

УДК 621.892:621.896.6

*Канд. техн. наук Кравець А.М.
Канд. техн. наук Євтушенко А.В.
Канд. техн. наук Погребняк А.В.*

НОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗМАЩУВАННЯ ПАРИ ТЕРТЯ «КОЛЕСО РУХОМОГО СКЛАДУ – РЕЙКА». РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ключові слова: трибосполучення, «колесо – рейка», мастильний матеріал, локомотивний гребнезмащувач, лабораторні дослідження, хімотологічні та трибологічні властивості.

Постановка проблеми

Пара тертя «колесо рухомого складу – рейка» є доволі напруженим трибосполученням. Контактні зусилля, що виникають в цій парі, особливо при проходженні рухомим складом кривих ділянок колії, приводять до зносу гребенів коліс рухомого складу та бокової грані головки рейки. Ця проблема створює суттєвий вплив на безпеку руху потягів, техніко-економічні показники роботи рухомого складу та колії, якість перевезень та комфорт пасажирів [1-4].

Огляд останніх досліджень і публікацій

Одним із способів боротьби із зношуванням в парі тертя «колесо – рейка» є внесення до неї мастильного матеріалу [1, 5-7]. Реалізується даний спосіб за допомогою стаціонарних колійних лубрикаторів [5, 8, 9], які встановлюються перед кривими і подають мастильний матеріал на бокову грань головки рейки, а колеса рухомого складу розносять його далі по всій кривій. Також рейки можуть змащуватися пересувними колійними рейкозмащувачами [5, 7, 10], які періодично курсують по найбільш зношуваних ділянках колії, змащуючи бокову грань головки рейки по всій її довжині. І ще одним способом є нанесення мастильного матеріалу на гребені коліс першої колісної пари локомотива із наступним його перенесенням на головку рейки в зону зношування – саме так

діють локомотивні гребнезмащувачі [5, 7, 11].

Невирішені частини загальної проблеми

В даний час в умовах збільшення швидкостей руху рухомого складу і посилення інших технічних параметрів улаштування та експлуатації колії і рухомого складу [2], при роботі пари тертя «колесо – рейка» в різноманітних та часто доволі суворих кліматичних і технологічних умовах, мастильні матеріали, що застосовуються на залізницях України далеко не завжди виконують свої функції із бажаною ефективністю. Тому перед фахівцями постає задача пошуку нових, більш ефективних матеріалів, які будуть мати високі протизношувальні, антифрикційні та антикорозійні властивості, добре утримуватися на поверхнях, що змащуються, однаково ефективно подаватися і працювати при різних температурах середовища та не впливати на працездатність лубрикаторів і їх елементів.

Цілі статті

В даній статті розглядаються результати лабораторних досліджень мастильних матеріалів Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 (виробництва Fuchs Lubritech GmbH, Німеччина), проведені в Галузевій науко-дослідній лабораторії «Хімотологічна» Українського державного університету залізничного транспорту. Основною метою досліджень було перевірити придатність даних мастил до застосування в локомотивних гребнезмащувачах для захисту від зношування пари тертя «колесо рухомого складу – рейка» в умовах експлуатації залізничного транспорту України.

Основний матеріал

Продукти Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 є напіврідкими мастильними матеріалами, розробленими саме для пари тертя «колесо – рейка». Вони вже достатньо давно застосовуються на залізницях Німеччини, Австрії, Швейцарії та інших країн [12]. Для отримання більш явної картини, щодо можливостей використання на українських залізницях цих мастил їх властивості порівнювалися із властивостями мастила типу Рельсол-М, що застосовується зараз на залізницях України [13], для чого у досліджах використо-

увався зразок даного мастила виробництва компанії «Агрінол» (Україна). В ході лабораторних досліджень визначалися і порівнювалися основні хімотологічні та трибологічні властивості мастил із загального переліку показників якості мастил, рекомендованого ДСТУ 4310:2004 [14], які з різних боків характеризують здатність їх захищати контактну пару «колесо – рейка» від зношування. Оскільки стандартизовані методики дослідження властивостей мастил такого призначення в Європейських країнах [15] дещо відрізняються від тих, що застосовуються у вітчизняній нафтопромисловості, дослідження проводилися за стандартами діючими на даний час в Україні.

Одним із досліджуваних параметрів була пенетрація, яка характеризує консистенцію (густоту) мастила, і його здатність сприймати навантаження й створювати опір витисненню мастила з зони контакту пари тертя. Досліджувалася пенетрація за методикою рекомендованою в ГОСТ 5346-78, метод В [16]. Результати досліджень (рис. 1) дозволили встановити, що пенетрація досліджених матеріалів має досить близькі значення, тому можна стверджувати, що їх здатність утримуватися в робочому зазорі пари тертя, під дією зовнішніх навантажень, знаходиться приблизно на одному рівні. Хоча, відповідно до загальноприйнятої в світі класифікації пластичних мастил за консистенцією NLGI (National Lubricating Grease Institute – США), за результатами дослідження мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 вони відносяться до класу пенетрації 000 (дуже рідкі), а мастило типу Рельсол-М – до класу 00 (рідкі).

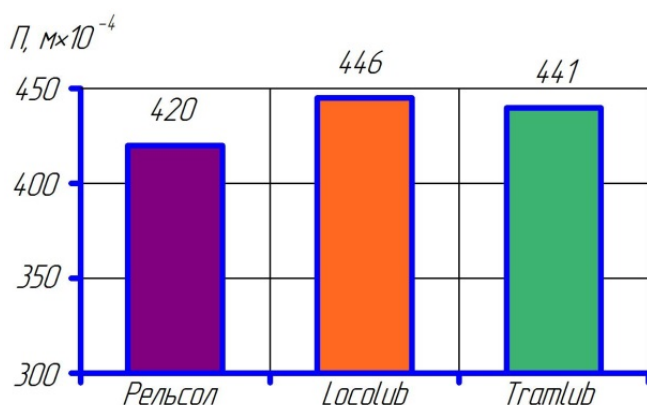


Рис. 1 – Результати визначення пенетрації мастил

Найбільш високу температуру краплепадіння (рис. 2) має мастило Tramlub F 234 MOD 2 і, відповідно, із досліджуваних мастил саме воно найбільш ефективно буде утримуватися на поверхні змащування при дії на нього температур від природних джерел. Але, у двох інших мастил температура краплепадіння теж достатньо висока і цілком відповідає умовам роботи пари тертя «колесо-рейка».

Для дослідження корозійних властивостей мастильних матеріалів за ГОСТ 9.080-77 [17] використовувалися пластини із сталі 45. Після витримання пласти в мастильних матеріалах протягом 5 годин при температурі (70±2)°С суттєвих слідів корозії на них не виявлено. Це означає, що всі досліджувані мастила витримали випробування на антикорозійні властивості.

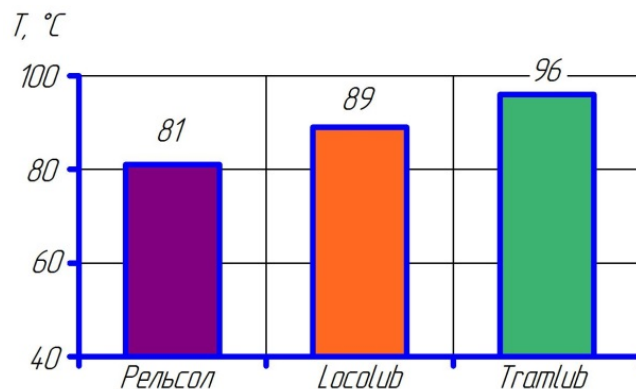


Рис. 2 – Результати визначення температури краплепадіння мастил

Ще одним показником якості мастил, який досліджувався, була їх випаровуваність. Вона є показником стабільності мастила при його зберіганні та застосуванні і, в головному, залежить від інтенсивності випаровування з мастила оливи, яка тим вище, чим нижче хімічна стабільність мастила, тонше його шар і більше площа поверхні випаровування.

Визначення випаровуваності досліджуваних мастил проводилося за ГОСТ 9566-74 [18] при температурі 100°С протягом однієї години. За результатами досліджень (рис. 3) найбільшу випаровуваність має мастило Tramlub F 234 MOD 2. При знаходженні на нагрітих поверхнях, найбільш швидко буде випаровуватись мастило Tramlub F 234 MOD 2, хоча для мастила Locolub ECO цей показник відрізняється лише на 8,7 %. Це може бути результатом того, що для виготовлення

обох мастил застосовуються синтетичні оливи, а в мастилі Tramlub ще й рослинні оливи. Хоча слід зауважити, що отримані значення випаровуваності для всіх матеріалів є досить не значними, як для антифрикційних мастил.

Дослідження на вміст води за ГОСТ 2477-65 [19] дозволило виявити у мастилі типу Рельсол-М не більше 1,2%, води, а в мастилах Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 – лише незначні її сліди. Цей показник характеризує здатність мастила поглинати воду із оточуючого середовища із частковим або повним розчиненням її у своєму складі і в цілому отримані значення цілком відповідають вимогам до мастил, що застосовуються в якості антифрикційних.

Ефективна в'язкість, яка характеризує можливість прокачування мастила по трубопроводах локомотивної системи лубрикації, особливо при низьких температурах середо-

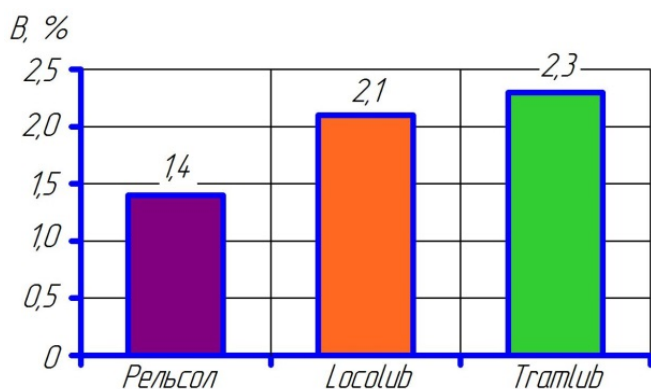


Рис. 3 – Результати визначення випаровуваності мастил

При дослідженні на вміст вільного лугу, в перерахунку на NaOH за ГОСТ 6707-76 [21], було виявлено, що для мастила типу Рельсол-М цей показник складає 0,14%, а в мастилах Locolub ECO і Tramlub F 234 MOD 2 вільні луги взагалі відсутні.

Найменший вміст вільних органічних кислот, при дослідженні за тим же ГОСТ 6707-76 [21], був виявлений в мастилі типу Рельсол-М (рис. 5). У мастилах Locolub ECO цей показник більший майже на 50%, а у мастилах Tramlub F 234 MOD 2 – більш ніж у 2 рази. Причиною цього є та сама синтетична основа мастил Locolub і Tramlub.

Вільні органічні кислоти і вільні луги «відповідають» за корозійну агресивність пластичних мастильних матеріалів, і мастило ти-

вища, визначалася у відповідності із ГОСТ 7163-84 [20] при температурі мінус 30°C і градієнті швидкості деформації $10 \times c^{-1}$. В результаті досліджень було встановлено (рис. 4), що перекачуванню по системі в холодній порі року найбільший опір буде створювати мастило типу Рельсол-М. В свою чергу, скоріш за все, для мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2, ефективна в'язкість яких набагато нижча (в 30 та 5,6 разів відповідно), температурний режим застосування не буде суттєво впливати на здатність до прокачування і створення опору роботі насосу, який подає мастило по магістралям до форсунок, які вже безпосередньо подають його на реборди коліс. Такий позитивний результат для мастил Locolub та Tramlub, в першу чергу, може бути пояснений застосуванням в їх складі синтетичних та рослинних олів.

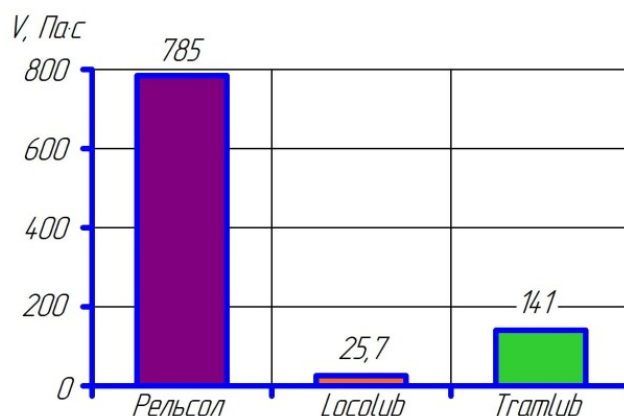


Рис. 4 – Результати визначення в'язкості мастил

пу Рельсол-М, створене на нафтовій основі, матиме кращі захисні властивості, хоча, як показали описані раніше випробування на корозію за ГОСТ 9.080-77, різниці в цій властивості між досліджуваними матеріалами практично немає.

Загалом хімотологічні дослідження показали, що всі дослідженні мастила мають фізико-хімічні показники на рівні, що допускає їх для застосування у парі тертя «колесо рухомого складу – рейка». Але тільки хімотологічних показників не достатньо щоб зробити однозначний висновок, щодо переваги мастила якоїсь конкретної марки.

Трибологічні випробування мастильних матеріалів виконувалися на машинах тертя з випробувальними зразками простої геометри-

чної форми за широко відомими методиками [22] і включали оцінку їх протизношувальних, протизадирних і антифрикційних властивостей.

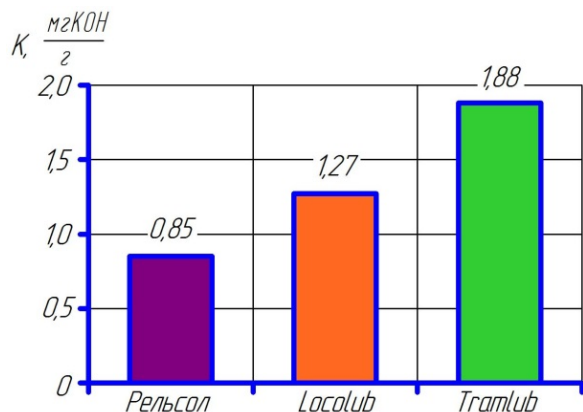


Рис. 5 – Результати визначення вмісту вільних органічних кислот

Випробування на машині тертя СМЦ-2 проводилися за схемою «колодка-ролик»

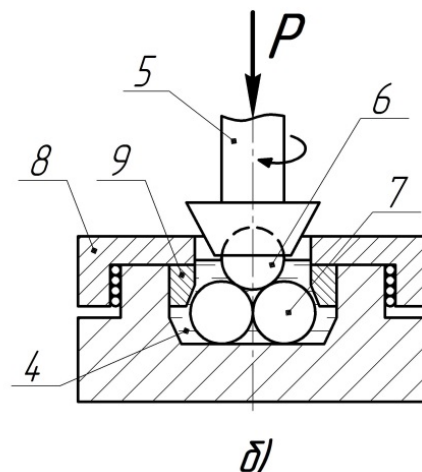
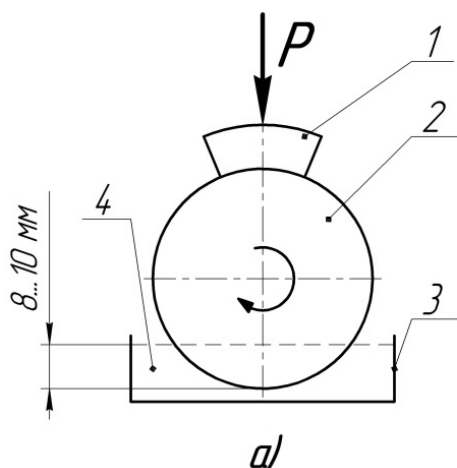


Рис. 6 – Схеми випробувань на машинах тертя, де:
 а) – машина СМЦ-2; б) – машина ЧКМ; 1 – колодка; 2 – ролик; 3 – кювета;
 4 – мастильний матеріал; 5 – цанга; 6 – верхня кулька; 7 – нижні кульки;
 8 – гайка; 9 – притискна шайба

Табл. 1 - Програма випробувань на машині тертя СМЦ-2

Час випробувань, хв.	Навантаження, Н			
	режим I	режим II	режим III	режим IV
5	0	0	0	0
10	50	100	100	200
10	200	300	400	500
15	400	500	800	1000
20	800	1000	1500	2000
360	1600	2000	2500	3000
$\Sigma=420$				

(рис. 6а), яка забезпечує контакт зразків поверхнями й імітує умови роботи нижчих кінематичних пар, що цілком відповідає роботі пари тертя «гребінь колеса рухомого складу – рейка». Обидві деталі пари тертя (і колодка, і ролик) були виготовлені із сталі і піддавалися обробці до твердості, яка орієнтовно відповідає твердості поверхонь гребенів коліс рухомого складу та бокових граней головок рейок (твердість колодки – 360...370 НВ; ролика – 280...300 НВ). Для створення можливості оцінити вплив навантаження в парі тертя на протизношувальні і антифрикційні властивості мастила випробування проводилися в чотирьох режимах навантажень (табл. 1), із загальною тривалістю одного циклу випробувань у кожному режимі – 7 годин. В кожному режимі навантажень для кожного мастильного матеріалу випробування повторювалися по 4 рази, при цьому кожного разу на нових зразках та новій порції мастила.

Протизношувальні властивості досліджуваного мастильного матеріалу оцінювалися через сумарну втрату маси деталями пари тертя за час випробувань, для чого вони зважувались на вагах ВЛР-200 із точністю до 0,0001 г (табл. 2 та рис. 7). Аналіз графіків залежності зносу зразків від режиму випробувань, а по факту від величини навантаження що діє в парі тертя (рис. 7), та математична обробка результатів визначення зносу зразків під час випробувань, за методикою наведеною у джерелі [23], показали, що при навантаженнях 1600 Н і 2000 Н (режими випробувань I та II), різниця між протизношу-

вальними властивостями різних мастильних матеріалів є досить не суттєвою та знаходиться в межах похибки. Із ростом навантаження (режими випробувань III та IV) ця різниця стає більш вагомою і дає можливість стверджувати, що протизношувальні властивості мастила Tramlub F 234 MOD 2 на 22-37 % кращі, ніж у мастила типу Рельсол-М, і на 9,3-12,6 % кращі, ніж у мастила Locolub ECO. В свою чергу мастило Locolub має протизношувальні властивості на 16-28 % кращі, ніж у мастила типу Рельсол-М.

Табл. 2 - Середня величина сумарного зносу деталей пари тертя отримана на машині СМЦ-2 при чотирикратній повторюваності випробувань

Навантаження, Н	Мастило		
	Рельсол-М	Locolub	Tramlub
Режим I	0,0433	0,0438	0,0427
Режим II	0,0512	0,0483	0,0463
Режим III	0,0652	0,0561	0,0509
Режим IV	0,0886	0,0636	0,0556

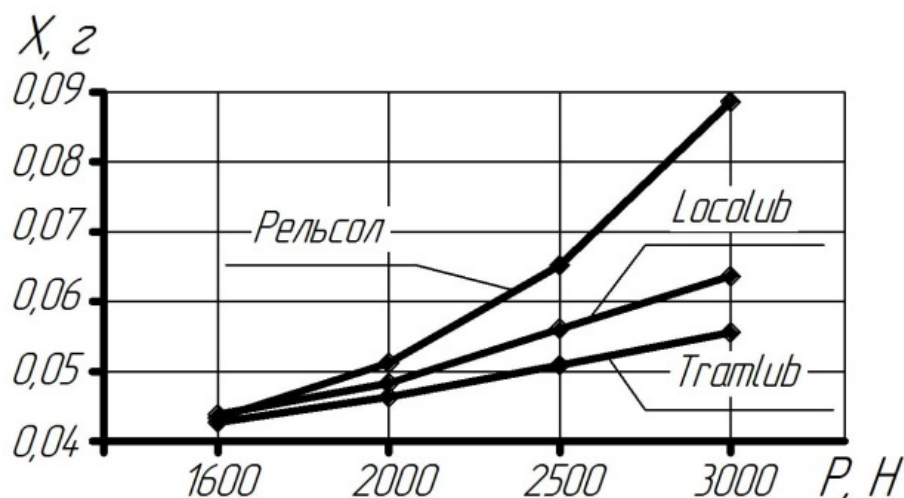


Рис. 7 – Залежність середньої величини зносу зразків від навантаження

Антифрикційні властивості мастильних матеріалів при випробуваннях на машині тертя СМЦ-2 оцінювалися через різницю в температурі поверхні ролика на виході його із контакту з колодкою. Вимірювання виконувалися за допомогою інфрачервоного дистанційного термометра. На рисунку 8 представлені графіки зміни середньої температури поверхні зразка (за результатами чотирьох дослідів) при проведенні випробувань у IV (максимальному) режимі навантажувань. Як

можемо бачити, найбільшу температуру мають поверхні роликів, які змащувалися мастилом типу Рельсо-М. Ролики, що змащувалися мастилом Locolub ECO мали температуру поверхні на 10-13 °С нижче, а ті що змащувалися мастилом Tramlub F 234 MOD 2 – на 15,5-19 °С. Така сама тенденція у співвідношенні температур спостерігалася і при випробуваннях на інших режимах навантажень, із тією відмінністю, що значення температур були дещо нижчими. При випробу-

ваннях на режимі III середні температури поверхонь роликів були нижчими на 7-11 %, на режимі II – на 18-24 % і на режимі I – на 29-37 %, що цілком закономірно. Різниця температур поверхонь роликів, що змащувалися різними матеріалами, при випробуванні на режимі I була зовсім не суттєвою – в межах 3-4 °С. Із збільшенням максимального навантаження в парі колодка-ролик різниця в температурах поверхонь ставала більш вагомю, тобто антифрикційні властивості мастил Locolub та Tramlub, як і їх протизношувальні властивості, проявилися із більшою інтенсивністю. Це дає підставу очікувати ще кращих результатів при застосуванні даних мастил в реальній парі тертя «колесо – рейка», де контактні зусилля можуть бути значно більші ніж реалізовані на машині тертя СМЦ-2.

Випробування на машині тертя ЧКМ (рис. 6б) проводилося за ГОСТ 9490-75 [24] і складалося із серії визначень. Кожне визначення проводилося на новій пробі випробуваного мастильного матеріалу із чотирма новими кульками. Випробування проводилися при кімнатній температурі, тобто 20°C. Одним з параметрів, який досліджувався на ЧКМ був індекс задиру. Він характеризує здатність мастильного матеріалу оберігати робочі поверхні пари тертя від пошкоджень в результаті задиру при робочому терті і напряму залежить від наявності протизадирних присадок в матеріалі. В результаті досліджень (рис. 9) було встановлено, що мастила Tramlub F 234 MOD 2 і Locolub ECO мають протизадирні властивості кращі, ніж мастило типу Рельсол-М, відповідно, в 1,4 та в 1,64 рази.

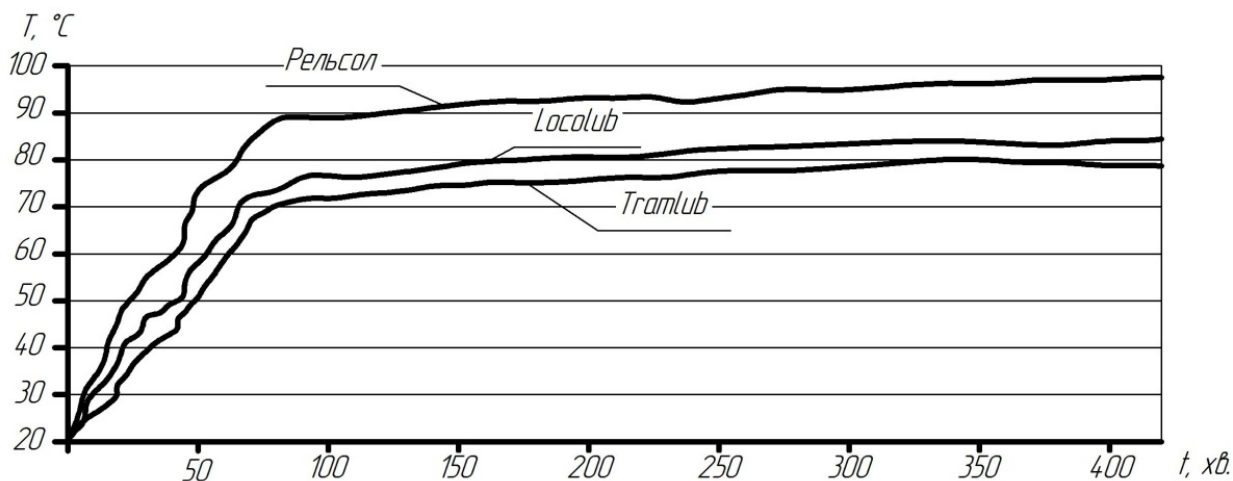


Рис. 8 – Зміна температури поверхні тертя зразків при випробуванні на машині СМЦ-2 при їх змащуванні різними мастильними матеріалами

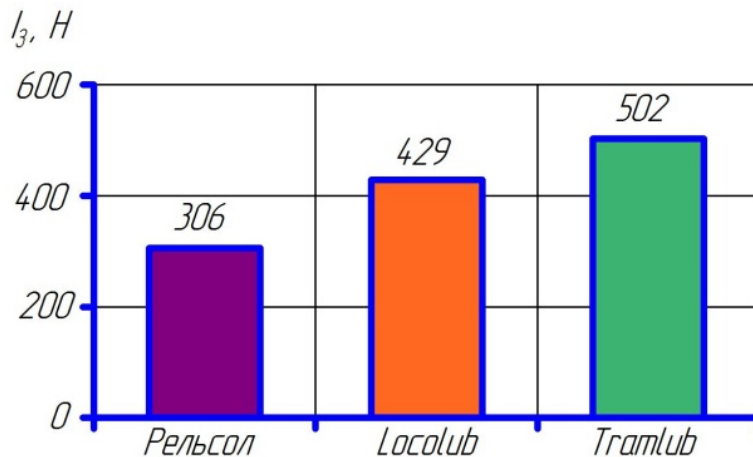


Рис. 9 – Результати визначення індексу задиру на машині тертя ЧКМ

За величиною критичного навантаження, яке характеризує максимальне зусилля що витримують граничні плівки мастильного матеріалу без задиру і заїдання поверхонь тертя, мастило Tramlub перевершує на 33 % мастило Locolub та на 58 % мастило типу Рельсол-М (рис. 10).

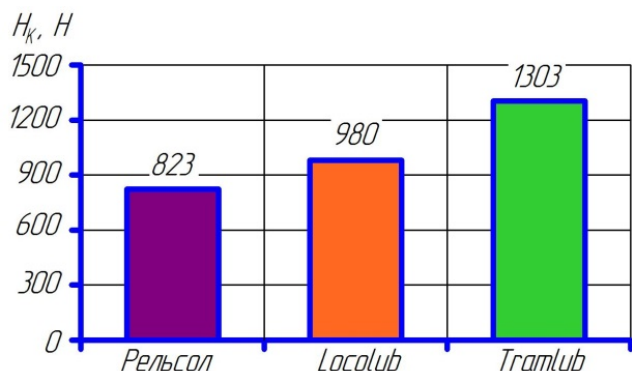


Рис. 10 – Результати визначення критичного навантаження

Ще одним параметром, дослідженим на машині тертя ЧКМ, було навантаження зварювання, яке характеризує межу працездатність мастильного матеріалу в умовах випробувань. Величина цього параметра (рис. 11) для мастила Locolub в 1,48 рази більше, ніж для мастила типу Рельсол-М, а для мастила Tramlub – в 2,35 рази.

Середній діаметр плям зносу, що утворились на нижніх кульках машини ЧКМ, який характеризує протизношувальні властивості досліджуваних мастильних матеріалів, визначався при двох навантаженнях на верхню

кульку – 196 Н та 392 Н. Випробування при навантаженні 196 Н (рис. 12) показали майже однакові протизношувальні властивості у мастил типу Рельсол-М і Tramlub F 234 MOD 2. При цьому мастило Locolub ЕСО показало доволі низький результат – його протизношувальні властивості при даному навантаженні в 1,58-1,62 рази гірші ніж у двох інших мастил.

Порівнюючи результати випробувань при навантаженні 392 Н, можна зробити висновок, що протизношувальні властивості мастила типу Рельсол-М значно гірші. Натомість мастило Locolub випереджає його, орієнтовно, на 10 %, а мастило Tramlub більш ніж на 33 %, тобто, як і при випробуваннях на машині СМЦ-2, збільшення навантаження приводить до більш інтенсивної реалізації протизношувальних властивостей цих мастил.

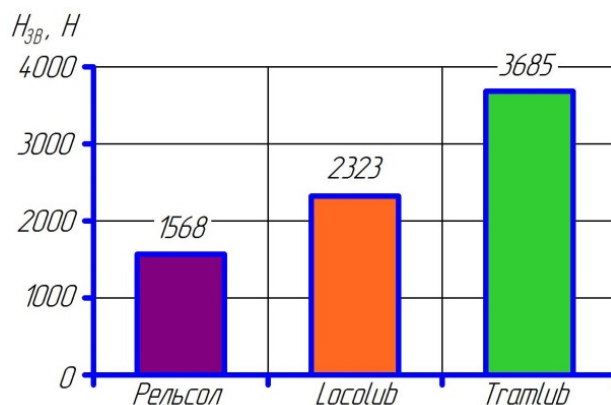


Рис. 11 – Результати визначення навантаження зварювання

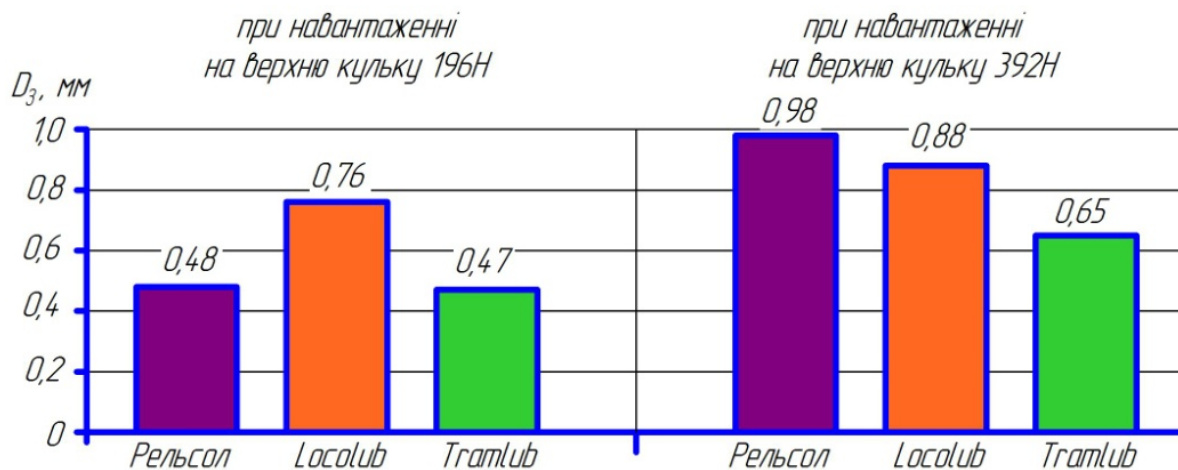


Рис. 12 – Результати визначення протизношувальних властивостей мастильних матеріалів на машині ЧКМ при різних навантаженнях

Трибологічні характеристики мастил Locolub і Tramlub, визначені на машинах тертя при різних видах контакту зразків, значно кращі ніж у мастила типу Рельсол-М. Особливо звертає на себе увагу збільшення різниці між протизношувальними і антифрикційними властивостями досліджуваних мастильних матеріалів при збільшенні контактних навантажень.

Висновки

Показники мастильних матеріалів Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 виробництва Fuchs Lubritech GMBH, визначені в лабораторних умовах, вказують на їх придатність до застосування в локомотивних гребнезмашувачах для зменшення зношування пари тертя «колесо рухомого складу – рейка».

Дещо гірші значення окремих хімотологічних властивостей цих мастил в порівнянні із мастилом типу Рельсол-М пов'язані із виготовленням їх на основі синтетичних олів і суттєво не впливають на здатність виконання мастилами своїх функцій. До того ж саме застосування синтетичних і рослинних олів в мастилах Tramlub і Locolub дозволило надати їм гарні низькотемпературні властивості та забезпечити високу здатність цих мастил до біорозкладу, яка за офіційною інформацією Fuchs Lubritech GMBH складає в межах 70-90 %.

Більш інтенсивна реалізація трибологічних властивостей мастил Tramlub і Locolub при збільшенні навантажень на пару тертя, обумовлена скоріш за все застосуванням сучасного і збалансованого пакету наповнювачів і присадок. Цей факт дозволяє очікувати від даних мастил інтенсифікації захисту пари тертя «колесо-рейка» від зношування при різкому збільшенні контактних навантажень в ній, наприклад при проходженні кривих малого і над малого радіусу, коли втрачається ефективність власних протизношувальних можливостей матеріалу колеса рухомого складу і рейки.

Остаточний висновок щодо можливості впровадження в локомотивних системах гребнезмашування мастил Locolub ECO та Tramlub F 234 MOD 2 можливо зробити після

отримання результатів експлуатаційних випробувань цих мастил в реальних умовах експлуатації тягового рухомого складу на залізницях України.

Література

1. Siedlowsky, F. Automatische Schienenschmierung gegen Lärm und Verschleiß. Eisenbahntechnische Rundschau, 2015, no. 3, pp. 31-34.

2. Буйносов, А. П. Еще раз об износе колеса и рельса / А. П. Буйносов // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 23-26.

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

4. Lingaitis, L., Mikaliūnas, Š., Vaičiūnas, G. Research on railway traction rolling stocks tyres wear. Mechatronic Systems and Materials MSM : proc. of International Conference (20-23 October 2005). – Vilnius : Technika, 2005. – 123 p.

5. Oldknow K. Controlling friction delivers longer rail life. Railway Gazette International, 2012, no. 1, pp. 53-55.

6. Экономия энергоресурсов // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 11. – С. 2-3.

7. 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.

8. Продлеваем жизнь колес и рельсов в 10 раз // Вагонный парк / Железнодорожное издательство «Подвижной состав». – 2016. – № 11-12 (116-117). – С. 4-5.

9. Ермаков, В. М. Об эффективности работы средств лубрикации рельсов / В. М. Ермаков // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 11. – С. 5–8.

10. Лукьяненко, В. А. Использование современных технологий лубрикации рельсов / В. А. Лукьяненко // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 8. – С. 54–55.

11. Клименко, О. В. Смазывание гребней бандажей и стрелочных переводов на железных дорогах Германии / О.В. Клименко // Вагонный парк / Железнодорожное издатель-

ство «Подвижной состав». – 2010. – № 3. – С. 18-21.

12. Bludenz, E. A., Linz, M. E. Wheel flange lubrication with the ÖBB (Austrian State Railways) - A factual report. Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik: ZEV+DET Glasers Annalen, 1997, no. 2/3 (121), pp. 255-262.

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

14. Мазтила. Номенклатура показників якості.: ДСТУ 4310:2004. – [Чинний від 2005-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України 2005. – 7 с. (Національний стандарт України).

15. Railway applications – Wheel/rail friction management – Lubricants for trainborne and trackside applications. (2012). EN 16028:2012 (E) from 9th June 2012. Brussels: European committee for standardization.

16. Смазки пластичные. Методы определения пенетрации пенетрометром с конусом : ГОСТ 5346-78. – [Введ. 1979-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 9 с. (Гос. стандарт СССР).

17. Единая система защиты от коррозии и старения. Смазки пластичные. Ускоренный метод определения коррозионного воздействия на металлы : ГОСТ 9.080-77. – [Введ. 1979-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 3 с. (Гос. стандарт СССР).

18. Смазки спластичные. Метод определения испаряемости: ГОСТ 9566-74. – [Введ. 1976-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 4 с. (Гос. стандарт СССР).

19. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды : ГОСТ 2477-65. – [Введ. 1966-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1965. – 7с. (Гос. стандарт СССР).

20. Нефтепродукты. Метод определения вязкости автоматическим капиллярным вискозиметром : ГОСТ 7163-84. – [Введ. 1985-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 9 с. (Гос. стандарт СССР).

21. Смазки пластичные. Метод определения свободных щелочей и свободных органических кислот : ГОСТ 6707-76. – [Введ.

1977-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 3 с. (Гос. стандарт СССР).

22. Комбалов, В. С. Методы и средства испытания на трение и износ / В. С. Комбалов; под ред. К. В. Фролова, Е. А. Марченко. – М.: Машиностроение, 2008. – 384 с.

23. Руднев, В. К., Лазаренко, В. И., Родин, И. И. Моделирование и планирование экспериментов. – Красноярск : Изд-во КПИ, 1981. – 54 с.

24. Материалы смазочные, жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине: ГОСТ 9490-75. – [Введ. 1978-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 8 с. (Гос. стандарт СССР).

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, Україна, 61050.

Тел.: +38 (057) 730 10 72; +38 (050) 503 98 23.

E-mail: kravets_am@ukr.net,

ORCID 0000-0002-3251-6576

Свтушенко Андрій Вікторович,

к. т. н., доцент кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини»

Українського державного університету залізничного транспорту.

Майд. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050.

Тел.: +38 (057) 730 10 72; +38 (067) 385 62 94.

E-mail: ave65@ukr.net,

ORCID 0000-0002-8575-3030

Погребняк Андрій Валерійович,

к. т. н., доцент кафедри «Будівельні і дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002.

Тел.: +38 (057) 738 77 97; +38 (067) 397 56 72.

E-mail: gorinich_2008@ukr.net.