

УДК 621.892:621.896.6

*Канд. техн. наук Кравець А.М.
Канд. техн. наук Євтушенко А.В.
Інженер Почеква Р.Є.
Інженер Лобозинський В.С.*

НОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗМАЩУВАННЯ ПАРИ ТЕРТЯ «КОЛЕСО РУХОМОГО СКЛАДУ – РЕЙКА». РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Ключові слова: пара тертя «колесо – рейка», гребінь колеса локомотива, локомотивний гребнезмащувач, експлуатаційні випробування, мастильні матеріали Fuchs Lubritech.

Постановка проблеми

Проблема працездатності пари тертя «колесо рухомого складу – рейка» має велике значення для технічних і економічних аспектів роботи залізничного транспорту, а також для безпеки і комфорту руху [1, 2, 3]. Суттєвий вплив на працездатність цієї пари тертя створює процес зношування бокової грані рейки і гребеня колеса рухомого складу при їх контакті. Одним із ефективних способів боротьби із їх зношуванням є внесення мастильного матеріалу в зону тертя, зокрема за допомогою локомотивних лубрикаторів [1, 4, 5, 6].

Огляд останніх досліджень і публікацій

В питанні застосування змащення пари тертя «колесо – рейка» важливим аспектом є підбір високоефективного мастильного матеріалу. Як свідчить досвід експлуатації, мастильні матеріали, які колись ефективно виконували свої функції, із зміною характеристик взаємодії рухомого складу і колії (швидкості руху, навантажень на вісь, ваги потягів, переходу із дерев'яних шпал на залізобетонні тощо [2, 7, 8, 9]) різко втрачають свою ефективність. В цьому випадку доцільно звернути увагу на сучасні мастильні матеріали, які вже довели ефективність свого застосування на передових залізницях світу. Зокрема мова йде про мастила Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 (виробництва Fuchs Lubritech GMBH – Німеччина), які мають допуск до

застосування на німецькій залізниці (German Railway material no.: «DB-Material-Nr. 00517718» та «DB-Material-Nr.: 00106192»), австрійській, швейцарській та інших країн. Ці мастильні матеріали пройшли лабораторні дослідження в Галузевій науко-дослідній лабораторії «Хімотологічна» (ГНДЛХ) Українського державного університету залізничного транспорту [10]. Результати цих досліджень показали високі хімотологічні і трибологічні характеристики мастил Locolub та Tramlub і виявили певні переваги перед застосовуваним зараз на залізницях України мастилом типу Рельсол М (далі мастило Рельсол).

Невирішені частини загальної проблеми

Для допуску нових мастильних матеріалів до застосування на рухомому складі ПАТ «Укрзалізниця» необхідно на практиці переконатися, що їх експлуатаційні характеристики відповідають умовам роботи пари тертя «колесо рухомого складу – рейка», які існують на залізницях України (враховуючи технічні, технологічні і природні аспекти). Також важливим питанням є сумісність цих мастил із матеріалами локомотивних систем гребнезмащування і можливість їх безперебійної подачі у зону тертя в розрахункових режимах.

Цілі статті

В даній статті розглядаються результати експлуатаційних випробувань мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 проведені в штатних режимах експлуатації електровозів і їх локомотивних лубрикаторів на Львівській залізниці, за Програмою і методикою, розробленою фахівцями ГНДЛХ та погодженою у встановленому порядку із причетними підрозділами ПАТ «Укрзалізниця». Результати випробувань порівнювалися із аналогічними результатами експлуатації електровозів при застосуванні в системах гребнезмащування мастила типу Рельсол.

Методика досліджень

Експлуатаційні випробування проводилися на шести двохсекційних локомотивах: чотири основні і два додаткові. Потрібна кількість об'єктів для забезпечення необхідної достовірності результатів випробувань визначалася за загальновідомими методиками [11, 12], з урахуванням кількості коліс локо-

мотива, які піддаються впливу досліджуваних мастильних матеріалів, з відповідним контролем їх стану та кількості систем гребнезмащування на кожному локомотиві.

Випробування починалися на чотирьох основних локомотивів серії ВЛ11м, системи гребнезмащування яких були заправлені дослідними мастилами: на двох – мастилом Locolub ECO і ще на двох – Tramlub F 234 MOD 2. Для випробувань були підібрані такі локомотиви, які експлуатувалися приблизно у однакових умовах (курсували по одній і тій же ділянці колії). Випробування тривали до досягнення даними локомотивами пробігу 150 тис. км від початку випробувань (що охоплювало літній, зимовий і перехідний періоди експлуатації).

На проміжному етапі досліджень для розширення бази статистичних даних до випробувань були долучені ще два додаткових локомотиви серії ВЛ10: в системи гребнезмащування одного з них було заправлено мастило Locolub ECO, а іншого – Tramlub F 234 MOD 2. Випробування на них тривали до закінчення випробувань на основних локомотивах.

Норми застосування дослідного мастила під час випробувань відповідали нормам, які вказані в Інструкції з технічного обслуговування систем гребнезмащування локомотивів (ЦТ-0153) [13]. Під час експлуатаційних випробувань стан гребенів коліс локомотивів (висота, товщина і небезпечна форма гребеня, товщина бандажа) контролювався згідно з інструкцією ВНД 32.0.07.001-2001 [14]. Також фіксації підлягала загальна кількість мастила, використана кожними локомотивом за час випробувань.

В рамках підготовки локомотивів до проведення експлуатаційних випробувань із системою змащування гребенів колісних пар був проведений повний комплекс робіт в обсязі їх поточного ремонту третього порядку (ПР-3), регламентований інструкцією ЦТ-0153 [13]. Крім того вимірювалися і фіксувалися в спеціально розробленому журналі експлуатаційних випробувань товщина гребенів і товщина бандажів кожного колеса локомотива, в порядку, регламентованому інструкцією ВНД 32.0.07.001-2001 [14].

Під час експлуатаційних випробувань системи гребнезмащування із дослідними мастильними матеріалами та колісні пари локомотивів перебували під постійним контролем

працівників локомотивних депо Львів-Захід та Мукачеве Львівської залізниці, із періодичним виконанням всіх регламентних робіт по їх технічному обслуговуванню і ремонту, передбачених діючими інструкціями [13 та 14], та вимірюванням товщини бандажу і гребеня.

За результатами виконання обмірів колісних пар локомотивів визначалася питома зміна середньої товщини гребеня (інтенсивність зношування) ΔT , мм/10 тис.км, для кожної секції кожного локомотива, які приймали участь у випробуваннях, за формулою:

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_2}{L} \cdot 10^4,$$

де T_1 - середня товщина гребенів коліс при попередньому вимірюванні, мм;
 T_2 - середня товщина гребенів коліс при поточному вимірюванні, мм;
 L - пробіг локомотива між проведеними вимірюваннями, км.

Значення T_1 і T_2 визначалися як середньоарифметичне результатів вимірювання товщини гребенів всіх коліс локомотива. За аналогічною формулою визначалася і інтенсивність зменшення товщини бандажу в середньому по локомотиву. Також одним із критеріїв оцінювання експлуатаційних характеристик мастильного матеріалу була питома витрата мастильного матеріалу системою гребнезмащування локомотива ΔQ , л/1000 км, яка визначалася за формулою:

$$\Delta Q = \frac{\Sigma Q}{\Sigma L} \cdot 10^3,$$

де ΣQ - сумарний об'єм мастила, використаного на момент проведення розрахунку, л;

ΣL - загальний пробіг локомотива на момент проведення розрахунку, км.

Хід випробувань контролювався міжвідомчою комісією з експлуатаційних випробувань, яка оцінювала проміжні і остаточні результати вимірювань і розрахунків та за їх аналізом приймала рішення щодо доцільності застосування мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 в системах гребнезмащування локомотивів на залізницях України.

Результати досліджень

Системи гребнезмащування локомотивів, які брали участь у випробуваннях, були заправлені досліджуваними мастилами:

- мастилом Locolub ECO: ВЛ11м-048, ВЛ11м-080 та ВЛ10-1480;

- мастилом Tramlub F 234 MOD 2: ВЛ11м-057, ВЛ11м-085 та ВЛ10-1313.

Пробіг всіх (чотирьох) основних локомотивів за час випробувань становив понад 150000 км, що за Програмою і методикою випробувань є рубіжним пробігом для прийняття рішення щодо результатів досліджень, а пробіг двох додаткових локомотивів становив: ВЛ10-1480 – 97996 км, ВЛ10-1313 – 50235 км.

Випробування на основних локомотивах тривало 16-20 місяців, тобто були охоплені всі періоди року і була можливість дослідити вплив різних природних факторів на ефективність роботи випробуваних мастил. Протягом всього часу випробувань зауважень до роботи локомотивних систем гребнезмащування із досліджуваними мастилами не було.

В ході випробувань (обмірів колісних пар) було отримано декілька масивів статичних даних по кожному локомотиву, які підлягали математичній обробці за загальноприйнятими для таких досліджень методиками [11, 15], з метою відсіювання випадкових і недостовірних даних.

Зміна контрольованих параметрів, а саме товщини гребеня колеса і товщини бандажу електровозів, протягом випробувань носила характер наведений на рисунку 1, представлений на прикладі електровозів ВЛ11м № 080 та № 085. З наведених графіків видно, що періодичність обточування бандажів була більша у електровозів, системи гребнезмащування яких були заправлені мастилом Locolub ECO. Така тенденція спостерігалася і на інших локомотивах, що приймали участь у випробуваннях.

В цілому обробка комплексу даних, отриманих в результаті випробувань дозволила визначити ряд параметрів, які стосуються ефективності процесу змащування пари тертя «колесо рухомого складу – рейка» та роботи локомотивних гребнезмащувачів (див. табл. 1). Для оцінювання ступеню ефективності роботи досліджуваних мастил в системах гребнезмащування локомотивів, їх показни-

ки порівнювалися із аналогічними для локомотивів, в системах гребнезмащування яких застосовувалося штатне мастило Рельсол. Окремі показники що порівнювалися (такі як ресурс бандажу, інтенсивність зношування гребеня колеса) були взяті із статистичних даних локомотивних депо Львівської залізниці, на час закінчення експлуатаційних випробувань, а деякі (інтенсивність зменшення товщини бандажу, середній пробіг між обточками) були отримані в результаті спостереження за експлуатаційними показниками локомотивів ВЛ11м та ВЛ10 з мастилом Рельсол в системах гребнезмащування, які експлуатувались на тих же маршрутах що і дослідні локомотиви, безпосередньо під час випробувань. За результатами обмірів колісних пар локомотивів було встановлено, що інтенсивність зношування гребенів бандажів (рядок 3 таблиці 1) при змащуванні їх мастилом Tramlub F 234 MOD 2, у порівнянні із тими гребенями, які змащуються мастилом Рельсол, зменшується на електровозах серії ВЛ-10 на 27,12 %, а на електровозах ВЛ-11м на 20,65 %. Але мастило Locolub ECO показало гірші результати і знос гребенів на ньому більший, ніж на мастилі Рельсол, на 7,6 % для електровозів ВЛ11м та на 28,81 % для електровозів ВЛ10.

Тенденція у співвідношенні значень середньої інтенсивності зменшення товщини бандажу (рядок 4 таблиці 1) зберігається, але дещо в інших пропорціях: в порівнянні із роботою на мастилі Рельсол, при застосуванні мастила Tramlub цей параметр зменшується для локомотивів ВЛ11м на 13,48 % і для ВЛ10 – на 24,13 %, а при застосуванні Locolub збільшується для ВЛ11м на 2,82 % і для ВЛ10 – на 5,17 %.

Знання середньої інтенсивності зношування дозволило нам розрахувати середній прогнозований ресурс бандажів локомотивів (рядок 5 таблиці 1), який був визначений за умови, що середня товщина нового бандажу складає 95 мм (за даними служби локомотивного господарства Львівської залізниці). Порівнюючи отримані результати розрахунків із статистичними даними ресурсу бандажів при застосуванні мастила Рельсол (за статистичними даними Львівської залізниці) можна побачити (рисунок 2), що при застосуванні мастила Tramlub слід очікувати збільшення ресурсу бандажів електровозів ВЛ-

11м орієнтовно на 16,37 %, а ВЛ10 – на 33,76 %; в той самий час застосування мастила

Locolub, може привести до зниження ресурсу бандажів ВЛ11м на 1,75 %, а ВЛ10 – на 17,04 %.

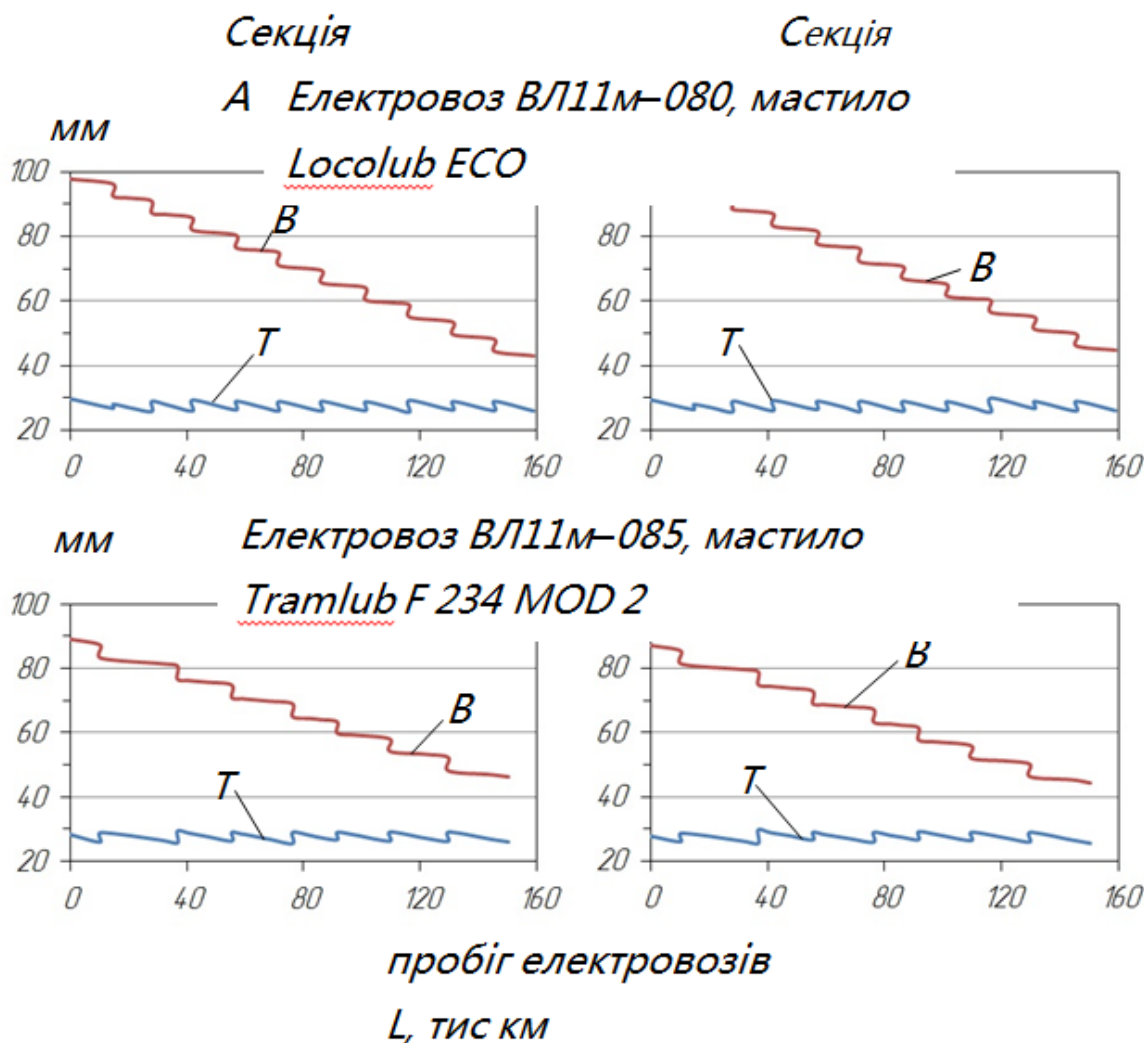


Рис. 1 – Результати обмірів бандажів коліс дослідних локомотивів:
В – середня товщина бандажів; Т – середня товщина гребенів коліс

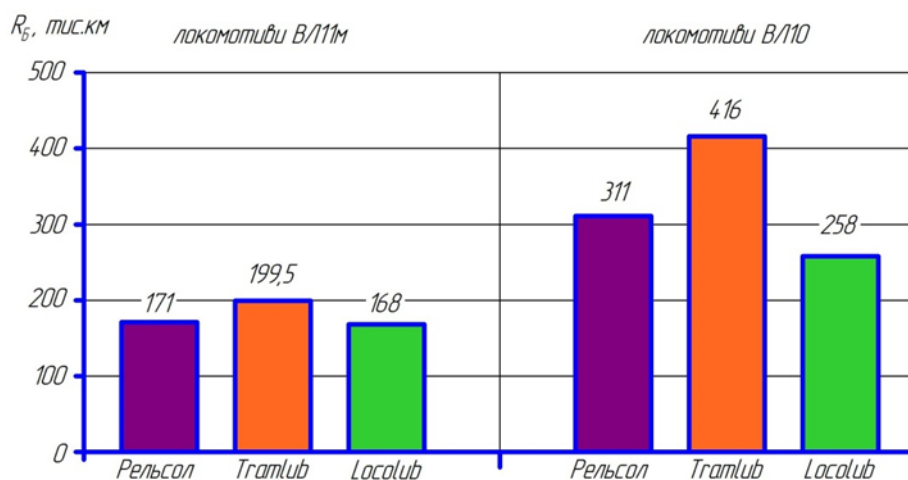


Рис. 2 – Ресурс бандажів колісних пар локомотивів при застосуванні різних мастильних матеріалів в парі тертя «колесо-рейка»

Табл. 1 – Порівняння результатів застосування різних мастил в локомотивних системах гребнезмащування

Експлуатаційний показник	Рельсол М		Tramlub F 234 MOD 2			Locolub ECO		
	ВЛ11м	ВЛ10	ВЛ11м	ВЛ11м	ВЛ10	ВЛ11м	ВЛ11м	ВЛ10
			057	085	1313	048	080	1480
1. Пробіг локомотива за час випробувань, км	-	-	153878	150224	50235	159895	158863	97996
2. Середній пробіг між обточками бандажів, км	15608	20130	17097,6	18778	36391	15989	14442,1	19852,8
			17938			15215,5		
3. Інтенсивність зношування гребеня колеса, мм/10 тис.км	1,84	1,18	1,414	1,506	0,86	1,923	2,037	1,52
			1,46			1,98		
4. Інтенсивність зменшення товщини бандажу, мм/тис.км	0,319	0,174	0,267	0,285	0,132	0,318	0,338	0,213
			0,276			0,328		
5. Ресурс бандажу, тис.км.	171	311	206*	193*	416*	173*	163*	258*
			199*			168*		
6. Питома витрата мастила, л/тис.км	0,343**		0,377	0,346	0,338	0,294	0,264	0,245
			0,361			0,279		

Примітки:

1) * – розрахункова величина, при середній товщині повного бандажу 95 мм;

2) ** – розрахунковий показник при середній швидкості руху локомотива 35 км/год (середньо розрахункова по Львівській залізниці) та частоті подачі мастила системою гребнезмащування 2 рази на хвилину.

В цілому результати експлуатаційних випробувань і виконані розрахунки показують наявність значного позитивного ефекту у роботі пари тертя «колесо локомотива – рейка» при застосуванні мастила Tramlub F 234 MOD 2. В той же час мастило Locolub ECO справляється з покладеними на нього функціями значно гірше ніж Tramlub і навіть гірше ніж мастило Рельсол. Хоча слід звернути увагу, що відносна витрата мастила Locolub (рядок 6 таблиці 1) за час випробувань на 22,7-27,5 % менше ніж у мастила Tramlub. Також ця витрата на 18,6-28,6 % нижче ніж розрахунковий розхід мастила локомотивним гребнезмащувачем \bar{q} , л/тис.км, визначений за формулою:

$$\bar{q} = \frac{60 \cdot (V_{\phi} \cdot n_{\phi}) \cdot \gamma}{\bar{g}_L},$$

де V_{ϕ} - номінальний об'єм мастила на виході із форсунки гребнезмащувача за одне включення, $V_{\phi} = 0,05 \text{ см}^3$ [13];

n_{ϕ} - кількість форсунок на локомотиві, які спрацьовують одночасно, $n_{\phi} = 2$;

γ - кількість включень форсунок, $\gamma = 2$ вкл./хв. [13];

\bar{g}_L - середня швидкість локомотивів, $\bar{g}_L \approx 35 \text{ км/год}$. (за даними служби локомотивного господарства Львівської залізниці).

Оскільки кількість мастила, що витрачається локомотивною системою гребнезмащування, залежить тільки від часу її включення в роботу і не прив'язана до експлуатаційних параметрів локомотива, стану колії тощо, то зниження питомої витрати мастила Locolub під час випробувань може бути пояснене тільки тим, що системи якийсь час не працювали. Причиною цього можуть бути, як технічна несправність окремих елементів системи гребнезмащування (форсунок, насосу, мастилопроводів тощо), які усувалися несвоєчасно, так і людський фактор – тимчасове вимкнення системи локомотивними бригадами під час подолання складних ділянок колії (підйомів і спусків з великим значенням

кута ухилу). В будь якому разі, зниження кількості мастила, що подається в зону контакту коліс локомотива із рейками може привести до збільшення зносу гребенів коліс і збільшення кількості їх обточувань, а як наслідок і зменшення строку служби бандажів та рейок. Зважаючи на наведене вище, цілком доцільним є рекомендувати провести додаткові дослідження із застосуванням мастила Locolub ECO в локомотивних системах гребнезмащування, наприклад розширену піднаглядну експлуатацію локомотивів (не менше ніж 5 одиниць) із ретельним контролем їх працездатності і коректності роботи систем, а також їх застосування локомотивними бригадами.

Слід відмітити, що в процесі виконання експлуатаційних випробувань було виявлено, що при перебуванні в патрубках системи гребнезмащування, під тиском без подачі на форсунки (наприклад при забиванні отвору розпилювача або «зависанні» дозуючого плунжера форсунки), мастило Рельсол-М досить швидко загусає (імовірно розкладається на оливу та загусник). Після ремонту форсунок в результаті загусання мастила Рельсол-М система не прокачується і для відновлення її працездатності необхідне розбирання і промивання патрубків. При знаходженні в системах гребнезмащування досліджуваних мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 і тимчасовій відсутності їх прокачування загусання цих мастильних продуктів не спостерігається, і після відновлення працездатності форсунок ці мастила легко прокачуються робочим тиском системи гребнезмащування. Даний факт можливо пояснити тим, що мастила Locolub і Tramlub виготовляються на основі синтетичних олив із застосуванням рослинних олій на відміну від мастила Рельсол, виготовленого цілком на нафтовій основі.

Висновки

Застосування в локомотивних гребнезмащувачах мастила Tramlub F 234 MOD 2 виробництва Fuchs Lubritech GmbH може значно покращити технічні та, як наслідок, і економічні аспекти роботи пари тертя «колесо рухомого складу – рейка».

Питання щодо можливості і доцільності застосування в умовах залізниць України ма-

стила Locolub ECO підлягає подальшим більш ретельним дослідженням, за умови зацікавленості залізниць і виробника мастила.

Враховуючи отриманні результати зменшення зношування гребенів колісних пар локомотивів, при застосуванні в їх системах гребнезмащування мастила Tramlub F 234 MOD 2, слід очікувати аналогічного зменшення зношування і бокових граней рейок на тих ділянках колії де ці локомотиви експлуатуються. Хоча це питання теж потребує подальших досліджень і спостережень за роботою колії на відповідних ділянках

Позитивним чинником є і той факт, що за даними виробника мастил Fuchs Lubritech GmbH біорозклад (біорозщеплюваність) мастила Tramlub F 234 MOD 2 складає не менше 70 %, що неодмінно позитивно вплине на екологічні аспекти застосування процесу мащення пари тертя «колесо рухомого складу – рейка».

Властивості мастильного матеріалу хоча і є надважливими при застосуванні його в парі тертя «колесо-рейка», але крім цього, суттєвий вплив створює коректна робота локомотивних гребнезмащувачів – а саме точність дозування матеріалу та подачі його в чітко визначене інструкцією місце на гребені колеса. Тільки при повному і одночасному дотриманні зазначених умов можна взагалі вести мову про отримання технічного та економічного ефекту від застосування лубрикації пари тертя «колесо рухомого складу – рейка».

Література

1. Захаров С. М. Об управлении трением в системе колесо-рельс в условиях тяжеловесного движения / С. М. Захаров // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 3. – С. 12–16.

2. Буйносов А. П. Еще раз об износе колеса и рельса [Электронный ресурс] / А. П. Буйносов. – Режим доступа: <http://scbist.com/xx1/16265-09-2010-esche-raz-ob-iznose-kolesa-i-relsa.html> – Загл. с экрана.

3. Петровых В. А. Оценка износа гребней цельнокатаных колес грузовых вагонов по результатам дорожного эксперимента / В. А. Петровых, Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 45-46.

4. Oldknow K. Controlling friction delivers longer rail life // *Railway Gazette International*. – 2012. – №1. – P. 53-55.

5. Бондарик В. В. Еще раз об износе колеса и рельса [Электронный ресурс] / В. В. Бондарик. – Режим доступа: <http://scbist.com/xx2/30710-02-2004-esche-raz-ob-iznose-kolesa-i-relsa.html> – Загл. с экрана.

6. Siedlowsky F. Automatische Schienenschmierung gegen Lärm und Verschleiß. *Eisenbahntechnische Rundschau*, 2015, no. 3, PP. 31–34.

7. Жаров И. А. Пути управления изнашиванием колёс и рельсов / И. А. Жаров // *Локомотив-информ / Железнодорожное издательство «Подвижной состав»*. – 2008. – № 6. – С. 16–19.

8. Determining Major Factors Causing the Wear of Wheelset Tyres / G. Vaičiūnas, V. Gediminas, L. P. Lingaitis, Š. Mikaliūnas // *Solid State Phenomena*. – 2006. – Vol. 113. – P. 425–428.

9. Финицкий С. И. Причины износа гребней колес и рельсов / С. И. Финицкий // *Путь и путевое хозяйство*. – 2008. – № 5. – С. 18-19.

10. Нові матеріали для змащування пари тертя «колесо рухомого складу – рейка». Результати лабораторних досліджень / Кравець А. М., Євтушенко А. В., Погребняк А. В. // *Залізничний транспорт України*. – 2018. – № 2. – С. 22-30.

11. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. К.П. Власова. – Харьков: Издательство Гуманитарный центр, 2013. – 412 с.

12. Реброва И. А. Планирование эксперимента: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

13. Інструкція з технічного обслуговування систем гребнезмащування локомотивів : ЦТ-0153: затв. наказом Укрзалізниці від 02.03.2007 № 131-Ц –К.: 2007. – 39 с.

14. Інструкції з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм : ВНД 32.0.07.001-2001: затв. наказом Укрзалізниці від 29.05.2001 № 305-Ц зі змінами та доповненнями затвердженими наказами Укрзалізниці від 16.11.2004 № 863-ЦЗ, від 18.12.2007 № 598-Ц та від 20.04.2010 № 046-ЦЗ. – К. : 2011. – 170 с.

15. Методы планирования и обработка результатов инженерного эксперимента : Конспект лекций (отдельные главы из учебника для ВУЗов) / Н. А. Спириин, В. В. Лавров. Под общ. ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кравець Андрій Михайлович,

к. т. н., доцент кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту.
Майд. Фейєрбаха, 7, Харків, 61050, Україна.
Тел.: +38 057 730 10 72; +38 050 503 98 23.
E-mail: kravets_am@ukr.net,
ORCID 0000-0002-3251-6576

Євтушенко Андрій Вікторович,

к. т. н., доцент кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту.
Майд. Фейєрбаха, 7, Харків, 61050, Україна.
Тел.: +38 057 730 10 72; +38 067 385 62 94.
E-mail: ave65@ukr.net,
ORCID 0000-0002-8575-3030

Почеква Роман Євгенович,

інженер відділу ремонту служби локомотивного господарства регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця».
Вул. Гоголя, 1, Львів, 79000, Україна.
Тел.: +38 032 226 45 46; +38 097 660 21 11.
E-mail: r.pochekva@gmail.com.

Лобозинський Віктор Сергійович,

продукт-менеджер
ТОВ «Фукс Мастила Україна».
Вул. Шевченка, 327-А, Львів, 79069, Україна.
Тел.: +38 032 235 08 12; +38 067 673 37 80.
E-mail: victor.lobozinsky@fuchs-oil.com.ua.