тепловозов. Предложена система мероприятий и оборудования для контроля состояния, создающего условия организации ремонта по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: тепловоз, двигатель, цилиндро-поршневая группа, давление газов, вибрация, диагностика.

This article analyzes the failures piston-cylinder diesel engine group. The system measures and equipment for the control of creating the conditions for the organization of repair on the actual technical state.

Keywords: diesel engine, the cylinder-piston group, the gas pressure, vibration diagnostics.

Вступ. Проблематика питання ремонту діагностики та дефектоскопії циліндро-поршневої (ЦПГ) групи тепловозних двигунів виникла давно і пов'язана, перш за все, з труднощами при постановці технічного діагнозу та проведенні ремонту [3-6]. Потрібне розроблення методів удосконалення ремонту ЦПГ, що і дало підставу для виконання даної роботи.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз методів та обладнання виявив низьку (до 50-80 %) вірогідність визначення технічного стану елементів шатунно-поршневої групи. Закордонний досвід показує використання як окремих вбудованих датчиків, так і інформативних схем, що забезпечують періодичний або постійний контроль технічного стану основних або відповідальних за безпеку частин дизеля. Відзначимо також, що в методичному плані сучасні засоби діагностування не відрізняються значно від засобів 20-літньої давності [4, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних джерелах, де досліджується дана проблема, вказується на такий факт: відомі методи і засоби діагностики та дефектоскопії не дають повної інформації про технічний стан ЦПГ двигунів і їхніх деталей внаслідок неточності і суперечності результатів діагностування [1, 2, 3].

Аналіз відмов (див. рис. 1) показав, що найбільш поширеними є несправності ЦПГ:

- у поршнів – термічні тріщини та прогари головок поршнів; зношування струмків під кільця; спостерігається насосна дія поршневих кілець, супроводжувана підвищеною витратою мастила; задири поршнів; тріщини біля струмків поршнів; ослаблення або обрив шпильок кріплення головки поршня до тронкової частини; ослаблення посадки та зношування втулок під поршневий палець;

- у поршневих кілець – зношування, злам, пригоряння та втрата пружності;

- у поршневих пальців – зношування (овальність, конусність), тріщини, задири.

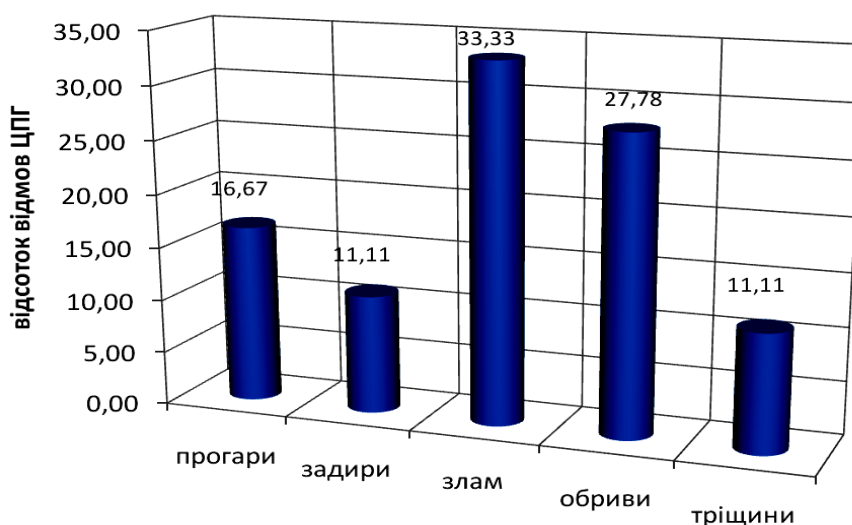


Рис. 1. Діаграма кількості відмов ЦПГ від характеру пошкодження

У наш час для визначення технічного стану деталей циліндро-поршневої групи використовуються такі методи діагностики [1, 3, 5]:

- інтегральна оцінка пневмощільності з'єднання «гільза - компресійне кільце - канавка поршня» за витратами газів, що прориваються в картер;

- оцінка пневмощільності конкретного циліндра шляхом примусового його

опресування стисненим повітрям (принцип пневмокалібратора);

- оцінка пневмощільності конкретного циліндра за максимальним тиском наприкінці такту стиску (компресометр);

- вакуумний метод оцінки технічного стану.

З використанням інформації, що наводиться в науково-технічній літературі, подано класифікацію методів діагностування ЦПГ на рис. 2.

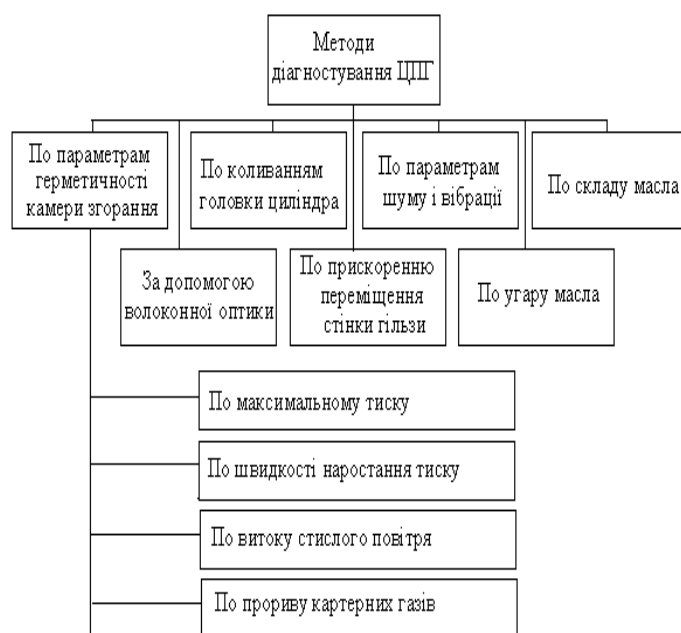


Рис. 2. Класифікація методів діагностики ЦПГ

Визначення мети та задачі дослідження. Мета статті – підвищення надійності роботи тепловозних дизелів шляхом удосконалення методів ремонту діагностування ЦПГ з урахуванням особливостей режимів і умов експлуатації.

Досягнення цієї мети залежить від вирішення ряду питань, які ввійшли до завдань: проведення аналізу сучасних методів діагностування ЦПГ дизелів; розроблення технології ремонту ЦПГ дизелів з застосуванням засобів діагностування вузлів; оцінка шляхів можливої технічної реалізації запропонованих методів.

Основна частина досліджень. Технічний стан елементів шатунно-поршневої групи можливо визначити шляхом заміру зміни щільності. Застосовуваний для цього прилад

(рис. 3) дає можливість подати в циліндр дизеля повітря з певним тиском і, незважаючи на можливі різні за величиною витoki його з циліндра, підтримувати цей тиск незмінним.

Підтримка постійності тиску повітря в циліндрі приладом здійснюється за рахунок подачі в циліндр регульованої кількості повітря, необхідної для відшкодування витоків. Для забезпечення регулювання кількості подаваного в циліндр повітря повітряний тракт приладу розділено дроселем-діафрагмою на дві зони: регульованого змінного тиску і регульованого постійного тиску. Живлення другої зони здійснюється вільно з першої зони за рахунок різниці тисків перед і після дроселя-діафрагми. Тиск повітря в першій зоні регулюється шляхом зміни кількості повітря, подаваного в неї з магістралі живлення.

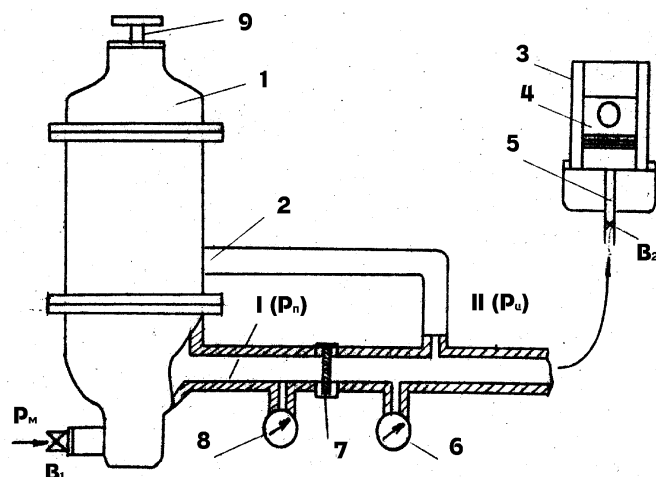


Рис. 3. Прилад для визначення щільності шатунно-поршневої групи:
1 – повітряний редуктор; 2 – трубка зворотного зв'язку; 6 – манометр для визначення тиску в циліндрі; 7 – дросель-діафрагма; 8 – манометр для визначення тиску в другій зоні

Щільність шатунно-поршневої групи дизеля можна оцінювати співвідношенням тисків повітря підживлення P_n (перед діафрагмою в першій зоні) і повітря в циліндрі P_u (у другій зоні).

Переваги методу: простота, доступність, універсальність. Відомі діагностичні стенди на базі персонального комп'ютера з використанням цього методу [5]. Однак інформативності методу недостатньо не тільки для прогнозування залишкового ресурсу, але і для постановки остаточного діагнозу про стан ЦПГ.

Метод віброакустичної діагностики застосовують для загальної оцінки технічного стану двигуна і для локальної перевірки кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів. Коливання, що виникають при зіткненні з'єднаних деталей, за своїми параметрами різко відрізняються як від коливань газодинамічного походження, так і від коливань, обумовлених тертям [8]. При зміні зазорів потужність коливань різко змінюється внаслідок зміни енергії зіткнення, при цьому також змінюється тривалість зіткнень. Існує кілька методів віброакустичної діагностики. Одним з них є реєстрація за допомогою осцилографа рівня коливального процесу у вигляді миттєвого імпульсу у функції часу (або кута повороту колінчастого вала). Іншим більш універсальним методом є реєстрація і аналіз усього спектра, тобто всієї

сукупності коливальних процесів. Аналіз спектра полягає в угрупованні по частотах його складових коливальних процесів за допомогою фільтрів. Для визначення стану деталей ЦПГ необхідні такі інструменти (див. рис. 4): акселерометр, використовуваний для виміру вібрації вузлів машини; ультразвуковий аналізатор, що дозволяє розділити високочастотні складові, обумовлені рухом газів, і низькочастотний шум механічної природи; індуктивний датчик; датчик тиску (тензодатчик, або датчик п'єзоелектричного типу).

Дефект виявляють за максимальним або середнім рівнями коливального процесу в смузі частот, обумовленою роботою з'єднання, що діагностується. Отримані результати порівнюють із нормативами. Нормативи визначають експериментально шляхом штучного введення дефектів або шляхом накопичування та статистичної обробки результатів експлуатаційних спостережень.

Можливість рішення математичної моделі в рамках прийнятих допущень полягає в одержанні однозначної відповіді про технічний стан об'єкта, що діагностується. Це означає, що в системі булевих функцій немає жодного збігу в наборі логічних змінних. За умови нульового набору логічних змінних [5] одержимо математичну модель справного технічного стану об'єкта діагностування.

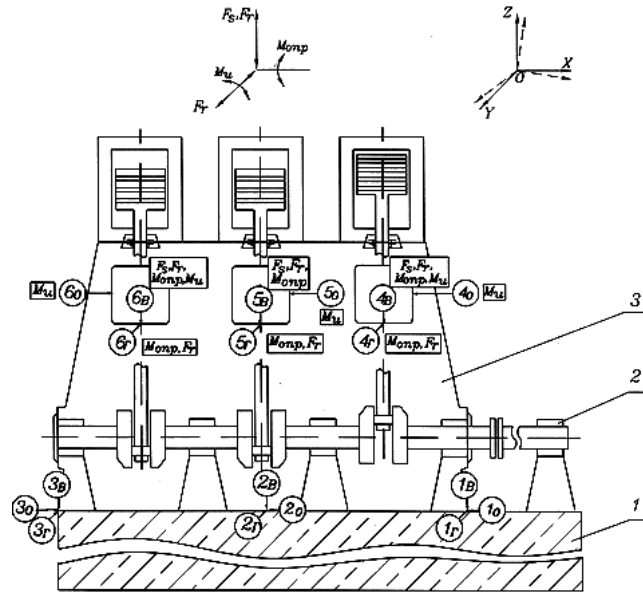


Рис. 4. Схема виміру вібрації дизеля:
1-6 – контрольні точки; 1 – під дизельна рама;
2 – опори колінчастого вала; 3 – кістяк дизеля

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Існуючі засоби і методи діагностування не дозволяють швидко, точно й однозначно розрізнити характерні несправності циліндро-поршневої групи, при цьому результат діагностичного висновку багато в чому визначається досвідом оператора та має суб'єктивний характер.

На основі виконаних досліджень запропоновано технологію ремонту ЦПГ з

застосуванням методів діагностування, що дозволяє підвищити надійність роботи тепловозних дизелів за рахунок покращення якості ремонту.

Запропоновані методи можуть бути покладені в основу створення єдиної системи аналізу працездатності двигуна тепловоза, а також можуть використовуватись як засоби постійного моніторингу технічного стану двигуна.

Список використаних джерел

1. Володин, А.И. Локомотивные энергетические установки [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А.И. Володин, В.З. Зюбанов, В.Д. Кузьмич [и др.]; под ред. А.И.Володина. – М.: ИПК "Желдориздат", 2002. – 718 с.
2. Головкин, В.Ф. Енергетичне обладнання рухомого складу залізниць [Текст]: навч. посібник / В.Ф. Головкин. – Харків: Видавництво "Нове слово", 2003. – 256 с.
3. Надточій, О.В. Діагностування циліндро-поршневої групи дизеля зернозбирального комбайна за віброакустичними параметрами [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / О.В. Надточій. – К.: Національний аграрний університет, 2001. – 22 с.
4. Никитин, Е.А. Диагностирование дизелей [Текст] / Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
5. Сараева, І.Ю. Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля [Текст]: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.22.20 / І.Ю. Сараева. – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2006. – 23 с.
6. Собенин, Л.А. Устройство и ремонт тепловозов [Текст]: учебник / Л.А. Собенин, В.И. Бахолдин, О.В. Зинченко, А.А. Воробьев. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 416 с.

7. Хомич, А.З. Диагностика и регулировка тепловозов [Текст] / А.З. Хомич, С.Г. Жалкин, А.Е. Симсон, Е.Д. Тартаковский. – М.: Транспорт, 1977. – 222 с.

8. Яманин, А.И. Динамика поршневых двигателей [Текст]: учеб. пособие / А.И. Яманин, А.В. Жаров. – М.: Машиностроение, 2003. – 464 с.

Жалкін Денис Сергійович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 093-911-10-40, (21-24). Email: abddd@mail.ru.
Тарасенко Максим Костянтинович, слухач групи МЗ-Л-Б-12 Української державної академії залізничного транспорту. Локомотивне депо Мелітополь. Тел. 067-419-97-18. Email: tmk_pos@mail.ru.

Denis Zhalkin, doct. of techn. sciences, Prof. dept. of maintenance and repair of rolling stock. Tel. +38093-911-10-40. Email: abddd@mail.ru.

Tarasenko Maxim, listener of the MZ-L-B-12 Locomotive depot Melitopol. Tel. +38067-419-97-18. Email: tmk_pos@mail.ru.

УДК 629.4.027

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДМОВ КОЛІСНИХ ПАР ТЕПЛОВОЗІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ FMEA-МЕТОДОЛОГІЇ

Канд. техн. наук Ю.М. Дацун, А.М. Філатов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ FMEA-МЕТОДОЛОГИИ

Канд. техн. наук Ю.Н. Дацун, А.М. Филатов

INVESTIGATION OF FAILURES OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES IN OPERATION USING FMEA-METHODOLOGY

Cand. of techn. sciences Y. Datsun, A. Filatov

У статті проведено аналіз видів і наслідків відмов і дефектів колісних пар тепловозів. Для кожного виду відмови та дефекту розраховано значення пріоритетного числа ризику. Для найбільш критичного дефекту запропоновано заходи зі зниження потенційних збитків.

Ключові слова: колісна пара, надійність, відмова, пошкодження, експлуатація, аналіз, тепловоз.

В статье проведен анализ видов и последствий отказов и дефектов колесных пар тепловозов. Для каждого вида отказа и дефекта рассчитано значение приоритетного числа риска. Для наиболее критического дефекта предложены меры по снижению потенциальных убытков.

Ключевые слова: колесная пара, надежность, отказ, повреждение, эксплуатация, анализ, тепловоз.

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is methodology for analyzing potential reliability problems early in the development cycle, where it is easier to take actions to overcome these issues & thereby enhancing reliability through design. A process or a design should be analyzed first before it is implemented and also before operating a machine the failure modes and effect must be analyzed critically.

This paper analyzes the types of failure mode and effects wheelsets locomotives. The characteristic of defect of wheelsets in use. According to statistics, the most frequently worn and damaged bandage of wheelset. By using expert techniques and special tables determines the rank of the effects of defect free, the frequency of occurrence and detectability.

Prioritization is done on the basis of risk priority numbers. The highest values of the priority of risk are determined for a thin bandage of wheelset. Declines are proposed due to the introduction of automated controls state.

This results in major cost savings in terms of quality features. The FMEA is a proactive approach to solve potential failure modes.

Keywords: wheelset, reliability, failure, damage, maintenance, analysis, locomotive.

Вступ. Ускладнення економічної ситуації в країні, зменшення обсягів виробництва викликає зниження вантажо- та пасажирообороту на залізниці, зменшення фінансування галузі. У таких умовах найбільш актуальними питаннями стають пошук резервів економії коштів і ресурсів, підтримання технічного стану рухомого складу. Одним з найбільш навантажених вузлів локомотивів, що безпосередньо впливають на безпеку руху є колісні пари. Отже, забезпечення їхньої надійності в експлуатації – актуальна проблема.

Оцінка наслідків їх відмов в експлуатації дозволить визначити найбільш пріоритетні напрямки підвищення надійності.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. На надійність колісних пар рухомого складу впливає цілий ряд зовнішніх факторів. Для визначення пріоритетних напрямків підвищення надійності колісних пар необхідно проводити аналіз їх відмов в експлуатації в конкретних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню надійності в експлуатації як локомотивів, так і їхніх вузлів присвячено багато робіт [1, 2]. Майже всі дослідження в цій сфері базувались на класичних засадах теорії надійності, де в якості математичного апарату використовувалась теорія ймовірностей, математична статистика [3, 4, 5]. Результатом таких робіт було встановлення та дослідження кількісних показників надійності, що не завжди давало відповідь щодо причин відмов і пошкоджень, шляхів їх попередження, можливих наслідків. Останнім часом все більшого поширення набувають якісні, кількісні та комбіновані методи дослідження, більшість з яких, разом з числовими методами, використовують опитування експертів та експериментальні дослідження [6, 7]. Застосування таких методів дозволяє виявляти причини та наслідки відмов і дефектів, формувати заходи з їх усунення.

Визначення мети та задачі дослідження. Провести дослідження відмов і дефектів колісних пар тепловозів із застосуванням FMEA-методології.

Основна частина дослідження. У наш час у технічних галузях найбільшого поширення отримав метод аналізу видів і

наслідків відмов, більш відомий як Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [8]. Його застосування дозволяє проаналізувати потенційні відмови та дефекти, їхні причини і наслідки, оцінити ризики їхньої появи і вжити заходів для усунення або зниження ймовірності та збитку від їхньої появи. Це один з найбільш ефективних методів для удосконалення конструкції технологічних об'єктів, процесів їх виготовлення та експлуатації, тобто всіх стадій життєвого циклу продукції.

Дослідження проводиться за певними етапами:

- складання переліку всіх потенційно можливих видів відмов і дефектів технічного об'єкта, при цьому враховують досвід реальних дій і можливих помилок персоналу в процесі експлуатації, при технічному обслуговуванні та ремонті аналогічних технічних об'єктів;

- визначення можливих негативних наслідків від кожної потенційної відмови та дефекту, проведення якісного аналізу тяжкості наслідків і кількісну оцінку їх значущості;

- визначення причини кожної потенційної відмови та дефекту і оцінка частоти виникнення кожної причини відповідно умов експлуатації, обслуговування, ремонту;

- оцінка достатності передбачених у технологічному циклі операцій, спрямованих на попередження відмов і дефектів в експлуатації, і достатності методів запобігання дефектів при технічному обслуговуванні та ремонті;

- кількісна оцінка можливості запобігання відмов і дефектів шляхом передбачених операцій з виявлення їхніх ознак на стадії експлуатації об'єкта;

- кількісна оцінка критичності кожної відмови та дефекту (з їх причинами) пріоритетним числом ризику ПЧР і при високому ПЧР проведення доопрацювання конструкції, виробничого процесу, а також вимог і правил експлуатації з метою зниження критичності даної відмови чи дефекту.

Згідно з рекомендаціями [9, 10] при аналізі мають розглядатись потенційні відмови вузла. Для отримання результатів по колісних парах тепловозів конкретного депо до уваги брались не потенційні відмови, а ті, що були визначені за аналізом статистичних даних відмов і дефектів.

Далі визначались наслідки відмов і дефектів і їх бали значущості S за спеціальною таблицею. Бал значущості змінюється від 1 – для менш значущих по збитках дефектів, до 10 – для більш значущих.

Для кожної потенційної причини виникнення відмови чи дефекту експертно визначався бал частоти виникнення O. При цьому враховувались експериментальні дані по відмовах колісних пар. Бал змінюється від 1 для дефектів, що виникають найрідше, до 10 – для дефектів, що виникають найчастіше. Для кожного дефекту визначають бал виявлення D, що змінюється від 10 для тих дефектів, виявлення яких практично неможливе, до 1 – для дефектів, що будуть достовірно виявлені. Приклади рекомендованих шкал оцінок подано в табл. 1-3. Після отримання експертних оцінок S, O, D обчислюють пріоритетне число ризику ПЧР за формулою

$$\text{ПЧР} = S \cdot O \cdot D. \quad (1)$$

Для пріоритетного числа ризику повинна бути заздалегідь встановлена критична межа (ПЧР_{гр}) від 100 до 125. Зниження ПЧР_{гр} відповідає створенню більш високоякісних і надійних об'єктів і процесів. Складають перелік дефектів / причин, для яких значення ПЧР перевищує ПЧР_{гр}. Саме для них і слід далі вести доопрацювання конструкції або виробничого процесу. За отриманими результатами видно, що найбільше значення ПЧР відповідає граничному зношенню бандажу, і як наслідок, пошкодженню його в експлуатації (табл. 4). Оскільки це пошкодження викликається природним зношенням в експлуатації, зниження його ПЧР можливе за рахунок удосконалення систем контролю стану бандажів (впровадження автоматизованих систем контролю).

Таблиця 1

Шкала оцінок значущості потенційної відмови чи дефекту (S)

Наслідок	Критерій значущості наслідку	Ранг
Небезпечний без попередження	Відмова (дефект) погіршує безпеку роботи чи/та викликає невідповідність обов'язковим вимогам безпеки та екології	10
Дуже важливий	Вузол непрацездатний із втратою основної функції	8
Важливий	Вузол працездатний, але рівень ефективності знижений	7
Слабкий	Вузол працездатний, але працює малоефективно	5
Відсутній	Вузол працездатний	1

Таблиця 2

Шкала оцінок виникнення відмови чи дефекту (O)

Імовірність відмови (дефекту)	Можлива частота виникнення	Ранг
Дуже висока, відмова майже неминуча	Більше 1 з 2	10
Помірна: випадкові відмови	Більше 1 з 80	6
Мала	Менше 1 з 1500000	1

Таблиця 3

Шкала оцінок виявлення відмови чи дефекту (D)

Виявлення	Правдоподібність виявлення при контролі	Ранг
Абсолютна невизначеність	Контроль не виявить потенційну причину і дефект, чи контроль непередбачений	10
Дуже слабке	Дуже обмежені шанси при контролі	7
Помірне	Помірні шанси виявлення при контролі	5
Майже стовідсоткове	Передбачений контроль майже завжди виявляє потенціальну причину і наступну відмову (дефект)	1

Таблиця 4

Протокол аналізу видів, причин і наслідків дефектів колісних пар

Вид дефекту	Наслідки дефекту	Ранг "S", бал	Причина дефекту	Ранг "O", бал	Заходи з виявлення дефекту	Ранг "D", бал	ПЧР, бал
Граничне зношення бандажа	Пошкодження бандажа	7	Зношення в процесі експлуатації, обточування в процесі ремонту	4	Визначається шаблоном при проведенні ТО2	4	<u>112</u>
Прокат	Пошкодження елементів кріплення рейок	5	Зношення при контакті з рейками та гальмівними колодками	3	Визначається шаблоном при проведенні ТО2	4	60
	Схід локомотива	10		3		3	90
Повзун	Пошкодження бандажа	7	Результат руху із заклиненою колісною парою	3	Визначається візуально та "на слух"	3	63
	Пошкодження елементів верхньої будови колії	5		3		3	45
Вищербини	Руйнування бандажа	9	Втомне пошкодження металу	1	Визначається візуально	3	27
	Пошкодження елементів верхньої будови колії	5		1		3	15

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У результаті застосування FMEA-методології для аналізу видів і наслідків відмов колісних пар тепловозів в експлуатації було визначено:

1. Найбільше значення пріоритетного числа ризику (ПЧР) дорівнює 112 та відповідає граничному зношенню бандажу.

2. Зменшення ПЧР для події «Граничне зношення бандажа» можливе за рахунок

удосконалення та автоматизації систем контролю стану бандажів.

Запропонована процедура аналізу в подальшому може бути використана для оцінки видів і наслідків відмов всього обладнання локомотива та локомотивів у цілому як у межах парку одного депо, так і експлуатованого парку Укрзалізниці.

Список використаних джерел

1. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст] / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
2. Головатый, А.Т. Электроподвижной состав: эксплуатация, надежность и технология ремонта [Текст] / А.Т. Головатый, П.И. Борцов и др. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. Проников, А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
5. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев и др. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
6. Бабешко, Е.В. Возможности совместного использования современных методов анализа отказов систем, важных для безопасности [Текст] / Е.В. Бабешко, В.С. Харченко // Функціональна безпека та живучість. – 2009. – С. 60-64.
7. Розно, М.И. Проектирование: с FMEA или без? [Текст] / М.И. Розно // Стандарты и качество. – 2001. – № 9. – С 32-37.
8. McDermott, R.E. The Basics of FMEA [Текст] / R.E. McDermott et al. - Productivity Press, New York, 2009. – 168 с.
9. Брагин, В.В. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов [Текст] / В.В. Брагин. – М.: Кнорус, 2012. – 241 с.
10. Система управления эффективностью поставок. Руководство по анализу видов и последствий потенциальных отказов продукции и технологических процессов [Текст] Стандарт ОАО «РЖД» 1.05.509.12-2008. – М.: Центр Приоритет, 2008. – 29 с.

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

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.

Філатов Артем Михайлович, слухач ІППК Української державної академії залізничного транспорту, помічник машиніста тепловоза локомотивного депо Дебальцеве-Сортувальне, Донецька залізниця.

Datsun Yuriy Mykolayovich cand. of techn. sciences, docent department of exплуатации та ремонту рухомого складу Ukraine State Academy of Railway Transport. Phone (057) 730-19-99.

Filatov Artem Ivanovich listener gr. MZ-L-B-12 IPPK Ukraine State Academy of Railway Transport, assistant locomotive driver locomotive depot Debaltseve-Sortuvalne, Donetsk Railway.

УДК 629.423-185.4(075.8)

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ TGV У ФРАНЦІЇ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, О.О. Циплаков

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ TGV ВО ФРАНЦИИ

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, А.А. Цыплаков

FEATURES OF OPERATION OF HIGH-SPEED TRAINS TGV IN FRANCE

Doct. of techn. sciences O. Babanin, O. Ciplakov

У статті висвітлені питання, пов'язані з характерними рисами експлуатації високошвидкісних поїздів у Франції. Розглянуто організацію прибуття на роботу машиністів, основні моменти визначення якості їх підготовки, порядок приймання й тестування технічного стану високошвидкісного поїзда перед поїздкою, а також основні принципи управління високошвидкісним поїздом TGV під час виконання поїздки.

Ключові слова: високошвидкісний поїзд, експлуатація, поїздка, інструктаж, склад, перемикач, режим, система, гальма, станція.

В статье освещены вопросы, связанные с характерными особенностями эксплуатации высокоскоростных поездов во Франции. Рассмотрена организация явки на работу машинистов, основные моменты определения качества их подготовки, порядок приемки и тестирования технического состояния высокоскоростного состава перед поездкой, а также основные принципы управления высокоскоростным поездом TGV во время выполнения поездки.

Ключевые слова: высокоскоростной поезд, эксплуатация, поездка, инструктаж, состав, переключатель, режим, система, тормоза, станция.

In the article are taken up the questions connected with prominent features of operation of high-speed trains in France. The organization arrival for work driver of a train, the basic moments of definition of quality of his preparation, the order of acceptance and testing of a technical condition of high-speed structure before a trip, and also main principles of management by high-speed train TGV during performance of a trip is considered.

Keywords: high-speed train, operation, trip, instructing, structure, the switch, mode, system, brakes, station.

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. У наш час роботу залізниць Франції неможливо уявити без високошвидкісного й швидкісного руху. Боротьба за швидкість у цій країні стала звичайним явищем. Економічна й соціальна привабливість високошвидкісного руху у масштабах держави схилила на його користь широку громадську думку. У той же час робота високошвидкісних поїздів, з урахуванням значно зрослих вимог, повинна забезпечуватися тільки грамотною й високотехнічною експлуатацією. На підставі цього у цій статті розглянуто питання, пов'язані з характерними

рисами експлуатації високошвидкісних поїздів TGV у Франції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час численні публікації про високошвидкісні поїзди [1,2,6] здебільшого відображають, як правило, питання історії їх створення, конструктивні особливості й окремі технічні характеристики. У той же час в них відсутні дані про характерні особливості експлуатації цих унікальних транспортних засобів, які б розкривали основні умови роботи машиністів при підготовці й проведенні поїздки.

Мета дослідження. Мета цієї статті – заповнити певну прогалину і відобразити

основні положення, пов'язані з організацією експлуатації машиністами високошвидкісних поїздів на французьких залізницях.

Основна частина. Перш ніж розглядати експлуатаційні питання необхідно виділити чотири основні закономірності, які характерні для залізниць Франції:

1. Весь рух на залізницях Франції (так само, як в Англії, Бельгії й ряді інших країн) тільки лівосторонній. Це висуває відповідні вимоги до розташування посадочних платформ, сигналів, сигнальних покажчиків та інших залізничних споруд;

2. Обслуговування поїздів усіх видів здійснюється тільки в "одну особу", тобто одним машиністом. Це ж стосується й високошвидкісних поїздів TGV, що значною мірою підвищує їх особисту відповідальність при виконанні поїздки;

3. Організація руху високошвидкісних поїздів TGV на всіх напрямках і ділянках їх експлуатації здійснюється тільки в денний час, починаючи з 7 години ранку й закінчується о 19-21 годині увечері. Необхідно підкреслити, що в службових графіках і розкладах руху поїздів Франції відлік часу доби починається від кожних 12 годин доби (тобто немає такого об'єднання добового часу від 0 до 24 годин, як на залізницях України);

4. У французькій службовій термінології відсутнє як таке поняття "машиніст". Є основне поняття "водій потяга" (*le conducteur du train*), яким іменуються всі особи, які управляють будь-яким тяговим рухомим складом на залізницях Франції. Рівною мірою це стосується й осіб, які управляють високошвидкісними поїздами і які йменуються як "водій високошвидкісного потяга" (*le conducteur du train rapide*).

У 2003 році державна залізнична компанія SNCF провела структурну реорганізацію своїх підрозділів, у результаті якої всі ділянки забезпечення експлуатаційної роботи високошвидкісного руху були виведені зі складу локомотивних депо [1]. На підставі цього на всіх вокзалах Франції, звідки відправляються в рейс (і прибувають після нього) високошвидкісні поїзди TGV, були організовані спеціальні підрозділи, які очолюються оперативними розпорядниками руху. Машиністи поїздів TGV безпосередньо прибувають на роботу саме в ці підрозділи,

звідки й починається їх подальша трудова діяльність.

Регламент прибуття на роботу машиністів і подальше виконання ними своїх обов'язків такий [7].

З'явившись на роботу, машиніст пред'являє оперативному розпоряднику руху своє службове посвідчення особи й одержує від нього спеціальний особистий документ (так звану "поїзну чип-карту"). Ці чип-карти для кожного машиніста окремо в перервах між їхніми поїздками постійно зберігаються в оперативного розпорядника руху.

У цьому ж приміщенні розміщено спеціальний відеотермінал, що виконує для машиністів такі операції: їх ідентифікацію, медичний експрес-контроль, інструктаж перед поїздкою й видачу спеціальних супровідних проїзних документів.

Машиніст вставляє отриману службову чип-карту в цей відеотермінал і вводить на клавіатурі індивідуальний пін-код. У результаті відеотермінал активізується й у діалоговому режимі виконує такі операції:

- по команді машиніста здійснює медичний експрес-контроль його працездатності за основними параметрами (температура тіла, величина артеріального тиску, частота пульсу, а також ряд інших параметрів). Ці параметри визначаються за допомогою додаткового пристрою, який поєднаний з цим відеотерміналом. Після виконання цієї операції на дисплей виводяться отримані експрес-параметри й відповідний допуск про готовність машиніста до рейсу;

- далі по команді машиніста на дисплей виводиться остання оперативна інформація (з відповідним підтвердженням машиністом) щодо забезпечення його конкретної поїздки, а також роздруковується встановленої форми спеціальний шляховий лист, даними якого він керується у своїй поїздки і повертається його особиста чип-карта. Під час поїздки особиста чип-карта перебуває безпосередньо в машиніста.

Після цього машиніст одержує ключі від оперативного розпорядника руху й проходить до свого поїзда, що вже стоїть підготовленим на платформі. Відчинивши ключами зовнішні двері, машиніст піднімається в кабінку управління поїздом і починає його приймання.

У процесі приймання TGV машиніст:

- перевіряє правильність установлення всіх перемикачів на центральному щиті, які забезпечують працездатність поїзда під час його руху;

- установлює перемикачі режиму ведення поїзда в положення, що відповідають параметрам для рушання з місця й подальшого руху по ділянці;

- виконує тестування на працездатність основних систем поїзда за допомогою бортового комп'ютера за спеціальною програмою (рис. 1);

- звіряє відповідність усіх позначок про виконання технічних обслуговувань у бортовій документації (рис. 2);

- перевіряє правильність спрацювання гальм за повітряними манометрами пульта управління залежно від положення рукоятки гальмового крана.

Після того, як виконані всі перевірки, машиніст очікує дозвільне показання сигналу світлофора та з його появою зачиняє двері поїзда і відправляється зі станції.

Шляховий лист (рис. 3) під час руху високошвидкісного поїзда TGV постійно перебуває в полі зору машиніста на селекторі вибору тягових режимів. У ньому вказуються характерні місця заданої ділянки його роботи, такі як примикання й перетинання з іншими ділянками залізниці, мости, віадуки, зупинні станції, секціонування контактної мережі й ін.

а)



б)



Рис. 1. Тестування систем (а) і перевірка гальм (б) при прийманні високошвидкісного поїзда TGV

а)



б)



Рис. 2. Перевірка машиністом вимикачів центрального щита управління в кабіні (а) і бортової сервісної документації (б)

Шляховий лист

12.06.2012 11-30

Водій - J.Valencio

Потяг TGV Sud-Est №4615

Маршрут 6615 Париж - Ліон

12-53	■		Париж (вокзал Gare de Lyon)
	└─┘	0	Примикання до лінії Combs-la-Ville
	══		Секціонування контактної мережі (1500V/25кV)
1-04	└─┘	17,1	Примикання до окружної лінії LGV коло Парижу
	⌋⌋	115,5	Віадук через річку l'Armançon (60 м)
	⌋⌋		Віадук над звичайною лінією Париж - Дижон
	└─┘	117,9	Примикання до лінії Париж - Дижон
	└─┘	161,7	Примикання до лінії Париж - Марсель
	⌋⌋		Віадук (sur l'autoroute) через автостраду A6 (65 м)
	⌋⌋	191,1	Міст через річку le Serein (86 м)
	⌋⌋	253,5	Міст через річку la Digoine (56 м)
1-55	●	273,8	Технічна станція Le Creusot TGV
	⌋⌋		Віадук над лінією Нерс - Дижон (45 м)
	⌋⌋	321,1	Віадук de la Roche (45 м)
2-09 (2хв)	●	334,0	Станція Macon - Loche TGV
	└─┘	335,0	Примикання до лінії Париж - Марсель
	⌋⌋		Віадук (sur l'autoroute) через автостраду A6 (65 м)
	└─┘	336,0	Примикання до лінії Марсель - Дижон
	⌋⌋		Віадук над лінією Марсель - Дижон (56 м)
	⌋⌋	337,5	Міст через річку de la Saone (40 м)
	└─┘	337,9	Примикання до лінії Макон - Женева
	└─┘	380,5	Примикання до високошвидкісної лінії LGV Rhone - Alpes
2-13	└─┘	389,3	З'єднання зі звичайною лінією Дижон - Ліон і кінець LGV
	══		Секціонування контактної мережі (25кV/1500V)
2-56	■	553,6	Вокзал станції Ліон

Особиві умови _____

Оперативний розпоряджувач _____ L.Rafaelio

Рис. 3. Зразок шляхового листа на поїздку високошвидкісного поїзда TGV на ділянці Париж – Ліон

Кожний високошвидкісний поїзд TGV під час руху управляється за допомогою відповідних органів, які розташовуються на пульті управління в кабіні поїзда [1].

До основних органів управління TGV належать: селектор тяги; перемикач вибору режимів струмознімання; перемикач режимів струмоприймачів; дистанційний гальмовий кран.

Селектор тяги призначений для збільшення або зменшення тягової потужності

поїзда залежно від умов його руху та команд сигналізації. Типи селекторів тяги показані на рис. 4. Під час руху поїзда машиніст може повертати кермо (або важільну тягу) селектора в ту або іншу сторону і таким чином збільшувати або зменшувати силу тяги поїзда. На селекторі тяги (у верхній частині) є спеціальне місце, куди кладеться шляховий лист, що постійно перебуває в полі зору машиніста.

а)



б)

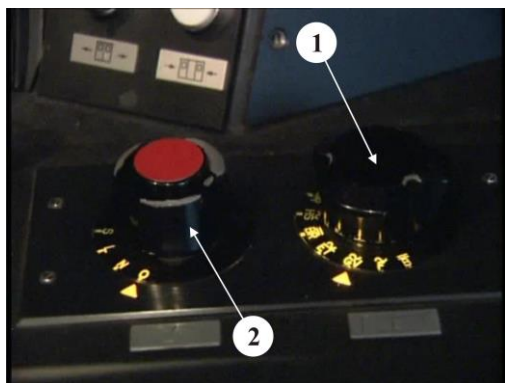


Рис. 4. Селектори тяги поїзда TGV з рульовим керуванням (а) і важільного типу (б)

На пульті управління розташовуються також спеціальні перемикачі (рис. 5, а). За допомогою перемикача 2 машиніст може управляти струмоприймачами, а перемикачем 1

здійснювати вибір режимів роботи силового обладнання, залежно від параметрів енергоживлення ділянки, на якій він експлуатується.

а)



б)



Рис. 5. Перемикачі режимів роботи, які розташовуються на пульті управління TGV (а) і машиніст під час ведення поїзда (б)

Після виконання всіх підготовчих операцій машиніст очікує дозвоільне показання сигналу світлофора на відправлення поїзда. Як тільки він з'являється, машиніст натисканням на кнопку автоматично зачиняє всі двері поїзда й з появою контролю (загоряється сигнальна лампа "двері зачинені") переходить у режим тяги.

Ділянки обслуговування високошвидкісних поїздів охоплюють на цей час практично більше половини території Франції.

Схема ліній TGV показана на рис. 6, а характеристики ділянок обороту на них високошвидкісних поїздів наведені в таблиці [1, 3].

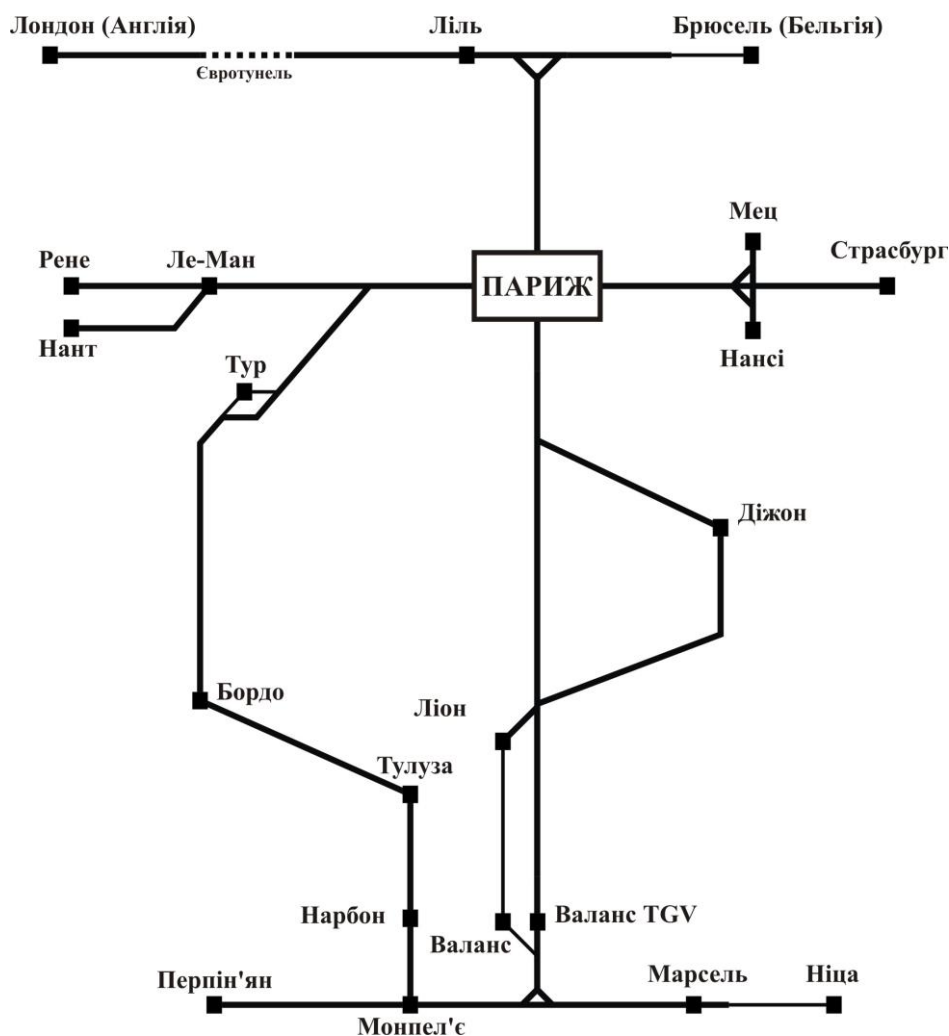


Рис. 6. Лінії, де працюють високошвидкісні поїзди TGV

Євротунель, тунель під Ла-Маншем (фр. tunnel sous la Manche, англ. Channel Tunnel, також іноді просто Euro Tunnel) – залізничний двоколіїний тунель, загальною довжиною близько 51 км, з яких 39 км розміщено під протокою Ла-Манш. Він з'єднує залізничним сполученням континентальну Європу з Великобританією. Завдяки тунелю стало

можливим відвідувати Лондон, відправившись із Парижа, усього за 2 год 15 хв. У самому тунелі поїзди перебувають від 20 до 35 хв. Євротунель був урочисто відкритий 6 травня 1994 року. Схема ділянки обороту поїздів Євростар міжнародної лінії LGV Nord Europe між Парижем і Лондоном наведена на рис. 7.



Рис. 7. Схема ділянки обороту поїздів Євростар

Розглянемо найбільш характерну ділянку обслуговування високошвидкісних поїздів Париж-Валанс, Валанс-Перпін'ян і Марсель-Валанс на лініях TGV Sud-Est, TGV Rhone-Alpes і TGV Mediterranee (рис. 8).

На ділянці обороту Париж-Валанс для машиністів початковим пунктом є Париж (вокзал Гар де Ліон). У цьому пункті машиніст приймає поїзд TGV і прямує до кінцевого

пункту Валанс, що є для нього пунктом обороту. Потім у Валансі машиніст відпочиває (у спеціальних кімнатах відпочинку), після чого за графіком приймає поїзд TGV зворотного напрямку і повертається на ньому до Парижа. Середній час проходження в один кінець становить 1 год 56 хв, а загальний час за одну поїздку становить 3 год 52 хв.

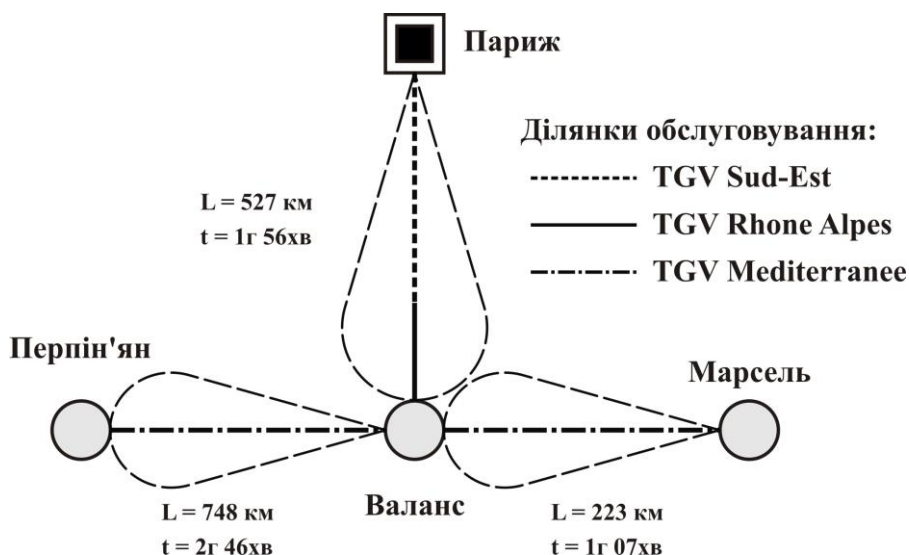


Рис. 8. Ділянки обороту Париж-Валанс-Перпін'ян-Марсель

Аналогічно здійснюється оборот поїздів TGV на ділянці обслуговування Валанс-Перпін'ян. Тут початковим для машиніста є Валанс, а кінцевим Перпін'ян. Середній час проходження в один кінець становить 2 год 46 хв, а загальний час за одну поїздку становить 5 год 32 хв.

Робота машиніста є найбільш престижною професією на залізницях Франції. За загальною класифікацією, що прийнята на залізницях Франції, робота всіх машиністів

розподіляється на 2 класи й 18 розрядів. Першим є клас ТА, до якого належать машиністи, що працюють на другорядних видах і маневровій роботі. У свою чергу клас ТА підрозділяється на два підкласи ТА1 (з розрядами від 5 до 7) і ТА2 (з розрядами від 8 до 10). Другим класом є ТВ, до якого належать машиністи, які працюють на лініях. Він теж розподіляється на три підкласи: ТВ1 (розряди 9-10), ТВ2 (розряди від 11 до 14) і ТВ3 (розряди від 15 до 18).

Таблиця

Ділянка	Довжина, км	Час проходження по ділянці	Мінімальний час відпочинку в пункті обороту
Париж – Ліон	462	1 год 22 хв	4 год
Париж – Валанс TGV	527	1 год 56 хв	4 год
Валанс – Марсель	223	1 год 07 хв	3 год
Марсель – Ніцца	630	2 год 54 хв	6 год
Валанс – Нарбон	585	2 год 20 хв	4 год
Валанс – Монпельє	304	1 год 16 хв	3 год
Тулуза – Нарбон	375	1 год 16 хв	3 год
Валанс – Перпіньян	730	2 год 46 хв	6 год
Бордо – Тулуза	641	2 год 10 хв	6 год
Париж – Бордо	975	3 год 15 хв	6 год
Тур – Бордо	704	2 год 20 хв	6 год
Париж – Тур	271	0 год 55 хв	3 год
Париж – Ле-Ман	202	1 год 05 хв	3 год
Париж – Рене	350	2 год 14 хв	4 год
Париж – Нант	383	2 год 18 хв	4 год
Париж – Лондон	496	2 год 15 хв	4 год
Париж – Лілль	269	1 год 02 хв	3 год
Париж – Брюссель	376	1 год 22 хв	3 год
Париж – Мец	312	1 год 24 хв	3 год
Париж – Нансі	322	1 год 30 хв	3 год
Париж – Страсбург	715	2 год 25 хв	4 год
Париж – Діжон	476	1 год 36 хв	3 год

Усі машиністи, які працюють на високошвидкісних поїздах TGV, належать до підкласу ТВЗ. Необхідно відмітити, що машиніст високошвидкісного поїзда TGV може працювати тільки на одній ділянці обслуговування. При переході на іншу ділянку (що буває вкрай рідко) машиніст повинен пройти навчання в центрі професійної підготовки й скласти відповідні іспити. Тільки після навчання, складання іспитів і дублерських поїздок йому вручається посвідчення на право самостійної роботи на цій ділянці.

Максимальна тривалість безперервної роботи машиніста високошвидкісного поїзда TGV в одну сторону (відповідно до договору з SNCF і профспілкою залізничників) не повинна

перевищувати 6 год. Час відпочинку за місцем проживання надається машиністові не за загальним часом його роботи, а за сукупним кілометражем пробігу за всю поїздку й може становити від 22 до 16 год. Відпочинок у пунктах обороту, як правило, регламентується графіком руху й обороту високошвидкісних поїздів.

Висновки. У статті розглянуто характер експлуатації високошвидкісних поїздів TGV у Франції. Виділено особливості передрейсової підготовки машиніста до поїздки, приймання ним поїзда та відповідних умов роботи на високошвидкісних ділянках. Наведено основні характеристики ділянок обороту та організацію на них праці й відпочинку машиністів високошвидкісних поїздів TGV.

Список використаних джерел

1. Анисимов, П.С. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда [Текст]: монография / П.С. Анисимов, А.А. Иванов. – М.: ФГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2011. – 542 с.

2. Киселев, И.П. Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов [Текст] / И.П. Киселев // Железные дороги мира. – 2006. – № 1. – С. 18-41.
3. Обслуживание пассажиров на железных дорогах Франции [Текст] // Железные дороги мира. – 1999. – № 12. – С. 26-29.
4. Техническое обслуживание и ремонт высокоскоростных поездов Eurostar и Thalys [Текст] // Железные дороги мира. – 2002. – № 3. – С. 40-46.
5. Machefert-Tassin Y. Différents aspects de la LGV britannique // Chemins de fer. – 2003. – № 482. – P. 14-17.
6. Железные дороги Европы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.raileurope.com/us/point_to_point/ 05.04.2013 г. – Загл. с экрана. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.encydia/en/Sud-Est_LGV/ 02.04.2013 г. – Загл. с экрана.
7. TGV Paris Area Line Map [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trainweb.org/tgvpages/> 12.04.2013 г. – Загл. с экрана.
8. TGV – скоростной французский электропоезд [Электронный ресурс] / Железные дороги России и мира. – Режим доступа: <http://www.1520mm.ru/superTrain/tgv.phtml/> 02.04.2013 г. – Загл. с экрана.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту.
Циплаков Олександр Олександрович, група МЗ-ЛБ-12.

Babanin O., dr. of techn. sciences, Ciplakov O.

УДК 629.423.1

ГИБРИДНА ПЕРЕДАЧА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА

Асп. О.Д. Жалкін

ГИБРИДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА

Асп. А.Д. Жалкин

HYBRID TRANSMISSION FOR DIESEL TRAIN

Postgraduate O. Zhalkin

У статті проведено аналіз схем гібридних установок тепловозів. Обрано гібридну пневматичну передачу, запропоновано обладнати нею дизель-поїзди, що більшу частину часу працюють на неекономічних і неекологічних режимах.

Ключові слова: гібридна силова установка, гібридна передача, дизель-поїзд, вільнопоршневий двигун, стиснуте повітря, пневмосистема.

В статье проведен анализ схем гибридных установок тепловозов. Выбрана гибридная пневматическая передача, предложено оборудовать ею дизель-поезда, которые большую часть времени работают на неэкономических и неэкологических режимах.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, гибридная передача, дизель-поезд, свободнопоршневой двигатель, сжатый воздух, пневмосистема.

The article analyzes schemes of hybrid power plants of using locomotives. Selected hybrid pneumatic transmission been proposed for equip diesel trains, that most of the time working on non-economic and non-environmental conditions.

Keywords: *hybrid power plant, hybrid transmission, diesel train, a free-piston engine, compressed air, pneumatic system.*

Вступ. Нині на залізницях України для перевезення пасажирів у приміському русі використовуються дизель-поїзди серії Д, Д1 (Угорщина), ДР-1А, ДР-1П (Латвія), поїзди з локомотивною тягою ДПЛ1 (з тепловозом М62, Україна), ДПЛ2 (з тепловозом 2ТЕ116, Україна). Понад 86 % їхнього парку потребує списання або модернізації.

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) як силовий агрегат дизель-поїзда на ряді експлуатаційних режимів (розгін, малі навантаження, холостий хід та ін.) працює вкрай неекономічно і з підвищеним вмістом шкідливих компонентів у відпрацьованих газах.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз схем гібридних силових установок (ГСУ) показав, що основна мета їх використання визначається можливістю застосовувати ДВЗ меншої потужності, підвищенням коефіцієнта використання потужності та реалізацією найбільш економічних режимів його роботи, зниженням кількості токсичних речовин, що викидаються в атмосферу на 50-85 %;

Гібридні силові установки з накопичувачами електричної енергії неможливо застосовувати на тепловозах та дизель-поїздах з гідравлічною або гідромеханічною передачею потужності.

Наукова сторона проблеми полягає у вирішенні таких завдань:

- визначення потужності та інших параметрів основних елементів гібридної силовой установки;
- вибір елементної бази та розроблення силових схем;
- розроблення методик розрахунку характеристик і систем управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвинених країнах відомі американо-канадський проект «Green Goat», проекти таких компаній, як «Alstom», «GE», «Hitachi». У Російській Федерації побудовані маневровий локомотив з гібридною силовою установкою ЛГМ1 [1], маневровий тепловоз з комбінованою гібридною силовою установкою ТЕМ35 [2], маневрово-вивізний тепловоз з

гібридним тяговим приводом ТЕМ-9Н «SinaraHybrid» [3].

В Україні розроблені [4,5,8] проекти маневрового тепловоза ТЕМ106 з гібридною силовою установкою потужністю 882 кВт і модернізовано тепловози ЧМЕЗ із застосуванням гібридної установки, що складається з одного або двох дизель-генераторів потужністю 350-700 кВт і накопичувача з акумуляторів і суперконденсаторів ємністю 50 МДж.

У разі пневматичної передачі як робоче тіло використовується повітря і (або) продукти згоряння палива [6,7].

Визначення мети та задачі дослідження. Мета статті полягає в розробленні схеми гібридної передачі потужності дизель-поїзда з гідравлічною передачею та можливостей її використання на залізницях України.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити ряд питань: визначити параметри основних елементів системи; розробити принципи керування гібридною передачею, оцінити тягові характеристики дизель-поїзда.

Основна частина досліджень. Одним з перспективних напрямків модернізації для дизель-поїздів з гідравлічною (гідромеханічною) передачею потужності є застосування гібридної силовой установки з пневматичними акумуляторами (ПА), енергія в яких створюється вільно-поршневим двигуном (ВПДК).

На рисунку у вигляді блочної схеми подана запропонована ГСУ дизель-поїзда.

ГСУ містить ДВЗ 4, від якого крутний момент через гідропередачу 3, карданні вали 5 та осьові редуктори 6 передається на рушійні колісні пари 2, які рамою 1 об'єднані у візок. ДВЗ кожного головного вагона є основним джерелом енергії. Іншим джерелом енергії є пневмосистема, до якої входять ВПДК 11, електромагнітний зворотний клапан високого тиску 10, пневмобалони 9, газовий редуктор високого тиску 8, електронний регулятор тиску 14 з електропневмоклапаном 15, які конструктивно являють собою регульований дросельний пристрій. Основна задача цього пристрою полягає у тому, щоб забезпечити необхідний рівень тиску стиснутого повітря на вході в головний (маневровий) пусковий клапан 17, який через повітророзподільник 18

та пускові клапани з пневматичним приводом 19 подає стиснуте повітря у кожний циліндр ДВЗ при вимкненій подачі палива, що приводить до обертання колінчастого вала, тобто ДВЗ починає працювати як

пневмодвигун і через штатну гідропередачу 3, карданні вали 5, осьові редуктори 6 крутний момент передається на рушійні колісні пари 2 і відбувається рух дизель-поїзда.

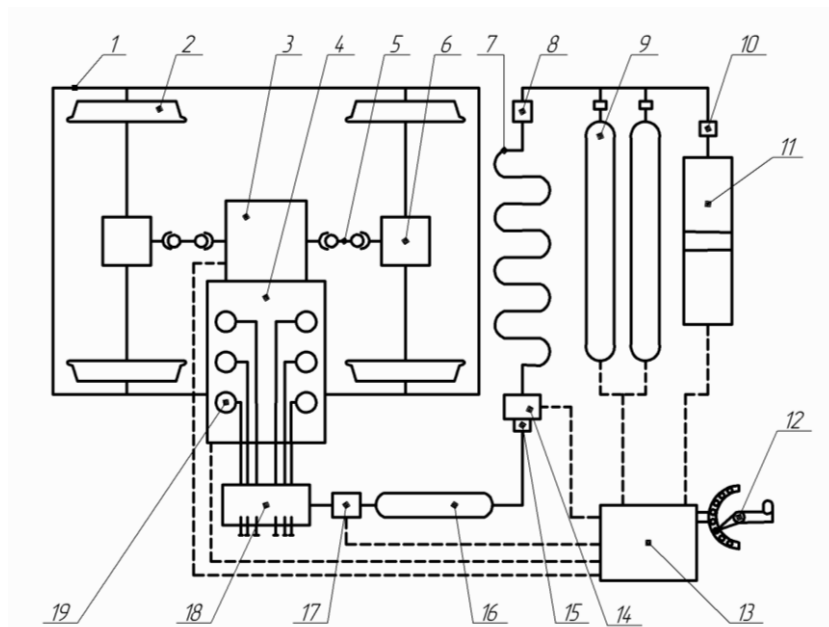


Рис. Схема гібридної силової установки дизель-поїзда:

1 – рама візка; 2 – рушійна колісна пара; 3 – гідропередача; 4 – ДВЗ; 5 – карданний вал; 6 – осьовий редуктор; 7 – теплообмінник з навколишнім середовищем; 8 – газовий редуктор високого тиску; 9 – пневмобалон з запобіжним клапаном; 10 – електромагнітний зворотний клапан високого тиску; 11 – ВПДК; 12 – контролер машиніста; 13 – електронний блок керування; 14 – електронний регулятор тиску; 15 – електропневматичний клапан регулятора; 16 – повітряний ресивер; 17 – головний пусковий клапан; 18 – повітряний розподільник; 19 – пускові пневматичні клапани

Енергоносієм у пневмосистемі є стиснуте до високого тиску (наприклад 15...25 МПа) повітря, що зберігається у пневмобалонах 9 при температурі навколишнього середовища та постійно поповнюється автономним ВПДК 11. Повітря, що надходить із пневмобалонів 9, дроселюється в газовому редукторі високого тиску 8 до робочого тиску 0,8...1,0 МПа (але не вище максимального тиску згоряння P_z у циліндрі при повному навантаженні ДВЗ).

Узгодженість роботи ДВЗ – пневмодвигуна і ВПДК забезпечує електронний блок керування 13, що одержує інформацію про тягове зусилля КСУ, яка надходить від контролера машиніста 12 та від датчиків, що реєструють режими роботи кожного з елементів пневмосистеми і наявність стиснутого повітря в пневмобалонах 9.

Керування роботою елементів ГСУ здійснюється в такій послідовності. При наближенні дизель-поїзда до зупинки машиніст на певній відстані (наприклад у 1 км) вимикає двигун 4, який був тяговим, і додатковим контактом контролера машиніста 12 надає сигнал електронному блоку керування 13, який подає команду електронному регулятору тиску 14 та його електропневмоклапану 15 на подачу стиснутого повітря до головного (маневрового) пускового клапана 17 і далі повітряний розподільник 18 спрямовує повітря до пускових пневматичних клапанів 19. З моменту обертання колінчастого вала гідропередача 3 з режиму змазування (холостого ходу) переходить у режим навантаження та передає крутний момент колісним парам 2. При зупинці дизель-поїзда

від дії штатного пневматичного гальма гідропередача 3 вимикається і за сигналом її датчика електронний блок керування 13 через електронний регулятор тиску 14 зупиняє подачу стиснутого повітря.

Початок руху дизель-поїзда після стоянки здійснюється також за сигналом контролера машиніста 12 електронному блоку керування 13 і дія пневмосистеми ГСУ повторюється з тією різницею, що гідропередача 3 відразу починає роботу у режимі навантаження. Після віддалення від стоянки на відстань у 1 км машиніст вмикає двигун головного вагона, який рухається вперед, і установлює позицію контролера машиніста 12, яка відповідає швидкості руху дизель-поїзда (за показниками штатного швидкостеміра), при цьому одночасно вимикається електронним блоком керування пневмосистема забезпечення стиснутим повітрям пневмодвигуна, який стає традиційним ДВЗ. ВПДК 11 працює незалежно від роботи двигуна/пневмодвигуна 4, як

правило, поза стоянкою. Паливом ВПДК забезпечується штатною паливною системою дизель-поїзда.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Гібридні передачі тепловозів з електричними накопичувачами складніші і дорожчі за традиційні з двигунами внутрішнього згорання.

У гібридних тепловозах виникає проблема складної та дорогої утилізації відпрацьованих акумуляторів.

Неможливе застосування гібридних силових установок на тепловозах та дизель-поїздах з гідропередачею.

Запропонована гібридна силова установка забезпечує зменшення витрати палива та викидів відпрацьованих газів за рахунок скорочення часу роботи двигуна на неекономічних та неекологічних режимах (холостому ході, малих навантаженнях та неусталених процесах) при збереженні динамічних характеристик.

Список використаних джерел

1. Щербаков, В.Т. Маневровые локомотивы с комбинированной (гибридной) силовой установкой [Текст] / В.Т. Щербаков, Л.М. Бондаренко, Ю.П. Ерохин // Локомотив. – 2011. – № 8. – С. 33-36.
2. ТЭМ35: на БМЗ проходят испытания первого в отечественной практике гибридного тепловоза [Текст] // Трансмашхолдинг. – 2013. – № 2. – С. 14-18.
3. Маневровый тепловоз ТЭМ9Н SinaraHybrid с гибридной силовой установкой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sinara-group.com/about/structure/stm/LTZ/Production_LTZ/TEM9N.
4. Михеев, С.А. Маневровый тепловоз с энергосберегающей силовой установкой [Электронный ресурс] / С.А.Михеев, Н.М.Найш. – Режим доступа: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/454/22/Micheev.pdf>.
5. В Луганске модернизируют тепловозы для украинских железных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cxid.info/v-luganske-moderniziruut-teplovozy-dlya-ukrainskih-jeleznyh-dorog-n112983>.
6. Глаголев, Н.М. Тепловозы [Текст] / Н.М.Глаголев. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – 388 с.
7. Петров, П.П. Комбинированные энергетические установки для железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / П.П. Петров. – Режим доступа: http://www.ekip.pro/stati/keu_gt.pdf.
8. Фалендиш, А.П. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах [Текст] / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець // Локомотив-информ. – 2010. – № 12. – С. 4-7.

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

Жалкін Олексій Денисович, аспірант, асистент каф. ЕРРС Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 093-545-53-59, (21-24). email amp123@mail.ru.

Oleksii Zhalkin, postgraduate, assistant of cathedra maintenance and repair of rolling stock. Tel. +38093-545-53-59, email amp123@mail.ru.

УДК 621.81

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ
ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ**

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, В.І. Громов

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА**

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, В.И. Громов

**FORECASTING OF THE INCREASE THE RESOURCE TRACTIVE TRANSMISSIONS
ELECTRIC TRAIN TO ACCOUNT OF THE IMPROVEMENT TO TECHNOLOGIES OF THE
REPAIR**

Doct. of techn. sciences O. Babanin, V. Gromov

Обґрунтовано актуальність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на подовження встановлених термінів експлуатації електропоїздів. Виділено важливість розробок щодо забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності тягових зубчатих передач за рахунок удосконалення технології їх ремонту. Наведено математичні залежності для визначення лінійних зносів зубців шестерень та коліс для режимів припрацювання, нормальної експлуатації та аварійного зношення. Представлено результати досліджень з оцінювання ресурсу тягових передач при їх комплектації ремонтними шестірнями та колесами з різним ступенем зносу.

Ключові слова: електропоїзд, тягова зубчата передача, знос, ресурс, удосконала технологія ремонту.

Обоснована актуальность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на продление установленных сроков эксплуатации электропоездов. Выделена важность разработок по обеспечению эксплуатационной надежности и долговечности тяговых зубчатых передач за счет усовершенствования технологии их ремонта. Приведены математические зависимости для определения линейного износа зубьев шестерен и колес для режимов приработки, нормальной эксплуатации и аварийного изнашивания. Представлены результаты исследований по оценке ресурса тяговых передач при их комплектации ремонтными шестернями и колесами с различными степенями износа.

Ключевые слова: электропоезд, тяговая зубчатая передача, износ, ресурс, усовершенствованная технология ремонта.

Motivated urgency research and research and development work, directed on extension of the installed periods to usages electric train. Chosen importance of the developments on ensuring the serviceability and longevity tractive transmissions to account of the improvement to technologies of their repair. The mathematical dependencies are brought for determination of the linear wear-out teeth travell about for mode of the wear-in, normal usage and emergency wear-out. The Presented results of the studies on estimation of the resource of the tractive transmissions under their completing repair anything numbered six and wheel with different degree of the wear-out.

Keywords: electric train, tractive transmission, wear-out, resource, advanced technology of the repair.

Вступ. У здійсненні на мережах залізниць України пасажироперевезень у приміському сполученні моторвагонний рухомий склад (МВРС) посідає провідне місце.

Намітилась стійка тенденція до використання МВРС інвентарного парку Укрзалізниці в місцевих і прямих перевезеннях [1,2].

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Основу інвентарного парку електричного МВРС Укрзалізниці складають електропоїзди (ЕП) серій ЕР2 (2Р,Т), ЕР9Т (М,П), ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т, які в більшості функціонують у наднормативний термін. З урахуванням повільного впровадження нових серій ЕП актуальності набувають науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, спрямовані на обґрунтоване подовження встановлених заводами-виробниками строків експлуатації МВРС. Серед комплексу таких робіт слід виділити розробки, спрямовані на забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності основних конструктивних модулів секцій ЕП, до яких належать екіпажна частина, тяговий привід і, зокрема, тягова зубчата передача (ТЗП) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним показником, що регламентує надійність і ресурс ТЗП, є зношування зубців шестірні і колеса. Це складний процес, що залежить від великої кількості факторів. Зі збільшенням тривалості роботи ТЗП відбувається поступова зміна умов зношування. Змінюються умови змащення, динамічний режим навантаження, характер взаємодії зубців та ін. [4].

До останнього часу отримали розвиток роботи, спрямовані на подовження терміну експлуатації ТЗП за рахунок застосування РВС-технології – процесу утворення модифікованого шару на поверхнях пар тертя

за рахунок додавання ремонтно-відбудовних сполучень (РВС) у мастило, яке вже має у своєму складі продукти тертя [5,6]. Разом з тим результати проведених в Українській державній академії залізничного транспорту досліджень показали, що перспективним напрямком збільшення ресурсу ТЗП може бути використання удосконаленої технології ремонту, при якій забезпечується обґрунтований селекційний підбір пар «шестірня-колесо» з відповідними ступенями зносу зубців за хордами ділительних кіл δ_1 і δ_2 [3,7,8].

Визначення мети і задачі дослідження. В статті подані результати дослідження, спрямованого на прогнозування збільшення ресурсу тягових зубчатих передач електропоїздів за рахунок реалізації цього напрямку.

Основна частина дослідження. Залежність зростання лінійного зносу δ контактуючих поверхонь від часу тривалості роботи t для найбільш загального випадку звичайно виражають типовою кривою (рис. 1), запропонованою В.Ф. Лоренцом [6, 9]. Така крива має три ділянки, що відповідають трьом періодам зношувального процесу: *I* – припрацювання (тривалістю за часом t_1), *II* – сталого зношування (тривалістю t_2), *III* – інтенсивного аварійного зношування (тривалістю t_3).

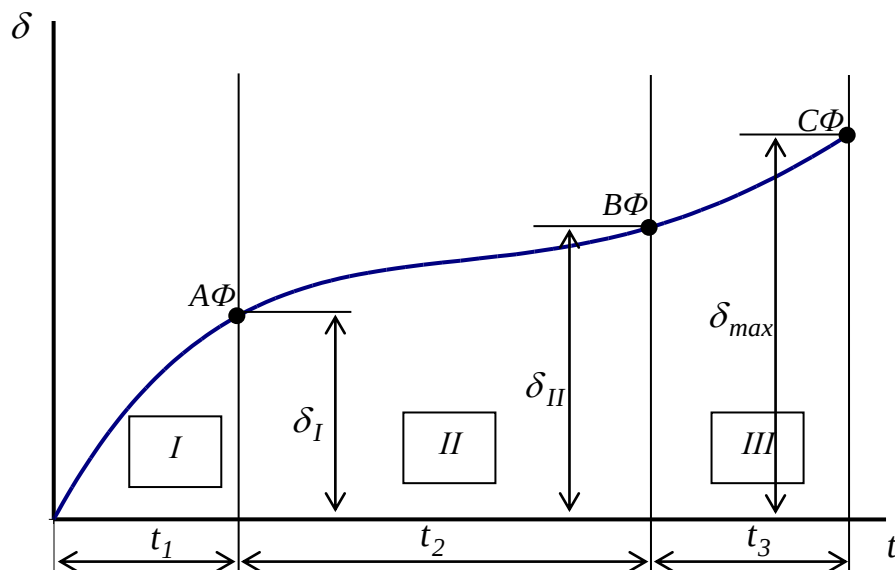


Рис. 1. Типова крива зміни лінійного зносу контактуючих поверхонь за часом (крива Лоренца)

Вважалося, що швидкість зношування $v = d\delta/dt$ протягом усього періоду II змінюється несуттєво, а аварійне зношування починається після досягнення деякої критичної точки (т. B на рис. 1). Такий характер залежності величини зношування від часу виявився справедливим для великої кількості різних вузлів тертя, що і послужило підставою для широкого визнання «кривої Лоренца».

Проте пізніше було виявлено, що у деяких випадках (наприклад, при урахуванні додаткового впливу старіння металів на процеси тертя) протікання процесу зношування відрізняється від типової кривої. Зокрема, в роботах [5,6] показано інші можливі варіанти зміни за часом лінійного зносу і швидкості зношування.

Особливості зміни швидкості зношування в період після закінчення припрацювання (т. A на рис. 1) пояснюється рядом причин. Ці причини можуть бути не випадковими – закономірна зміна площі контакту деталей у процесі зношування, фізичних властивостей матеріалу деталей по глибині, динамічних навантажень і умов змащення при збільшенні зазору. До випадкових причин слід віднести нестационарний

режим роботи машини, коливання властивостей матеріалів деталей і мастила, температури, вологості і запиленості середовища, кваліфікацію обслуговуючого персоналу та багато інших випадкових факторів.

Протікання процесу зношування в часі можна описувати тим або іншим математичним рівнянням. Для того щоб знайти точне рівняння цього процесу, довелося б розглядати ідеалізовану фізичну модель зношування, у якій всі фактори, що впливають на швидкість протікання процесу, є визначеними. Але практичне здійснення такої моделі навіть для найпростіших пар тертя найчастіше неможливе. Однак на основі аналізу результатів експлуатації вузлів можна підібрати наближене рівняння, яке достатньо узгоджується з фактичними даними випробувань зношування лабораторних зразків або деталей у реальних умовах. Тому в процесі дослідження використовувалась запропонована в роботах [5,6] спрощена математична модель, яка передбачає визначення характерних точок кривої зміни лінійного зносу за часом з використанням наведених нижче рівнянь.

Величина зносу в кінці періоду припрацювання (період I на рис. 1)

$$\delta_1 = k \left\{ \frac{[\sigma_H]}{HB} \right\}^{\alpha_1} \left\{ \frac{\chi}{h_m} \right\}^{\alpha_2} \left\{ \frac{RT}{Q} \right\}^{\alpha_3} \left\{ \frac{v_{100}}{v_T} \right\}^{\alpha_4}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості контактуючих поверхонь зубчастих коліс; $\alpha_1 \dots \alpha_4$ – коефіцієнти, що визначаються експериментально; $[\sigma_H]$ – допустимі контактні напруження; HB – твердість контактуючих поверхонь; χ – наведений параметр шорсткості контактуючих поверхонь; h_m – товщина масляного шару; R – універсальна газова постійна; T – температура в контактуючих поверхнях; Q – теплота абсорбції мастильного матеріалу; v_{100} , v_T – відповідно кінематична в'язкість масла при 100°C і робочій температурі.

Для оцінювання величини часу нормальної експлуатації (період II на рис. 1)

при стабільних умовах роботи ТЗП використовувалась формула

$$t_2 = \frac{\delta_{II}}{v_m}, \quad (2)$$

де δ_{II} – допустима величина лінійного зносу;

v_m – середня швидкість зношування.

Для періоду інтенсивного зношування III – аналітична залежність

$$v = \frac{d(k \cdot p \cdot v_{ск})}{dt}, \quad (3)$$

де p – питомий тиск на лінії контакту зубців; $v_{ск}$ – швидкість сковзання, k – коефіцієнт зносу [10].

Для оцінювання можливості збільшення ресурсу ТЗП на основі удосконаленої технології ремонту використовувались наведені в роботах [3,7,8] узагальнені результати розрахунково-експериментальних досліджень. А саме рекомендації що до підбору ремонтних пар «шестірня-колесо» з різними ступенями зносу за умов отримання потрібних характеристик зачеплення, показників міцності та надійності.

На рис. 2 подано допоміжний графік, який показує сумісний вплив зносів зубців шестірні δ_1 і колеса δ_2 на величину контактних напружень у ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 [8]. Наприклад, різниця між варіантами ТЗП I і II за величиною контактних напружень складає більш ніж 10 %. Крім того, для варіанта II додатково поліпшуються показники сковзання активних профілів зубців та характеристики зачеплення.

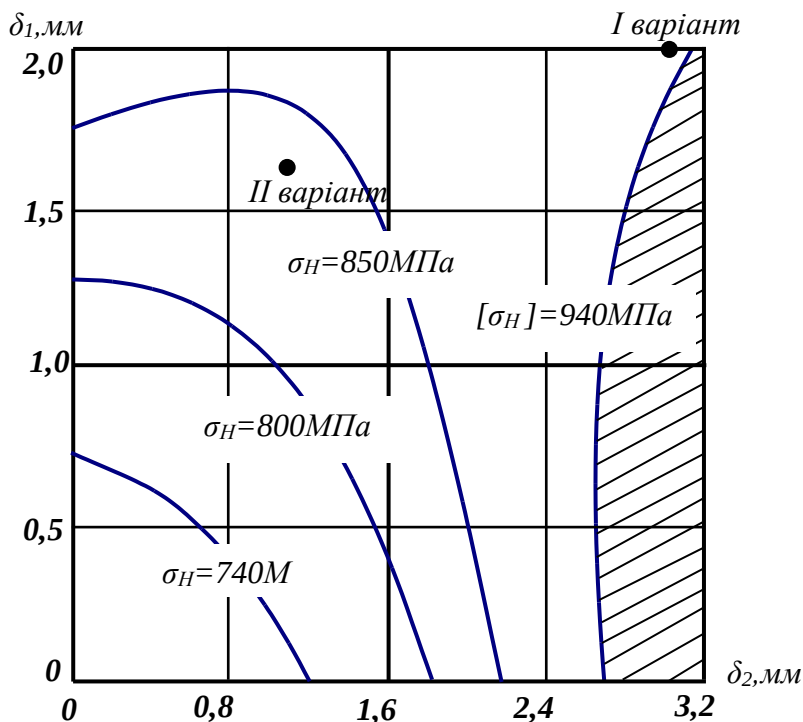


Рис. 2. Допоміжний графік залежності контактних напружень в ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 від зносів зубців шестірні і колеса

У процесі дослідження визначалась зміна характеристик зносу та ресурсу різних варіантів ТЗП після ремонту (рис. 3). При цьому збільшення ресурсу еквівалентувалось за відрізком $C - C'$. Встановлено, що за рахунок реалізації запропонованого підходу може бути досягнуто збільшення ресурсу ТЗП на 15...20 %.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Наведені в статті матеріали свідчать, що одним

з перспективних напрямків збільшення ресурсу тягових передач МВРС залізниць є впровадження удосконалених технологій їх ремонту, які передбачають комплексне оцінювання ступенів зносу поверхонь зубців та оптимальний підбір варіантів «шестірня-колесо» для подальшої експлуатації. Практична реалізація цього напрямку надасть змогу збільшити ресурс ТЗП до 20 %.

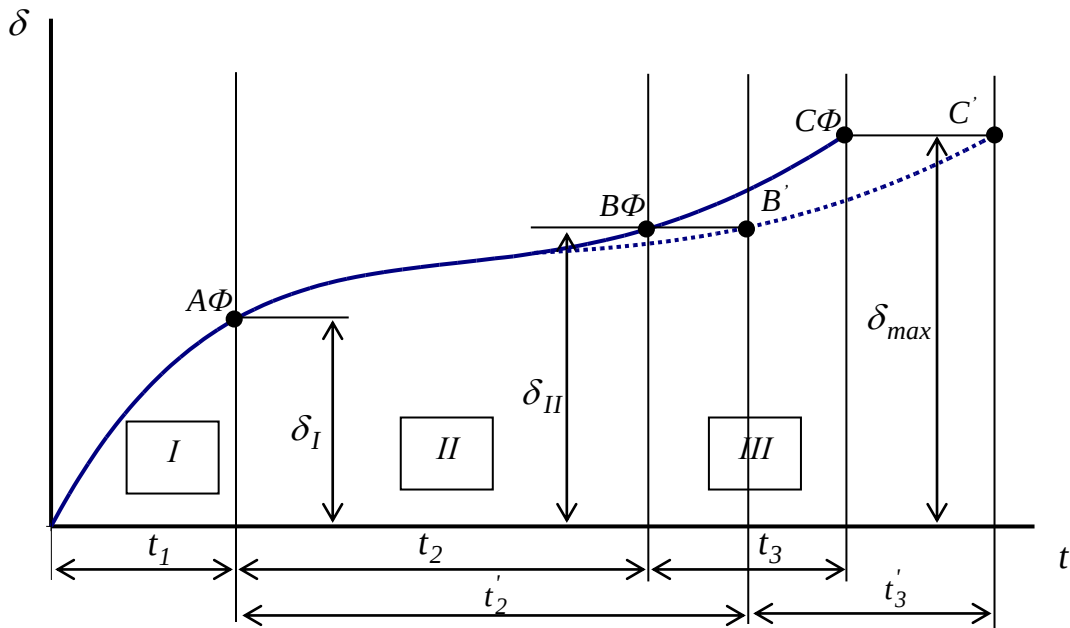


Рис. 3. До аналізу збільшення ресурсу ТЗП за рахунок удосконаленої технології ремонту:

————— I варіант ТЗП;
 II варіант ТЗП

Список використаних джерел

1. Тартаковський, Е.Д. Пріоритетні напрямки досліджень у галузі тягового рухомого складу [Текст]/ Е.Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. – Харків:УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 5-12.
2. Басов, Г.Г. Розвиток електричного моторвагонного рухомого складу [Текст]: монографія / Г.Г. Басов, С.І. Яцько. – Харків: Аспект+, 2005. – 248 с.
3. Мороз, В.І. Обґрунтування перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності тягових передач електропоїздів серії ЕР-2 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 176-182.
4. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог [Текст] / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
5. Далека, В.Х. Прогнозування ресурсу тягових приводів електропоїздів [Текст]/ В.Х. Далека, Д.Ю. Зубенко // Вісник НТУ "ХП". – Харків – 2004. – № 42. – С.43-51.
6. Зубенко, Д.Ю. Прогнозування ресурсу тягових передач електропоїздів метрополітену [Текст] / Д.Ю. Зубенко // Зб. наук. праць. – Харків.: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 117-123.
7. Мороз, В.І. Нова методика визначення експлуатаційних зносів профілів зубців та підбору парних коліс тягових зубчатих передач [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С. 12-16.
8. Братченко, О.В. Узагальнені математичні моделі для удосконаленої технології ремонту тягових зубчатих передач рухомого складу [Текст] / О.В. Братченко, В.І. Громов// Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139 – С. 169-174.
9. Селиванов, А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1971. – 408 с.
10. Теория механизмов и машин: учебник для втузов [Текст] / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.
 Громов Володимир Ігорович, студент Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.

Babanin Oleksandr Borisovich, doct. of techn. sciences, professor department of expluataciji ta remontu ruhomogo skladu, Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.

Gromov Volodimir Igorovich, student of Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.

УДК 621.436

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ МЕХАНІЗМУ ГАЗОРОЗПОДІЛУ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ З ДИЗЕЛЯМИ Д49**

Канд. техн. наук К.В. Астахова

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА МЕХАНИЗМА
ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗОВ С
ДИЗЕЛЯМИ Д49**

Канд. техн. наук К.В. Астахова

**THE IMPROVEMENT OF THE REPAIR TECHNOLOGY OF DIESEL POWER PLANTS D49
CAM TIMING**

Cand. of techn. sciences K. Astakhova

У роботі наведено результати досліджень, спрямованих на удосконалення технології ремонту механізму газорозподілу енергетичних установок тепловозів з дизелями Д49 при використанні удосконалених розподільних валів. Виявлено, що однією з основних причин суттєвих пошкоджень елементів конструкції кулачкових механізмів газорозподілу є відмови гідроштовхачів. Запропоновано рекомендації, які дають змогу позбутися негативних наслідків порушення характеристик роботи гідроштовхачів шляхом відключення їх від масляної системи енергетичних установок тепловозів.

Ключові слова: енергетична установка тепловоза; розподільний вал, кулачковий механізм газорозподілу, гідроштовхач.

В работе приведены результаты исследований, направленных на усовершенствование технологии ремонта механизма газораспределения энергетических установок тепловозов с дизелями Д49 при использовании усовершенствованных распределительных валов. Выявлено, что одной из основных причин существенных повреждений элементов конструкции кулачковых механизмов газораспределения являются отказы гидротолкателей. Предложены рекомендации, которые позволят избавиться от негативных последствий нарушения работы гидротолкателей путем отключения их от масляной системы энергетических установок тепловозов.

Ключевые слова: энергетическая установка тепловоза, распределительный вал, кулачковый механизм распределения, гидротолкатель.

The article presents the results of research aimed at improving the technology of repair timing of power plants with diesel locomotives D49 using improved camshaft. It was revealed that one of the main causes of significant damage to structural elements of the cam mechanisms are hydropushers timing failures. Recommendations are made that will dispose the negative effects of the hydropushers malfunctions by disconnecting them from the oil system diesel power plants.

Keywords: diesel engine; camshaft; cam timing, hydropusher.

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень у напрямку її вирішення. Основними положеннями Державної цільової програми реформування залізничного

транспорту на 2010-2015 роки, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390, та Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до

2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р, підтверджується необхідність підвищення техніко-економічних показників тягового рухомого складу з метою досягнення високих економічних показників роботи.

Аналіз особливостей конструкції енергетичних установок тепловозів з V-подібними чотиритактними дизелями Д49 (ЕУТ Д49), якими обладнано понад 50 % магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці [1], довів, що розподільні вали є одним з найбільш важливих вузлів, оскільки їх функціональним призначенням є керування процесами паливоподачі і газообміну в циліндрах енергетичних установок тепловозів (ЕУТ). Тому удосконалення конструкції розподільних валів на основі відповідних технологій проектування і ремонту є одним з перспективних напрямків підвищення техніко-економічних показників ЕУТ.

За результатами проведених в Українській державній академії залізничного транспорту науково-дослідних робіт встановлено, що основними причинами суттєвих пошкоджень поверхонь робочих профілів кулачків є високі контактні напруження в парі «кулачок-ролик». Для газорозподільних кулачків чинником таких пошкоджень є суттєві ударні навантаження в кулачкових механізмах газорозподілу (КМГР), що є наслідком проявів «м'яких ударів» у просторових механізмах привода впускних та випускних клапанів. Вони обумовлені тангенціальним профілем серійних газорозподільних кулачків, а також досить поширеними порушеннями характеристик функціонування гідроштовхачів (ГШ) (пристроїв для автоматичної компенсації теплового зазора в КМГР) в експлуатації ЕУТ Д49. Було запропоновано усунення цих недоліків шляхом заміни на розподільному валу тангенціальних кулачків на нові безударні [2 – 4], які не тільки забезпечують збільшення величини часу-перерізу клапанів при виконанні вимог міцності та надійності, що є одним з перспективних напрямків поліпшення процесів газообміну, сумішоутворення та згоряння в циліндрах ЕУТ, зменшення механічної напруженості, динамічних навантажень та процесів зношення основних деталей привода, зниження вартості їх ремонту, але й дають змогу усунути негативний вплив від порушення

нормальної роботи гідроштовхачів шляхом їх виключення із системи ЕУТ.

Наведені матеріали обґрунтували актуальність робіт, спрямованих на встановлення умов проведення ремонтів механізму газорозподілу енергетичних установок тепловозів Д49 на основі використання запропонованих безударних кулачків.

Мета статті і викладення основного матеріалу. У статті висвітлено рекомендації з удосконалення технології ремонту механізму газорозподілу енергетичних установок тепловозів Д49 з удосконаленими розподільними валами.

Одним з основних чинників пошкоджень елементів конструкції кулачкових механізмів газорозподілу (тангенціальних профілів газорозподільних кулачків, роликів, валиків, втулок) в експлуатації ЕУТ Д49 є відмови гідроштовхачів. За результатами моделювання дійсних законів руху впускних та випускних клапанів ЕУТ Д49 для випадків відмов або порушення характеристик функціонування гідроштовхачів виявлено такі відхилення від нормальної роботи механізмів газорозподілу:

- робота механізму привода впускних клапанів супроводжується розривами в кінематичному ланцюзі, що визначає прояв суттєвих ударних навантажень в КМГР;

- величини швидкості посадки на сидло для впускних та випускних клапанів значно перевищують допустимі значення.

Відключення ж гідроштовхачів з конструкції механізму газорозподілу для серійних тангенціальних кулачків призводить до виникнення додаткових динамічних навантажень, що недопустимо.

Оскільки профілювання нових безударних газорозподільних кулачків виконувалось за умови формування ділянок компенсації теплового зазора в механізмах приводів впускних і випускних клапанів, практичне впровадження удосконалених розподільних валів потребувало пророблення питань відключення ГШ від масляної системи ЕУТ, що забезпечує його використання в конструкції КМГР як кінематичного ланцюга, ланки якого характеризуються відповідними геометричними параметрами.

З метою вирішення такого завдання були проаналізовані особливості конструкції і функціонування ГШ, що використовуються в

КМГР енергетичних установок тепловозів з дизелями Д49 [5, 6].

При складанні КМГР гідроштовхачі (рис. 1) вставляються в розточки вильчастого важеля. При контактуванні ролика штовхача з потиличною частиною газорозподільного кулачка (клапан закритий) масло з масляної системи ЕУТ через канали у штанзі, вильчастому важелі і отвір *a* втулки 1 надходить в порожнину *б* між штовхачем 2 і втулкою 1. Кульковий клапан 4, що лежить на

упорі 5, не перешкоджає перетіканню масла в порожнину гідроштовхача через отвір *a*.

У момент, коли робочий профіль кулачка починає тиснути на ролик, рівень масла в порожнині *б* різко збільшується, і кульковий клапан перекриває отвір *a*. Таким чином, в ГШ створюється «жорстка» масляна подушка, що забезпечує роботу КМГР без зазорів. Через подушку зусилля штовхача передається на штовхач 2 і далі через ковпачки 5 на шток клапана.

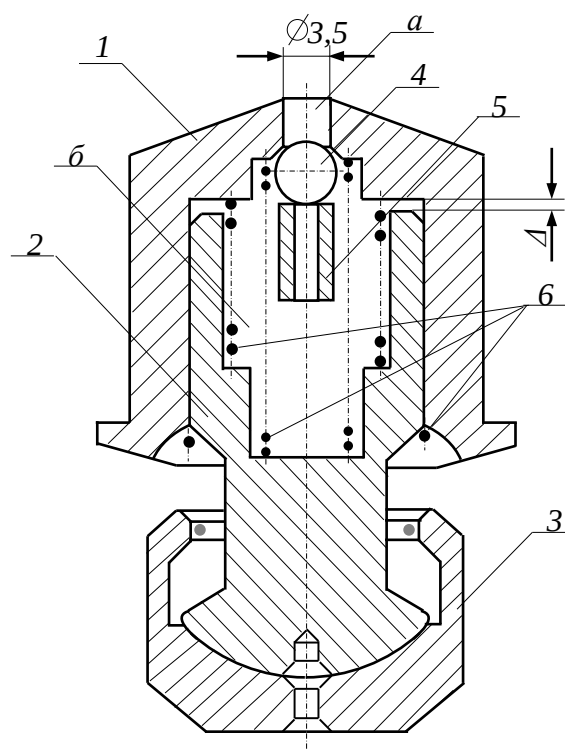


Рис. 1. Гідроштовхач механізму газорозподілу ЕУТ Д49: 1 - втулка; 2 – штовхач; 3 – ковпачок; 4 – кульковий клапан; 5 – упор; 6 – пружини

У той же час при втраті щільності між втулкою 1 і штовхачем 2 ГШ в експлуатації тепловий зазор в КМГР починає вибиратися робочим профілем кулачка. Окрім порушення фаз газорозподілу ЕУТ, така ситуація визначає порушення умов безрозривності кінематичного ланцюга клапанного привода і прояв ударів у з'єднаннях ланок, суттєве збільшення рівня контактних напружень у парі «кулачок-ролик» і швидкості посадки клапанів на сідло.

Аналіз конструкторської документації показав, що найбільш раціональним шляхом

від'єднання ГШ від масляної системи ЕУТ є перекриття каналу *a* відповідною деталлю (рис. 2), виготовленою з низьковуглецевої сталі. Видно, що виготовлення і монтаж такої деталі не становить труднощів.

Перед встановленням такого ГШ регулюється зазор *Δ*, який повинен відповідати тепловому зазору в КМГР. Для цього доцільно використовувати пристрої для вимірювання зазорів «на масло» в штатних гідроштовхачах ЕУТ Д49, якими обладнані відповідні підрозділи ремонтних підприємств [7].

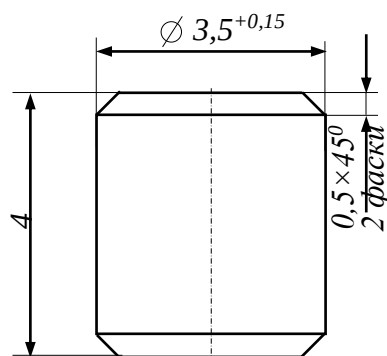


Рис. 2. Деталь для від'єднання ГШ від масляної системи ЕУТ Д49

У подальшому з урахуванням наявності ділянок збігу на запропонованих удосконалених розподільних валах пропонується виключення гідроштовхачів як елементів конструкції механізму газорозподілу.

Висновки і перспективи використання.

Наведені вище матеріали обґрунтовують доцільність використання запропонованих рекомендацій з удосконалення технології ремонту механізмів газорозподілу енергетичних установок тепловозів з дизелями Д49.

Список використаних джерел

1. Астахова, К.В. Аналіз особливостей конструкції та функціонування розподільних валів транспортних дизелів [Текст] / К.В. Астахова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 120-125.
2. Мороз, В.І. Розроблення узагальненого формалізованого описання задачі динамічного синтезу безударних профілів кулачків привода клапанів транспортних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, К.В. Астахова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 82-93.
3. Мороз, В.І. Новий підхід до профілювання газорозподільних кулачків форсованих тепловозних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С.110-116.
4. Кулачок механізму газорозподілу [Текст]: пат. 90952 Україна, МПК F01L 1/08 / Мороз В.І., Братченко О.В., Астахова К.В., Тіщенко В.С.; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – № а 200813509; заявл. 24.11.08; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.
5. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц [и др.]. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
6. Тепловозные дизеля типа Д49 [Текст] / под ред. Е.А. Никитина. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
7. Заболотный, Н.Г. Устройство и ремонт тепловозов. Управление и техническое обслуживание тепловозов [Текст] / Н.Г. Заболотный. – М.: ГО «Учебно-методический центр образования на железнодорожном транспорте», 2006. – 479 с.

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

Астахова Ксенія Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-52. E-mail: kseniya.astakhova@gmail.com.

Astakhova Kseniya Viktorivna, cand. of techn. science, lecturer, department Mechanics and Machine Design, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-52. E-mail: kseniya.astakhova@gmail.com.

ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 625.143

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙКОШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ ЗАЛІЗНИЦЬ НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Д-р техн. наук О.М. Даренський, асист. А.М. Бадражан

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬСОШПАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОГ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, ассист. Н.В. Бугаец, А.М. Бадражан

MODELING OF THE RAIL AND TIE ROAD BASE NON-PUBLIC TRACKS THE FINITE ELEMENTS METHOD.

Dr. of techn. sciences A.N. Darenskiy, assistant N.V. Bugaec, Badragan A.M.

У статті розглянуто основні положення, допущення та принципи побудови моделі рейкошпальної основи за допомогою методу кінцевих елементів для умов залізниць незагального користування. Розроблена модель, у якій ураховані особливості експлуатації таких залізниць. Передбачена можливість моделювання елементів, які підвищують несучу здатність рейкошпальної основи.

Ключові слова: несуча здатність рейкошпальної основи, метод кінцевих елементів.

В статье рассмотрены основные положения, допущения и принципы построения модели рельсошпального основания с помощью метода конечных элементов для условий дорог необщего пользования. Разработана модель, в которой учтены особенности эксплуатации таких дорог. Предусмотрена возможность моделирования элементов, которые повышают несущую способность рельсошпального основания.

Ключевые слова: несущая способность рельсошпального основания, метод конечных элементов.

In the article the basic provisions, assumptions and principles of construction of models of rail-sleeper Foundation. Reasonable use of the finite element method for model development for the conditions of non-public roads. Substantiated the application of the modular principle for developing the model. Selected finite elements, which are used to simulate the rails, concrete and reinforcement of ties, including its pre-stressing, ballast, subgrade soils. The model provides for input of finite elements for modeling of the strengthening of the rail and tie Foundation with geotextiles, geogrids, geomembranes and others.

Keywords: bearing capacity of the rail and tie bases, finite element method.

Вступ. У цей час при розрахунках напруг у баласті і на основному майданчику земляного полотна використовується в основному або метод пружного клина, або пружного напівпростору [1]. Розрахунки виконуються, як правило, тільки на дію вертикальних сил.

Проте для умов колій незагального користування залізниць такі способи і моделі

розрахунків мають високий ступінь ідеалізації і допущень, які можуть істотно викривляти реальний стан, давати занижені результати [2].

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. В основу вибору методу і моделі розрахунку напружено-

деформованого стану рейкошпальної основи були взяті такі основні положення і допущення:

1. Рейки спираються на окремі опори – шпали, просторові сили взаємодії рейок і шпал мають пружно-дисипативний характер, у ряді випадків існує їх одностороння дія.

2. Залізобетонні шпали мають достатню складну форму, яка може істотно впливати на напруги і деформації, що виникають у рейкошпальній основі.

3. Залізобетонні шпали виготовляються заздалегідь напруженими. Попередня напруга арматури складає 1170 МПа, загальна сила напруги всієї арматури - не менше 364 кН [3], що необхідно враховувати при розрахунках.;

4. Між бічними і нижніми поверхнями шпал і баластом виникають як нелінійні пружні сили, так і сили зчеплення і тертя.

5. Матеріал баласту підпорядковується нелінійному закону деформації з різними межами опору розтягуванню і стисненню.

6. Ґрунти основного майданчика земляного полотна, як і баласт, мають нелінійні характеристики.

Цим положенням відповідає метод кінцевих елементів (МКЕ) [4], що є розвитком енергетичних методів розрахунків інженерних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. МКЕ, завдяки інтенсивному розвитку засобів обчислювальної техніки, набув широкого розповсюдження і визнання, став одним з основних [4, 5]. Це обумовлено універсальністю підходів, що лежать в його основі. Тіло або конструкція, що деформується, розділяється на окремі елементи найпростішої форми, робота яких визначена. Напружено-деформований стан цих елементів з'єднується між собою так, щоб задовольнялися умови сумісної деформації й умови рівноваги.

Для розв'язання задач тривимірного напруженого стану найбільш споживані кінцеві елементи у вигляді тетраедра, призми, паралелепіпеда, мають по три невідомі вузлові переміщення в кожному вузлі і полінійну апроксимацію переміщень u_x , u_y і u_z .

Матриці жорсткостей таких елементів наведені у ряді публікацій, наприклад [6]. Бібліотека кінцевих елементів, вбудована в програмний комплекс [7], дає змогу виконувати моделювання практично будь-яких конструкцій.

При розв'язанні нелінійних задач МКЕ (нелінійна пружність, геометрична нелінійність) використовується варіаційна постановка задачі, тобто, як і в лінійному випадку, використовується принцип можливих переміщень.

Способи розв'язання систем нелінійних диференціальних рівнянь у МКЕ оснований на їх лінеаризації кроковим методом за схемою відомого в прикладній математиці методу диференціювання за параметром (метод продовження).

Задачі з односторонніми зв'язками описуються, як правило, кусково-лінійною залежністю. Характерною особливістю такої залежності є наявність розриву похідної. В МКЕ для розв'язання таких задач використовується метод Брігера.

Визначення мети та задачі дослідження. Таким чином, МКЕ відповідає викладеним вище вимогам, положенням і допущенням розрахунків просторового напружено-деформованого стану колії в нелінійній постановці задачі з урахуванням виникаючих односторонніх сил моделі системи "екіпаж - колія".

Метою роботи є створення комп'ютерної моделі залізничної колії з використанням МКЕ для досліджень роботи рейкошпальної основи в особливих умовах експлуатації доріг незагального користування.

Основна частина дослідження. Як комп'ютерна реалізація методу кінцевих елементів у роботі був використаний програмний комплекс для розрахунків і проектування конструкцій "ЛПРА", версія 9,6 [8, 9].

В основу моделювання колії МКЕ був покладений модульний принцип [10], при якому модуль складається з двох відрізків рейок, довжина яких може бути рівна 1300, 1100 або 1000 мм (для решітки з епюрою шпал 1600, 1850 і 2000 шт/км), і двох залізобетонних шпал, до яких рейки прикріплюються проміжними скріпленнями типу КБ. Залежно від характеру поставленої задачі і необхідної точності розрахунків, загальна модель колії може складатися з одного, двох, трьох і більше модулів. Модулі з'єднуються між собою або з прилеглими ділянками колії за допомогою граничних умов кожного модуля – згинаючі і крутні моменти і поперечні сили, які

прикладені у вузли, розташовані в нейтральній осі перерізу рейки по його кінцях.

Передача навантажень від колісних пар може виконуватися в будь-якому модулі через грані кінцевих елементів (КЕ), розташованих на поверхні кочення і на внутрішніх робочих гранях головки рейки. Передбачається можливість вертикального завантаження рейок з будь-яким ексцентриситетом. Площі майданчиків контакту між поверхнею кочення колеса, робочою гранню його реборди і відповідними поверхнями рейки встановлюються залежно від їх зносу.

При моделюванні залізобетонної шпали було використано три типи кінцевих елементів. У параметри жорсткості КЕ 34 і КЕ 36, це універсальні просторові ізопараметричні і восьмивузлові кінцеві елементи, в характеристики яких включені модуль пружності, коефіцієнт Пуассона і щільність бетону. КЕ 10 – універсальний стрижневий елемент модулює роботу арматури, у тому числі зусиль попереднього натягнення.

Моделі баластного шару, земляного полотна й елементи їх посилення складені з таких кінцевих елементів:

1. Фізично нелінійні об'ємні 6-вузлові ізопараметричні КЕ ґрунту (довільна трикутна призма, тип КЕ № 274) і фізично нелінійні об'ємні 8-вузлові ізопараметричні КЕ ґрунту (довільний гексаedr, тип КЕ № 276). Дані КЕ призначені для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиснення з урахуванням зсуву. У параметри жорсткості цих КЕ входять: модуль деформації шару ґрунту; коефіцієнт Пуассона; питома вага (вага частинок ґрунту); питоме зчеплення; розрахунковий опір ґрунту при розтягуванні; розрахунковий опір ґрунту при стисненні; кут внутрішнього тертя ґрунту. Для кожного шару ґрунту ці характеристики відрізняються і задаються окремо.

2. Універсальний просторовий 8-вузловий КЕ (КЕ № 36). Даний КЕ призначений для розрахунку на міцність масивних просторових конструкцій. У параметри жорсткості цих КЕ входять: приведений модуль пружності; коефіцієнт Пуассона, питома вага. У розрахунковій схемі ці КЕ застосовуються для моделювання шпал. У задачі цієї групи КЕ входить передача підрейкових реакцій на основу баластної призми. За рахунок згинальної жорсткості шпал зусилля на основу

баластної призми передаються нерівномірно – по нелінійній епюрі.

3. Одновузлові КЕ пружного зв'язку (КЕ № 51). Ці КЕ застосовуються для ведення пружного зв'язку по напрямку однієї з глобальних або локальних осей вузла. У розрахунковій схемі ці кінцеві елементи дають змогу змоделювати роботу пружного перерізу ґрунту по площинах поперечного перерізу цього фрагмента насипу. У параметри жорсткості цих КЕ входять осьова жорсткість (кН/м) і напрям.

4. Універсальний прямокутний КЕ оболонки (КЕ № 41). Цей КЕ призначений для розрахунку на міцність тонких пологих оболонок з жорсткістю на вигин. У розрахунковій схемі ці кінцеві елементи дають змогу змоделювати роботу георешіток або геотекстилю. У параметри жорсткості цих КЕ входять модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, питома вага і товщина оболонки.

5. Геометрично нелінійні універсальні чотирикутні КЕ оболонки. Ці КЕ призначені для визначення напружено-деформованого стану тонких пологих геометрично нелінійних мембран. У розрахунковій схемі за допомогою цих КЕ моделюється геомембрана.

Загальна кількість вузлів розрахункової схеми склала 19118, елементів – 21436. Усі елементи об'єднуються між собою жорстко у вузлах. Розрахункова товщина шару земляного полотна 4,8 м, ширина основного майданчика земляного полотна – 7,6 м (рисунки).

На підставі аналізу можливих способів посилення рейкошпальної основи був зроблений висновок про те, що для умов колій незагального користування найдоцільнішими є способи його посилення із застосуванням геотекстилю, геомембран, георешіток, шару щебеневобітумної емульсії, щебеневобітумного шару, стабілізованого поліфілізаторами, і їх комбінації.

Прийняті в розрахунках значення цих параметрів наведені в таблиці.

Оскільки характеристики ґрунтів змінюються при їх ущільненні від дії навантажень рухомого складу, вага верхньої будови колії і власне вага ґрунту прийняті різними (наведені в таблиці).

Характеристики ґрунтів, що розглядаються

Матеріал	E, МПа	ν	K_e	R_0 , кН/м ²	R_t , кПа	F_i	σ_p	C, кПа	Товщина шару, мм
Бетон шпали	32,460	0,18	-	-	-	-	-	-	-
Щебневий баласт	160,000	0,35	3	21,5746	0,098066	30	196,133	1,96133	-
Піщана подушка	100,000	0,3	3	16,6713	0,098066	34	196,133	0,980665	-
Ґрунти 1-й шар	50	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Ґрунти 2-й шар	40	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Ґрунти 3-й шар	30	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Георешітка	467,000	0,4	-	20,000	-	-	-	-	150
Геотекстиль	4,000	0,27	-	10,000	-	-	-	-	100
Щебінь посилений бітумом	170,000	0,45	3	16,671	0,1	20	980,66	1,0	
Щебінь посилений поліфілізаторами	280,000	0,45	3	16,671	1,0	20	980,66	1,0	-
Геомембрана	116,500	0,3	-	-	-	-	-	-	300

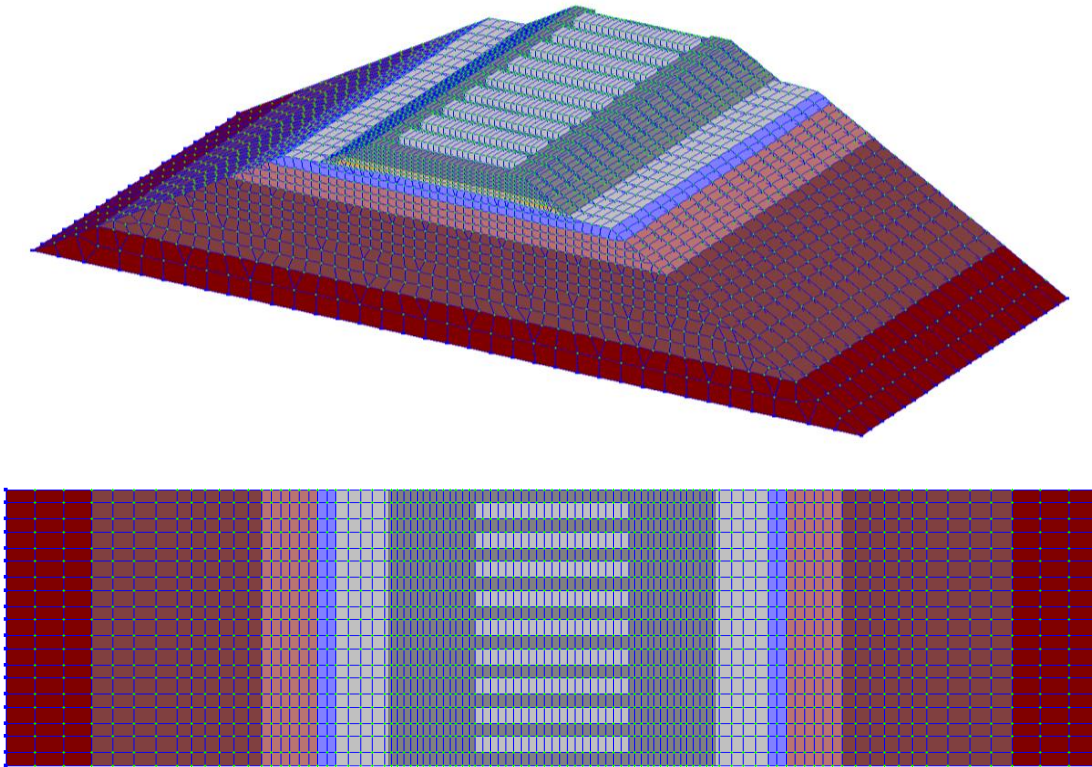


Рис. Розрахункова модель рейкошпальної основи

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, створена комп'ютерна модель, яка дає змогу визначати напружено-

деформований стан рейкошпальної основи, у тому числі при його посиленні з використанням сучасних методів.

Список використаних джерел

1. Содержание балластной призмы железнодорожного пути [Текст] / под. ред. Е.С. Варызгина. – М.: Транспорт, 1978. – 142 с.
2. Ангелейко, В.И. О предпосылках для разработки наставления по расчету верхнего строения пути [Текст] / В.И. Ангелейко // Техника железных дорог. – 1949. – № 6. – С. 12-24.
3. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов [Текст]: учеб. для вузов / В.И. Феодосьев. – 9-е изд., перераб. – М.: Наука, 1996. – 512 с.
4. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 343 с.
5. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в NSC / NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
6. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
7. Программный комплекс “ЛИРА - Windows” III 1-8 [Текст]. – К.: НИИ АС, 1997.
8. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 1. Основные теоретические и расчетные положения [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 147 с.
9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 2. Путеводитель [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 189 с.

10. Даренський, О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О.М. Даренський. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 19-89, 10-59.

Бугаєць Наталія Володимирівна, асистент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 10-59.

Бадражан Андрій Михайлович, магістрант Інституту підвищення кваліфікації Української державної академії залізничного транспорту.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, dr. of techn. sciences, professor of department "Road and Track facilities" Ukrainian State Academy of Railway Transport (19-89, 10-59).

Bugaec Natalya Vladimirovna, assistant of department "Road and Track facilities" Ukrainian State Academy of Railway Transport (10-59).

Badrazhan Andrey Mihaylovich, master student of Master Training Institute of Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 624.012

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШПРЕНГЕЛЬНОЙ БАЛКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ

Кандидаты техн. наук Г.Л. Ватуля, Е.Ф. Орел, асп. С.Д. Синчук, С.А. Величко

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ШПРЕНГЕЛЬНОЇ БАЛКИ ПРИ ДІЇ ПОСТІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Кандидати техн. наук Г.Л. Ватуля, Є.Ф. Орел, асп. С.Д. Синчук, С.А. Величко

STRUCTURAL DESIGN OPTIMIZATION OF STRUT BEAM UNDER CONSTANT LOAD

Candidates of techn. sciences G.L. Vatulja, PhD, E.F. Orel, postgraduate S.D. Sinchuk, S.A. Velichko

В статье рассматриваются вопросы поиска оптимального проекта статически определимой комбинированной конструкции в виде шпренгельной балки, загруженной постоянной нагрузкой. Предложена методика оптимизации конструкции с использованием метода Ньютона.

Ключевые слова: комбинированная система, целевая функция, уравнение оптимальности, частная производная, постоянная нагрузка, метод Ньютона.

У статті розглянуто питання пошуку оптимального проекту статично визначеної комбінованої конструкції у вигляді шпренгельної балки, яка працює в умовах постійного навантаження. Запропоновано методику оптимізації конструкції з використанням методу Ньютона.

Ключові слова: комбінована система, цільова функція, рівняння оптимальності, часткова похідна, метод Ньютона.

The authors describe the methodology of structural design optimization of composite structure using the Newton's method. The statically determinate strut beam was assumed in the article as a composite structure. The optimization was done under the constant loading. Structure's minimum weight, volume or cost was considered as a criterion of optimality. Brace location and strut beam rise are accepted as design variables. The authors assumed that efficiency function (volume function) is smooth and continuous and its minimum is located in the point where all partial derivative from function of the unknown variables are

equal to zero. Utilizing of described procedure helps to provide the logical design of structure optimization taking into account loading condition, combined loading and system indeterminacy.

Keywords: composite structure, efficiency function, criterion of optimality, constant loading, partial derivative, Newton's method.

Введение. В настоящий момент большинство конструкций, которые эксплуатируются, исчерпали свой гарантийный проектный срок. Особенно это касается несущих конструкций транспортных сооружений. Современное состояние строительной отрасли позволяет проектировать и реализовывать прогрессивные расчетные схемы сооружений, в том числе комбинированных. Использование вариативных методов оптимального проектирования и компьютерного моделирования при проектировании пролетных строений мостов позволяет значительно улучшить показатели материалоемкости, стоимости и трудоемкости строительства и/или реконструкции.

Анализ основных публикаций. В данной работе, которая является продолжением исследований [1,2], рассматриваются вопросы оптимизации статически определимой

комбинированной конструкции, загруженной только постоянной нагрузкой. Разработано много различных методов решения разных по постановкам задач оптимального проектирования [3-5] и деления их по группам на непоисковые, где используются необходимые условия экстремума, и поисковые – методы математического программирования [6-8].

Целью исследований является составление алгоритма расчета оптимальной конструкции при проектировании шпренгельной балки пролетного строения пешеходного моста.

Основной материал исследований. Комбинированная конструкция является рациональной конструкцией по сравнению с балочной конструкцией за счет увеличения несущей способности. В качестве комбинированной конструкции нами рассматривается шпренгельная балка, конструкция которой представлена на рисунке.

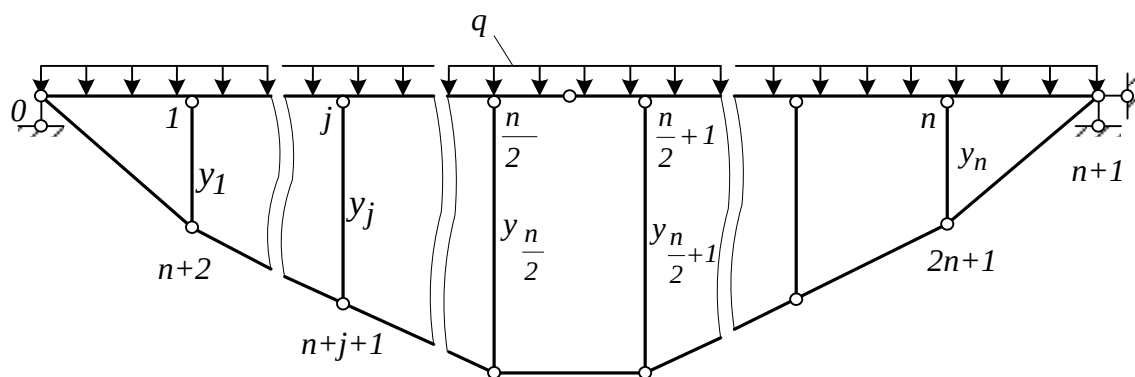


Рис. Схема шпренгельной балки

Для получения оптимального проекта шпренгельной балки необходимо найти такие значения переменных, чтобы затраты на изготовление балки (объем материала, масса и стоимость) были наименьшими. При этом должны удовлетворяться следующие условия:

- условие прочности растянутых элементов

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \eta R_y;$$

- условие устойчивости сжатых стержней

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq \eta R_y;$$

- условие прочности для балки постоянного сечения, работающей на изгиб со сжатием

$$\sigma = \frac{M}{W} \text{sign} M + \frac{N}{A} \text{sign} N \leq \eta R_y,$$

- конструктивные ограничения гибкости стержней $\lambda \leq \bar{\lambda}$.

Раскроем последнее условие. Гибкость шарнирно опертого стержня

$$\lambda = \frac{\ell}{i},$$

где ℓ – длина стержня;

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \eta_1 \sqrt{A},$$

где $\eta_1 = \sqrt{\frac{I}{A^2}}$ – безразмерный коэффициент,

зависящий от формы и размеров сечения.

Тогда

$$\lambda = \frac{\ell}{i} = \frac{\ell}{\eta_1 \sqrt{A}}$$

и допустимая площадь для граничного значения гибкости $\lambda = \bar{\lambda}$ будет равна

$$A_u = \left(\frac{\ell}{\eta_1 \bar{\lambda}} \right)^2.$$

Затраты материала для изготовления шпренгельной балки, состоящей из материала одного вида, определяются либо объемом, либо массой, что фактически одно и то же. Поэтому в этом случае целевой функцией при оптимальном проектировании шпренгельной балки с данной топологией будет сумма объемов балки и шпренгеля, зависящих от вариации топологических переменных.

Расчетное сечение балки постоянного сечения определяется исходя из наибольшего значения изгибающего момента по длине балки.

$$V_{i,s}^b = \sup V_{i,j}^b = \frac{\ell}{\eta R_y} \left\{ \frac{A}{W} \left[\frac{q\ell}{2} x_{i,s} - \frac{qx_{i,s}^2}{2} - \frac{ql^2}{8y_{n/2}} \left(y_{s-1} + \frac{y_s - y_{s-1}}{z_j} (x_{ij} - \sum_{k=1}^{s-1} z_k) \right) \right] \text{sign} M_{i,s} - \frac{ql^2}{8y_{n/2}} \text{sign} N \right\}, \quad (1)$$

элементы шпренгеля:

- стойки

$$V_{j,n+j+1} = \frac{ql^2 y_j}{8y_{n/2} \varphi_{j,n+j+1} \eta R_y} \left(\frac{y_j - y_{j-1}}{z_j} - \frac{y_{j+1} - y_j}{z_{j+1}} \right), \quad j = 1, \dots, n/2; \quad (2)$$

- элементы нижнего пояса

$$V_j = \frac{ql^2}{8y_{n/2} \eta R_y} \frac{(y_j - y_{j-1})^2 + z_j^2}{z_j}, \quad j = 1, \dots, n/2; \quad (3)$$

- центральный элемент нижнего пояса

$$V_{n/2+1} = \frac{ql^2}{8y_{n/2}\eta R_y} \left(\ell - 2 \sum_{k=1}^{n/2} z_k \right). \quad (4)$$

Таким образом, уравнение для объема шпренгельной балки будет иметь следующий вид:

$$V = V_{i,s}^b + 2 \sum_{j=1}^{n/2} V_{j,n+j+1} + 2 \sum_{j=1}^{n/2} V_j + V_{n/2+1}. \quad (5)$$

Запишем уравнение оптимальности. Считая целевую функцию (функцию объема) непрерывной и гладкой, минимум ее будем отыскивать в точке, где все ее частные производные от функции по неизвестным переменным обращаются в ноль [9]. Таким образом, уравнение оптимальности будет представлять собой систему из $s = 0,5n$ нелинейных уравнений относительно всех топологических переменных:

$$\frac{\partial V}{\partial y, z} = 0.$$

При взятии производных от функции объема сжатых стержней необходимо получить выражения для вычисления производных от функций $\varphi(\lambda)$ по топологическим переменным:

$$\frac{\partial \varphi(\lambda)}{\partial y_j} = \left(3,333 \cdot 10^{-6} \lambda_{ef}^2 - 2,778 \cdot 10^{-4} \lambda_{ef} - 2,5 \cdot 10^{-3} \right) \frac{\partial \lambda_{ef}}{\partial y_j}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi(\lambda)}{\partial y_j^2} = \left(\frac{\partial \lambda_{ef}}{\partial y_j} \right)^2 \left(6,667 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda_{ef} - 2,778 \cdot 10^{-4} \right). \quad (7)$$

Нужно отметить, что в общем случае уравнения оптимальности представляют собой систему нелинейных уравнений и аналитического решения не имеют. Решение находится методами последовательных приближений. Одним из таких методов является метод Ньютона, в котором система нелинейных уравнений заменяется решением системы линейных уравнений относительно приращений переменных при задании начальных произвольных значений.

Эти уравнения имеют следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{0,5n} f'_{j,i}{}^{(m-1)} \Delta y_i^{(m)} = -f_j^{(m-1)}, \quad (8)$$

$$\text{где } f_j = \frac{\partial V}{\partial y_j},$$

$$f'_{j,i} = \frac{\partial f_j}{\partial y_i},$$

$j = 1, 2, \dots, 0,5n, \quad m = 1, 2, \dots$ – номер приближения.

Свободные члены f_j представляют собой невязки уравнений оптимальности при данных приближенных величинах переменных y_j . После решения системы определяются значения переменных следующего приближения:

$$y_j^{(m)} = y_j^{(m-1)} + \Delta y_j^{(m)}. \quad (9)$$

Далее производится перерасчет шпренгельной балки и сравнение значений целевых функций двух приближений, полученных с учетом ограничений сечений элементов по гибкости. При

$$V^{(m-1)} - V^{(m)} \approx 0 \quad (10)$$

процесс заканчивается.

Выводы. В результате расчета мы получаем методику поиска размеров оптимальной конструкции проектируемой

шпренгельной балки. Следующим этапом работы является разработка алгоритмов для создания программы оптимизации комбинированных систем с учетом подвижной нагрузки, совместного загрузения и статической неопределимости. Реализация всего комплекса мероприятий по оптимизации комбинированной системы позволит подойти вплотную к вопросу получения комбинированной сталежелезобетонной конструкции оптимального очертания.

Список использованных источников

1. Основы расчета и проектирования комбинированных и сталебетонных конструкций [Текст] / Э.Д. Чихладзе, Г.Л. Ватуля, Ю.П. Китов [и др.]; под ред. Э.Д. Чихладзе. – К.: Транспорт Украины, 2006. – 104 с.
2. Китов, Ю.П. Рационализация конструкций сталебетонных пролетных строений пешеходных мостов [Текст] / Ю.П. Китов, Г.Л. Ватуля // Наук.-техн. збірник. – К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62, т. 2. – С. 37-42.
3. Виноградов, А.И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике [Текст] / А.И. Виноградов. – Харьков: Вища шк., 1973. – 170 с.
4. Ройтман, М.И. Методы оптимального проектирования деформируемых тел [Текст] / М.И. Ройтман, Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1976. – 266 с.
5. Martin Philip Bendsoe Generating Optimal Topologies in Structural Design using a Homogenization Method [Текст] / Martin Philip Bendsoe, Noboru Kikuchi // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – North Holland. – 1998. – V. 71. – P. 197-224.
6. Клюев, С.В. Оптимальное проектирование строительных конструкций на основе эволюционных и генетических алгоритмов [Текст] / С.В. Клюев, А.В. Клюев. – Саарбрюкен: Lambert, 2011. – 128 с.
7. Чихладзе, Е.Д. Спрощена діаграма граничних станів сталебетонного елемента в задачах оптимізації стержневих конструкцій [Текст] / Е.Д. Чихладзе, М.Г. Черненко // Зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59, кн. 1. – С. 310-317.
8. Ватуля, Г.Л. Визначення оптимальної області геометричних характеристик поперечного перерізу сталебетонної балки [Текст] / Г.Л. Ватуля, Е.А. Беліков // Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 74-78.
9. Китов, Ю.П. Некоторые соображения о критериях оптимальности [Текст] / Ю.П. Китов, Г.Л. Ватуля, М.А. Веревичева // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 143. – С. 124-131.

Рецензент д-р техн наук, профессор А.А. Плугин

Ватуля Гліб Леонідович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: vatulya@kart.edu.ua.

Орел Євген Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-67.

Сінчук Софія Дмитрівна, аспірант кафедри будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-71.

Величко Сергій Анатолійович, магістр Української державної академії залізничного транспорту.

Vatulia Glib Leonidovich, cand. of techn. sciences, Associated Professor, Head of Building Mechanics and Hydraulics Department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: vatulya@kart.edu.ua.

Orel Yevhen Fedorovich, cand. of techn. sciences, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-67.

Sinchuk Sofija Dmitrivna, Postgraduate of Building Mechanics and Hydraulics Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-71.

Velichko Sergij Anatolijvich, Master of Science Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-71.

УДК 625.143.2

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЙОК ТИПУ UIC60 НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Д.О. Потапов, А.М. Кривогуз

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЛЬСОВ ТИПА UIC60 НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Д.А. Потапов, А.Н. Кривогуз

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF RAIL TYPE UIC60 ON RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of techn. sciences D.O. Potapov, A.M. Kryvoguz

Проведено порівняння основних конструкційних параметрів і геометричних характеристик профілю рейок типів P50, UIC60 і P65. Показана техніко-економічна доцільність використання рейок UIC60 на залізницях України. Зроблена оцінка промислової технології загартування бічних граней головки рейок зі сталі марки M76T, що забезпечує зниження бокового зносу на 40 %.

Ключові слова: рейки, неметалеві включення, боковий знос.

Проведено сравнение основных конструкционных параметров и геометрических характеристик профиля рельсов типов P50, UIC60 и P65. Показана технико-экономическая целесообразность использования рельсов UIC60 на железных дорогах Украины. Проведена оценка промышленной технологии закалки боковых граней головки рельсов из стали марки M76T, обеспечивающая снижение бокового износа на 40 %.

Ключевые слова: рельсы, неметаллические включения, боковой износ.

Comparison of the basic constructional parameters and geometrical characteristics of a profile of rails of types P50, UIC60 and P65 is spent. In the conditions of Open Society "MK" Azovstal »researches on technology perfection packисления a rail steel that has allowed to provide requirements of the highest category of quality on ДСТУ 4344 regarding length of lines of nonmetallic inclusions are carried out the technical and economic expediency of use of rails UIC60 on railways of Ukraine is shown. The industrial technology of training of lateral sides of a head of rails from a steel of mark M76T, providing decrease in lateral deterioration on 40 % is developed and introduced.

Keywords: rails, nonmetallic inclusions, side wear.

Вступ. У сучасних умовах розвитку залізничної транспортної інфраструктури України, зокрема колійного господарства, вимоги щодо надійності роботи рейок у колії постійно підвищуються. Опірність рейок дефектам контактно-утомного походження, зносовим явищам у кривих ділянках колії, являє собою один з основних факторів, що впливає на безвідмовність роботи всієї конструкції залізничної колії.

Підвищення чистоти рейкової сталі безперечно є тим резервом за допомогою якого можливе вирішення проблеми щодо подовження термінів служби рейок.

Аналіз досліджень і публікацій.

Забруднення рейкової сталі неметалевими включеннями, і насамперед оксидами, обумовлено наявністю в сталі кисню, зменшення вмісту якого сприяє зменшенню кількості й довжини рядків неметалевих включень, а також розміру окремих неметалевих включень. Зниження забруднення неметалевими включеннями в першу чергу сприяє підвищенню контактно-утомної міцності рейок.

Національний стандарт України ДСТУ 4344:2004 регламентує довжину рядків неметалевих включень (таблиця).

Таблиця

Категорія якості	Вимоги до довжини рядків неметалевих включень			
	Довжина рядків неметалевих включень, мм, не більше			
	Глинозему, нітридів титану й ванадію		Крихкозруйнованих складних окислів	
	ДСТУ 4344	Держстандарт Р 51685	ДСТУ 4344	Держстандарт Р 51685
В	1,0	Не допускаються	1,0	0,5
I (Т1)	2,0	0,5	4,0	4,0
II (Т2)	2,0	0,5	8,0	8,0
III (Н)	2,0	0,5	4,0	8,0

Аналіз забрудненості рейок вітчизняного виробництва типу Р65 ВАТ «МК «Азовсталь» зі сталі марки М76Т показав, що вимогам вищої категорії якості за ДСТУ 4344 у частині довжини рядків включень глинозему (глинозему, зцементованого силікатами), нітридів титану й ванадію відповідають усі рейки, а в частині довжини рядків крихкозруйнованих складних окислів (алюмінатів, силікатів, шпінелей) – тільки 25 % рейок.

Постановка проблеми. З метою зниження такого забруднення рейкової сталі в умовах ВАТ «МК «Азовсталь» були проведені дослідження з удосконалення технології розкислення рейкової сталі шляхом заміни комплексного розкислювача КМКТ і феротитану силікокальцієм з модифікуванням ванадієм і ніобієм. Таким чином, замість сталі марки М76Т була запропонована сталь марки М76ФБ, мікролегована ванадієм (0,01-0,03 %) і ніобієм (0,003-0,015 %). Така зміна технології розкислення й мікролегкування показала можливість повного забезпечення вимог вищої

категорії якості за ДСТУ 4344 у частині довжини рядків неметалевих включень.

Основна частина. Необхідно відзначити, що рейки типу Р65 зі сталі марки М76ФБ, як у гарячекатаному стані, так і після загартування з нагріванням ТВЧ мали більш високі міцнісні властивості й твердість, ніж рейки зі сталі марки М76Т.

При експлуатації рейок у кривих ділянках колії важлива висока зносостійкість рейок, які вклядено в упорну нитку. З метою зниження інтенсивності бокового зносу головки рейок була розроблена й упроваджена промислова технологія загартування бокових граней головки рейок типу Р65.

Освоєна технологія загартування забезпечує твердість загартованих бічних граней головки рейок у межах 321-388 НВ, що повністю задовольняє вимоги ТУ В ДП 27.1-00190319-1288-2002 [7] – не менше 311 НВ на відстані 5 мм від поверхні бокової грані головки й не менше 302 НВ на відстані 10 мм від поверхні бокової грані головки (рис. 1).

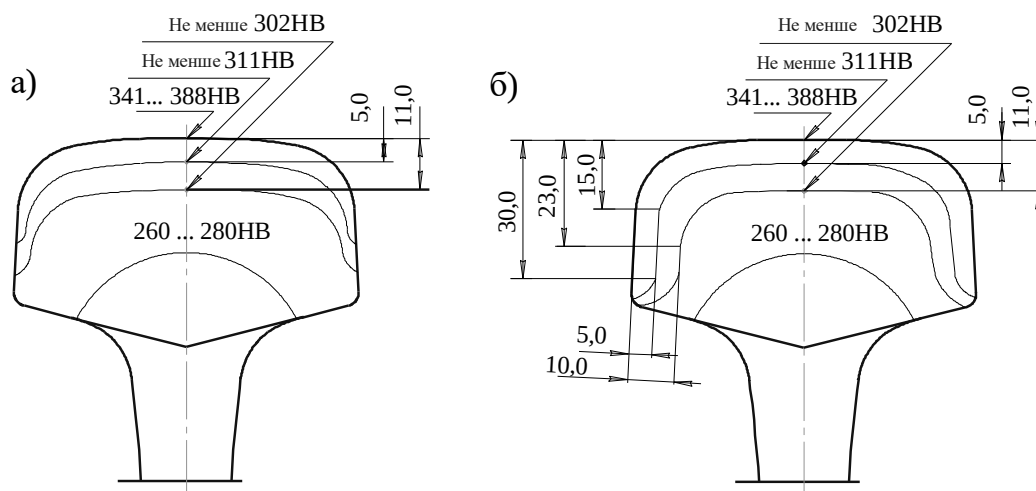


Рис. 1. Зміна твердості по глибині головки загартованих рейок ВАТ «МК «Азовсталь»:
а – поточного виробництва, б – рейок із загартованими боковими гранями

Експлуатаційні випробування рейок типу Р65 дослідної партії із загартованими боковими гранями, які було вкрито у 2003 р. на Львівській залізниці в кривих ділянках колії радіусом 295-320 м, показали, що інтенсивність бокового зносу i_b , мм/млн т брутто, рейок без додаткового охолодження бічних граней в 1,42-1,77 разу вище інтенсивності бічного зносу рейок із загартованими бічними гранями.

У той же час, на підставі результатів досліджень УкрДНТЦ «Енергосталь», УкрДАЗТ, ДНУЗТ [2-6], Головним управлінням колійного господарства Укрзалізниці ухвалено рішення про можливість використання рейок типу UIC60 на всій мережі залізниць України без обмежень. На європейських залізницях рейки типу UIC60 широко використовуються на лініях з вантажонапруженістю 50...70 млн ткм брутто на 1 км в рік, а також на ділянках з підвищеними швидкостями руху.

У ВАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» було освоєно технологію виробництва рейок типу UIC60. При освоєнні велика увага приділялася основним напрямкам підвищення металургійної якості рейок – зниженню забруднення рейкової сталі неметалевими включеннями, забезпеченню високого рівня твердості й міцнісних властивостей рейок при збереженні їх пластичних властивостей та ударної в'язкості.

Профіль рейки типу UIC60 подібний за розмірами до профілю рейки типу Р65 (рис. 2). При рівній ширині підшви висота рейки типу UIC60 становить 172,0 мм (рейки типу Р65 – 180,0 мм), проте в загальній масі профілю частка металу головки рейки: типу UIC60 – 40,1 %, а типу Р65 – 34,11 %. Профіль поверхні кочення головки рейки утворений декількома кривими різних радіусів. Менша величина радіуса поверхні кочення в рейки типу UIC60 зменшує ексцентриситет додатка навантаження на рейку, але збільшує контактні напруги. Проте оптимальний контакт колеса з рейкою зменшує зношування бокової грані головки рейки й гребенів коліс, тому що точка контакту розташована ближче до основи гребеня колеса.

Перевагою рейок типу UIC60 у порівнянні з рейками типу Р65 є більша на 6 мм висота головки, що допускає більшу кількість профілактичних шліфувальних поверхні кочення із застосуванням рейкошліфувальних поїздів з активними робочими органами протягом терміну експлуатації рейок. Для зниження

рівня напружень, що виникають у місці переходу від головки до шийки, нахил нижньої грані головки виконаний більшим, ніж у рейок типу Р65.

Розрахунок колії на міцність [1] дав змогу порівняти напружений стан рейок типів Р50, UIC60 і Р65 при певних значеннях параметрів експлуатації. Залежність напружень $\sigma_{кр}^n$ у кромці підшви рейок від підвищення осьових навантажень q при швидкості руху поїздів 90 км/год показана на рис. 3.

На рис. 4 показано залежність напружень у кромці підшви рейок від швидкості руху поїздів при значеннях навантажень на вісь 270 кН.

З розглянутих типів рейок найбільша інтенсивність змін напружень у рейці при підвищенні осьового навантаження й швидкості руху рухомого складу відрізняє рейки типу Р50. Рейки типу UIC60 за напруженим станом близькі до рейок типу Р65 при масі профілю, меншій на ~7%.

У теперішній час готується до освоєння розроблена технологія термічної обробки поверхні кочення й бічних граней економічних рейок типу UIC60 зі сталі марки М76Т.

В аспекті економічної ефективності УкрДАЗТ були визначені техніко-економічні показники, що враховують витрати на поточне утримання колії й виконання виправно-підбивальних робіт для конструкції колії з різними типами рейок. У комплексі робіт з поточного утримання колії роботи з виправлення осідань, перекосів і відхилень за рівнем становлять 35 %, роботи зі зміни й ремонту шпал і інших елементів верхньої будови колії – 37 % і роботи з рихтування й перешивання колії – 28 % [3]. Встановлено, що витрати на колійні роботи при експлуатації в колії рейок типу UIC60 нижче в порівнянні з рейками типу Р50 і трохи вище, ніж для рейок типу Р65 (рис. 5).

Застосування рейок типу UIC60 замість рейок типу Р65 також забезпечує економію металу, що становить ~8,8 т на 1 км колії.

Позитивні результати експлуатаційних випробувань рейок типу UIC60 дали змогу включити цей тип рейок у національний стандарт України ДСТУ 4344:2004 [8]. Після освоєння технології ВАТ «МК «Азовсталь» вироблено більше 16 тис. т (~140 км колії) рейок цього типу.

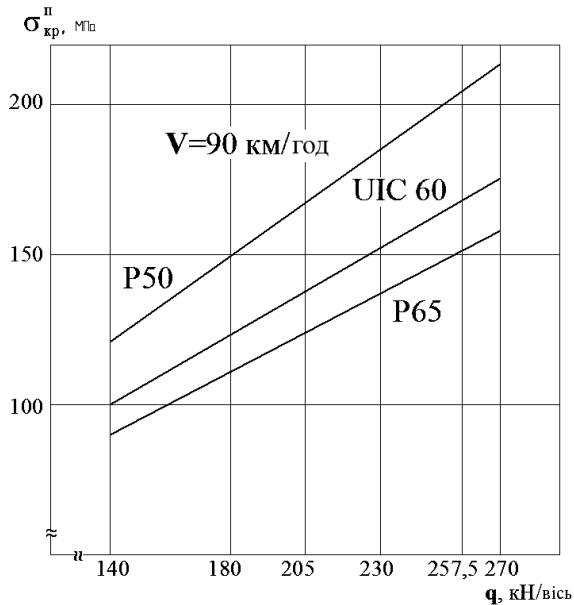


Рис. 3. Залежність напружень у кромці підшви рейок типів P50, UIC60 і P65 від осевого навантаження при швидкості руху 90 км/год

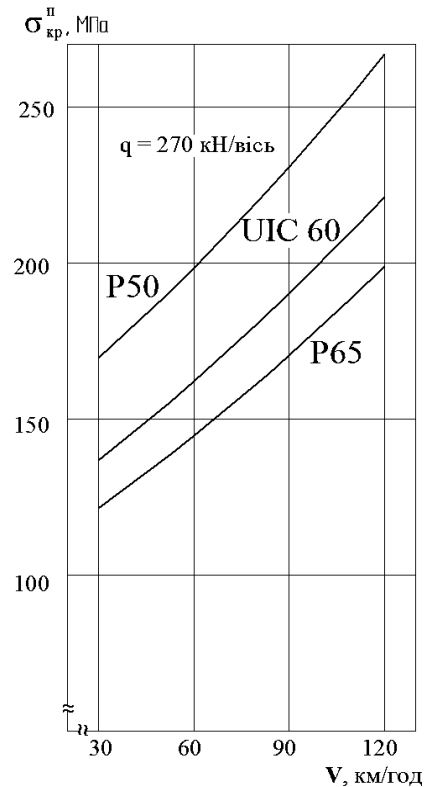


Рис. 4. Залежність напружень у кромці підшви рейок типів P50, UIC60 і P65 від швидкості руху при осевих навантаженнях 270 кН/вісь

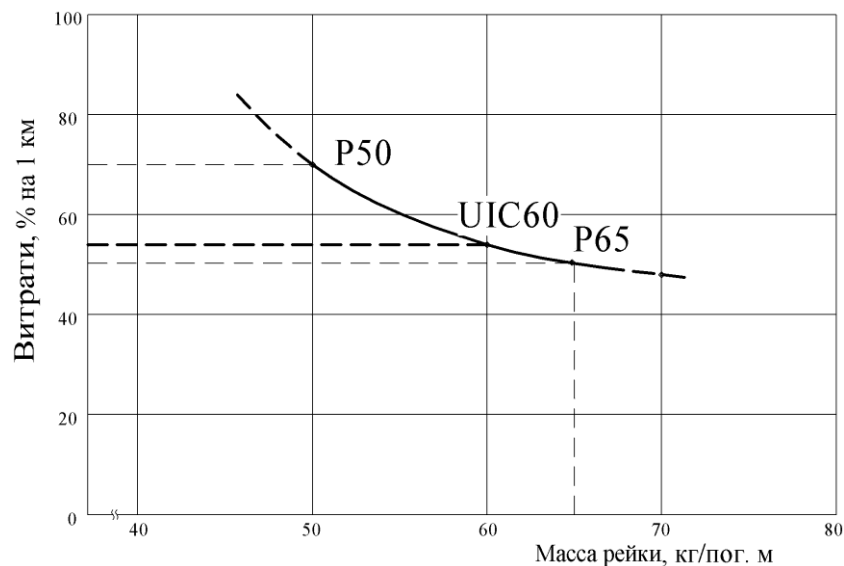


Рис. 5. Витрати на колійні роботи й роботи з поточного утримання колії при використанні рейок типів P50, UIC60 і P65

Перспективою для подальшого застосування рейок типу UIC60 є освоєння технології їх термозміцнення, у тому числі і

загартування бокових граней, використання нових технологій розкислення рейкової сталі з подальшим мікролегуванням і модифікуванням

для підвищення контактної-утомної міцності й зносостійкості рейок.

Висновки з дослідження:

1. Порівняльний аналіз геометричних і конструкційних параметрів рейок типів UIC60 і Р65, а також результати експлуатаційних випробувань дослідних партій рейок показали, що при існуючій в Україні інтенсивності руху вантажних і пасажирських поїздів, осьових навантажень рухомого складу й швидкостях його руху доцільне застосування на головних коліях залізниць України рейок типу UIC60 поряд з рейками типу Р65 з метою економії металу й більш повного вироблення ресурсу довговічності.

2. Збільшена висота головки рейки типу UIC60 у порівнянні з рейкою типу Р65 дозволяє робити більшу кількість профілактичних і профільних шліфувальних протягом терміну їх служби в колії.

3. Для підвищення контактної-утомної міцності рейок типу Р65 на ВАТ «МК «Азовсталь» розроблена технологія розкислення рейкової сталі, що передбачає заміну комплексного розкислювача КМКТ на розкислення силікокальцієм і модифікування ванадієм і ніобієм, що забезпечує вимоги вищої категорії якості за ДСТУ 4344 у частині забруднення сталі неметалевими включеннями. Встановлено можливість використання такої технології для виробництва рейок типу UIC60.

4. На ВАТ «МК «Азовсталь» розроблена й освоєна промислова технологія загартування бічних граней головки рейок типу Р65 зі сталі марки М76Т поточного виробництва, що дало змогу одержати твердість бокових граней на відстані до 5 мм від бокової поверхні не менш 311 НВ, у результаті чого боковий знос рейок знизився приблизно на 40 %. Визначено можливість використання такої технології для термозміцнення рейок типу UIC60.

Список використаних джерел

1. Даниленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
2. О целесообразности применения новых типов рельсов на дорогах [Текст] / Д.К. Нестеров, Н.Ф. Левченко, В.И. Срокин [и др.] // Транспорт. Наука, техника, управление. – 1992. – № 7. – С. 25-28.
3. Левченко, Н.Ф. Нужны рельсы нового профиля [Текст] / Н.Ф. Левченко, В.И. Срокин, Ю.А. Восковец // Путь и путевое хозяйство. – 1992. – № 8. – С. 20-21.
4. Левченко, Н.Ф. Направление модернизации верхнего строения пути. [Текст] / Н.Ф. Левченко, Я.М. Пыхтин // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 1. – С. 41-42.
5. Данович, В.Д. Взаимодействие колес вагона с рельсами Р65 и UIC60. [Текст] / В.Д. Данович, В.Я. Закапко // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 3. – С. 18-21.
6. Левченко, Н.Ф. К вопросу о развитии сортамента транспортного металла [Текст] / Н.Ф. Левченко, Я.М. Пыхтин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 8-9. – С. 266-267.
7. ТУ У ДП 27.1-00190319-1283-2002 «Рельсы железнодорожные широкой колеи типа UIC60. Опытная партия. Технические условия».
8. ДСТУ 4344:2004 «Рельсы обычные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия» [Текст]. – К.: Транспорт України. – 2004.
9. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е.І. Даниленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган [та ін.]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60.
Кривогуз Артем Миколайович, магістрант ІППК. Тел.: (096) 79-85-484.

Potapov Dmytro Oleksandrovych, cand. of techn. sciences, Associated Professor of Track and Track Facilities
Department Ukraine State of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60.
Kryvovuz Artem Mykolaiovych, Master of Training Institute. Tel.: (096) 79-85-484.

УДК 625

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ТА ЇЇ ПОСИЛЕННЯ

О.І. Прокопенко, канд. техн. наук В.Г. Мануйленко

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ЕГО УСИЛЕНИЕ

А.И. Прокопенко, канд. техн. наук В.Г. Мануйленко

RAILROAD IN THE PRESENT CONDITIONS AND ITS AMPLIFICATION

O.I. Prokopenko, cand. of techn. sciences V.G. Manuylenko

Стратегія розвитку залізничного транспорту України передбачає зростання обсягу перевезень вантажів, будівництво нових і реконструкцію існуючих залізничних ліній, введення швидкісного і високошвидкісного руху. Для досягнення цих показників необхідно розробити більш досконалі елементи руху, включаючи підшпальну основу – земляне полотно і баластний шар.

Ключові слова: земляне полотно, ґрунти, покриття, розрахунок, посилення.

Стратегия развития железнодорожного транспорта Украины предусматривает рост объема перевозок грузов, строительство новых и реконструкцию существующих железнодорожных линий, введение скоростного и высокоскоростного движения. Для достижения этих показателей необходимо разработать более совершенные элементы движения, включая подшпальную основу - земляное полотно и балластный слой.

Ключевые слова: земляное полотно, грунты, покрытия, расчет, усиления.

Strategy of Railway Transport of Ukraine provides for the growth of cargo transportation, construction of new and reconstruction of existing rail lines, the introduction of high-speed and high speed. To achieve these parameters need to develop more sophisticated elements of movement, including the basis for sleepers - roadbed and ballast layer.

The process of strengthening the railway line determined that ensure smooth transportation process on the railways of Ukraine, taking into account the trend of increasing traffic volumes and the introduction of high-speed lines and accelerated passenger traffic requires not simply restoring fixed assets railroad facilities, that is, to bring them to the standard state, and requires fundamental reform and modernization of design elements and technology maintenance and repair of roadbed. It is stated in the "Concept Railways to modernize and develop the railway transport of Ukraine for the next period to 2020."

Keywords: road bed, soil, coating, calculation, amplification.

Вступ. Залізничні мережі багатьох європейських країн, у тому числі України, складаються з давно побудованих звичайних ліній, стан і параметри, інфраструктури яких далекі від сучасних вимог. Відсутність належної уваги до колії протягом багатьох років призвело до того, що в цей час ця ситуація потребує вживання радикальних невідкладних заходів. З ростом обсягів перевезень та інтенсивності руху поїздів виникла необхідність мати точне уявлення про стан колійної структури і способи оздоровлення земляного полотна за рахунок інноваційних та економічно виправданих технічних рішень.

Основна частина дослідження. У ході дослідження провели масштабні вимірювання, метою яких були оцінка і відстеження найважливіших параметрів, які обумовлюють робочі характеристики ділянки колії. Обрані для вимірювань ділянки мали зони в задовільному і незадовільному стані, а також відзначалися специфічними проблемами.

Застосовані в ході дослідження геофізичні методи, будучи неруйнівними і безпечними, дають змогу визначати різні структури горизонтів ґрунту, наявність у них води, властивості матеріалів, з яких вони складаються, а також можливу наявність тріщин у скельних породах.

Жорсткість земляного полотна у вертикальному напрямку на всій відстані обстежуваних ділянок вимірювали за допомогою двох розроблених у Швеції та Франції пристроїв.

Для ідентифікації ґрунтів застосовували геологічні ендоскопи, проникаючі зонди або неруйнівні пробовідбірники. Перевага геологічних ендоскопів перед зондами полягає в збереженні цілісності земляного полотна.

Результати вимірювань жорсткості основи колії можна ефективно використовувати при розробленні технології його поточного утримання, оскільки вони дають змогу виявити першопричини проблем на ділянках з незадовільними показниками. Отримані дані можуть бути використані при реконструкції колії з метою підвищення швидкості руху та осьового навантаження, а також при оцінці якості укладання нової колії.

При плануванні реконструкції необхідно розглядати багато аспектів: несучу здатність ґрунту, опірність земляного полотна впливу різних факторів, майбутню технологію поточного утримання колії. Проте уявлення про стан основи земляного полотна під верхньою будовою колії часто буває неповним через його доступність тільки для візуальних оглядів. У таких випадках вимірювання вертикальної жорсткості дає змогу визначати ділянки, на яких потрібне зміцнення земляного полотна або проведення більш ретельних обстежень.

Земляне полотно експлуатованих ліній має ряд особливостей. У його верхній частині накопичується значний шар баластних і дренуючих матеріалів, часом товщиною від 1 до 1,5 м і більше. Будівельний майданчик (межа розділу глинистих ґрунтів і баластних матеріалів) деформується – на ньому утворюються баластні корита і ложа. На значній відстані існує також недостатня ширина земляного полотна зверху і завищена крутість укосів, баластні шлейфи і засмічувачі на укосах насипів. Слід зазначити зсув, як правило, в польову сторону кюветів, нарізаних у дренуючих ґрунтах, вали забрудненого баласту за кюветами, накопичені при ремонтах колії, місця зі спливів та зсувів укосів насипів, засипані при відновленні дренуючими ґрунтами.

Особливості стану земляного полотна експлуатованих ліній обумовлені недосконалістю норм проектування, що діяли

раніше. Недоліки нормування були усунені з введенням в дію будівельно-технічних норм «Залізничні колії 1520 мм», регламентувалося укладання двошарової баластної призми товщиною 55 см нижче підшви шпал безпосередньо на глинисті ґрунти (приблизно 75 % загальної протяжності ліній). Улаштування захисного шару з дренуючого ґрунту під баластною призмою нормами не передбачалося. Через вібродинамічні навантаження від поїздів несуча здатність глинистих ґрунтів на зазначеній глибині не забезпечувалась, що призвело до пластичних деформацій з утворенням баластних заглиблень на основному майданчику. Через підвищене в 1,2-1,3 рази зволоження глинистих ґрунтів у місцях з такими заглибленнями з'являються осідання колії, спливи і зсуви укосів насипів. У результаті в ряді місць ширина насипів стає недостатньою для розміщення баластної призми. Крім того, в зоні узбіч і укосів насипів ґрунти перебувають у слабкому стані – пухкий пісок і глинисті ґрунти пливучопластичні. У результаті руху навантаження від поїзда сприймається призмою з більш міцного ґрунту з крутими стінками безпосередньо під рейкошпальною решіткою. Під навантаженням така призма поступово роздавлюється, і на колії утворюються нерівності (відхилення за рівнем, перекося, осідання). Тому на нових лініях і додаткових головних коліях, відповідно до норм для запобігання відмічених деформацій і дефектів у верхній частині земляного полотна передбачене укладання на глинисті ґрунти захисного шару з дренуючих ґрунтів товщиною не менше 0,5-1,0 м, у тому числі спільно з нетканим матеріалом.

При посиленні підшпальної основи доводиться усувати й запобігати осіданню колії, спливам і зсувам укосів насипів, карстовим провалам, опаданню насипів на болотах і слабких основах. Також необхідно збільшувати ширину земляного полотна зверху і згладжувати круті укоси, ліквідувати деформації у виїмках, розмиви земляного полотна й основ, підмиви укріплень і укосів. Державними та галузевими нормами рекомендується в цих випадках застосування конструкції різного призначення, що розташовуються у земляному полотні на основному майданчику, укосах, у водовідвідних спорудах. У цих конструкціях використовують полістирольні пінопласти,

гідроізоляційні полівінілхлоридні та поліетиленові плівки, нетканый матеріал голкопробивного виробництва, зварену оцинковану сітку та інші матеріали.

Багаторічні комплексні дослідження дали змогу визначити температурно-деформований стан ґрунтів земляного полотна з теплової та гідравлічної ізоляцією. На основі експериментальних випробувань розроблені нормативні документи щодо стабілізації та посилення земляного полотна.

При розрахунково-теоретичному аналізі використані методи математичного моделювання, гідравлічних аналогій і фізичного моделювання. Було відкрито невідоме раніше термоелектрокінетичне явище в капілярних анізотермічних системах, яке обумовлює перенесення вологи в цих системах. Отримані патенти на розробки.

Розглянемо рекомендовані способи підсилення земляного полотна. За результатами проходів колієвимірвальних вагонів і навантажувальних пристроїв уточнюють місце

розташування ділянок з деформаціями. Потім на цих ділянках проводиться інженерно-геологічне обстеження з використанням геофізичних методів (георадіолокація, електроконтактні динамічні зондування та ін.). Додатково проводяться і геологічні роботи з улаштуванням виробок – свердловин, шурфів. Склад, властивості і стан ґрунтів визначають безпосередньо за місцем їх залягання. За характером проходження та відображення електромагнітних імпульсів установлюють місця з деформаціями. Міцність ґрунту при зондуванні визначають за умовним динамічним опором, фіксують слабкі ґрунти в місцях деформацій.

Для ліквідації осідань колії в складних інженерно-геологічних умовах (близьке, до 1 м, залягання ґрунтових вод, видавлювання глинистого ґрунту), а також для усунення інтенсивних розладів рейкової колії за рівнем і в поздовжньому профілі застосовують багат шарове покриття з георешітки (зварної сітки) і нетканого матеріалу (рисунок).

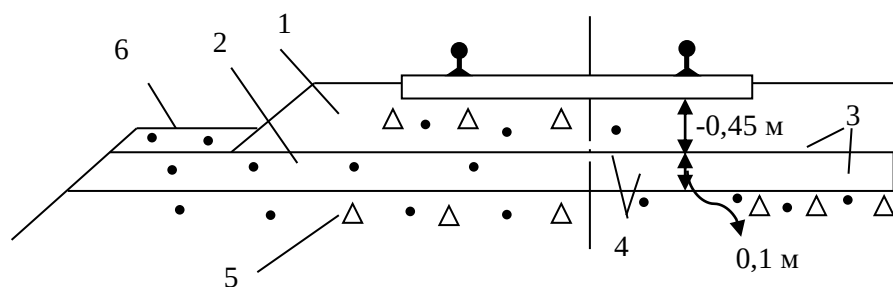


Рис. Багат шарове покриття в поперечному розрізі:

- 1 – щебень в баластному шарі; 2 – щебень між шарами георешітки і нетканого матеріалу;
3 – георешітка; 4 – нетканый матеріал; 5 – забруднений баласт; 6 – шар щебеню на узбіччі

У покритті використовують зварену оцинковану сітку (діаметр дроту 2,5 мм, кроком 50x50 мм, міцність на розрив не менше 1200 МПа) і нетканый матеріал голкопробивного виробництва (маса 1 м² - 500 ± 50 г; розривне навантаження в поздовжньому напрямку – 100 кгс/5 см, у поперечному напрямку – 80 кгс/5 см, подовження при розриві – від 80 до 110 %, коефіцієнт фільтрації не менше 10 м/доб).

Покриття розташовується під баластним шаром і сприймає горизонтальні сили. Це запобігає поперечним горизонтальним переміщенням баласту, так як відбувається

армування щебеню між шарами георешітки і нетканого матеріалу. Таке багат шарове покриття в цілому працює як плита. Два шари нетканого матеріалу захищають шар щебеню, що міститься між ними, від засмічення як зверху, так і знизу з основного майданчика. У результаті шар щебеню зберігається в чистому стані та інфільтровані опади відводяться від підшпальної основи убік.

Багат шарове покриття укладають при подвійному очищенні щебеню в ході реконструкції (модернізації) залізничної колії. До улаштування покриття необхідно провести зрізання накопичених баластних матеріалів у

зоні узбіч з використанням машини до проектного рівня підшви баластної призми, а також реконструкцію (ремонт) водовідводів. Зрізання виконують у ході підготовчих робіт.

Висновок з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розрахунком напружено-деформованого стану залізничної колії і його елементів визначено, що конструкція багатошарового покриття зменшує інтенсивність напружень на нижні шари приблизно на 20 %. У результаті

багаторічних (10 років) експериментальних випробувань встановлено, що на ділянках з багатошаровим покриттям осідання колії та інтенсивні розлади рейкової колії за рівнем і в поздовжньому профілі припиняються і земляне полотно стабілізується. Осідання колії і інтенсивність накопичення залишкових деформацій знижуються в кілька разів.

Конструкцію багатошарового покриття проектує відповідно до вимог нормативних документів.

Список використаних джерел

1. Дыдышко, П.И. Усиление железнодорожного пути в современных условиях [Текст] / П.И. Дыдышко, А.Ю. Абдурашитов // Железные дороги мира. – М., 2012. – № 7. – С. 48-55.
2. Наумов, В.В. Земляное полотно при воздействии повышенных осевых нагрузок. Укрепление основания пути [Текст] / В.В. Наумов, В.В. Виноградов // Путь и путевое хозяйство. – М., 2011. – № 5. – С. 22-31.
3. Смоляницкий, Л.А. Влияние капиллярных процессов в земляном полотне на развитие эффектов [Текст] / Л.А. Смоляницкий, А.В. Сычева // Путь и путевое хозяйство. – М., 2012. – № 4. – С. 20-21.
4. Смоляницкий, Л.А. Необходимое условие – стабильный путь [Текст] / Л.А. Смоляницкий // Путь и путевое хозяйство. – М., 2012. – № 5. – С. 30-31.
5. Укрепление основания пути [Текст] // Железные дороги мира. – М., 2011. – № 5. – С. 68-70.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Прокопенко Олексій Іванович, викладач Одеського коледжу транспортних технологій, магістр ІППК Української державної академії залізничного транспорту, 65028, Одеса, пл. Олексіївська 17, к. 210, т. 048-727-60-32, 067-559-19-30, Email: oleksiiprokopenko@gmail.com.

Мануйленко Володимир Григорович, канд. техн. наук, доцент секції кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-62.

Prokopenko Alexei Ivanovich, Odessa College Lecturer transport technologies, student - Master of IPPK Ukrainian State Academy of Railway Transport, 65028, Odessa, pl. Alekseevskaya 17 k.210, Vol.048-727-60-32, 067-559-19-30, Email: oleksiiprokopenko@gmail.com.

Manuylenko Vladimir G., cand. of techn. sciences, Assistant Professor Section of the Department: "Track and track sector" Ukrainian State Academy of Railway Transport, 61050, Kharkiv, pl. Feyerbaha, 7, Faculty of Engineering, Vol. 057-730-10-62.

УДК 625.143.5

**ВПЛИВ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЗМІНУ ПАРАМЕТРІВ ЖОРСТКОСТІ
ПРОМІЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КБ**

Канд. техн. наук В.Г. Вітольберг, В.М. Рева

**ВЛИЯНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОСТИ
ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КБ**

Канд. техн. наук В.Г. Витольберг, В.Н. Рева

**EFFECT OF LIFETIME TO CHANGE STIFFNESS PARAMETER INTERMEDIATE RAIL
FASTENING TYPE KB**

Cand. of techn. sciences V.G. Vitolberg, V.M. Reva

Виконано дослідження зміни значення жорсткості рейкових скріплень у процесі експлуатації. Визначено фактори, які безпосередньо впливають на зміну значення жорсткості. Визначено необхідні технічні передумови для теоретичних і експериментальних досліджень розв'язання задачі забезпечення необхідної жорсткості рейкових скріплень.

Ключові слова: жорсткість, горизонтальний вигин, кручення рейки, проміжні рейкові скріплення.

Выполнены исследования изменения значения жесткости рельсовых креплений в процессе эксплуатации. Определены факторы, которые непосредственно влияют на изменение значения жесткости. Определены необходимые технические предпосылки для теоретических и экспериментальных исследований решения задачи обеспечения необходимой жесткости рельсовых креплений.

Ключевые слова: жесткость, горизонтальный изгиб, кручение рельса, промежуточные рельсовые скрепления.

The studies of changes in stiffness values intermediate rail fastening type KB in use. The factors that directly affect the change in the value of the horizontal stiffness and torsional rigidity of the rail. The dependences of the change in the stiffness of the intermediate bonding type KB with horizontal bending and torsion of the rail during operation. The necessary technical prerequisites for theoretical and experimental studies of solving the problem of providing the necessary rigidity of rail fasteners.

Keywords: hardness, horizontal bending, twist rail, rail fastening.

Вступ. Просторова жорсткість рейкових опор, яка визначається, зокрема, жорсткістю проміжних скріплень, є одним із головних факторів динаміки взаємодії колії і рухомого складу. Питання динаміки взаємодії, дослідження сил, які впливають на колію з боку рухомого складу, особливо актуальні для умов промислового залізничного транспорту, головні це високі осьові навантаження, підвищена жорсткість ресорних комплектів, криві малих радіусів, рух поїздів у режимі виштовхування.

Аналіз досліджень і публікацій. Раніше проведеними дослідженнями [1, 2, 7, 8] встановлено, що на просторову жорсткість проміжних скріплень типу КБ впливають, в

основному, пружні характеристики амортизуючих прокладок і прикріплювачів клемних і закладних болтів.

Постановка проблеми. Однак при проведенні експериментальних робіт [3, 4, 9] було встановлено, що в процесі експлуатації означені параметри можуть змінюватися в широкому діапазоні. Тому виникла необхідність спеціального вивчення цих процесів.

Основна частина. У цій статті наведені деякі результати експериментальних та теоретичних досліджень змін жорсткості скріплень при горизонтальному вигині і крученні рейок у процесі експлуатації.

Жорсткість рейкових скріплень при горизонтальному вигині і крученні рейки можна подати у вигляді:

$$C_z = U_{\text{гшдн}} + U_{\text{днуп}} + C_3, \quad (1)$$

$$C_\phi = \frac{c_{\phi 1} \cdot c_{\phi 2}}{c_{\phi 1} + c_{\phi 2}}, \quad (2)$$

$$C_{\phi 1} = \frac{a}{2} K_\phi + \frac{a^2}{8} \mathcal{K}_n + \frac{a^2}{16} U_{\text{рдн}}, \quad (3)$$

$$C_{\phi 2} = \frac{c}{2} \mathcal{K}_n + \frac{b^2}{16} U_{\text{шдн}}, \quad (4)$$

де C_z – жорсткість скріплень при горизонтальному вигині рейки (горизонтальна жорсткість скріплення), кН/м;

C_ϕ – жорсткість скріплень при крученні рейки, кН·м/рад;

$C_{\phi 1}$ – жорсткість на крученні першої системи (клеми – підрейкова прокладка), кН·м/рад;

$C_{\phi 2}$ – жорсткість на крученні другої системи (закладні болти – нашпальна прокладка), кН·м/рад;

$U_{\text{гшдн}}$ – динамічна жорсткість нашпальної прокладки на зсув, кН/м;

$U_{\text{шдн}}$ – динамічна жорсткість нашпальної прокладки на стискання, кН/м;

$U_{\text{днуп}}$ – динамічна жорсткість частини нашпальної прокладки, розташованої у викружці бетону, кН/м;

$U_{\text{рдн}}$ – динамічна жорсткість підрейкової прокладки, кН/м;

$\mathcal{K}_n$ – жорсткість пружинних шайб, кН/м;

C_3 – жорсткість двох закладних болтів при зсуві підкладки, кН/м;

K_ϕ – жорсткість клемного прикріплення при повороті рейки, кН·м/рад;

a – ширина підосви рейки, м;

b – ширина підкладки, м;

c – відстань між осями закладних болтів, м.

Параметри $U_{\text{гшдн}}$, C_3 та K_ϕ були розглянуті як [1, 2]

$$U_{\text{гшдн}} = \alpha_1 \cdot \Delta y^{\beta_1}, \quad (5)$$

$$C_3 = \alpha_2 \cdot M^{\beta_2}, \quad (6)$$

$$K_\phi = \alpha_3 \cdot M^{\beta_3}, \quad (7)$$

де Δy – величина стискання прокладки, мм;

M – момент закручування гайок болтів, Н·м;

α_i , β_i – параметри формул.

З урахуванням дій рухомого навантаження вказані залежності [1] були отримані у вигляді:

$$U_{\text{гшдн}} = \alpha_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot Q_{\text{знач}}}{U_{\text{шт}}} + \frac{R}{U_{\text{шдн}} + 2 \mathcal{K}_n} \right) \beta_1, \quad (8)$$

$$C_3 = \alpha_2 \cdot \left(\frac{Q_{\text{зпоч}} - R \frac{\mathcal{K}_n}{U_{\text{шдн}} + 2 \mathcal{K}_n}}{K} \right) \beta_2, \quad (9)$$

$$K_\phi = \alpha_3 \cdot \left(\frac{Q_{\text{кпоч}} - R \frac{\mathcal{K}_n}{U_{\text{рдн}} + 2 \mathcal{K}_n}}{K} \right) \beta_3, \quad (10)$$

де $Q_{\text{зпоч}}$ – початкове натягнення закладних болтів, Н;

$Q_{\text{кпоч}}$ – початкове натягнення клемних болтів, Н;

$U_{\text{шт}}$ – статична жорсткість нашпальних прокладок, кН/м;

K – коефіцієнт переходу від моменту закручування гайок до натягнення болтів. У середніх умовах $K = 136,5$;

$\mathcal{K}_n$ – жорсткість пружних шайб, кН/м;

R – вертикальна реакція рейкової опори, Н.

Параметри α_2 , α_3 , β_2 і β_3 визначені експериментально кафедрою «Колія та колійне господарство» для двовиткових пружних шайб поперечним перерізом 8×10 мм і 6×10 мм і наведені у табл. 1.

Таблиця

Параметри двовиткових пружних шайб

Січення шайби	α_2	α_3	β_2	β_3
8×10	108,86	388,08	0,678	1,791
6×10	116,47	80,10	0,741	2,697

У процесі експлуатації відбуваються такі зміни жорсткостей пружних елементів, з яких складаються вказані жорсткості скріплення.

По-перше, відбувається послаблення натяжних гайок клемних і закладних болтів, що призводить до зменшення жорсткостей C_z і C_ϕ . Процес послаблення натяжних гайок болтів був досліджений кафедрою «Колія та колійне господарство» УкрДАЗТ [2]. У результаті цих досліджень були встановлені залежності зменшення моменту закручування гайок клемних і закладних болтів у процесі експлуатації:

$$M_3 = 150 - 5,17 T^{0,775}, \quad (11)$$

$$M_k = 150 - 24,48 T^{0,560}, \quad (12)$$

де M_k , M_3 – момент закручування гайок клемних та закладних болтів, Н·м;

T – пропущений тоннаж, млн т.

Початковий момент закручування гайок клемних і закладних болтів приймаємо рівним 150 Н·м.

По-друге, у результаті старіння гуми виникає збільшення жорсткостей прокладок при їх стисканні і зсуві [4, 6].

Для визначення кількісних характеристик збільшення жорсткостей прокладок були проведені випробування за методикою, викладеною в [2]. Прокладки випробовувалися в спеціально створеному пристрої (рис. 1), який дає змогу проводити дослідження прокладок як на сумісну дію вертикальних і бокових сил, так і на дію тільки вертикальних сил. Дослідження проводилися на пульсуючому гідравлічному пресі ГРМ-2 при динамічному завантаженні. Частота прикладання навантаження – 11,5 Гц, інтервал завантаження вертикальним навантаженням 40 - 80 кН, боковим – 30 - 60 кН.

Випробовувалися підрейкові прокладки типу ОП-143 і нащальні типу ЦП-4 та ЦП-153, які були зняті при капітальному ремонті з однієї з ділянок колії металургійного підприємства. Вантажонапруженість ділянки складала 30 млн ткм/км брутто за рік, перебування у колії – 18 років.

У результаті випробувань було встановлено, що вказані жорсткості прокладок типу ЦП-4 збільшились на 27 %, ЦП-153 на 20 %, у порівнянні з визначеними раніше у [3].

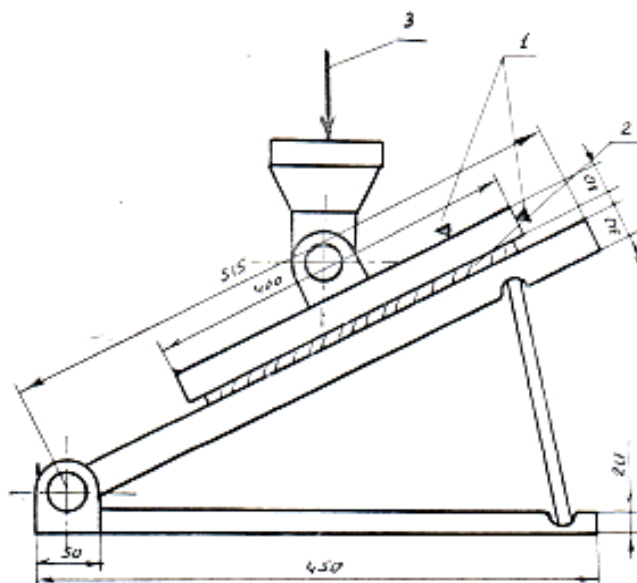


Рис. 1. Схема устаткування для динамічних досліджень прокладок:
1 – електропрогиноміри; 2 – прокладка; 3 – динамічне навантаження

У роботі [4] відмічено, що основний фактор, який впливає на старіння гуми – час її служби. Таким чином, допускаючи лінійну залежність збільшення жорсткостей прокладки

від терміну їх служби, можна встановити жорсткості прокладок у процесі експлуатації.

У табл. 2 наведені орієнтовні залежності збільшення жорсткостей прокладки від часу їх служби.

Таблиця 2

Залежність жорсткості від строку служби прокладок

Параметри жорсткості	Залежності збільшення жорсткостей прокладок		
	ЦП – 4	ОП – 153	ОП – 143
(кН/м)	153846,0 + 5192,0t	0,5238 + 2381 t	-
(кН/м)	333333,0 + 11250 t	181818 + 4545 t	-
(кН/м)	-	-	166066+3321t
(кН/м)	2854,0 + 96 t	908 + 23 t	-
(кН/м)	17948 $\Delta y^{0,883}$	8331 $\Delta y^{0,883}$	-
(кН/м)	-	-	125000+2500t
t – час перебування прокладки в колії, років; Δy – величина стискання прокладок, мм			

Розрахунок жорсткостей рейкових скріплень у процесі експлуатації виконаний за формулами (1) – (6). При розрахунку були прийняті такі допущення:

1. Початковий момент закручування гайок клемних і закладних болтів прирівнюється до 150 Н·м.

2. У процесі експлуатації момент закручування гайок болтів зменшується до нуля за залежностями (10), (11).

3. Пропонується лінійна залежність збільшення жорсткостей гумових прокладок за формулами, наведеними у табл. 2.

Розрахунок жорсткостей скріплень типу КБ при горизонтальному вигині і крученні рейки був виконаний для двох варіантів. Перший варіант – підрейкова прокладка типу ЦП-5 (кордоніт), нашпальна прокладка типу

ЦП-4 (7 мм). Другий варіант – підрейкова прокладка типу ЦП-143 нашпальна прокладка типу ОП-153 (10 мм). Пружинні шайби в обох випадках прийняті перерізом 8 × 10 мм.

Результати розрахунків наведені в табл. 3 та 4 і графічно на рис. 2–4.

Таблиця 3

Жорсткість рейкових скріплень при горизонтальному вигині рейки

Термін служби, років	C_z , кН/м	
	I вар.	II вар.
0	58704	50955
2	31446	24560
4	18084	11844
6	10583	4977
8	8225	3184
16	59115	51583
18	31716	24872

Таблиця 4

Жорсткість рейкових скріплень при крученні рейки

Пропущений тоннаж, млн т	C_ϕ , кН·м/рад	
	I вар.	II вар.
2	889,0	289,2
4	879,3	277,3
8	882,7	280,5
16	974,3	395,1
525	941,1	359,7

Інтервал часу, в якому визначались жорсткості скріплень, визначався із умов повного послаблення клемних (для C_ϕ) і закладних (для C_z) болтів. Для закладних болтів цей час, який визначається із залежностей (11), (12), отримали 2 роки.

На рис. 2-3 наведені графіки зміни жорсткостей скріплення типу КБ при горизонтальному вигині і крученні рейок. Крива АД відповідає зміні жорсткостей рейкових скріплень типу КБ в початковий період експлуатації до повного послаблення натягнення закладних болтів.

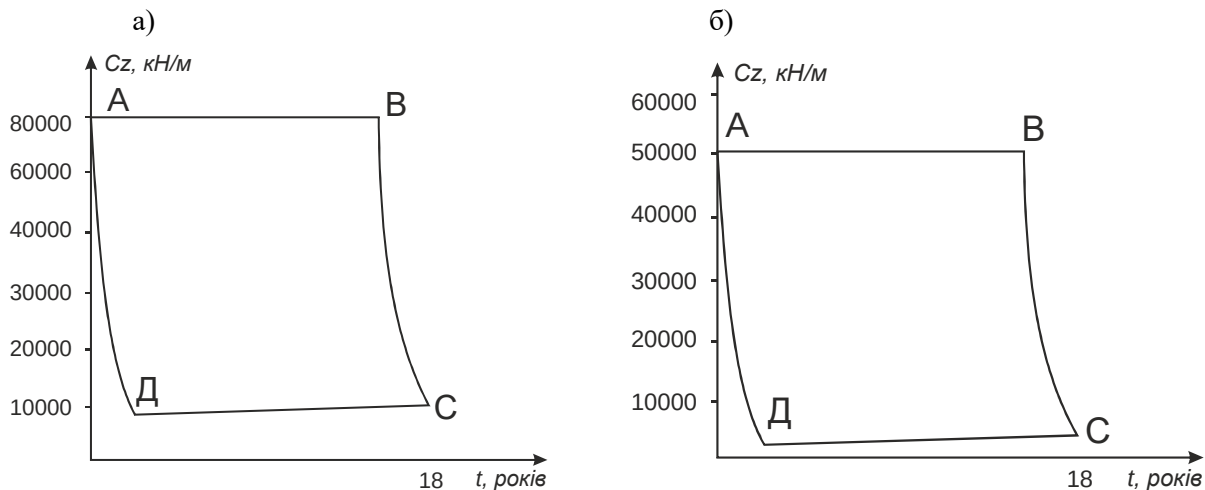


Рис. 2. Зміна горизонтальної жорсткості скріплень типу КБ:
а – при прокладках типу ЦП-4 та ЦП-5; б – при прокладках типу ЦП-143 та ЦП-153
АВ – $M = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 0 \div 16$ років;
ВС – $\Gamma = 25 \text{ млн т/рік}$, $M = 150 \div 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 16 \div 18$ років;
СД – $M = 0$, $t = 2 \div 18$ років;
АД – $\Gamma = 25 \text{ млн т/рік}$, $M = 150 \div 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 0 \div 2$ років.

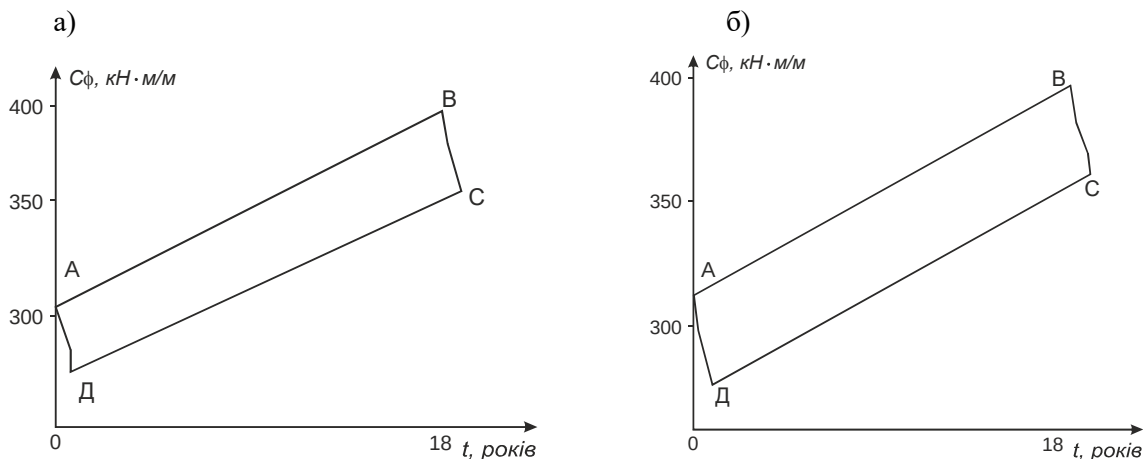


Рис. 3. Зміна жорсткості скріплень типу КБ:
а – при прокладках типу ЦП-4 та ЦП-5; б – при прокладках типу ЦП-143 та ЦП-153
АВ – $M = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 0 \div 16$ років;
ВС – $M = 150 \div 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 0 \div 18$ років;
СД – $\Gamma = 25 \text{ млн т/рік}$, $M = 0$, $T = 2 - 18 \text{ млн т}$.
АД – $M = 150 \div 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t = 0 \div 2$ років.

Пряма СД – зміна жорсткості при повністю послаблених болтах за час 2-18 років.

Пряма АВ – зміна жорсткостей скріплень при постійному моменті закручування гайок болтів, рівному 150 Н·м за час 2-16 років.

Крива ВС – зміна жорсткостей після експлуатації терміном 16 років. Момент закручування гайок болтів змінюється від 150 Н·м до 0.

Таким чином, поле графіка, обмежене фігурою АВСД, відповідає всім можливим змінам жорсткості C_z , C_ϕ за час експлуатації 0-18 років.

На рис. 4 наведені більш докладно графіки зміни жорсткості скріплень при крученні рейок у початковий період експлуатації (0-2 років).

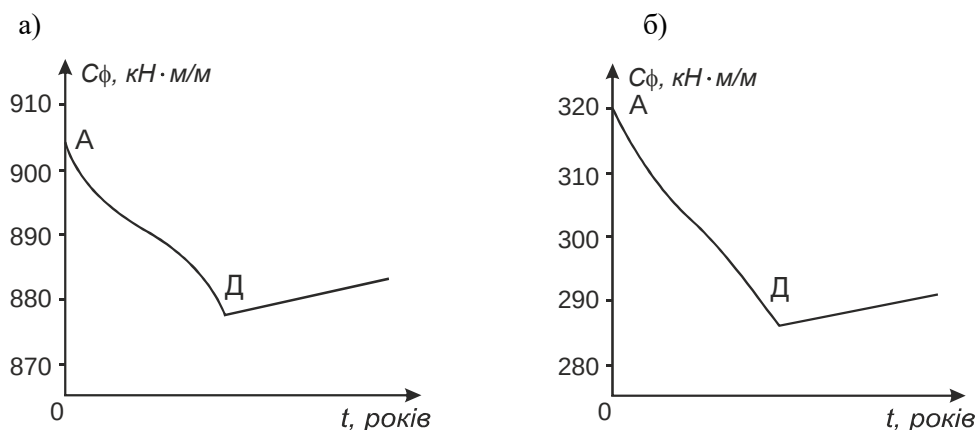


Рис. 4. Зміна жорсткості скріплень на кручення в початковий період експлуатації: а – при прокладках типу ЦП-4 та ЦП-5; б – при прокладках типу ЦП-143 та ЦП-153

Висновки:

1. У початковий період експлуатації ($T = 0-2$ років) горизонтальна жорсткість скріплень типу КБ зменшується від 58704 до 8225 кН/м при прокладках ЦП-4 та ЦП-5. При прокладках ОП-143 та ОП-153 цей параметр зменшується від 50955 до 3184 кН/м. Момент закручування гайок закладних болтів змінюється при цьому від 150 Н·м до 0.

2. Після терміну служби цей параметр змінюється у таких межах: при прокладках ЦП-4 та ЦП-5 від 59115 до 8297 кН/м; при прокладках ОП-143 та ОП-153 – 51583 до 3949 кН/м.

3. Приблизно 85 % горизонтальної жорсткості скріплень забезпечується за рахунок жорсткості закладних болтів при зсуванні підкладки. Цей висновок зроблений в [6], де

жорсткість закладних болтів включена в параметр «Жорсткість бокового упору».

4. У початковий період експлуатації ($t = 0-2$ років) жорсткість скріплень при крученні рейки змінюється в таких межах: при прокладках ЦП-4 та ЦП-5 $C_\phi = 904,4 \div 878,5$ кН·м/рад; при прокладках ОП-143 та ОП-153 $C_\phi = 312,0 \div 276,5$ кН·м/рад. Момент закручування клемних болтів змінюється від 150 Н·м до 0.

5. Після терміну служби 16 років величина C_ϕ змінюється в межах:

а) при прокладках ЦП-4 та ЦП-5 від 974,8 до 941,9 кН·м/рад;

б) при прокладках ОП-143 та ОП-153 від 395,1 до 359,7 кН·м/рад.

6. Приблизно 80 % жорсткості рейкових скріплень при крученні рейок забезпечується за рахунок жорсткості прокладок.

Список використаних джерел

1. Даренський, О.М. Математична модель просторової жорсткості скріплення типу КБ [Текст] / О.М. Даренський // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 80. – С. 166-176.
2. Оценка надежности работы промежуточных скреплений типа КБ в условиях железных дорог металлургических предприятий [Текст] / ИКСЗТ. – 2006. – № 4. – С. 23-25.

3. Даренський, О.М. Експериментальне визначення пружних характеристик прокладок проміжного скріплення КБ [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип 87. – С. 172-178.
4. Григорьев, Е.Т. Расчет и конструирование резиновых амортизаторов [Текст] / Е.Т. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1960.
5. Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / А.Ф. Золотарский, Б.А. Евдокимов, Л.Г. Исаев, Л.Г. Крысанов [и др.]; под ред. А.Ф. Золотарского. – М.: Транспорт, 1980. – 270 с.
6. Шахунянц, Г.М. Работа болтов в скреплениях [Текст] / Г.М. Шахунянц, А.А. Контратьев // Труды МИИТ. – М.: МИИТ, 1973. – Вып. 362. – С. 34-45.
7. Даниленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість (ЦП-0117) [Текст] / Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
8. Даренский, А.Н. Результаты лабораторных испытаний скрепления типа КБ [Текст] / А.Н. Даренский. – Харьков: ХИИТ, 1983. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 18.03.83, № 2145.
9. Даренський, О.М. Експериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП – 5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНИИЖТ 2008. – № 15. – С. 112-124.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Вітольберг Володимир Геннадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства
Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-60.
Рева Володимир Миколайович, магістрант ІППК. Тел.: (099) 928-81-31.

Vitolberg Vladimir Gennadievich, cand. of techn. sciences Department "Road and track facilities" Ukraine State of
Railway Transport Tel.:(057) 730-10-60.
Reva Volodymyr Mykolajovych, Master Training Institute. Tel: (099) 928-81-31.

УДК 624.072.31:075.23

АНАЛІЗ ТА КОНТРОЛЬ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

О.В. Калюжна, В.М. Шевченко, канд. техн. наук Н.В. Бєлікова

АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Е.В. Калюжная, В.Н. Шевченко, канд. техн. наук Н.В. Беликова

ANALYSIS OF WORK AND CONTROL OF FAULTLESS WORK OF CONTACT NETWORK

E.V. Kalyuzhnaya, V.N. Shevchenko, cand. of techn. sciences N.V. Belikova

Безпека руху й експлуатаційна надійність тягового електропостачання визначаються в основному існуючим станом контактної мережі, з технічних і економічних причин споруджуваної без резервування.

Безвідмовна робота контактної мережі забезпечується надійною роботою усіх її складових. Для забезпечення безпеки і безперебійності руху поїздів необхідно виконувати постійний аналіз і контроль всіх елементів контактної мережі.

Зроблено аналіз статистичної інформації з надійності роботи контактної мережі по Південній залізниці.

Ключові слова: контактна мережа (КМ), безвідмовна робота, надійність, аналіз, статистична інформація.

Безопасность движения и эксплуатационная надежность тягового электроснабжения определяются в основном состоянием контактной сети, по техническим и экономическим причинам сооружаемой без резервирования.

Безотказная работа контактной сети обеспечивается надежной работой всех ее составляющих. Для обеспечения безопасности и бесперебойности движения поездов необходимо выполнять постоянный анализ и контроль всех элементов контактной сети.

Сделан анализ статистической информации по надежности работы контактной сети по Южной железной дороге.

Ключевые слова: *контактная сеть (КС), безотказная работа, надежность, анализ, статистическая информация.*

In conditions, when rail transport is faced with the necessity of finding an effective technology tools, providing the greatest economy of material resources in the delivery process. By keeping traffic volumes, accompanied by the increase in speed, weight train, especially important due to the significant cost becomes the problem of maintenance in operational condition of all elements of the contact network. Implementation of measures to improve the reliability of their work possible through the creation of highly effective diagnostic tools that reduce the cost of providing the required level of reliability.

Traffic safety and operational reliability of the traction power supply is determined mainly by the existing condition of the contact network, for technical and economic reasons under construction without reservation.

Trouble-free operation of the contact network ensures reliable operation of all its components. To ensure the safe and uninterrupted movement of trains is necessary to perform continuous analysis and control of all elements of the contact network.

Keywords: *contact network (COP), uptime, reliability, analysis, statistical information.*

Вступ. На цей час залізничний транспорт поставлений перед необхідністю пошуку ефективних технологічних засобів, які забезпечують найбільшу економію матеріальних ресурсів у перевізному процесі.

Світова мережа електрифікованих залізничних ліній складає 240,2 тис. км. Загальна протяжність залізниць України складає в даний час близько 30,3 тис. км. Протяжність електрифікованих ділянок залізниць складає 45 % від загальної протяжності, тобто більше 9878 км.

Оптимальним для країн з розвинутою залізничною інфраструктурою є електрифікація 50-60 % загальної довжини залізничних мереж країни з виконанням ними 90-95 % загального обсягу перевезень.

На сьогодні за абсолютною довжиною електрифікованих залізниць Україна посідає 10-те місце серед країн світу і 6-те серед країн Європи.

Згідно з "Програмою електрифікації залізниць на 2011-2016 роки", затвердженою в 2011 році, загальна довжина ліній, що електрифікуються, складе близько 14000 км.

В умовах збереження обсягів перевезень, що супроводжується збільшенням швидкостей руху, маси поїзда, особливо актуальної внаслідок істотних витрат, виникає проблема підтримки в працездатному стані всіх елементів контактної мережі. Реалізація заходів з

підвищення надійності їх роботи можлива за рахунок створення високоефективних засобів діагностування, що дають змогу знизити витрати на забезпечення необхідного рівня надійності.

Постановка проблеми. Безпека руху й експлуатаційна надійність тягового електропостачання визначаються в основному існуючим станом контактної мережі, з технічних і економічних причин споруджуваної без резервування.

Безвідмовна робота контактної мережі забезпечується надійною роботою всіх її складових. Для забезпечення безпеки і безперебійності руху поїздів необхідно виконувати постійний аналіз і контроль всіх елементів контактної мережі.

Мета. Аналіз статистичної інформації з надійності роботи контактної мережі по Південній залізниці.

Основний матеріал. Частка відмов технічних засобів через старіння, корозію і знос залишається високою, особливо на ділянках першого етапу електрифікації. Найбільша кількість відмов відбувається через недоліки в експлуатаційній роботі і технічні параметри елементів системи, проте значна частина збоїв пов'язана із зовнішніми чинниками – умовами експлуатації і довкіллям.

На контактну мережу впливає безліч чинників, що призводять до відмов і навіть

аварій. Вироблення ресурсу деталей і конструкцій контактної мережі пов'язане з накопиченням необоротних пошкоджень. Ці пошкодження бувають як механічного, так і фізико-хімічного характеру. До першого належать пошкодження несучих і підтримувальних металевих конструкцій, зношування контактних дротів, накопичення пластичних деформацій у затискачах, розтріскування фарфору ізоляторів. До другого характеру пошкоджень належать корозія арматури залізобетонних опор контактної мережі й інших металевих деталей, хімічні перетворення бетону під дією агресивних середовищ, окислення складових дротів та тросів при нагріванні. Багато видів пошкоджень носять змішаний характер, наприклад, знос контактних дротів включає явища механічного (тертя), фізичного (електрокорозія) і хімічного (утворення вторинних структур поверхні) походження.

У системі тягових електростанцій контактна мережа (КМ) є єдиним нерезервованим елементом, тому до неї ставляться найбільш високі вимоги щодо надійності функціонування. КМ є складною технічною системою, що виконує передачу енергії і бере участь у струмозніманні. Відсутність резерву і схильність до інтенсивних навантажень викликають розвиток процесів деградації і відмови КМ. Особливості конструкції й умов роботи КМ зумовлюють значну частку раптових відмов, викликаних різними діями. Це можуть бути аварійні відхилення дротів при вітрі, недопустимі навантаження ожеледі, несправні струмоприймачі, вандалізм і т. д. Одночасно існує велика група поступових відмов, викликаних деградаційними процесами.

Діагностування контактної мережі — процес визначення стану пристроїв контактної мережі з метою підвищення її безвідмовності і зниження витрат праці й коштів на її технічне обслуговування та ремонти. Діагностування контактної мережі є частиною технологічного процесу технічного обслуговування контактної мережі, що дає змогу визначити стан об'єкта з необхідною точністю. Результатом є діагноз технічного стану об'єкта з вказівкою дефекту, його місця, виду і причини. Система технічного діагностування контактної мережі є сукупністю засобів і об'єктів діагностування й виконавців, що дає змогу реалізувати поставлене перед нею

завдання за встановленими правилами і програмами.

Засоби технічного діагностування контактної мережі утворюють комплекс спеціалізованих пристроїв і приладів, які розділяються на зовнішні і вбудовані. Зовнішніми засобами є, наприклад, вагон-лабораторія контактної мережі і різного виду ручні прилади для дистанційного контролю ізоляції, нагрівання струмопровідних елементів, опор. Вбудовані пристрої використовують для контролю окремих параметрів (наприклад, при тепловому захисті дротів).

Інформація з вбудованих пристроїв передається по оптичних, оптоелектронних, механічних (через ізоляційний елемент) і радіоканалах, а також через ізолюючі трансформатори. Обробка й аналіз вихідних сигналів з датчиків, встановлених на елементах контактної мережі, виконуються за програмами, розробленими для кожного з них, а також за програмою, що об'єднує ці сигнали.

Обробка інформації здійснюється як бортовими (вагонів-лабораторій), так і стаціонарними ЕОМ. Обробка сигналів про ознаки (параметри) виконується бортовими ЕОМ у реальному масштабі часу для оперативної видачі діагнозу персоналу районів контактної мережі. Інші сигнали й інформація, що не потребують реєстрації в реальному масштабі часу, обробляються стаціонарними ЕОМ для видачі діагнозу персоналу, зайнятому плануванням ремонтів і підвищенням надійності контактної мережі.

Висновки. При здійсненні контролю стану об'єктів переносними приладами і пристроями, що працюють дистанційно або у контакті з контрольованими об'єктами, для систематизації й аналізу відомостей про роботу цих пристроїв використовують паспортні карти пристроїв і картки відмов. У паспортній карті в хронологічній послідовності відбиваються всі події, пов'язані із зміною стану і роботою цього пристрою, міститься інформація про всі ремонти і випробування, повні і часткові відмови.

В узагальненому вигляді інформація групується по чотирьох розділах: основні характеристики; контрольовані параметри і регламентовані роботи; характеристика відмов; витрати, збиток, напрацювання. Відхилення одного або декількох параметрів за межі, встановлені нормативно-технічною

документацією, при якому зберігається працездатність пристрою і він може тимчасово використовуватися за призначенням, класифікують як часткову відмову; відхилення параметрів від норм, при якому використання пристрою за призначенням неможливе, – як повну.

Для обробки інформації про відмови використовують також спеціалізовані облікові картки відмов. Повна відмова пристрою і викликана ним відмова об'єкта фіксуються одночасно в одній картці. У разі великих

пошкоджень, коли виділення окремих пристроїв неможливе, складається одна картка на об'єкт у цілому. Статистична обробка інформації зіставлення її результатів (при одночасному обліку відмов елементів контактної мережі) за визначений проміжок часу дає змогу з високою ймовірністю оцінювати можливу тенденцію до змін показників мережі у цілому та її окремих елементів, прогнозувати час досягнення показниками граничних нормованих значень.

Список використаних джерел

1. Золотов, М.С. Прочность и деформативность железобетонных элементов с трещинами, затонированными акриловым клеем [Текст] / М.С. Золотов, В.А. Мельман // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 1999. – Вип. 8. – С. 250 – 252.
2. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах [Текст]/ А.В. Котельников, В.И. Иванова, Э.П. Селедцов, А.В. Наумов. – М.: Транспорт, 1974. – 152 с.
3. Даренський, О.М. Вплив стану колії на безпеку руху промислових залізниць [Текст] / О.М. Даренський // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІІЗТ, 2012. – № 29. – С.131-136.
4. Старосельский, А.А. Электрокоррозия железобетона. [Текст] / А.А. Старосельский. – К.: Будівельник, 1978. – 169 с.
5. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Г.П. Вербицкий, В.И. Новгородский. – М.: Стройиздат, 1971. – 144 с.
6. Чихладзе, Э.Д. Оценка несущей способности сталебетонных колонн различного поперечного сечения при действии нагрузки и температуры, включающей пожар [Текст] / Э.Д. Чихладзе, М.А. Веревицева // Строительство, материаловедение, машиностроение. – № 47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С. 684-690.
7. Шагин, А.Л. Об оценке работы бетона в условиях сложного напряженного состояния [Текст] / А.Л. Шагин // Реализация региональной комплексной научно-технической целевой программы “Бетон”: тез. докл. обл. конф. – Харьков, 1983. – С. 28 – 30.
8. Жинкина, Г.Н. Железнодорожное строительство. Организация, планирование и управление [Текст]: учеб. для вузов ж-д. транспорт.; под ред. Г.Н. Жинкина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 372 с.
9. Грушко, И.М. Основы научных исследований. [Текст] / И.М. Грушко. – Харьков: Высш. шк., 1983. – 223 с.
10. ДНАОП 5.1.11-1.48-00. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях [Текст]. – К., 2000.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Пługін

Калюжна Олена Вячеславівна, технік КМС-131 Південної залізниці. Тел.: +380958010212.

Шевченко Валентин Миколайович, магістр, слухач Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +380664615507.

Белікова Наталія Віталіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +380577301067

Kalyuzhnaya Elena Vyacheslavovna, techniques CCM-131 southern railway. Phone: +380958010212.

Shevchenko Valentin Nikolaevich, master, listener the Ukrainian state Academy of railway transport. Phone: +380664615507.

Belikova Natalia V., cand. of techn. sciences, Professor Department of road and railway equipment of the Ukrainian state Academy of railway transport. Phone: +380577301067.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.31

ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ПЧ-АД КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук С.Г. Буряковський, С.О. Грига

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПЧ-АД КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

Канд. техн. наук С.Г. Буряковский, С.О. Грига

RESEARCH ON MATHEMATICAL MODEL of TRANSIENTS In SYSTEM FC is AM of COMPRESSOR SETTING

Cand. of techn. sciences S.G. Buriakovskiy, S.O. Gryga

Подано цифрову реалізацію системи управління частотно-керованим асинхронним електроприводом компресора, яка дає змогу реалізувати режими, що важко або неможливо отримати на існуючому устаткуванні. Наведено не лише загальні рішення, але і подано приклад реалізації із врахуванням особливостей залізничного транспорту.

Ключові слова: системи управління, частотно-керований асинхронний електропривод, електропривод компресора, залізничний транспорт.

Представлена цифровая реализация системы управления частотно-управляемым асинхронным электроприводом компрессора, которая позволяет реализовать режимы, которые тяжело или невозможно получить на существующем оборудовании. Приведены не только общие решения, но и предоставлен пример реализации с учетом особенностей железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: системы управления, частотно-управляемый асинхронный электропривод, электропривод компрессора, железнодорожный транспорт.

Presented a digital implementation of control chastonoupravlyaemym asynchronous electric compressor, allowing to implement regimes that are difficult or impossible to obtain with the existing equipment. Contains not only the basic solutions, but also provided an example of implementation, taking into account the features of rail transport. We discuss the mathematical model of the frequency converter in the form of structural and functional circuits. Is a graph of simulation of the output voltage with a change in frequency and amplitude of magnitude. .rezhimy Considered that increase the efficiency and reliability of the compressor unit, responsible for electric braking system. The high performance of the proposed system, combined with the simplicity and accessibility of the element base as power switches and microprocessor technology of the new generation. The above graphic material available displays complex electromechanical and physical processes occurring in the system of electromechanical compressor unit.

Keywords: control systems, frequency controlled asynchronous electric, electric compressor, trains.

Вступ. Найбільш доцільним методом досліджень перехідних процесів, що відбуваються у складних електромеханічних системах, є математичне моделювання. Завдяки матмоделям можливо не тільки дослідити окремі координати системи та їх поведінку, а й

оцінити вплив системи керування та окремих елементів на систему в цілому.

Оскільки компресорна установка являє собою складну електромеханічну систему, то дослідження її працездатності з новим органом керування – перетворювачем частоти –

необхідно проводити на моделі [1]. Для цього було застосовано традиційний підхід з моделювання як перетворювача частоти, так і асинхронного двигуна [2]. Механічна частина була змодельована згідно з диференціальними рівняннями, що описують процеси в ній [3]. Моделювання відбувалось у середовищі розробки Simulink пакета Matlab через її простоту, широку функціональність і зручність роботи.

Метою дослідження є експериментальне визначення поведінки компресорної системи електровоза ВЛ80 з типовою та модернізованою системами керування, оцінка та порівняння отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Для спрощення математичного опису асинхронної машини був застосований метод просторового вектора, що надав можливість істотно спростити й скоротити вищенаведену систему

рівнянь. Суть методу полягає в тому, що миттєві значення (напруги, струми, потокозчеплення) можна математично перетворити так, щоб вони були представлені одним просторовим вектором. Це математичне перетворення має вигляд (наприклад, для струму статора)

$$\mathbf{i} = 2/3 (\mathbf{i} + \mathbf{a}\mathbf{i} + \mathbf{a}^2\mathbf{i}), \quad (1)$$

де $\mathbf{a} = e^{j2\pi/3}$, $\mathbf{a}^2 = e^{j4\pi/3}$ – вектори, що враховують просторовий зсув обмоток;

$$\mathbf{i} = I_m \cos \omega t;$$

$$\mathbf{i} = I_m \cos(\omega t - 2\pi/3);$$

$\mathbf{i} = I_m \cos(\omega t + 2\pi/3)$ – трифазна симетрична система струмів статора.

Підставивши в рівняння значення миттєвих струмів, знайдемо математичний опис просторового вектора статорного струму:

$$\mathbf{i}_s = 2/3 I_m (\cos \omega t + e^{j2\pi/3} \cos(\omega t - 2\pi/3) + e^{j4\pi/3} \cos(\omega t + 2\pi/3)) = I_m e^{j\omega t}. \quad (2)$$

Для перетворення рівнянь у миттєвих значеннях до рівнянь у просторових векторах помножимо їх на вирази: перші рівняння – на $2/3$, другі – на $2/3\mathbf{a}$, треті – на $2/3\mathbf{a}^2$, і складемо роздільно для статора й ротора. Тоді одержимо:

$$\begin{aligned} u_s &= R_s i_s + d\psi_s/dt, \\ u &= R R i + d\psi_R/dt, \\ \psi_s &= L_s i_s + L_m(\theta) i, \\ \psi_R &= L R i + L_m(\theta) i_s, \end{aligned} \quad (3)$$

При побудові реальних систем електропривода змінного струму як асинхронних, так і синхронних практично завжди в систему керування включаються перетворювачі координат. Це обумовлено тим, що реалізація регуляторів можлива лише в обертовій системі координат, а реальні струми в обмотках статора – це струми в нерухомій системі координат.

Тому, як правило, сучасні електроприводи змінного струму містять перетворювачі обох типів. Крім того, вони містять перетворювачі фаз $2/3$ і $3/2$.

У результаті функціональна схема електропривода набуває вигляду, який зображено на рис. 1.

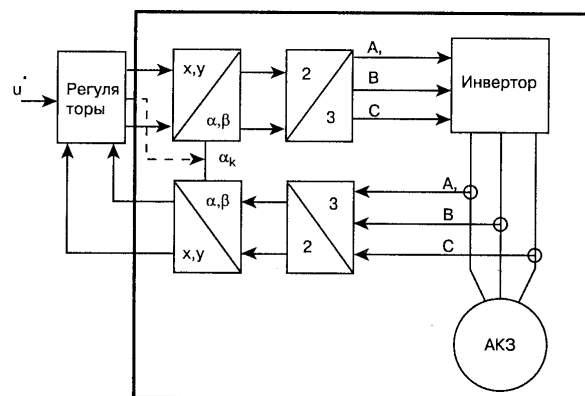


Рис. 1. Функціональна схема асинхронного електропривода

У блоці регуляторів виробляються сигнали керування в обертовій системі координат, а також швидкість обертання системи координат. Потім ці сигнали переводяться в систему нерухомих координат, які керують інвертором.

Для моделювання був обраний АКЗ типу АЕ92–402. На рис. 2 подана математична модель асинхронного трифазного двигуна з частотним перетворювачем, що служить приводом для компресора [4].

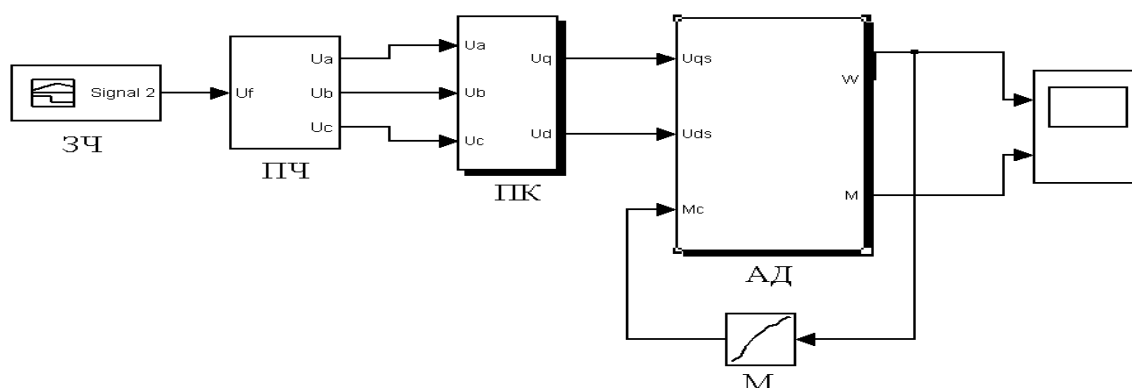


Рис. 2. Модель асинхронного двигуна

Дана модель складається з задавальника частоти і напруги (ЗЧ), що задає сигнал на перетворювач частоти (ПЧ), який постійний сигнал перетворює у змінний трифазний; перетворювача координат (ПК), що перетворює трифазну напругу у двофазну, і асинхронного двигуна (АД) [5,6].

На рис. 3 зображено процес перемикавання живильної напруги та її частоти за допомогою частотного перетворювача [7]. З рисунка видно, що перетворювач частоти керується за законом Костенка [8], тобто зміна частоти прямопропорційна зміні амплітуди напруги.

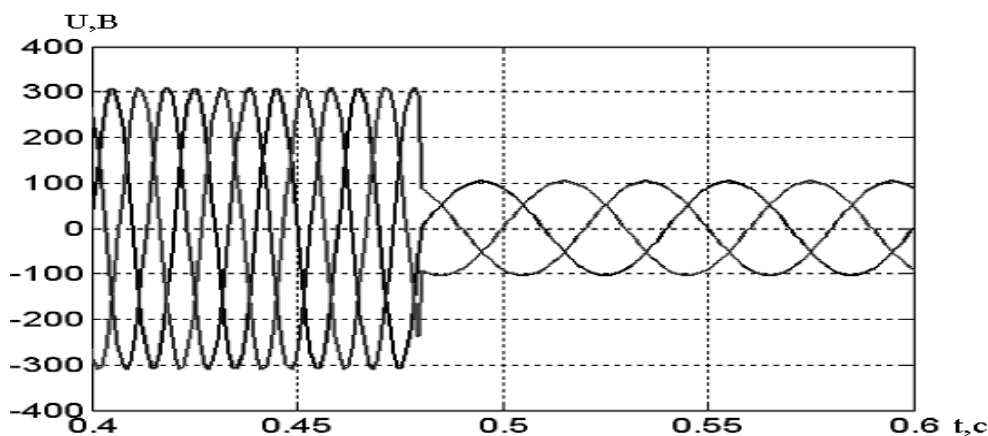
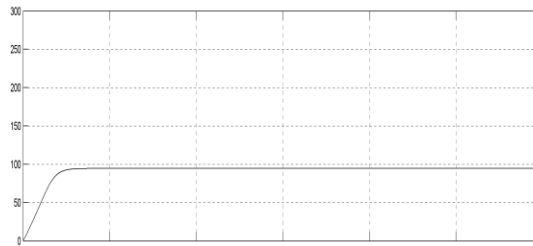


Рис. 3. Характеристика процесу перемикавання живильної напруги та її частоти за допомогою частотного перетворювача

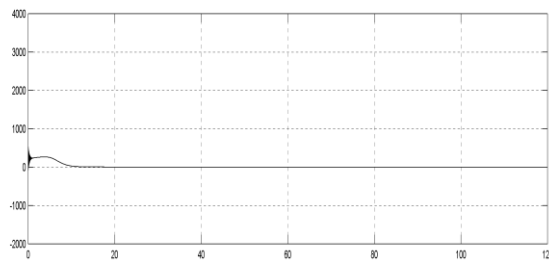
На рис. 4 наведено результати перехідного процесу в системі перетворювач частоти – асинхронний двигун на компресорі при номінальному значенні частоти та живильної напруги. Рис. 4, а показує швидкість асинхронного двигуна, а рис. 4, б – момент. З рисунка видно, що за умов незмінної напруги

швидкість увесь час підтримується на одному значенні. Момент також дорівнює одній величині, що являє собою момент опору. На рис. 5 наведено графік зміни величини тиску в системі компресора, де видно, що значення тиску лінійно змінюється від 0 до 6,5 атмосфер протягом двох хвилин (120 с).

а)

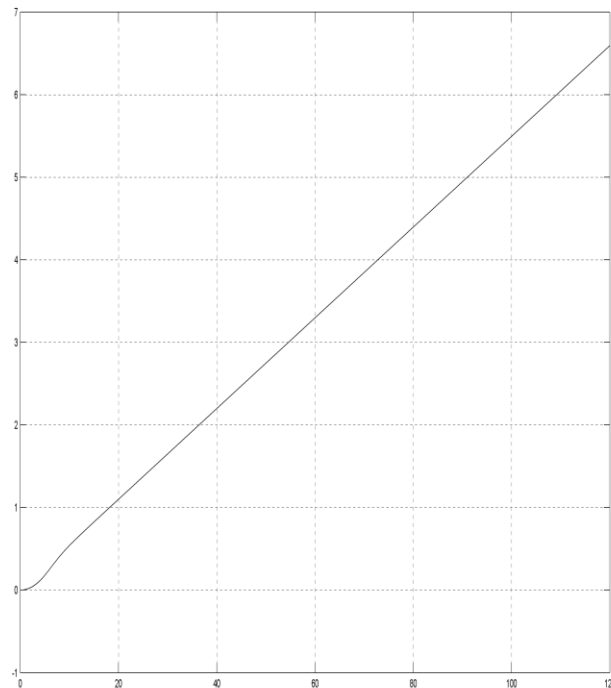


б)



Time offset: 0

Рис. 4. Швидкість та момент асинхронного двигуна



Time offset: 0

Рис. 5. Тиск у ресивері компресорної установки

На рис. 6 наведено результат розрахунку перехідного процесу в системі ПЧ-АД за умов регулювання величини частоти та амплітуди живильної напруги. На рис. 6, а показано зміну швидкості двигуна до швидкості, яка в півтора разу перевищує номінальну. Регулювання швидкості відбувається чотириступенево. Після 110 с перетворювач частоти знижує значення живильної напруги та частоти до значення

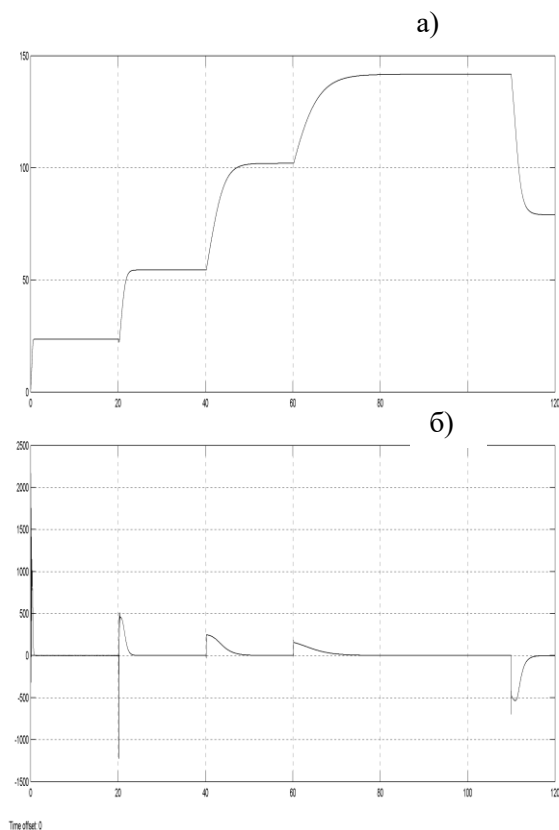


Рис. 6 Швидкість та момент асинхронного двигуна

0,75 Уном [9]. На рис. 6, б наведено перехідний процес на валу асинхронного двигуна. На рис. 7 показано перехідний процес у ресивері компресора. Тут видно, що за 110 с тиск досягає верхнього значення номінального робочого діапазону [10]. Потім при зниженні завдання, при наявності втрату лінії, тиск знижується до нижньої припустимої межі.

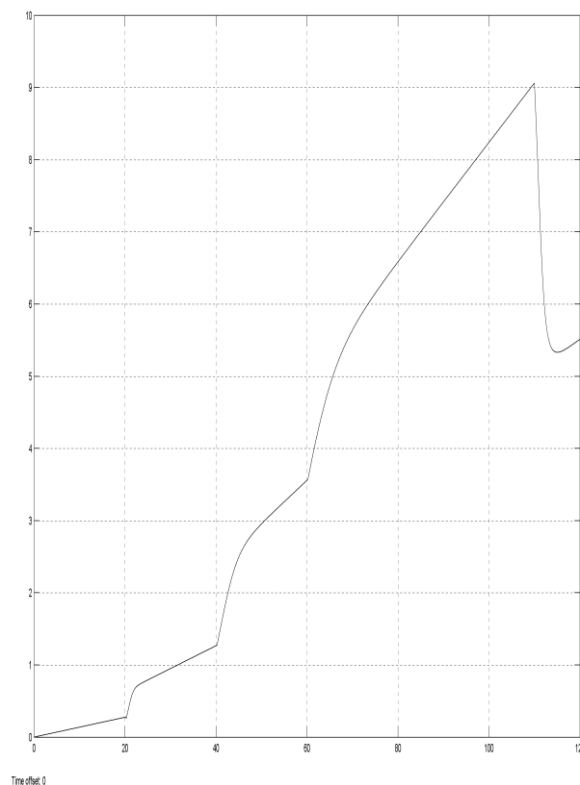


Рис. 7. Тиск у ресивері компресорної установки

Висновки:

1. Використання перетворювача частоти в компресорній установці доцільно, оскільки завдяки підвищенню частоти живильної напруги легко розігнати двигун до швидкості, вищої за номінальну, і таким чином

компенсувати можливі втрати тиску в системі за аварійних обставин.

2. Завдяки використанню перетворювача частоти підвищується надійність роботи гальмівної системи.

Список використаних джерел

1. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем [Текст] / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода [Текст]: учебн. для вузов / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

3. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги [Текст] / В.Е. Розенфельд. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
4. Теорія тяги та гальмові системи ЕРС [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи В.С. Нікулін, Н.Н. Одогов. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 26 с.
5. Быстрицкий, Х.Я. Устройство и работа электровозов переменного тока [Текст] / Х.Я. Быстрицкий. – М.: Транспорт, 1973. – 464 с.
6. Тягові статичні перетворювачі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсової роботи / Ю.І. Гусевський, А.В. Бондаренко. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 35 с.
7. Бурков, А.Т. Электронная техника и преобразователи [Текст]: учебн. для вузов ж.-д. трансп. / А.Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
8. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу [Текст]: навч. посібник / за ред. Ю.П. Гончарова. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – 184 с.
9. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
10. Подвижной состав и тяга поездов [Текст] / под ред. В.В. Деева и Н.А. Фуфрянского. – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.

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

Буряковский Сергей Геннадиевич, канд. техн. наук, профессор кафедры автоматизованных систем электричного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: sergbyr@i.ua.

Грига Сергей Олегович, магистр кафедры автоматизованных систем электричного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (+38068)8405888. E-mail: gryga sergei@ukr.net.

Buriakovskiy Sergii Gennadievich PhD., assistant professor of the department automated systems of electric transport Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (+38050)3012069. E-mail: sergbyr@i.ua.

Gryga Sergii Olegovich magister of the department automated systems of electric transport Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (+38068)8405888. E-mail: gryga sergei@ukr.net.

УДК 629.423

ЕНЕРГООЩАДНИЙ МОДЕРНІЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ТИПУ ЕПЛ9Т

Канд. техн. наук С.І. Яцько, В.О. Тараненко

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ТИПА ЕПЛ9Т

Канд. техн. наук С.И. Яцько, В.О. Тараненко

ELECTRICAL POWER SAVE MODERNIZED ELECTRIC TRAIN OF TYPE EPL9T

Cand. of techn. sciences S.I. Yatsko, V.O.Taranenko

Мінімізацію впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину тягового зусилля в галузі високих швидкостей пропонується забезпечити шляхом використання додаткового джерела живлення. Математичне моделювання режимів тяги та електричного гальмування підтвердили ефективність прийнятих рішень.

Ключові слова: електропривод, тягове зусилля, швидкість руху.

Минимизацию влияния колебания уровня напряжения в контактной сети на величину тягового усилия в области высоких скоростей предлагается обеспечить путем использования

дополнительного источника питания. Математическое моделирование режимов тяги и электрического торможения подтвердили эффективность принятых решений.

Ключевые слова: электропривод, тяговое усилие, скорость движения.

Minimize the influence of fluctuations in the level of contact network voltage on the value of traction at high speeds is proposed by provide additional source of power supply. Mathematical modeling of the regimes of traction and braking confirmed the effectiveness of the decisions taken.

Keywords: electric drive, traction effort, speed of movement.

Вступ. До основних задач щодо збереження конкурентоспроможності пасажирських перевезень залізничним транспортом належить комплексна задача підвищення маршрутних швидкостей, вирішення якої вбачається в забезпеченні відповідного рівня інфраструктури та характеристик електричного рухомого складу.

Аналіз існуючих рішень та постановка задачі. Традиційно електричний моторвагонний рухомий склад (електропоїзди) залізниць України проектувався для забезпечення приміських пасажирських перевезень і мав подібні значення за цілою низкою параметрів: конструкційною швидкістю, прискоренням при пуску та уповільненні при гальмуванні, швидкістю сполучення на умовній ділянці, довжиною умовної ділянки, кількістю моторних осей, типом тягових двигунів та ін. [1-5]. У цілому підхід щодо формування вимог до електропоїздів приміського сполучення не зазнав значних змін. Але вимоги часу, пов'язані з необхідністю забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту, потребують уточнення як цих вимог, так і бачення перспективи в застосуванні даного типу рухомого складу.

Важливим параметром, що характеризує швидкісні можливості електропоїзда, є величина прискорення електропоїзда при пуску в зоні високих швидкостей. Експериментальні дані [5] дають можливість зазначити, що швидкість 130 км/год для електропоїздів типу ЕПЛ9Т при розрахунковій населеності, найбільш ймовірно, є рівно зваженою, тобто залишкове прискорення при даній швидкості ≈ 0 . Безумовно, суттєве зниження сили тяги в галузі високих швидкостей, що характерно для електропоїздів, негативно впливає не лише на їх швидкісні характеристики, а і на рівень споживання електроенергії на тягу при забезпеченні високих значень маршрутних швидкостей. Якщо прийняти до уваги той факт,

що рівень напруги живлення в контактній мережі може коливатись у досить широкому діапазоні, то її зниження тим більш може призвести не лише до ускладнення в забезпеченні маршрутної швидкості, а і до суттєвих перевитрат електроенергії.

Вихід у цих умовах вбачається в розробленні заходів, які забезпечували б збільшення тягового зусилля електропоїзда в галузі високих швидкостей при одночасному зниженні витрат електроенергії.

Мета роботи. Розробка заходів з модернізації електропривода електропоїздів типу ЕПЛ9Т з метою мінімізації впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину тягового зусилля в області високих швидкостей.

Основна частина. Мінімізацію впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину тягового зусилля в галузі високих швидкостей пропонується забезпечити шляхом використання додаткового джерела живлення. Пропонується тяговий електропривод електропоїзда типу ЕПЛ9Т додатково обладнати джерелом живлення, включивши його послідовно з основним.

Що стосується питання живлення додаткового джерела енергії, то основним джерелом енергії можуть бути тягові електричні двигуни, які працюють у генераторному режимі при електричному гальмуванні. На рис. 1 показана спрощена структурна схема системи накопичення енергії при реостатному гальмуванні, де М1, М2 – тягові електричні двигуни (ТЕД); ОЗ М1,... ОЗ М4 – обмотки збудження ТЕД моторного вагона, підключені до перетворювача UA2; R1 – гальмівний резистор; С – ультраконденсаторний модуль, підключений через перетворювач UA1 паралельно якірним обмоткам ТЕД; UA – пристрій акумулювання та формування енергії для пристрою вольтодобавки; UAC – статичний перетворювач для формування енергії для пристрою

вольтодобавки; UA1 – статичний перетворювач, призначений для регулювання струму заряду конденсатора С шляхом регулювання еквівалентного опору гальмівного резистора; UA2 – статичний перетворювач. За допомогою даного перетворювача при його включенні і індуктивності накопичується енергія, достатня

для заряду конденсатора С. Працює спільно із статичним перетворювачем UA1 при заряді конденсатора С; UA3 – статичний перетворювач, призначений для регулювання струму збудження ТЕД; Uy1, Uy2, Uy3 – сигнали управління статичними перетворювачами; L – дросель.

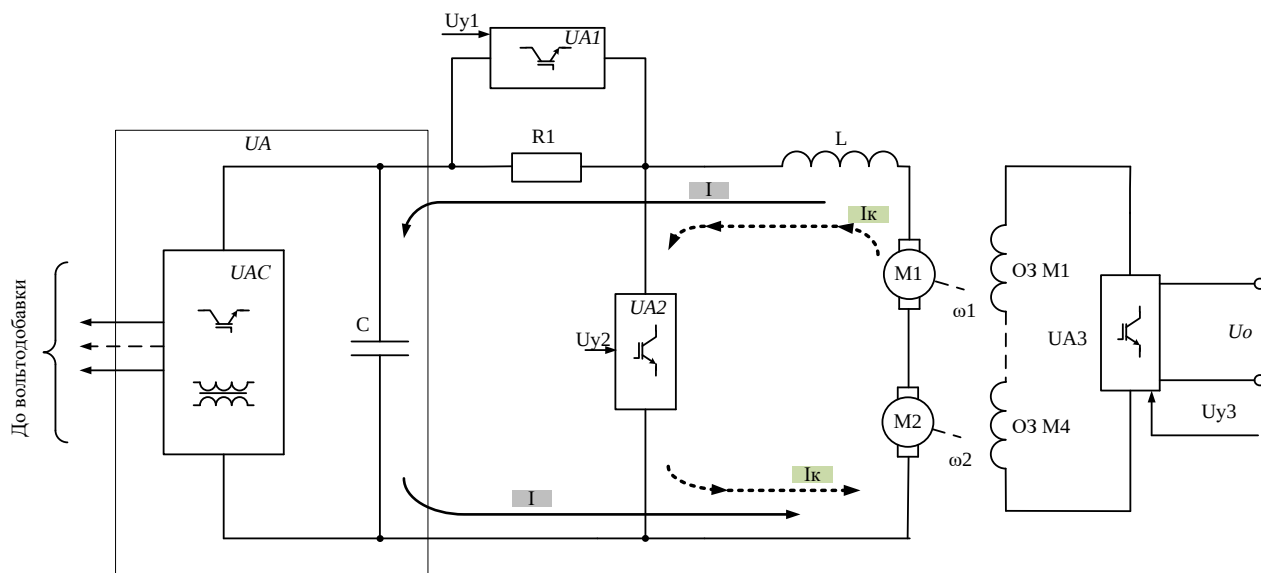


Рис. 1. Пристрій акумулювання енергії в режимі реостатного гальмування

Запропоноване схемне рішення дає можливість реалізувати два режими:

Режим - UA2 виключено. В даному режимі шляхом регулювання часу включеного стану та включеного регулюється еквівалентна величина гальмівного резистора і тим самим величина струму I (див. рис. 1) заряду конденсатора. У випадку, коли напруги на виході генератора недостатньо навіть при закороченому гальмівному резисторі для забезпечення заряду конденсатора, застосовується режим 2.

Режим 2 – в даному режимі при включенні UA2 в дроселі накопичується енергія (на рис. 1 показано контур протікання струму I_k), і при виключенні UA2 відбувається заряд конденсатора.

Оцінка запропонованих рішень та алгоритми управління були перевірені шляхом моделювання в середовищі програмного забезпечення MATLAB. Проведені дослідження підтвердили правильність прийнятих рішень.

Для ілюстрації на рис. 2 наведено осцилограми режиму тяги як при штатній схемі (без використання додаткового джерела – варіант 1) так і при модернізованій (з використанням додаткового джерела – варіант 2).

Як видно з наведених осцилограм, при застосуванні додаткового джерела енергії техніко-енергетичні характеристики ЕПЛ9Т суттєво покращуються.

Висновки. Запропоновані рішення щодо модернізації електропривода електропоїзда типу ЕПЛ9Т дають змогу поліпшити тягові характеристики електропоїзда в галузі високих швидкостей руху за рахунок мінімізації впливу коливань рівня напруги в контактній мережі.

Дані схемні рішення можна віднести до енергоощадних і в тому чи іншому вигляді можна запропонувати для впровадження на інших рухомих одиницях, що живляться від контактної мережі.

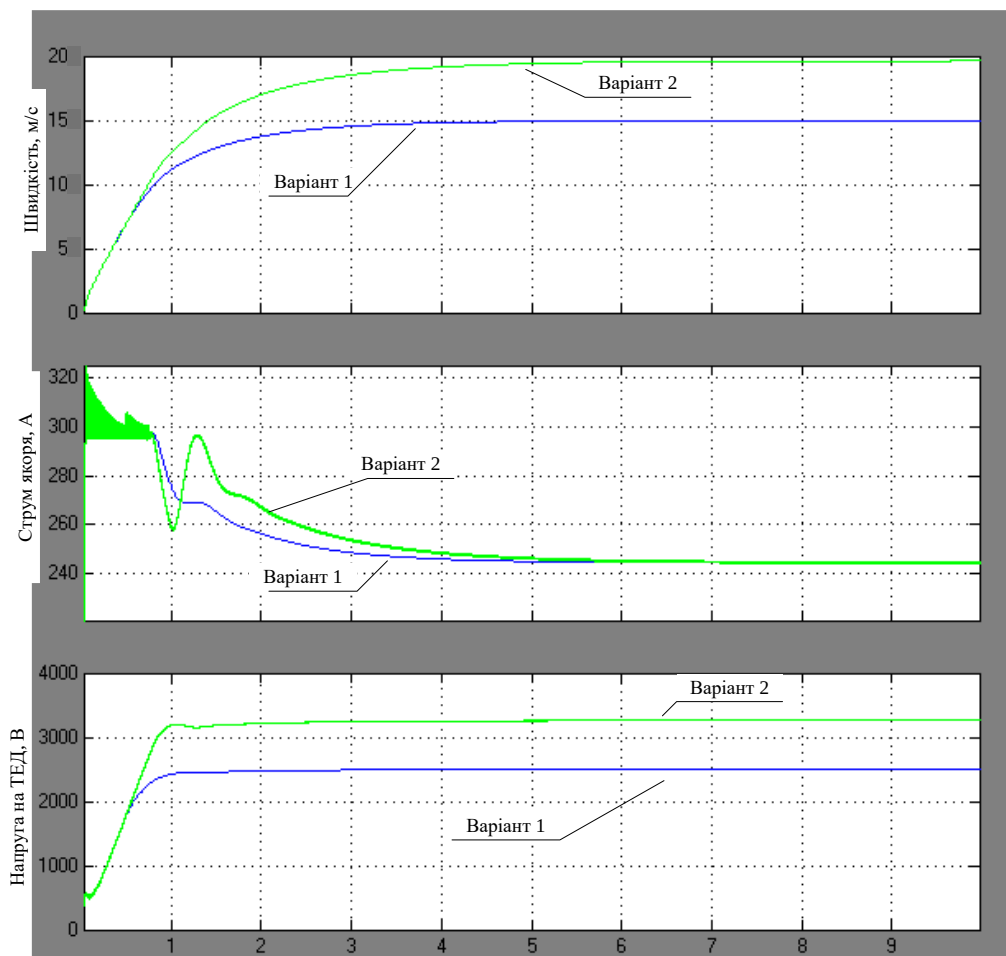


Рис. 2. Осцилограми режиму тяги

Список використаних джерел

1. Гаевской, В.Н. Электропоезда ЭР-2Р и ЭР-2Т. Руководство по эксплуатации [Текст] / В.Н. Гаевской. – М.: Транспорт, 1978. – 328 с.
2. Проектирование систем управления электроподвижным составом [Текст] / Н.А. Ротанов, Д.Д. Захаров, А.В. Плакс, В.И. Некрасов, Ю.М. Иньков; под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1986. – 327 с.
3. Яцько, С.І. Основні напрямки підвищення конкурентоспроможності вітчизняного електричного моторвагонного рухомого складу [Текст] / С.І. Яцько // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 97. – С. 16-25.
4. Яцько, С.І. Розвиток наукових основ визначення характеристик перспективного моторвагонного рухомого складу [Текст] / С.І. Яцько // Матеріали докладов 24-й междунар. конф. «Перспективні комп'ютерні системи для залізничного транспорту України» // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. - № 5. - С.103-105.
5. Басов, Г.Г. Розвиток електричного мотовагонного рухомого складу [Текст] / Г.Г. Басов. – Харків: «Апекс+», 2005. – Ч. 2. – 248 с.

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

Яцько Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (050) 907-16-58.

Тараненко Валерій Олександрович, слухач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту. Тел.: (066) 427-00-05.

УДК 621.3.017:621.331

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Канд. техн. наук Д.Л. Сушко, О.М. Хамевко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Канд. техн. наук Д.Л. Сушко, О.Н. Хамевко

ANALYSIS OF METHODS CONTROL AND DIAGNOSTIC PARAMETERS ISOLATION THE TRACTION ENGINE OF DIRECT CURRENT

Cand. of techn. sciences D.L. Sushko, O.N. Khamevko

У статті розглянуто основні причини і дефекти ізоляційної конструкції, процеси, які протікають в ізоляції під дією електричного поля. Подано узагальнений аналіз методів контролю і діагностичних параметрів ізоляції тягових двигунів постійного струму.

Ключові слова: тяговий двигун, ізоляція, неруйнівний контроль, діагностичні параметри.

В статье рассмотрены основные причины и дефекты изоляционной конструкции, процессы, протекающие в изоляции под действием электрического поля. Представлен обобщенный анализ методов контроля и диагностических параметров изоляции тяговых двигателей постоянного тока.

Ключевые слова: тяговый двигатель, изоляция, неразрушающий контроль, диагностические параметры.

In article, are considered principal reasons and defects of isolating construction, processes are flowing in isolation under action of electric field. A generalized analysis of methods of control and diagnostic parameters of isolation the traction engine of direct current is presented.

Keywords: the traction engine, insulation, nondestructive control, diagnostic parameter.

Вступ. Експлуатаційна надійність тягових двигунів залежить від якості виготовлення та ремонту останніх, від умов навколишнього середовища при експлуатації, від факторів, які впливають на тяговий двигун у процесі експлуатації.

Одним з найважливіших шляхів вирішення задачі поліпшення експлуатаційної надійності тягових електричних двигунів є впровадження ефективних і багатофункціональних засобів технічного діагностування у комплексі системи технічного обслуговування і планово-попереджувального ремонту [1,6].

Постановка проблеми. Аналіз статистичних даних відмов ТД показує, що 15 – 20 % ТД, які вийшли з ладу, припадають на перший період роботи ТД, так званий період припрацювання, а основним видом відмов є міжвиткове або коротке замикання обмотки якоря [1]. Основною причиною даних

пошкоджень є неякісна ізоляційна конструкція якоря.

У процесі експлуатації через зволоження, перегрів, динамічні навантаження і перенапруження відбувається загальне старіння ізоляції, тобто погіршення її фізико-хімічних властивостей. В ізоляції виникають розподілені і місцеві (зосереджені) дефекти, які зрештою призводять до її пробую [3]. Щоб своєчасно виявляти дефекти, що розвиваються, і не припускати раптових пробів електричної ізоляції, властивості її в процесі експлуатації періодично перевіряють.

Ефективність випробовувань чи ймовірність правильного виявлення дефектної ізоляції при контролі не є 100 %-ю. Вона залежить від методик випробовувань, характеристик використовуваної апаратури, значень вимірювальних параметрів, періодичності проведення випробовувань [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сформованій практиці обслуговування і ремонту ТД застосовується параметричне діагностування, що базується на вимірі сукупності параметрів, фізична природа яких визначається природою контрольованого процесу [2,6].

Визначення мети і задачі досліджень. Одна з найважливіших задач, яка вирішується при розробці діагностичного забезпечення, – вибір необхідної і достатньої сукупності діагностичних параметрів і встановлення їх гранично допустимих значень.

Основна частина дослідження. Тягові двигуни можуть нормально працювати лише із справною ізоляцією. Під дією різного роду дестабілізуючих факторів (електричні, теплові, електрохімічні) відбуваються структурні зміни матеріалу ізоляції, що призводить до розвитку первинних дефектів і виникнення нових. Відмова електричної ізоляції проявляється у вигляді її пробую.

Основною задачею профілактичних випробувань є виявлення дефектів, що розвиваються. Оцінка стану електрообладнання проводиться на підставі зіставлення всіх результатів випробувань та аналізу поведінки об'єкта випробувань в експлуатації [2,6].

Методи, які використовуються при всіх видах випробувань, можна класифікувати таким чином: руйнівні і неруйнівні [2,4,6].

До першої групи методів належать так звані руйнівні, коли при випробуваннях використовується підвищена напруга, в порівнянні з робочою, і викликає прискорене руйнування ізоляції в дефектному місці. Суттєвим недоліком таких випробувань є те, що прикладання підвищеної напруги не виключає появи нового дефекту, якого не було до випробування.

Другу групу складають неруйнівні, при яких використовується мала напруга і різні непрямі способи оцінки характеристик ізоляції, які не заподіюють шкоди ізоляційній конструкції і не можуть її пошкодити.

Діагностування ізоляційної конструкції ТД у процесі технічного обслуговування проводиться в основному неруйнівними непрямыми методами, які базуються на двох основних явищах, що виникають у діелектриках під дією слабких електричних полів: електропровідності та електричної поляризації.

В ізоляційній конструкції тягових двигунів виникає міжшарова поляризація, обумовлена неоднорідністю структури ізоляції. Припустимо, що в основну речовину діелектрика вкраплені включення підвищеної провідності. Тоді струм зміщення в ізоляції протікає частково по провідних включеннях (рис. 1). Тому при вмиканні діелектрика на постійну напругу в струмі виникає складова, обумовлена зарядом ємностей C через опір r . Стала часу міжшарової поляризації лежить у широких межах – від мілісекунд до десятків секунд і більше [4].

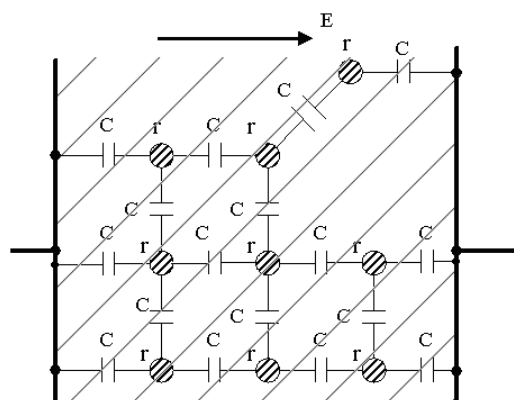


Рис. 1. Схема виникнення міжшарової поляризації

Для виявлення дефектів, які виникають в ізоляції, розроблені і застосовуються такі методи неруйнівного контролю ізоляції: вимірювання опору ізоляції; вимірювання кута діелектричних втрат; вимірювання ємності; вимірювання часткових розрядів в ізоляції.

Найпоширенішим методом контролю стану ізоляції є вимірювання її опору. Метод призначений для виявлення грубих дефектів, значного забруднення і зволоження ізоляції. Перевага методу полягає у великій чутливості до деяких місцевих дефектів і в простоті проведення вимірювань.

Абсорбційні характеристики виникають у діелектриках під дією електричного поля [5].

При підключенні діелектриків до постійної напруги, окрім постійного струму витоку, спостерігається в перебігу нетривалого часу так званий струм абсорбції, що спадає з часом до нуля за експоненціальним законом. Після закінчення перехідного процесу в схемі буде протікати лише крізний струм витоку. Вимірювання в певні моменти струму, що

проходить через ізоляцію, дає інформацію про ступінь її неоднорідності. В процесі старіння струм абсорбції зменшується. Отже, за струмом абсорбції можна судити про стан ізоляції і ступінь її старіння.

Вимірювання опору ізоляції визначається за наслідками вимірювань через 15 і 60 с після прикладання напруги на об'єкт. При цьому контролюється коефіцієнт абсорбції:

$$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

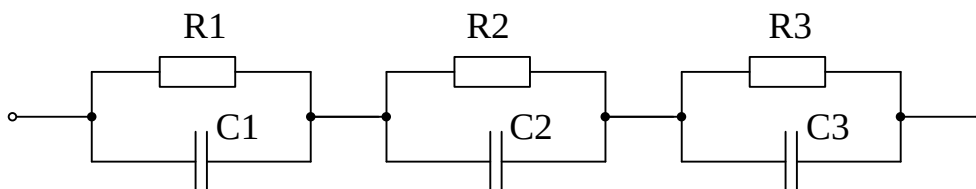


Рис. 2. Багатошарова схема заміщення корпусної ізоляції тягових електродвигунів

Математична модель багатошарової ізоляції для процесу саморозряду можна зобразити у вигляді суми затухаючих експонент з різними постійними часу:

$$u_c = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-\frac{t}{T_i}}, \quad (2.1)$$

де n - кількість шарів ізоляції;

A_i - постійна величина для i -го шару; дорівнює напрузі на i -му шарі в початковий момент часу процесу саморозряду;

$T_i = R_i C_i$ - постійна часу i -го шару,

t - поточний час.

Знаючи параметри математичної моделі, можна знайти і параметри схеми заміщення, використовуючи такі співвідношення:

$$R_i = \frac{R_{60}}{\sum_{i=1}^n A_i} \cdot A_i,$$

$$C_i = \frac{T_i}{R_i}.$$

Чим більше ізоляція містить побічних включень, зокрема чим більше зволожена ізоляція, тим менше коефіцієнт абсорбції.

Для визначення діагностичних параметрів ізоляційної конструкції ТД, останню можна зобразити у вигляді тришарової схеми заміщення, яка зображена на рис. 2.

Найбільшу інформацію про стан ізоляції можна отримати, аналізуючи процеси абсорбції в ній [5]. Про характер процесів абсорбції можна судити за зміною струму абсорбції. Проте більш зручно судити про них за залежностями опору ізоляції, напруги саморозряду і зворотної напруги від часу.

Протікання через діелектрик поляризаційних струмів веде до розігріву ізоляції. Пов'язані з цим втрати енергії називаються діелектричними. Діелектричні втрати при промисловій частоті виникають в основному за рахунок явищ швидкої поляризації.

Старіння ізоляції призводить до збільшення діелектричних втрат за рахунок збільшення активної складової струму, яка протікає в ній, і оцінюється тангенсом кута діелектричних втрат:

$$\frac{I_a}{I_r} = \operatorname{tg} \delta.$$

Вимірювання $\operatorname{tg} \delta$ дає уявлення про якість ізоляції, а характер зміни при періодичних вимірюваннях дає можливість судити про погіршення властивостей ізоляції.

Метод ємність-частота базується на тому, що ізоляція містить сторонні включення, зокрема чим більше ізоляція зволожена, тим вище значення ємності C . Отже, вимірювання ємності об'єкта при двох частотах f_1 і f_2 дають змогу робити висновок про наявність в ізоляції сторонніх включень. Звичайно вимірювання

ємності ведеться на частотах $f_1 = 2$ Гц і $f_2 = 50$ Гц. Показником якості ізоляції служить відношення C_2/C_{50} . Чим це відношення менше, тим ізоляція доброякісніша. Для сухої ізоляції відношення $C_2/C_{50} = 1.2 \div 1.3$. В міру зволоження відношення C_2/C_{50} зростає.

Також основними дефектами ізоляційної конструкції є велика кількість повітряних включень, які виникають або через порушення структури ізоляції (розшарування, розриви), або через трапляння в конструкцію повітряних включень [3]. Електрична міцність таких дефектів нижча, ніж міцність іншої частини ізоляції, і при накладанні напруги створюються умови для виникнення пробою.

При накладанні напруги, особливо змінної, розряди відбуваються дуже часто, і в ланцюгу наявні безперервні високочастотні несинусоїдальні коливання струму. Амплітуда і інтенсивність цих коливань зростають по мірі

зростання числа повітряних включень унаслідок старіння і розшарування ізоляції [4,6].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, як діагностичні параметри для оцінки стану ізоляції ТД можна використовувати такі: R_{60} омичний опір ізоляції, заміряний через 60 с після підключення напруги; коефіцієнт абсорбції K_a ; C_{50} електрична ємність ізоляції, заміряна на частоті 50 Гц; ємнісний коефіцієнт; $\tan \delta$ тангенс кута діелектричних втрат.

За інтенсивністю спаду струму абсорбції на початковому інтервалі часу розряду ізоляції можна судити про її внутрішній стан, дістаючи інформацію про зміну таких основних властивостей, як електропровідність і діелектрична проникність окремих шарів.

Список використаних джерел

1. Сушко, Д.Л. До оцінки експлуатаційної надійності тягових двигунів постійного струму [Текст] / Д.Л. Сушко, О.В. Устенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2009. – № 4. – С. 88-92.
2. Сей, П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения [Текст] / П.М. Сей. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
3. Вайда, Д. Исследование повреждений изоляции [Текст] / Д. Вайда. – М.: Энергия, 1968. – 400 с.
4. Акімов, О.І. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту [Текст]: навч. посібник / О.І. Акімов, Д.Л. Сушко. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 217 с.
5. Борисова, М.Э. Анализ абсорбционных и частотных характеристик диэлектриков на основе модельных эквивалентных схем [Текст] / М.Э. Борисова, С.П. Койков // Электричество. – 1988. - № 4. – С. 66-70.
6. Гуменюк, В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.М. Гуменюк. – Владивосток: Дальневост. гос. техн. ун-т, 2010. – 218 с.

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

Хамевко Олег Миколайович, слухач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 098-403-78-46.

Сушко Дмитро Леонідович, канд. техн. наук, кафедра автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 066-121-60-10.

Khamevko Oleg Mykolayovych, student of the department «ASET». Tel.mob. 098-403-78-46.

Sushko Dmitriy Leonidovich, associate professor of the department «ASET». Tel.mob. 066-121-60-10.

**ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ, ДОРОЖНІ, БУДІВЕЛЬНІ,
МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ І ОБЛАДНАННЯ**

УДК 621.892

**ДОСЛІДЖЕННЯ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПАРИ ТЕРТЯ «РЕБОРДА
КРАНОВОГО КОЛЕСА – РЕЙКА»**

Канд. техн. наук А.М. Кравець, Р.О. Бичек

**ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАРЫ ТРЕНИЯ «РЕБОРДА
КРАНОВОГО КОЛЕСА – РЕЛЬС»**

Канд. техн. наук А.М. Кравец, Р.А. Бычек

TESTING OF LUBRICANTS FOR FRICTION PAIR FLANGE CRANE WHEEL – RAIL»

Cand. of techn. sciences A. Kravets, R. Bychek

Наведені результати трибологічних досліджень напіврідких мастильних матеріалів, які пропонується вводити в зону контакту реборд ходових коліс вантажопідіймальних кранів з рейками для зменшення в цій парі сил тертя і тим самим зниження інтенсивності її зношування. Випробування на машинах тертя показали достатньо високі трибологічні характеристики п'яти марок досліджених мастил вітчизняного і закордонного виробництва.

Ключові слова: кран, реборда, рейка, мастильний матеріал, зношування, машина тертя, трибологічні характеристики.

Приведены результаты трибологических исследований полужидких смазочных материалов, которые предлагается вводить в зону контакта реборд ходовых колес грузоподъемных кранов с рельсами для уменьшения в этой паре сил трения и тем самым снижения интенсивности её изнашивания. Испытания на машинах трения показали достаточно высокие трибологические характеристики пяти марок исследованных смазок отечественного и зарубежного производства.

Ключевые слова: кран, реборда, рельс, смазочный материал, изнашивание, машина трения, трибологические характеристики.

In cranes one of the pairs of friction, which is subjected to the wear rate is the «flange of wheel – rail». Sufficiently effective in reducing wear of the pair is to supply the nip lubricant.

The results of tribological studies semi Lube proposed to enter into the contact flanges running wheels cranes and rails to reduce this pair of frictional forces, thereby reducing the intensity of its wear. These materials are domestic and foreign production are already being used to solve this problem on the railways in different countries. Tests of friction machines showed relatively high tribological properties of five brands tested lubricants. In tests on a four-ball machine best tribological characteristics showed grease Tramlub F 234 MOD 2 German production and in test of machine SMC-2 - domestic grease «Agrinol Puma-M». But on the whole, the results of testing, all lubricants can be approved for use in the friction pair «flanged crane wheel – rail».

Keywords: crane, flange, rail, lubricant, wear, friction machine, tribological characteristics.

Постановка проблеми. На сьогодні у різних галузях народного господарства України для виконання вантажопідіймальних робіт широко застосовуються мостові крани. Як і в інших машинах подібного типу, в мостових

кранах доволі багато трибо вузлів, від безвідмовної роботи яких залежить загальна ефективність застосування крана в цілому. Одним із таких вузлів є пара тертя «реборда кранового колеса – рейка». Зношування в цій

парі призводить до вимушеного простою кранів та значних втрат часу і фінансів на відновлення її працездатності і крана в цілому. Як свідчать джерела, до 90 % коліс замінюються унаслідок зносу і розвальцьовування реборд і до 70 % рейок кранів – внаслідок зносу бічних граней [1]. Особливо актуальною ця проблема є для кранів великої вантажопідйомності або для кранів із значним прольотом, коли дуже важко забезпечити проектну геометрію балок крана і ретельно вивірити положення ходових коліс у плані та профілі.

Аналіз останніх досліджень. Одним із способів боротьби із зношуванням пари тертя «реборда кранового колеса – рейка», який останнім часом набуває все більшого застосування, є введення в зону контакту мастильного матеріалу. Відомі різні конструкції пристроїв для змащування цього трибосполучення із застосуванням мастильних матеріалів різного типу.

Існують пристрої, які наносять мастильний матеріал на бічну поверхню кранової рейки з одного чи двох боків, при цьому застосовуючи мастила класу консистенції за NLGI від 000 до 2, наприклад фірми «BIJUR DELIMON International» [1] або фірми REBS [2], які відрізняються способом подачі матеріалу, а також пристрої, що подають рідкий мастильний матеріал [3]. Також є пристрої, що подають мастильний матеріал на реборду ходового колеса, застосовуючи при цьому напіврідкі мастила класу консистенції за NLGI від 000 до 00, як ті, що виробляються фірмою «BIJUR DELIMON International» [1], або такі, які запропоновані ТОВ «Факел» м. Єкатеринбург [4], що є універсальними, з точки зору виду мастильного матеріалу, і можуть подавати рідке, тверде, консистентне мастило, ревіталізанти, металоплакувальні присадки тощо. Відомі також пристрої для нанесення мастильного матеріалу на реборду кранового колеса, які являють собою стержень із твердого мастила, який постійно притискається до робочої поверхні реборди, стирається об неї і створює тим самим на поверхні тертя захисний шар із низьким коефіцієнтом тертя і високою зносостійкістю [5].

Слід зауважити, що використання наведеного вище методу боротьби із зношуванням у парі тертя «реборда кранового колеса – рейка», крім того, дозволяє за рахунок зменшення сили тертя в даному трибовузлі

знизити шум при пересуванні крана, зменшити споживання електроенергії, зниження навантаження на механізм пересування збільшує довговічність приводного електродвигуна тощо.

Мета статті. Ефективність застосування пристроїв для подачі мастильного матеріалу залежить від багатьох факторів: правильності їх встановлення та налаштування, точного дозування мастильного матеріалу, регулярного обслуговування і контролю працездатності цих систем, стану самого механізму пересування крана тощо. На нашу думку, одним із найважливіших факторів є правильний підбір мастильного матеріалу, який повинен мати в першу чергу високі трибологічні характеристики, відповідати умовам роботи крана (температурним у першу чергу), бути сумісним із матеріалами системи подачі і не створювати корозійного впливу на поверхні коліс і рейок.

У даній статті розглядаються результати дослідження трибологічних характеристик напіврідких мастил вітчизняного та закордонного виробництва з метою виявлення перспективності їх застосування для змащування пари тертя «реборда кранового колеса – рейка». У випробуваннях застосовувалися мастила «Агрінол Рельсол М», «Агрінол Рельсол ГС» та «Агрінол Пума-М» (ТОВ «ПУ НВП Агрінол» (м. Бердянськ) та мастила Locolub ECO і Tramlub F 234 MOD 2 (Fuchs Lubritech GMBH – Німеччина). Ці мастила досить тривалий час застосовуються для змащування пари тертя «колесо рухомого складу – рейка» на залізницях різних країн – України [6], Росії, Німеччини, Австрії та інших.

Основний матеріал. Дослідження названих мастильних матеріалів проводилися на широко відомих машинах тертя СМЦ-2 та ЧКМ.

Випробування на машині ЧКМ проводилися за методикою, передбаченою ГОСТ 9490 [7], згідно з якою як пари тертя виступають сталеві кульки діаметром 12,7 мм, виготовлені із шарикопідшипникової сталі. Випробування складалося із серії визначень, які виконувалися при температурі 20 °С. Кожне визначення проводилося на новій пробі випробуваного мастильного матеріалу із чотирма новими кульками.

Визначення критичного навантаження (рис. 1) показало, що максимальне значення

Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання

цього показника має мастило Tramlub F 234 MOD 2, а мінімальне – «Агрінол Рельсол ГС», і різниця між ними складає орієнтовно 1,7 разу. Значення критичного навантаження для мастил

«Агрінол Пума-М» та Locolub ECO перебувають приблизно на одному рівні і складають орієнтовно 76 % від значення цього показника для Tramlub F 234 MOD 2.

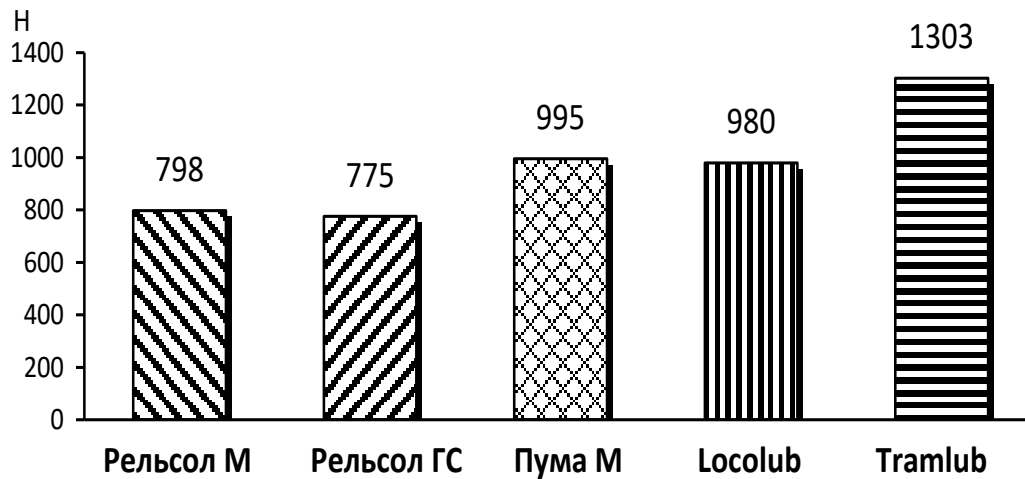


Рис. 1. Критичне навантаження

Визначення **навантаження зварювання** (рис. 2) дало можливість встановити, що найбільшу граничну працездатність має мастило Tramlub F 234 MOD 2, причому його

властивості за цим параметром значно перевищують (не менше ніж на 58 %) можливості інших досліджених мастил.

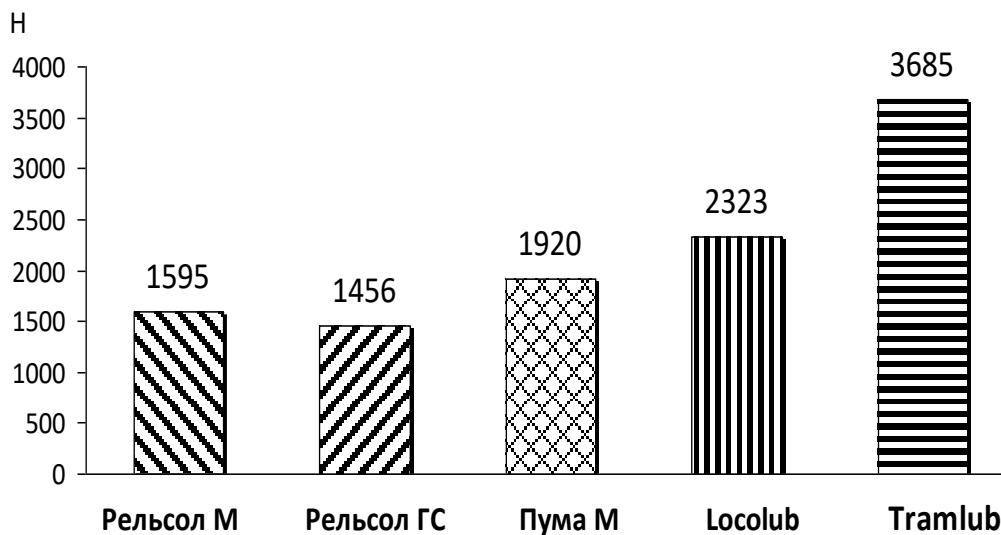


Рис. 2. Навантаження зварювання

Із діаграми, наведеної на рис. 3, видно, що **індекс задиру** більший у мастила Tramlub F 234 MOD 2, але для мастила «Агрінол Пума-М» він несуттєво нижчий і перевищує значення для

мастила Locolub ECO на 7,2 %. При цьому індекс задиру для обох мастил «Агрінол Рельсол» перебуває на рівні набагато нижчому, ніж для інших мастил.

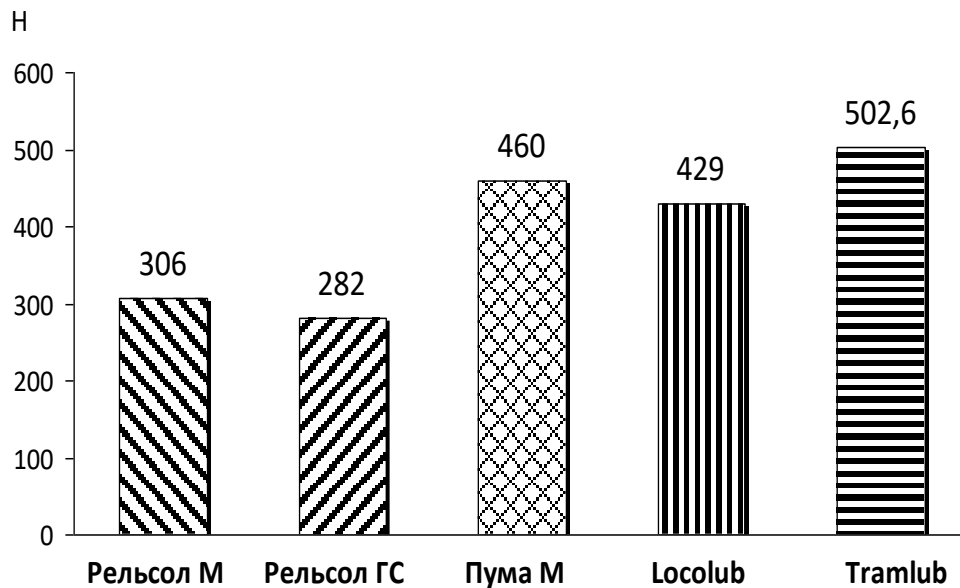


Рис. 3. Індекс задиру

Показник зносу визначали при постійному навантаженні на верхню кульку вузла тертя машини 196 Н. З рис. 4 видно, що краще оберігає пари тертя від зношування мастило Tramlub F 234 MOD 2. Але і інші

мастила мають приблизно такі самі протизношувальні властивості. Тільки мастило Locolub ECO має досить низьке значення цього показника – орієнтовно на 25...30 % нижче, ніж інші мастила.

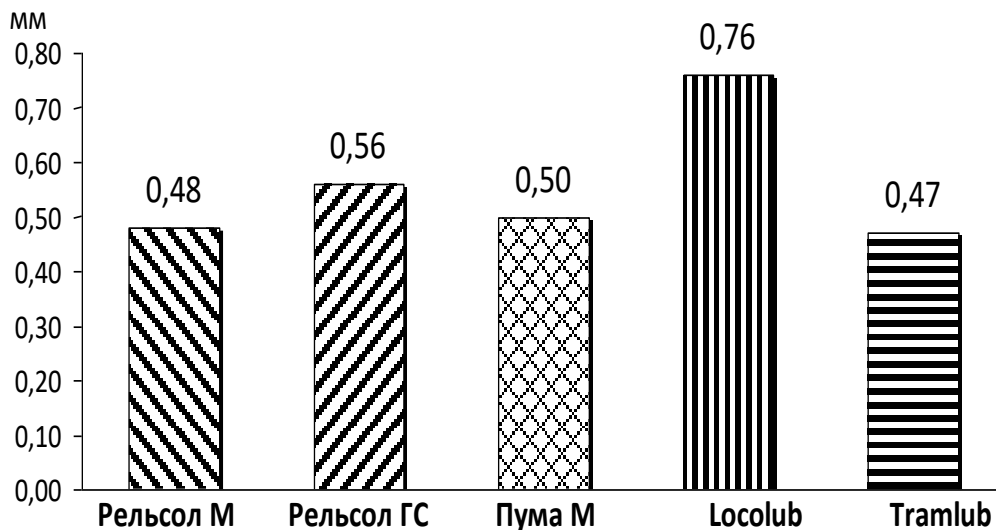


Рис. 4. Показник зносу

При випробуванні на машині тертя СМЦ-2 за загальноприйнятою методикою [8] застосовувалася схема контакту досліджуваних зразків «ролик-колодка» (рис. 5), яка імітує умови роботи нижчих кінематичних пар, що цілком відповідає роботі пари тертя «ребора кранового колеса – рейка». Ролики

виготовлялися із сталі 65Г, термічно обробленої до твердості HB-350, що відповідає твердості поверхні кранових коліс [9], а колодки виготовлялися із сталі 50, термообробленої до твердості 320, що відповідає твердості головки кранових рейок згідно з ГОСТ 4121 [10].

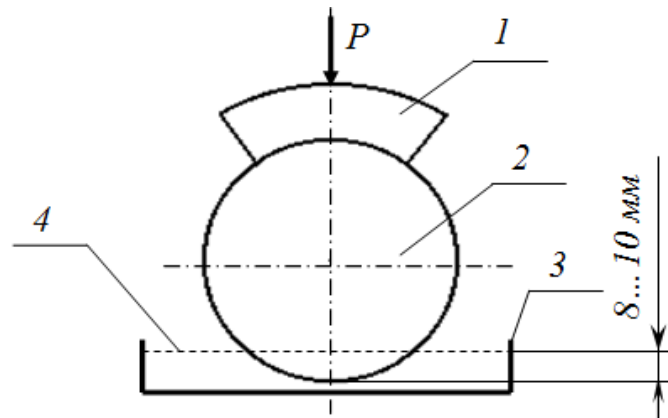


Рис. 5. Схема випробувань на машині тертя СМЦ-2:
1 – колодка; 2 – ролик; 3 – кювета з мастилом; 4 – рівень мастила

Для оцінювання протизношувальних властивостей досліджуваних мастил використовувався фактор втрати маси зразками за час випробувань, що визначено лабораторними вагами ВЛР-200. Також протягом випробувань за допомогою інфрачервоного безконтактного вимірювача фіксувалася температура поверхні досліджуваних зразків у зоні виходу їх із контакту.

Режим зміни навантажень у парі тертя при дослідженнях на машині СМЦ-2 наведений у табл. 1.

Досліди повторювалися по чотири рази для кожного мастила, при чому кожного разу на нових зразках та новій порції мастила. Середні результати зношення зразків за кожним мастилом за чотирма дослідями наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Режим випробувань за схемою «ролик-колодка»

Навантаження, Н	Час випробувань, хв
0	15
100	15
300	15
500	15
1000	30
2000	270
$\Sigma = 360$ (6 год)	

Таблиця 2

Результати випробувань на машині тертя СМЦ-2

Мастило	Зношення, г		
	колодка	ролик	сумарне
«Агрінол Рельсол М»	0,00910	0,02240	0,03155
«Агрінол Рельсол ГС»	0,01430	0,02515	0,03945
«Агрінол Пума-М»	0,00845	0,02070	0,02915
«Locolub ECO»	0,01710	0,02925	0,04635
«Tramlub F 234 MOD 2»	0,01600	0,02860	0,0446

Характер зміни температури на всіх зразках був однаковий – при зміні навантаження в парі тертя температура дещо зростає, потім стабілізується, і в основний час випробувань на максимальному навантаженні перебуває на майже постійному рівні із незначними коливаннями. При цьому зразки, що змащувалися мастилом «Locolub ECO», мали найбільшу температуру, а ті, що змащувалися «Агрінол Пума-М», – найменшу, хоча різниця між ними склала лише 17,1 %. При змащуванні поверхонь тертя мастилом «Tramlub F 234 MOD 2» їх температура вища на 15...20 %, ніж при змащуванні мастилами «Агрінол Рельсол» та «Агрінол Пума-М». При змащуванні пар тертя мастилами Агрінол різного виду їх температура перебуває приблизно на одному рівні.

Висновки. Проблема зношування реборд коліс мостових кранів і бокових граней підкранових рейок є досить актуальною на сьогоднішній день. Одним із способів боротьби із цим явищем є внесення мастильного

матеріалу в дану пару тертя. Як мастильний матеріал можуть бути застосовані оливи, напіврідкі, консистентні і тверді мастила.

Порівняльні трибологічні дослідження деяких напіврідких мастил, які на сьогоднішній день застосовуються для лубрикації аналогічної пари тертя в рухомому складі залізниць, показали деяку неоднозначність. При випробуваннях на чотирикульковій машині тертя, які відрізняються своєю короткотривалістю, кращі показники має мастило на синтетичній основі Tramlub F 234 MOD 2. А от більш тривалі випробування на машині тертя СМЦ-2 показали, що кращі трибологічні характеристики мають мастила на нафтовій основі, особливо мастило «Агрінол Пума-М». Хоча в цілому можна зробити висновок, що всі досліджені мастила можуть бути допущені до застосування у парі тертя «реборда кранового колеса – рейка» і вирішальним параметром мають служити техніко-економічні показники їх застосування.

Список використаних джерел

1. Хорошун, А.А. Применение систем централизованной смазки в крановом хозяйстве [Электронный ресурс]: информация компании «Бижур Делимон Интернешнл» . – Режим доступа: http://bijur-delimon.com/crane_industry.html. – (Дата обращения: 03.09.2014).
2. Система смазки гребней колёс для кранов производства фирмы REBS (Германия) [Электронный ресурс] : информация / ООО «Транстех инжиниринг». – Режим доступа: <http://transtech.by/about.html>. – (Дата обращения 03.09.2014).
3. Модуль смазки реборд колёс MCP-4 [Электронный ресурс]: информация / ООО Промышленный Союз . – Режим доступа : <http://promsouz.com/techno25.html>. – (Дата обращения 03.09.2014).
4. Новое решение проблемы износа пары трения «реборда колеса – рельс» [Электронный ресурс]: информация / ПРОМНАВИГАТОР. – Режим доступа : <http://www.promnavigator.ru/innovations/technologies/d4515>. – (Дата обращения 03.09.2014).
5. ССМР - стержневая смазка реборд колёс [Электронный ресурс] : информация / ООО «Реал-Держинск» . – Режим доступа : http://www.diamond-nanodiamond.com/index.php?id_page=54. – (Дата обращения 03.09.2014).
6. Інструкція з технічного обслуговування систем гребнезмащування локомотивів [Текст]: ЦТ-0153. – Затв. наказом Укрзалізниці від 02.03.2007 № 131-Ц. – К. : Укрзалізниця, 2007. – 39 с.
7. ГОСТ 9490-75. Материалы смазочные, жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине [Текст]. – Введ. 1978-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 8 с.
8. Кравець, А.М. Дослідження протизношувальних властивостей мастильних матеріалів за допомогою машини тертя СМЦ-2 [Текст]: методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Засоби підвищення надійності машин та економії нафтопродуктів» / А.М. Кравець, В.Г. Кравець, Г.М. Афанасов. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 26 с.
9. Александров, М.П. Грузоподъёмные машины [Текст]: учебн. для вузов / М. П. Александров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Высшая школа, 2000. – 552 с.

10. ГОСТ 4121-96. Рельсы крановые. Технические условия [Текст]. – Введ. 2002-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.

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

Кравець Андрій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-72. E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Бичек Роман Олександрович, магістрант Української державної академії залізничного транспорту.

Kravets Andriy, candidate of technical sciences, associate professor, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-72.

E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Bychek Roman, master's student, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 621.829

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМЕРЗАННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ У НАПІВВАГОНАХ

Кандидати техн. наук Є.В. Романович, Г.М. Афанасов, магістр Нагієв Гіснат Іттіфаг огли

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕРЗАЕМОСТИ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ В ПОЛУВАГОНАХ

Кандидаты техн. наук Е.В. Романович, Г.М.Афанасов, магистр Нагиев Гисмат Иттифаг оглы

STUDY OF BULK FREEZING IN GONDOLAS

E. Romanovich, G Afanasov, G Nagiev

Наведені в роботі дослідження дають змогу вирішувати багато питань, які пов'язані з організацією перевезень та розвантаження змерзлих насипних вантажів. Ці дослідження дають можливість встановлювати параметри змерзання вантажу, які необхідні для інженерних розрахунків при визначенні засобів профілактики, розігріву, дроблення змерзлих вантажів у залізничних вагонах при їх перевезенні в умовах України в зимовий період (в умовах низьких температур).

Ключові слова: насипний вантаж, напіввагон, змерзлий насипний вантаж, теплофізичні характеристики, примерзання, промерзання, змерзання.

Представленные в работе исследования позволяют решать многие вопросы, которые связаны с организацией перевозок и разгрузки смерзшихся насыпных грузов. Эти исследования дают возможность устанавливать параметры смерзания груза, которые необходимы для инженерных расчетов при определении средств профилактики, разогрева, дробления смерзшихся грузов в железнодорожных вагонах при их перевозке в условиях Украины в зимний период (в условиях низких температур).

Ключевые слова: насыпной груз, полувагон, смерзшийся насыпной груз, теплофизические характеристики, примерзание, промерзание, смерзание.

More than 50 % of goods transported by rail through Ukraine is a bulk cargo. All bulk cargo in the cold season coming on businesses, usually in the frozen state, which requires spending large amounts of energy and time to discharge.

Are given in the study could solve many issues related to transportation and unloading frozen bulk cargoes. These studies make it possible to set parameters freezing goods that are necessary for engineering

calculations in determining the means of prevention, heating, crushing frozen goods in wagons during their transportation conditions in Ukraine in winter (low temperature).

Keywords: bulk cargo wagon, frozen bulk cargo, thermal characteristics, freezing of, freezing, freezing together.

Вступ. Більше 50 % вантажів, що перевозяться залізницею по Україні є насипні вантажі. При плюсових температурах транспортування насипних вантажів не викликає особливих труднощів. У холодну пору року насипні вантажі, що надходять на підприємства, як правило, перебувають у змерзлому стані. В цьому випадку необхідне відновлення їх сипкості [1, 2, 5, 8-10]. Відновлення сипкості мерзлих насипних вантажів можливе шляхом розігріву, але цей спосіб потребує великої кількості енергії. Також після розігріву вантаж з кузова напіввагона треба негайно розвантажити для запобігання його зворотному примерзанню до кузова. Цей спосіб є ефективним для великих підприємств, які обладнані вагоноперекидачами, і тому процес розвантаження забирає лічені хвилини. Для підприємств, які не мають засобів швидкого розвантаження напіввагонів, доцільно використовувати механічні засоби відновлення сипкості, до яких належать, у першу чергу, різноманітні розпушувачі. Всі відомі пристрої для розпушування мерзлих насипних вантажів не є ефективними в умовах повного промерзання вантажу в кузові напіввагона.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема транспортування насипних вантажів залізницею в умовах низьких температур є актуальною. Вона може бути вирішена такими способами [1, 2, 9]:

- підготовка вантажів у процесі збагачення, що запобігає їх змерзання;
- використання засобів профілактики від примерзання та змерзання;
- відновлення сипкості насипних вантажів, які надійшли під розвантаження;
- проведення організаційних заходів.

Вибір оптимального варіанта залежить від теплофізичних властивостей вантажів, виду рухомого складу, обсягів перевезень та оснащення розвантажувальних фронтів у пунктах розвантаження. Ці фактори безпосередньо впливають на ефективність

перевезення та розвантаження насипних вантажів в умовах низьких температур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесів перевезення насипних вантажів при низьких температурах присвячені роботи [1-6]. Встановлено, що процес промерзання насипних вантажів пов'язаний з переносом вологи і тепла (теплофізичними характеристиками). Теплофізичні характеристики насипних вантажів визначають інтенсивність переносу енергії та речовини, характер формування полів вологості і температури, це у свою чергу визначає параметри змерзання або розігріву мерзлих вантажів. Подальше вивчення теплофізичних властивостей насипних вантажів пов'язано з більш глибокими дослідженнями фізико-механічних та фізико-хімічних параметрів насипних вантажів з більшою їх номенклатурою.

Визначення мети та задачі дослідження. Дана робота присвячена дослідженню процесу змерзання насипних вантажів у кузовах напіввагонів в умовах України.

Основна частина досліджень. У процесі змерзання вантажу в напіввагоні взаємодіють три різні матеріали: насипний вантаж, напіввагон, навколишнє середовище. Теплообмін між цими матеріальними середовищами проходить при взаємодії сонячної радіації, вібрації, безперервних змін температури шляхом теплопровідності, конвекції та випромінювання.

В існуючих напіввагонах висота засипки вантажу h завжди менша за ширину вагона b , тобто $h < b$, а ширина вагона менша за його довжину l , тоді

$$h < b < l, \quad (1)$$

Вантаж у напіввагоні має форму паралелепіпеда, на поверхні якого діють рівні умови.

Для визначення меж розділу між талою і мерзлою зоною необхідно визначити форму талого ядра. Проведені дослідження геометричних форм талого ядра на великих і малих моделях [1, 2], а також у залізничних вагонах показали, що в поперечному перерізі

тале ядро має форму прямокутника з заокругленими кутами. На всіх стадіях промерзання контур ближче до прямокутника, ніж до еліпса. Характерні форми талого ядра наведені на рис. 1.

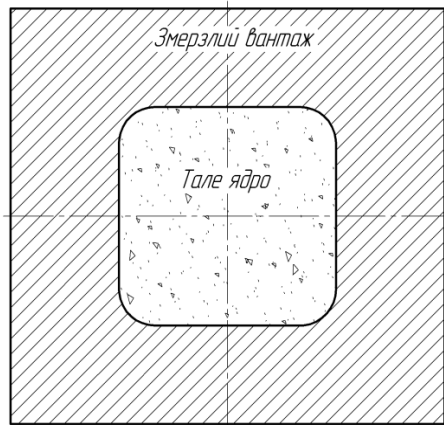


Рис. 1. Характерні форми талого ядра

Визначення геометричної форми талого ядра дали змогу зробити припущення, що процес змерзання паралелепіпеда можна зобразити як змерзання трьох простих геометричних фігур (рис. 2), які і складають його: необмеженої пластини, необмеженого стержня і куба. Таким чином, процес промерзання проходить вздовж малої осі. Тоді зі сторони будь-якої поверхні глибина промерзання не може бути більшою половини висоти засипки. При цьому центральна частина паралелепіпеда буде мати межу розділу із зовнішнім середовищем тільки через верхню і нижню поверхні, що є характерним для промерзання необмеженої пластини. Другою геометричною фігурою є квадратний стержень необмеженої довжини. Його промерзання діє з чотирьох сторін: з боків, зверху та знизу. Третя геометрична фігура є куб із стороною, яка дорівнює висоті засипки. Його промерзання відбувається із шести сторін.

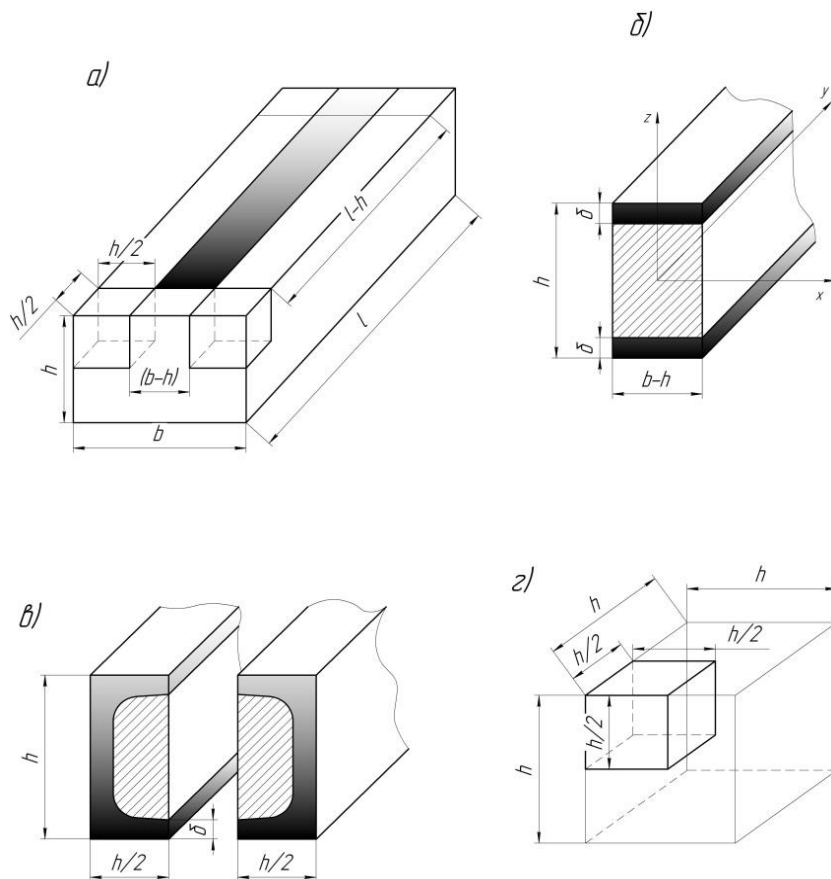


Рис. 2. Поділ паралелепіпеда, що змерзається, на три геометричні фігури

Перейдемо для визначення товщини змерзлого шару вантажу.

З урахуванням факторів, які діють на процеси змерзання, загальна кількість тепла Q ,

отримана за рахунок сонячної радіації, вібрації вагона та віддана вантажем при охолодженні, змерзанні і подальшому промерзанні, може бути виражена формулою

$$Q = Q_p + Q_{віб} - Q_{охол}^{ваг} - Q_{охол}^{ван} - Q_{зм} - Q_{пром}, \quad (2)$$

де Q_p – тепло, що надходить до вантажу за рахунок сонячної радіації;

$Q_{віб}$ – тепло, що надходить до вантажу за рахунок вібрації вагона і вантажу;

$Q_{охол}^{ваг}$ – тепло, що віддається вантажем при охолодженні зовнішніх поверхонь вагона до температури зовнішнього повітря;

$Q_{охол}^{ван}$ – охолодження шару талого вантажу перед фронтом промерзання;

$Q_{зм}$ – віддача тепла при промерзанні через змерзлий шар вантажу;

$Q_{пром}$ – віддача температури вантажем після охолодження його центру до температури змерзання.

Тепло, що надходить до вантажу за рахунок сонячної радіації, визначаємо за формулою

$$Q_p = q_p \cdot F \cdot \sum \tau, \quad (3)$$

де q_p – питоме тепло, що надходить від сонячної радіації на 1 м² поверхні вантажу;

F – площа поверхні вантажу;

$\sum \tau$ – сумарна тривалість світлого часу за період від початку завантаження до початку розвантаження або відновлення сипкості.

При русі вагона посилюється конвективний теплообмін за рахунок великих швидкостей турбулентних потоків повітря. Вагон піддається дії вібрації, яка за рахунок коливань часток вантажу збільшує ентальпію. Збільшення ентальпії вантажу від вібрації за рахунок переходу енергії в теплову визначають за формулою

$$Q_{віб} = 0,15 \cdot \frac{\tau_{рух}}{\tau_{заг}} \cdot Q_{заг}, \quad (4)$$

де $\tau_{рух}$ – час транспортування вантажу;

$\tau_{заг}$ – загальний час від завантаження до розвантаження;

$Q_{заг}$ – загальна кількість тепла, що віддається вантажем за рахунок кондукції від початку завантаження до початку відновлення сипкості.

Згідно із дослідженнями [1, 2, 5] тепло, що отримується вантажем за рахунок сонячної радіації Q_p і вібрації $Q_{віб}$, складає у сумі 3-8% загальної віддачі тепла вантажем при змерзанні. Втрати тепла вантажем при охолодженні $Q_{охол}^{ваг}$ перед фронтом промерзання також складає 3-8% загальної віддачі тепла при змерзанні. Віддачею тепла на нагрів цільнометалевого вагона $Q_{охол}^{ван}$ можна знехтувати. Тоді формулу (2) можна записати в такому вигляді:

$$Q = -(Q_{зм} - Q_{пром}). \quad (5)$$

Розрахунок змерзання вантажів можна обмежити змерзанням шару вантажу $Q_{зм}$, прийнявши талу зону безградієнтною, і подальшим охолодженням змерзлого шару після завершення фазових переходів у центрі вантажу. Однак необхідно враховувати коефіцієнт конвективного обміну ($K_g^t = 1,1$).

Промерзлий шар вантажу на останній стадії можна розглядати як однорідну стінку товщиною δ , яка має постійний коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{зм}$. На зовнішніх поверхнях стінок, днища вагона і поверхні вантажу постійна температура t_k .

Втрати тепла поверхнею вантажу через змерзлу стінку можна визначити за формулою

$$Q_{зм} = \left(\frac{\lambda_{зм}}{\delta} \right) \cdot (t_n - t_3) \cdot \tau_{зм} \quad (6)$$

З іншого боку, кількість тепла $Q_{зм}$ можна визначити за рахунок теплообміну змерзлого шару вантажу:

$$Q_{зм} = \frac{\delta \cdot [C_T \cdot (t_n - t_3) + 2 \cdot C_\phi \cdot (W_c - W_\phi) + C_{зм} \cdot (t_n - t_3)]}{2}, \quad (7)$$

де C_T , $C_{зм}$ – відповідно об'ємна теплоємність талого та змерзлого вантажу;

t_n, t_3 – відповідно початкова температура і температура змерзання вантажу;

C_ϕ – теплота фазових переходів;

W_c – сумарна вологість вантажу;

W_ϕ – безпечна у співвідношенні змерзання вологість.

Тоді визначаємо розрахункову товщину змерзлого шару вантажу при кондуктивному теплообміні:

$$\delta_0 = K_\phi^t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_{зм} \cdot (t_n - t_3) \cdot t_{зм}}{C_T \cdot (t_n - t_3) + C_\phi \cdot (W_c - W_\phi) + C_{зм} \cdot (t_n - t_3)}} \quad (8)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Провівши аналіз робіт видатних вчених, визначено основні параметри змерзлих вантажів у напіввагонах, до яких, у першу чергу, належать теплофізичні характеристики.

Наведені в роботі результати дають можливість встановлювати параметри

змерзання вантажу, які необхідні для інженерних розрахунків при визначенні засобів профілактики, розігріву, дроблення змерзлих вантажів у залізничних вагонах при їх перевезенні в умовах України в зимовий період (в умовах низьких температур).

Список використаних джерел

1. Лепнев, М.И. Грузы и мороз [Текст] / М.И. Лепнев, Э.П. Северинова. – М.: Транспорт, 1988. – 143 с.
2. Лепнев, М.И. Разогрев смерзшихся грузов на установках с инфракрасными излучателями [Текст] / М. И. Лепнев, В. И. Потапов. – Л.: Стройиздат, 1979. – 95 с.
3. Иванов, Н.С. Тепломассоперенос в мерзлых горных породах [Текст] / Н.С. Иванов. – М.: Наука, 1969. – 240 с.
4. Иванов, Н.С. Моделирование тепловых процессов в горных породах [Текст] / Н.С. Иванов. – М.: Наука, 1972. – 138 с.
5. Иванов, Н.С. Теплофизические свойства насыпных грузов [Текст] / Н.С. Иванов, А.В. Степанов, П.И. Филиппов. – Новосибирск: Наука, 1974. – 55 с.
6. Иванов, Н.С. Теплофизические свойства мерзлых горных пород [Текст] / Н.С. Иванов, Р.И. Гаврильев. – М.: Наука, 1965. – 71с.
7. Бровка, Г.П. Расчет температурных полей с фазовыми переходами вода-лед в спектре температур [Текст] / Г.П. Бровка, С.Н. Иванов // ИФЖ. – 2004. – Т.77. – № 6.
8. Матасов, С.Ф. Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам [Текст] / С.Ф. Матасов, Л.М. Куртунов, А.С. Хорунжий. – М.: Metallurgiya, 1974. – 248 с.
9. Кожевников, Н.Н. Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках [Текст] / Н.Н. Кожевников, В.И. Попов. – Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.

10. Перевозка смерзаючихся грузов [Текст] / И.И. Батраков, Ю.А. Носков [и др.]; под ред. Ю.А. Носкова. – М.: Транспорт, 1988. –208 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Романович Євген Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: 730-10-72.

Афанасов Георгій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: 730-10-72.

Нагієв Гісмет Іттіфаг огли, магістр кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (063) 596-56-32.

Rovanovich Evgeniy candidate of technical sciences, associate professor, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-72.

E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Afanasov Georgiy candidate of technical sciences, associate professor, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-72.

E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Nagiev Gismat masrer's student, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (063) 596-56-32.

УДК 625.144.6:62-82.004.62

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПРИСАДКИ ТА
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА ШВИДКІСТЬ ЗНОСУ
ГІДРОАГРЕГАТІВ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Канд. техн. наук В.О. Стефанов, М.Ю. Олійник

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИСАДКИ И
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ НА СКОРОСТЬ ИЗНОСА
ГИДРОАГРЕГАТОВ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Канд. техн. наук В.А. Стефанов, М.Ю. Олийник

**EXPERIMENTAL STUDY OF CONCENTRATION ADDITIVE AND HANDLING
ELECTROSTATIC FLUID WORKING ON SPEED OF DETERIORATION HYDROUNIT
RAILWAY**

Cand. of techn. sciences V.A. Stefanov, M.U. Oliynik

Проведено експериментальні дослідження на машині тертя СМЦ-2 щодо впливу концентрації присадки та електростатичної обробки робочої рідини на швидкість зносу вузлів тертя гідроагрегатів колійної машини ВІР-1200. Знайдена раціональна концентрація стеаринової кислоти в робочій рідині, при якій спостерігається мінімальний знос як при електростатичній обробці, так і без неї.

Ключові слова: концентрація присадки, електростатичне поле, робоча рідина, гідроагрегати засобів транспорту.

Проведены экспериментальные исследования на машине трения СМЦ-2 по влиянию концентрации присадки и электростатической обработки рабочей жидкости на скорость износа узлов трения гидроагрегатов путевой машины ВІР-1200. Найдена рациональная концентрация стеариновой кислоты в рабочей жидкости, при которой наблюдается минимальный износ как при электростатической обработке, так и без нее.

Ключевые слова: концентрация присадки, электростатическое поле, рабочая жидкость, гидроагрегаты средств транспорта.

Rail highways during construction and operation are widely used various means of transport. For ghost effect of working bodies of these machines use volume hydraulic actuator having a number of advantages, which include: small size and weight of the hydraulic units, and have a simple design to protect nodes from overload. In addition, hydraulic easily managed, can transmit a lot of effort and capacity, has a high pick-up. Due to the high cost of the units of hydraulic actuators and transmissions, as well as a large volume of work to repair them, there is a need for the development and implementation of resource-saving technologies, designed to improve the designs of aggregates and improve the performance of the working fluids Experimental studies on the friction machine СМЦ-2 on the effect of the concentration of the additive and the electrostatic treatment of the working fluid on the rate of wear of friction hydraulic units track machine ВПР-1200. Found rational concentration of stearic acid in the working fluid in which there is minimal wear, as in the electrostatic treatment and without it.

Keywords: concentration of the additive, the electrostatic field, the working fluid, hydraulic equipment vehicles.

Вступ. На засобах залізничного транспорту залізниць України широко використовуються поршневі гідравлічні мотори та насоси, гідроциліндри і гідропередачі, які застосовуються для: приводів колісних пар тепловозів ТГМЗА, ТГМ-9, ТГМ-40 та ін.; вентиляторів охолоджувальних систем тепловозів ТЭП-70; робочих органів виправно-підбивно-рихтувальних машин ВПР та ВПРС. Унаслідок високої вартості агрегатів гідравлічних приводів і передач, а також великої трудомісткості робіт з їх ремонту, виникає необхідність розробки і впровадження ресурсозберігаючих технологій, направлених на удосконалення конструкцій агрегатів і поліпшення характеристик робочих рідин.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Як показують раніше проведені дослідження, одним з ефективних способів підвищення ресурсу гідроагрегатів є обробка робочих рідин зовнішнім електростатичним полем. При дії такого поля на робочу рідину в гідроприводах і гідропередачах відбуваються такі позитивні явища:

- зростає захисна функція робочих рідин, пов'язана із запобіганням втрат на тертя і знос у гідравлічних агрегатах;

- ресурс агрегатів збільшується за рахунок зниження зносу деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових робіт у галузі обробки робочих рідин зовнішніми силовими полями [1-4] показав, що даний процес є актуальним з погляду його застосування на засобах залізничного

транспорту. Проте в цих дослідженнях не вивченими залишаються закономірності впливу концентрації присадок у робочих рідинах, оброблених електростатичним полем, на швидкість зносу гідроагрегатів засобів залізничного транспорту.

Визначення мети та задачі дослідження. Визначити вплив концентрації присадок у робочих рідинах, оброблених електростатичним полем, на швидкість зносу гідроагрегатів засобів залізничного транспорту.

Випробуваннями на машині тертя СМЦ-2 встановити раціональну концентрацію присадки в обробленій електростатичним полем робочій рідині та її вплив на швидкість зносу пар тертя в поршневих насосах та моторах.

Основна частина дослідження. Згідно з раніше проведеними дослідженнями [5-10] встановлено, що при введенні присадок у робочу рідину засобів транспорту відбувається процес їх адсорбції на поверхнях тертя, що супроводжується підвищенням терміну служби вузлів гідросистеми. Однак ці роботи не розглядали: якою має бути раціональна концентрація молекул у базовому маслі і її вплив на швидкість зносу партертя під впливом електростатичного поля.

Найбільш відповідальним сполученням поршневих насосів і моторів, який визначає їх ресурс, є сполучення "втулка - плунжер". У такій парі тертя реалізується контакт поверхонь по площині, тому при проведенні експериментальних досліджень була прийнята пара тертя з таким самим контактом поверхонь. Порівняльні випробування проводилися на машині тертя СМЦ-2, де як досліджуване

сполучення використовувалася пара тертя "колодка - ролик". На рис. 1 зображена схема лабораторної установки для проведення випробувань з використанням машини тертя.

Матеріали випробовуваних зразків (ролика і колодки) були підібрані відповідно до матеріалів, використовуваних у гідромоторі фірми "Бушер", який застосовується на колійній машині ВПР-1200. На цій підставі за

матеріал колодки була прийнята бронза БрАЖ 9-4, ролика – сталь 38Х2МЮА. Номінальна площа контакту в досліджуваній парі дорівнювала середній площі контакту плунжера і гільзи в моторі. Шорсткість поверхні колодки і ролика також підбиралася на підставі конструкторської документації на зазначений мотор, тим самим забезпечувалася необхідна фактична площа контакту.

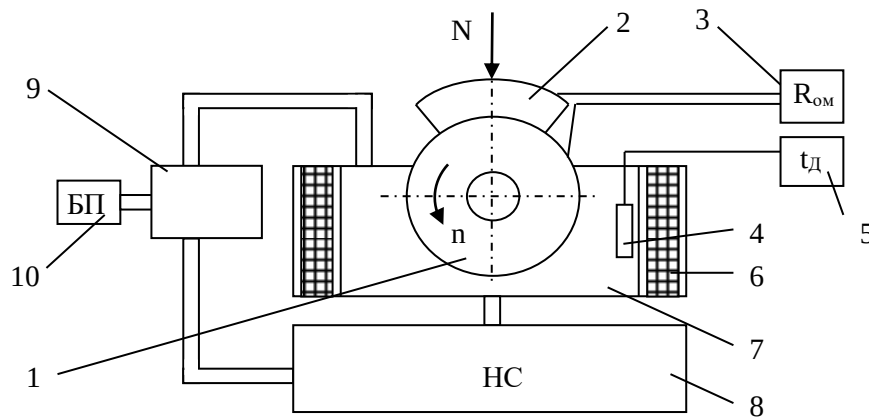


Рис. 1. Схема лабораторної установки для проведення випробувань пари тертя «колодка-ролик» на машині тертя СМЦ-2

Лабораторна установка включає в себе випробовувані зразки (ролик 1 і колодка 2), омметр 3, термодатчик 4 з терморегулятором 5, нагрівальний елемент 6 в баку для робочої рідини 7, насосну станцію 8, пристрій для обробки робочої рідини електростатичним полем 9 з блоком живлення 10. Частота обертання ролика 1 і зусилля притиснення колодки 2 регулюються і підтримуються елементами управління машини тертя. Для підтримки постійної заданої температури робочої рідини, що надходить у пару тертя, лабораторна установка має терморегулятор 5, включений у ланцюг живлення нагрівального елемента 6, при цьому керуючий сигнал виробляється термодатчиком 4. Насосна станція 8 необхідна для забезпечення

циркуляції робочої рідини через пристрій для обробки 9. Для подачі необхідної напруги на пристрій використовується блок живлення 10.

Програма проведення експериментальних досліджень передбачала проведення експерименту з обробкою робочої рідини електростатичним полем і без неї. Результати проведення експериментів з визначення впливу концентрації стеаринової кислоти в робочій рідині при електростатичній обробці наведені в таблиці.

За результатами експериментальних досліджень були розраховані рівняння регресії (1-2), які відображають залежність швидкості зносу пари тертя "колодка-ролик" від концентрації стеаринової кислоти в робочій рідині.

Без електростатичної обробки:

$$J = -0,1172C^3 + 2,1866C^2 - 11,582C + 28,543; \quad (1)$$

з електростатичною обробкою:

$$J = -0,0321C^3 + 0,7919C^2 - 5,0475C + 18,779, \quad (2)$$

де J – швидкість зносу, мг/год;

C – концентрація присадки в робочій рідині, %.

Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання

Таблиця

Результати виміру на лабораторній установці

Концентрація стеаринової кислоти, %	Швидкість зносу, мг/год (без обробки РР)	Швидкість зносу, мг/год (з обробкою РР)
0	28,2	18,3
0,05	24,7	15,8
0,1	21,1	14,4
0,15	17,5	12,7
0,2	20,4	12,9
0,25	23,3	14,3
0,3	25,1	15,7
0,35	25,3	16,4

Графічне зображення зміни швидкості зносу колодки без обробки робочої рідини електростатичним полем та з обробкою наведені на рис. 2.

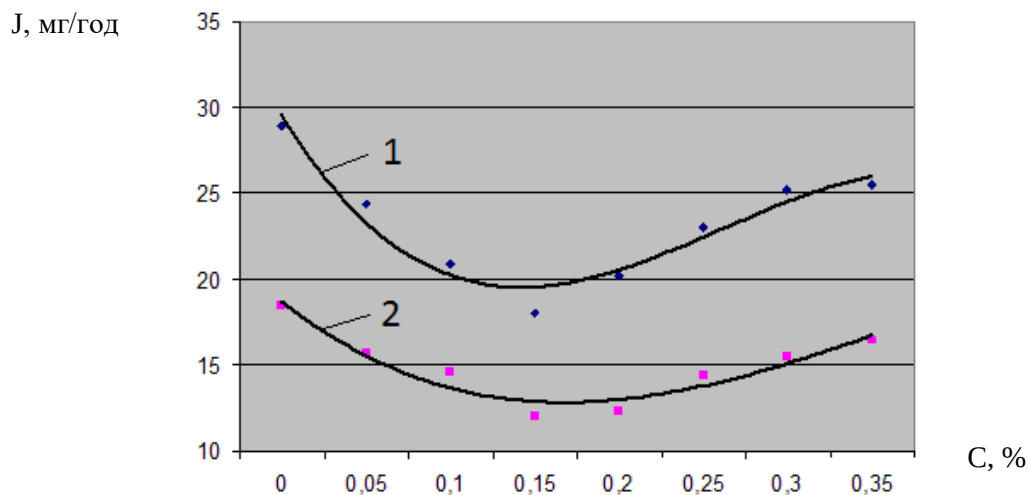


Рис. 2. Зміна швидкості зношування залежно від концентрації стеаринової кислоти:
1– без обробки РР; 2– з обробкою РР

Згідно з проведеними дослідженнями, характер зміни швидкості зносу колодки на машині тертя СМЦ-2 є значення концентрації присадки, рівної 0,15 %, при якій швидкість зносу найменша.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. Ресурс гідроагрегатів залежить від багатьох факторів, серед яких одним з головних є якість робочої рідини, а саме її протизносні властивості. Згідно з раніше проведеними дослідженнями, такі властивості визначаються процесом формування змащувального шару та

досягаються введенням у робочі рідини поверхнево-активних речовин – присадок, а також обробкою зовнішніми силовими полями. Однак для забезпечення цих засобів потрібно встановити раціональну концентрацію присадки в умовах обробки робочої рідини електростатичним полем.

2. У випробуваннях на машині тертя СМЦ-2 визначена раціональна концентрація присадки в робочій рідині, при якій досягається зменшення швидкості зношування випробуваних вузлів у 1,37 – 1,67 разу з використанням електростатичної обробки робочої рідини.

Список використаних джерел

1. Лисіков, Є.М. Експлуатація і випробування аксіально-поршневих насосів в умовах обробки робочих рідин зовнішнім електростатичним полем [Текст] / Є. М. Лисіков, С. В. Воронін // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2004. – № 58. – С. 58–62.
2. Лысков, Е.Н. Интенсификация адсорбционной способности рабочей жидкости гидроприводов путем воздействия на неё электростатическим полем [Текст] / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: ХГАДТУ, 1997. – Вып. 6. – С. 44–47.
3. Лысков, Е.Н. Повышение ресурса гидроприводов автомобилей специального назначения за счет обработки рабочих жидкостей электростатическим полем [Текст] / Е.Н. Лысков // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХГАДТУ, 1999. – Вып. 3. – С. 81–83.
4. Сюняев, З.И. Применение внешних силовых полей для повышения качества смазывающих материалов [Текст] / З.И. Сюняев. – М.: МИНХиТП им. Губкина, 1982. – 59 с.
5. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А.С. Ахматов. – М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.
6. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст]: учебн. для технических вузов / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
7. Заславский, Ю.С. Трибология смазочных материалов [Текст] / Ю.С. Заславский. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
8. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах [Текст] / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1977. – 396 с.
9. Крагельский, И.В. Трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский. – М.: Машгиз, 1962. – 382 с.
10. Буяновский, И.Я. Учение о граничной смазке [Текст] / И.Я. Буяновский // Химия и технология топлив и масел. – 1996. – №1. – С.46-49.

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.П. Ремарчук

Стефанов Володимир Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-72. E-mail: vstef@ukr.net.

Олійник Максим Юрійович, студент групи МЗ-БКМ-Б-12 кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту.

Vladimir Stefanov Aleksandrovich, Cand. of techn. sciences, department of building, traveling and handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, pl. Feuerbach 7, Kharkov, Ukraine, 61050. Tel. +38-057-730-10-72. E-mail: vstef@ukr.net.

Olijnyk Maxim Yuriyovich student groupies M3-БКМ-Б-12 of the department of building, traveling and handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, pl. Feuerbach 7, Kharkov, Ukraine, 61050.

УДК 621.89

**ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ МАСТИЛЬНОЇ ПЛІВКИ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ В УМОВАХ
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ОЛИВИ**

Канд. техн. наук С.В. Воронін, Г.М. Сладков, Е.І. Османов

**ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ МАСЛЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ В
УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАСЛА**

Канд. техн. наук С.В. Воронин, Г.Н. Сладков, Э.И. Османов

**THE PROCESS OF THE FORMATION OF OIL FILM ON THE SURFACE FRICTION IN
ELECTROSTATIC OIL TREATMENT**

Cand. of techn. sciences S.V. Voronin, G.N. Sladkov, E.I. Osmanov

Розглядається математична модель визначення товщини мастильної плівки на поверхні тертя з врахуванням електростатичної обробки оливи.

Ключові слова: олива, електростатична обробка, поверхнево-активні речовини, поверхня тертя, диполь, енергія.

Рассматривается математическая модель определения толщины смазочной пленки на поверхности трения с учетом электростатической обработки масла.

Ключевые слова: масло, электростатическая обработка, поверхностно-активные вещества, поверхность трения, диполь, энергия.

A mathematical model of the thickness of the lubricant film on the friction surface with regard to electrostatic oil treatment. This lubricating film is formed due to the adsorption of surfactants on the volume of oil and has a thickness equal to the scope of the force field surface friction. By using electrostatic processing oils scope of the force field surface increases, which leads to a increase in the number of adsorbed molecules and surfactants per unit area, ie get thicker lubricant film.

Keywords: oil, electrostatic treatment, surfactants, surface friction dipole energy.

Вступ. Ресурс будівельних, дорожніх та інших машин, зокрема їх силових агрегатів, а також інших технічних систем багато в чому залежить від властивостей застосовуваних мастильних матеріалів. Як одну з основних властивостей, притаманних мастильним матеріалам, можна виділити протизношувальну, тобто здатність до утворення шару змащення, що розділяє поверхні тертя елементів різних технічних систем, запобігаючи їх зносу.

З точки зору зносу вузлів тертя найбільш небезпечним є граничний режим змащення. Цей режим реалізується в умовах високих контактних навантажень, низьких швидкостей переміщення поверхонь одна відносно одної, а також при підвищених температурах мастильних матеріалів. У таких умовах відбувається руйнування шару змащення, що

призводить до безпосереднього контакту поверхонь тертя.

Аналіз робіт у цьому напрямку показав, що одним з найперспективніших способів покращення протизношувальних властивостей мастильних матеріалів (зокрема рідких) є застосування електростатичної обробки оливи [1-5]. Даний спосіб дає можливість збільшити товщину змащувального шару, що утворюється на поверхні тертя з поверхнево-активних речовин (ПАР), а також підвищити його несучу здатність [5, 6]. У роботах [7, 8] було визначено область дії силового поля поверхні тертя та можливу товщину мастильної плівки, але без впливу на оливу електростатичного поля.

Метою дослідження є визначення товщини мастильної плівки, що утворюється на поверхні тертя при обробці оливи електростатичним полем.

Виклад основного матеріалу. На основі фізичних процесів, що відбуваються на поверхні тертя в мастильному середовищі (адсорбція ПАР), та впливу електростатичної обробки оливи на ці процеси, які описані в роботах [1, 2, 4, 8], розглянемо формування мастильного шару.

У роботі [7] визначення товщини мастильного шару (адсорбованих молекул присадки) починається з визначення напруженості електростатичного поля рівномірно розподіленого заряду іонних остовів ділянки поверхні радіусом r_1 у точці, на осі, перпендикулярній до поверхні (рис.1).

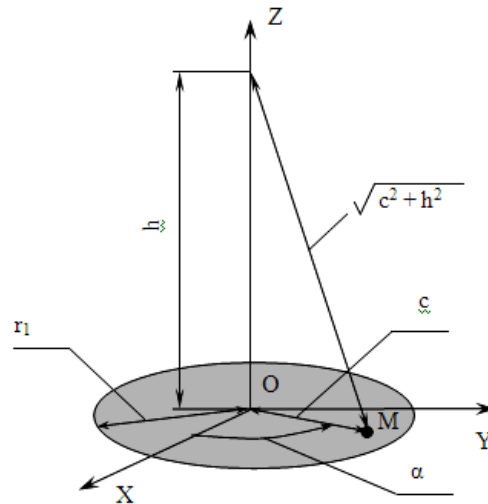


Рис. 1. Схема для визначення напруженості поля ділянки поверхні діаметром $2r_1$

За даними роботи [9], потенціал поля поверхневого заряду дорівнює

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_s \frac{\sigma \cdot dS}{r}, \quad (1)$$

де r – відстань між елементом площі dS і точкою, в якій шукаємо потенціал; ε – діелектрична проникність оливи (в даному випадку робоча рідина); ε_0 – електрична стала;

$\sigma = \frac{q_i}{a_0^2}$ – щільність заряду на ділянці поверхні; q_i – заряд одного іонного остова, Кл;

a_0 – міжатомна відстань у кристалічній решітці металу.

Для рис. 1 вираз (1) матиме вигляд:

$$\varphi(d) = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_s \frac{\sigma \cdot dx dy}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}, \quad (2)$$

де x, y – координати довільної точки поверхні M .

Для знаходження інтеграла перейдемо до полярних координат у площині кола (рис. 1). При цьому $x^2 + y^2 = c^2$, $dx \cdot dy = c \cdot dc \cdot d\alpha$. Тоді

$$\varphi(d) = \frac{\sigma}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{r_1} \frac{c dc}{\sqrt{c^2 + h^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot (\sqrt{r_1^2 + h^2} - h), \quad (3)$$

де $r_1 = \sqrt{r^2 - d^2}$ радіус площі зносу, що залежить від висоти зрізаної нерівності d .

Звідси напруженість електростатичного поля ділянки поверхні визначається за виразом

$$E_h = -\frac{\partial \varphi}{\partial d} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}}\right). \quad (4)$$

Знаючи напруженість поля, визначимо потенційну енергію молекули присадки (W_{II}), що знаходиться в області дії даного поля на осі OZ (рис. 1), враховуючи, що вісь диполя розташована нормально до поверхні. Тоді

$$W_{II} = -pE_h = -\frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}}\right), \quad (5)$$

де p – дипольний момент молекули ПАР.

Одночасно з адсорбційними процесами на поверхні трибосполучень будуть відбуватись процеси десорбції, викликані хаотичним рухом молекул. Це пов'язано з тим, що всі молекули мають кінетичну енергію, величина якої залежить від температури рідини. Якщо зазначена енергія перебільшуватиме енергію взаємодії молекули ПАР з поверхнею, то це призведе до її десорбції. У зв'язку з цим умова адсорбційно - десорбційної рівноваги матиме вигляд:

$$W_{II} \geq W_T, \quad (6)$$

де W_T – кінетична енергія молекули ПАР, що визначається виразом

$$W_T = K \cdot T, \quad (7)$$

де K – стала Больцмана;

T – температура оливи, K .

З умови (6) визначимо відстань, на якій можливе утримання молекули ПАР електростатичним полем поверхні.

$$W_T = \frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}} - 1\right). \quad (8)$$

Проведемо заміну: $k = (2\varepsilon\varepsilon_0)/(p\sigma)$ і визначимо відстань h .

$$h = r_1 \cdot \sqrt{\frac{(W_T k + 1)^2}{2W_T k - W_T^2 k^2}}. \quad (9)$$

Максимальна товщина мастильної плівки графічно визначатиметься в точці перетину значень енергії взаємодії молекули присадки з поверхнею тертя та значенням енергії теплових коливань молекули (рис. 2) [2].

За допомогою даної моделі розглянуто варіант знаходження молекули присадки в мастильному матеріалі у вигляді мономеру без впливу зовнішніх силових полів.

Під час обробки оливи електричним полем, як сказано в роботах [2, 10, 11], дипольні моменти молекул ПАР орієнтуються в одному напрямку, утворюючи нові структури – домени. Оскільки домен складається з N молекул, то дипольний момент такої структури адсорбує на поверхню тертя і його величина зростає в N разів:

$$p' = p \cdot N, \quad (10)$$

де N – кількість диполів у домені.

Енергія взаємодії домена та поверхні тертя відповідно матиме вигляд

$$W_{об} = W_{II} + \Delta W. \quad (11)$$

Величина ΔW залежить від напруження зовнішнього електростатичного поля ($E_{зв}$), тобто $\Delta W = f(E_{зв})$. Звідси

$$\Delta W = p' \cdot E_{зв} = p \cdot N \cdot E_{зв}. \quad (12)$$

Умова адсорбційно-десорбційної рівноваги набуде вигляду:

$$W_{II} + \Delta W \geq W_T. \quad (13)$$

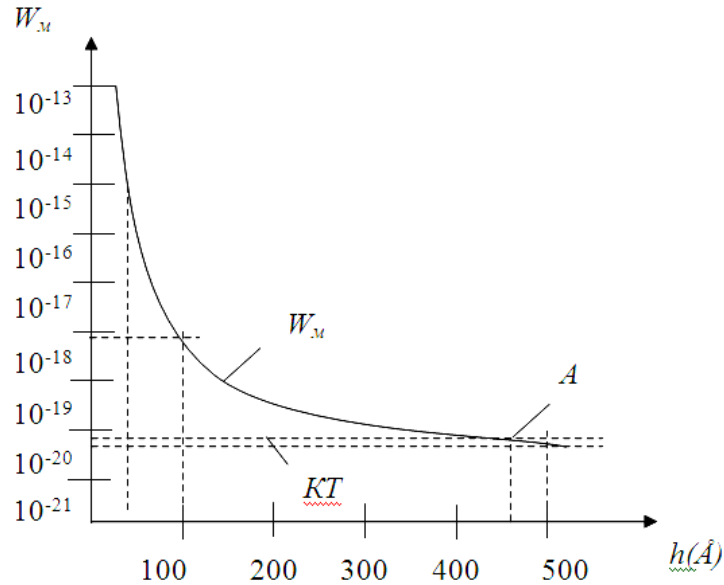


Рис. 2. Графік зміни потенційної енергії молекули присадки (W_m) у мастильному шарі залежно від його товщини (h): A – точка припинення адсорбції ($W_m = W_T$)

З умови (12) визначимо товщину мастильної плівки при обробці мастильного середовища електростатичним полем, підставивши вираз (13) у вираз (9),

$$h_{об} = r_1 \cdot \sqrt{\frac{((W_T - \Delta W)k + 1)^2}{2(W_T - \Delta W)k - (W_T - \Delta W)^2 k^2}}. \quad (14)$$

Для розрахунку використаємо такі вихідні дані:

- відстань між позитивно зарядженими центрами, $a_0 = 5 \text{ Å}$;
- заряд одного центру, $q_i = 0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$;
- радіус мікронерівності, $r = 0,08 \text{ мкм}$;
- дипольний момент молекули, $p \approx 0,2 \cdot 10^{-29} \text{ Кл}\cdot\text{м}$;
- діелектрична проникність оливи (робочої рідини), $\varepsilon = 2,6$ [2];
- температура оливи (робочої рідини) в контактній поверхні, $T = 300 \text{ К}$;
- електрична стала, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{В}\cdot\text{м}^2)$;
- кількість молекул у домені, $N = 1200$ шт. [10];

- напруженість електростатичного поля, яким оброблюється олива, $E = 1,25 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ [6];
- стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

$$h_{об} = 0,22 \text{ мкм}.$$

Товщина мастильної плівки без оброблення оливи електростатичним полем згідно з (9) дорівнюватиме:

$$h = 0,117 \text{ мкм}.$$

Відповідно

$$\frac{h_{об}}{h} = \frac{0,22}{0,117} \approx 1,88,$$

а це означає, що оброблена електричним полем робоча рідина утворює на поверхні тертя мастильну плівку майже вдвічі більшу, ніж без обробки.

Висновок. Отримана математична модель дає можливість розраховувати товщину мастильної плівки з врахуванням дії електростатичного поля на оливу, а також враховує зміну надмолекулярних структур оливи під впливом даного поля.

Список використаних джерел

1. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей [Текст] / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысков и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с.
2. Лысков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009 – 274 с.
3. Лисіков, Є. М. Підвищення ресурсу технічних систем МВС України шляхом використання нанотехнологій [текст] / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. АВВ МВС України. – Харків: АВВ МВС України, 2010. – Вип. 1. – С. 34 - 37.
4. Лысков, Е.Н. Физические основы механизма воздействия внешнего электростатического поля на структуру рабочей жидкости гидроприводов строительных и дорожных машин [Текст] / Е.Н. Лысков // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – Вип. 11. – С. 44-47.
5. Лысков, Е.Н. Интенсификация адсорбционной способности рабочей жидкости гидроприводов путем воздействия на нее электростатическим полем [Текст] / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов // Вестник ХГАДТУ. – Харьков: ХГАДТУ, 1997. – Вип. 6. – С. 44 - 47.
6. Онопрейчук, Д.В. Вплив напруження електростатичного поля на товщину мастильної плівки в гідроприводі при граничному терті [Текст] / Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 282-288.
7. Лысков, Е.Н. Расчет толщины адсорбированных слоев молекул ПАВ на поверхностях трибосопряжений [Текст] / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2001. – Вип. 7-8.
8. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А.С. Ахматов. – М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.
9. Матвеев, А.Н. Электричество и магнетизм [Текст] / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1983. – 463 с.
10. Адамчик, А.А. Жидкие кристаллы [Текст]: пер. с польск. / под ред. И.Г. Чистякова. – М.: Сов. радио, 1979. – 160 с.
11. Воронін, С.В. Формування доменів рідких кристалів у змащувальних матеріалах під дією зовнішніх силових полів [Текст] / С.В. Воронін // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 213-219.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Воронін Сергій Володимирович, канд. техн. наук, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 057-730-10-72.
Сладков Геннадій Миколайович, магістр групи МЗ-БКМ-12 Української державної академії залізничного транспорту.

Османов Ерлен Ізетович, магістр групи МЗ-БКМ-12 Української державної академії залізничного транспорту.

Voronin Sergiy, kand. tekhn. sciences, assistant of department of build, travel and freight-unloading machines.

Ukrainian state academy of railway transport.

Sladkov Genadiy, master's degree of group MZ-BKM-12, Ukrainian state academy of railway transport.

Osmanov Erlen, master's degree of group MZ-BKM-12, Ukrainian state academy of railway transport.

УДК 621.225

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ ГІДРОПРИВОДІВ
БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН**

Канд. техн. наук Д.В. Онопрейчук, К.І. Мірієв

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ ГИДРОПРИВОДОВ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Канд. техн. наук Д.В. Онопрейчук, К.И. Мириев

**DEFINING RESOURCES AXIAL PISTON PUMPS FOR HYDRAULIC ACTUATORS BUILDING
MASHINRY**

Cand. of techn. sciences D.V. Onopreychuk, K.I. Miriyev

Розглядається математична модель визначення ресурсу аксіально-поршневих насосів з урахуванням швидкості зносу плунжерних пар.

Ключові слова: робоча рідина, аксіально-поршневий насос, плунжерні пари, швидкість зносу.

Рассматривается математическая модель определения ресурса аксиально-поршневых насосов с учетом скорости износа плунжерных пар.

Ключевые слова: рабочая жидкость, аксиально-поршневой насос, плунжерные пары, скорость износа.

The mathematical model defining resource axial-piston pumps with regard to speed plunger wear. The rate of wear of plunger in turn depends on the working fluid, ie, the time between. Throughout the time where aircraft Surround speed hydraulic plunger pump wear changing. This process involves the gradual contamination of the working fluid, deterioration of surfactants and others. So better to talk about the timeframe in which is possible to achieve volumetric efficiency of the pump its limit. Thus, when calculating the resource must be considered an average value of wear rate plunger axial-piston pumps.

Keywords: fluid, axial-piston pump, plunger pair, velocity wear.

Вступ. Найдорожчими, а також визначаючими працездатність агрегатів машин є аксіально-поршневі насоси (АПН). Підвищення строків їх служби впливає на збільшення ресурсу машини в цілому, що у свою чергу дає можливість економити значні кошти.

Важливим фактором, що впливає на ресурс гідроагрегатів, є властивість робочої рідини (РР). Згідно з проведенням аналізом наукових робіт у цьому напрямку, саме стан РР (змінюється з часом напрацювання) впливає на швидкість зношування плунжерних пар АПН, що у свою чергу визначає строк служби гідроагрегату [1-7]. Саме тому в розрахунках ресурсу АПН гідроприводів будівельних машин необхідно враховувати швидкість зносу.

Метою дослідження є визначення ресурсу аксіально-поршневого насоса з урахуванням швидкості зношування плунжерних пар.

Виклад основного матеріалу. Виходячи з раніше проведених досліджень [7-9], швидкість зношування плунжерних пар АПН залежить від напрацювання РР, що у свою чергу впливає на інтенсивність падіння коефіцієнта корисної дії (ККД) насоса. ККД є характеристикою стану АПН, і це означає, що закономірність зміни об'ємного ККД насоса в часі можна відобразити за допомогою графіка (рис. 1). Характер кривої зміни ККД у часі був встановлений у раніше проведених дослідженнях [1, 10, 11].

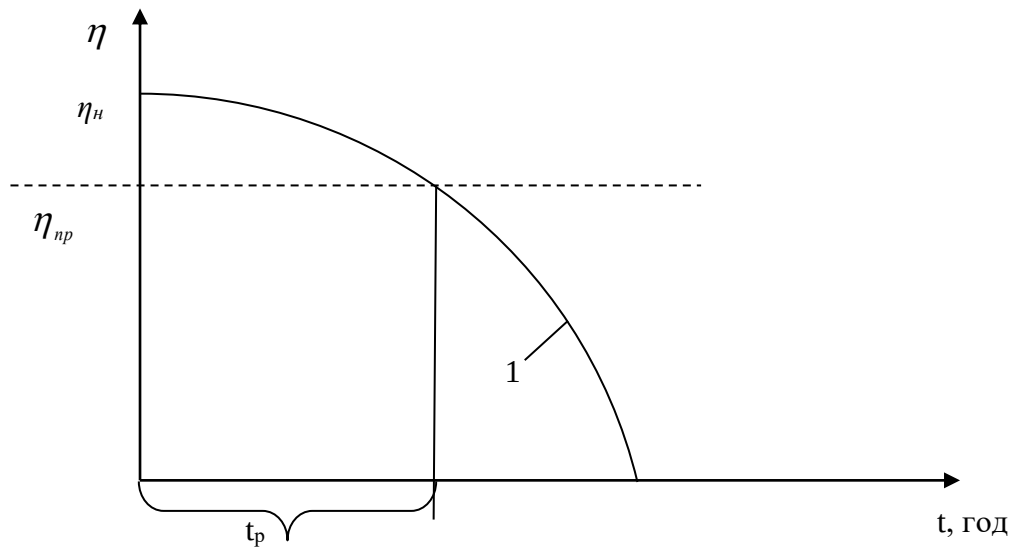


Рис. 1. Зміна ККД насоса в часі:

1 – крива зміни ККД у часі; η_n – номінальне значення об'ємного ККД; η_{pr} – граничне значення об'ємного ККД; t_p – ресурс гідроагрегату

Ресурс надійної роботи гідроагрегату обмежується граничним значенням ККД АПН, що становить 15 % падіння від номінального значення об'ємного ККД насоса. Дані характеристики залежать від швидкості зносу

плунжерних пар насоса. При цьому, за умов рівномірного зносу, величина зазору плунжерних пар знаходиться через граничне значення ККД насоса за виразом

$$\delta_{\bar{A}D} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \mu \cdot L_{i\bar{E}} \cdot Q_0}{\pi \cdot k_a \cdot N_{i\bar{E}} \cdot \Delta p \cdot d_{i\bar{E}}} (1 - \eta_{\bar{A}D})} \quad (1)$$

де k_e – коефіцієнт, що враховує ексцентриситет розташування плунжера відносно осі втулки;

$N_{ПЛ}$ – кількість плунжерних пар у насосі;

Δp – перепад тиску в насосі, МПа;

$d_{ПЛ}$ – діаметр плунжера, м;

μ – динамічна в'язкість РР, Па·с;

Q_0 – подача насоса при мінімальному тиску в нагнітальній магістралі і номінальній частоті обертання, л/хв;

$L_{ПЛ}$ – середня довжина зазору, що дорівнює половині ходу поршня, м;

$\eta_{ГР}$ – граничне значення коефіцієнта корисної дії насоса.

Величина зазору визначається зносом плунжерної пари, отже, розглянемо схематично плунжерну пару (рис. 2).

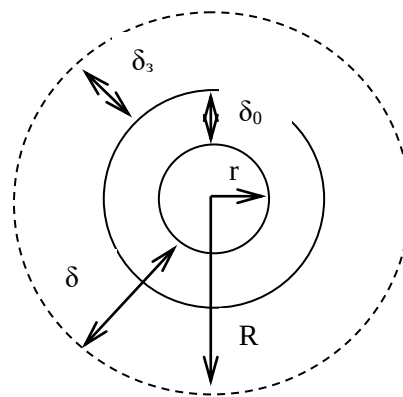


Рис. 2. Схема зносу плунжерної пари:
R – радіус циліндра; r – радіус плунжера;
 δ_0 – початковий зазор; δ – загальний зазор

За рис. 2

$$\delta = R - r. \quad \text{величина зазору} \quad (2)$$

плунжерної пари можна визначити за виразом

$$(8)$$

Під час роботи плунжерної пари реалізується контакт поверхонь по площині, а отже, об'єм зношеної поверхні визначатиметься

$$V_{\zeta} = S_{\zeta} \cdot L_{i\bar{e}} = \pi(R^2 - (r + \delta_0)^2) \cdot L_{i\bar{e}}, \quad (3)$$

де $L_{пл}$ – довжина плунжера.

Звідси

$$R^2 - (r + \delta_0)^2 = \frac{V_{\zeta}}{\pi \cdot L_{i\bar{e}}}. \quad (4)$$

Враховуючи те, що перед початком експлуатації в плунжерній парі є деякий

$$\delta = \delta_0 + \frac{V_{\zeta}}{\pi \cdot L_{i\bar{e}} \cdot (R + r + \delta_0)}. \quad \text{початковий зазор, то загальний зазор з урахуванням зносу набуде вигляду:} \quad (5)$$

Об'єм зношеної поверхні залежить від часу напрацювання плунжерної пари та швидкості зносу поверхонь тертя. Швидкість зносу є функцією часу:

$$\frac{V_{\zeta}}{\rho} = \int \phi(t) dt, \quad (6)$$

Отже, об'єм зношеної поверхні буде дорівнювати

$$(7)$$

де ρ – густина матеріалу, що зношується.

Підставивши вираз (7) у вираз (5) загальний зазор визначатиметься

$$\delta = \delta_0 + \frac{\int v(t) dt}{\pi \cdot L_{i\bar{e}} \cdot (R + r + \delta_0) \cdot \rho}$$

Отриманий вираз дає змогу прогнозувати величину зазору плунжерних пар з урахуванням швидкості їх зношування.

Оскільки ресурс насоса визначається граничним значенням його ККД, то доцільним є визначення граничного зносу, який, враховуючи вирази (2), (3), (4), (5), (7), матиме вигляд:

$$I_{\bar{A}\bar{D}} = L_{i\bar{e}} \cdot \pi((\delta_{\bar{A}\bar{D}} + r)^2 - (r + \delta_0)^2) \cdot \rho. \quad (9)$$

Знос є функцією об'ємного ККД насоса, а отже, ресурс гідроагрегату до настання η ГР можна визначити виразом

$$t_{\delta} = \frac{I_{\bar{A}\bar{D}}}{v}. \quad (10)$$

Протягом усього часу експлуатації техніки з об'ємним гідроприводом швидкість зношування плунжерних пар насоса змінюється. Цей процес пов'язаний з поступовим забрудненням РР, спрацюванням поверхнево-активних речовин (ПАР) та ін. Тому доцільніше говорити про діапазон часу, в якому можливе досягнення об'ємного ККД насоса свого граничного значення. Отже, при розрахунку ресурсу необхідно враховувати середнє значення швидкості зношування плунжерних пар АПН:

$$t_{\delta} = \frac{I_{\bar{A}\bar{D}}}{v_{\bar{N}\bar{D}} \pm \sigma_{v_{cl}}}, \quad (11)$$

де v_{CP} – середня швидкість зносу плунжерної пари;

$\sigma_{V_{3n}}$ – середнє квадратичне відхилення швидкості зношування.

Зв'язок швидкості зношування від часу напрацювання РР встановлено в експериментальних дослідженнях [8-10].

Висновок. Розроблена математична модель розрахунку ресурсу аксіально-поршневих насосів гідроприводів будівельних машин, що враховує швидкість зносу плунжерних пар, яка залежить від напрацювання робочої рідини та матеріалу з яких виготовлені поверхні тертя.

Список використаних джерел

1. Руднев, В.К. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин [Текст]: учеб. пособие / В.К. Руднев, Е.Н. Лысков, Е.С. Венцель. – К.: УМК ВО, 1989. – 136 с.
2. Руднев, В.К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст]: учеб. пособие / В.К. Руднев, Е.С. Венцель, Е.Н. Лысков. – К.: ИСИО, 1993. – 236 с.
3. Руднев, В.К. Повышение ресурса гидроагрегатов строительных и дорожных машин [Текст]: учеб. пособие / В.К. Руднев, К.В. Руднев. – Орел: ОрелГТУ, 2001. – 184 с.
4. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей [Текст] / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысков [и др.]. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с.
5. Лысков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009 – 274 с.
6. Косолапов, В.Б. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин при воздействии внешнего электрического поля на рабочую жидкость [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.Б. Косолапов. – Харьков, 1995. – 212 с.
7. Никитин, Г.А. Влияние загрязненности жидкости на надежность работы гидросистем летательных аппаратов [Текст] / Г.А. Никитин, С.В. Чирков. – М.: Транспорт, 1969. – 183 с.
8. Лисіков, Є.М. Швидкість зносу спряжень в гідроприводах технічних систем при обробці робочої рідини електростатичним полем [Текст] / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрейчук // Механіка і машинобудування. – 2010. - № 1. – С. 171-176.
9. Лысков, Е.Н. Влияние электростатической обработки рабочих жидкостей на интенсивность износа пар трения гидроприводов [Текст] / Е.Н. Лысков // Вестник ХГАДТУ. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – Вып. 12-13.
10. Лисіков, Є.М. Підвищення темпу інженерних робіт при виконанні службово-бойових завдань ВВ МВС України шляхом модернізації гідроприводу машин інженерного озброєння [Текст] / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. АВВ МВС України. – Харків: АВВ МВС України, 2010. – Вип. 2. – С. 19-22.
11. Лисіков, Є.М. Підвищення ККД аксіально-плунжерних насосів шляхом використання впливу електростатичного поля [Текст] / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. АВВ МВС України. – Харків: АВВ МВС України, 2011. – Вип. 1(17). – С. 105-109.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Онопрейчук Дмитро В'ячеславович, канд. техн. наук, асистент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 057-730-10-72.

Мірієв Каміл Ісмаїл, магістрант групи МЗ-БКМ-Б-12 Української державної академії залізничного транспорту.

Onopreychuk Dmytro, kand. tekhn. sciences, assistant of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport.

Miriyev Kamil, master's degree of group MZ-BKM-B-12, Ukrainian state academy of railway transport.

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINS'KOI DERZAVNOI
AKADEMII ZALIZNICNOGO TRANSPORTU**

Випуск 147

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 Панарін С.В.

Редактори Буранова Н.В., Еткало О.О.,
Ібрагімова Н.В., Решетилова В.В.

КВ № 8617 від 06.04.2004 р. Підписано до друку 23.09.2014 р.
Формат паперу 60x84 1/8. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 16,25. Тираж 126. Замовлення № .

Видавець і виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.