
МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 625.032.3

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНЕСЕННЯ МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ В КОНТАКТ «КОЛЕСО-РЕЙКА»

Д-р техн. наук С. В. Воронін, кандидати техн. наук В. О. Стефанов, О. О. Суранов, аспіранти В. О. Гамора, С. О. Стефанов

RESEARCH OF AEROSOL APPLICATION SYSTEMS FOR APPLYING LUBRICATING MATERIAL IN THE «WHEEL-RACK» CONTACT

Dr. Sc. (Tech.) S. Voronin, PhD (Tech.) V. Stefanov, PhD (Tech.) O. O. Suranov, postgraduate student V. O. Hamora, postgraduate student S. O. Stefanov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308065>



Анотація. У статті описано різні методи лубрикації зони контакту «колесо-рейка», спрямовані на зменшення коефіцієнта тертя і підвищення ефективності використання енергоресурсів, безпеки руху та екологічних показників. Наведено технології подавання мастильних матеріалів у цю зону, такі як мастильні стрижні, стаціонарні системи через щітки або головку рейки. Виділено проблеми наявних технологій, такі як надмірне змащування, необхідність заміни елементів змащення, великі витрати мастильного матеріалу, а також нерівномірне та некоректне нанесення. Зазначено, що точність у нанесенні та дозуванні мастильного матеріалу є надзвичайно важливою для запобігання потраплянню на поверхню колеса та рейки, що може знизити зчеплення, аерозольний метод нанесення лубриканта на ребро колеса є більш точним і економічно вигідним. Розроблено нову форсунку для аерозольного розпилювання мастила, а також виготовлено лабораторну установку для досліджень цього процесу. Установка працює на стисненому повітрі та включає компресор із ресиверним балоном для стабілізації роботи форсунки. Описано гідравлічну схему установки, де основні елементи включають кульковий кран, редуційний клапан, манометр, бак і форсунку. Показано підготовку установки до роботи і принцип її функціонування. Результати досліджень показали, що розроблена установка ефективно розпилює як густі, так і рідкі мастильні матеріали залежно від тиску повітря та діаметра сопла форсунки. Наведено графіки витрат мастила для різних типів мастил і параметрів форсунки.

Ключові слова: форсунка, аерозольне розпилювання, мастило, витрати мастильного матеріалу, рейкозмащувач, крива ділянка колії.

Abstract. The article discusses various methods of lubricating the «wheel-rail» contact zone aimed at reducing friction coefficient and improving the efficiency of energy resource utilization, safety of movement, and environmental indicators. Technologies for delivering lubricating materials to this zone, such as lubricating rods, stationary systems using brushes, or railhead applicators, are outlined. The article highlights issues with existing technologies, including excessive lubrication, the need for component replacements, high lubricant material consumption, and uneven or incorrect application. It is emphasized that precision in the application and dosage of lubricating material is crucial to prevent its transfer onto the wheel and rail surfaces, which could reduce traction. The

aerosol method of applying lubricant to the wheel edge is stated to be more accurate and cost-effective. The article mentions the company «SKF» and their EasyRail systems utilizing nozzles with the SP9-2 and SP9-2-S7 metering valves. Schematic representations of the nozzle and its working principle are provided. Sécheron is also mentioned, offering a nozzle for spraying lubricant onto the wheel edge through a two-tube system for oil and oxygen supply. An image of this company's nozzle is included. The text delves into the equipment of the lubrication system by Sécheron, specifically detailing the product's technical characteristics. Information about the development and manufacturing of the locomotive wheel flange lubrication system by the company "Scientific and Production Firm «Yugtekhnотrans» is presented. The article introduces the TrainSys-AL system for lubricating the rail head/running surface, providing a detailed description of its features and technical specifications, including the use of friction modifiers «HeadLub 90» and «RailLub». The products of the company Dropsa are mentioned, specifically the spray valve of the 1132330 series for the lubrication system of railway rolling stock and tracks. The overall context of the text is oriented towards the technical aspects and features of modern lubrication systems in railway transport.

The study reviews existing designs of rail and wheel lubrication devices, revealing that there is no ideal design that meets all requirements for material consumption and precision in applying lubricating material. Consequently, a new nozzle for aerosolized oil spray is developed, and a laboratory setup for researching this process is manufactured. The setup operates on compressed air and includes a compressor with a reservoir tank for stabilizing nozzle operation. The hydraulic scheme of the setup is described, with key elements such as a ball valve, pressure reducing valve, pressure gauge, tank, and nozzle. The preparation of the setup for operation and its functioning principle are demonstrated. Research results indicate that the developed setup effectively sprays both dense and liquid lubricants depending on the air pressure and nozzle diameter. Graphs illustrating lubricant consumption for different types of lubricants and various nozzle parameters are provided.

Keywords: *nozzle, aerosol spray, lubricant, lubricant material consumption, rail lubricator, curved section of the track.*

Вступ. Фізичною основою пересування потягів на залізниці є взаємодія колеса та рейки, що визначає безпеку руху, найважливіші техніко-економічні показники, вагу потягів, швидкість їхнього пересування та рівень експлуатаційних витрат, тому розроблення та удосконалення рейко- та гребенезмашувальних машин є актуальним завданням.

Вимоги до показників взаємодії коліс і рейок у різних зонах контакту та тертя суперечливі. З одного боку зчеплення коліс з рейкою має бути таким, щоб забезпечити мінімальний опір пересуванню потягу, з іншого боку для реалізації потрібної сили тяги необхідно забезпечити високий рівень зчеплення локомотивних коліс з рейками. Крім того, для зниження зносу гребня колеса та перехідної поверхні голівки рейки, а також опору пересуванню потягів у кривих ділянках колії потрібно максимально

знижити тертя між гребнем колеса і бічною поверхнею голівки рейки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світовий досвід експлуатації залізниць визначив основне завдання – удосконалення системи колесо-рейка. Дослідження контактної взаємодії колеса з рейкою призвело до розроблення оптимального профілю колеса [1, 2], що в свою чергу сприяє динамічній стабільності. Сили, що діють при проходженні рухомого складу в кривих ділянок колії, призводять до механічного зносу. Не менш важливим фактором є вплив адгезії та абразивів [3-5]. Також під час руху залізничного транспорту, а особливо в кривих ділянках колії, виникає шум, який має негативний вплив як на навколишнє середовище, так і на людське здоров'я. Результати досліджень щодо важливості використання системи рейко- та гребенезмашувача для зниження

шуму висвітлено в наукових дослідженнях [6, 7].

Коефіцієнт тертя напряму залежить від навантаження та мікроструктури матеріалу. Саме за рахунок його зменшення можливо знизити витрати енергоресурсів на тягу локомотива та збільшити ресурс коліс рухомого складу та рейок. Для зменшення коефіцієнта тертя використовують мастильні матеріали які підводяться до зони контакту «колесо-рейка», наприклад «СПРУТ-ВС», «Агрінол Рельсол ГС/М» та інші. Вони суттєво зменшують сили опору руху рухомого складу в кривих ділянках колії. Перспективним напрямком для вирішення цього питання є змащування внутрішньої поверхні рейок локомотивним провідним складом [8].

Висвітлено основні проблеми з системою рейкозмащування на Львівській залізниці, вказуючи на застарілу техніку та неефективність системи, а саме відсутність регулювання якості нанесення мастила в робочу зону, що призводить до необхідності частих зупинок для контролю та обслуговування. [9].

Проведені дослідження використання стаціонарного гребенезмащувача [10]. Приведені результати експерименту по перенесенню мастильного матеріалу від мастильника на гребінь колеса та висвітлені основні недоліки цієї установки. Хоча отримано певні висновки та досягнення, ще залишаються проблеми та відкриті питання, які потребують додаткових досліджень і вдосконалення цієї методології.

Визначення мети та завдання дослідження. Основною метою є порівняльний аналіз параметрів наявних систем рейко- та гребенезмащування та удосконалення наявної системи мащення аерозольного типу.

Для цього необхідно провести огляд на вже наявні прилади та технології для змащення бічної поверхні рейки. На основі отриманих даних створити та запропонувати власний пристрій, який буде

задовольняти вимоги рейко- та гребенезмащування. Провести експериментальні дослідження системи та визначити основні її робочі параметри.

Основна частина дослідження. Нині існує дуже багато методик для реалізації лубрикації зони контакту «колесо-рейка», що так само призводить до зменшення коефіцієнта тертя в кривих ділянках колії та, отже, економить паливо-енергетичні ресурси, рівень безпеки руху залізничним транспортом підвищується, покращуються екологічні показники (зниження вібрацій, шуму, забруднення повітря).

На рис. 1 зображено технології, за допомогою яких відбувається подання в зону контакту «колесо-рейка» мастильного матеріалу, це може бути як мастильні стрижні для змащення реборди (рис. 1, а), так і стаціонарні системи, які підводять мастильний матеріал через щітки (рис. 1, б) [11], чи конкретно через головку рейки (такий метод використовується в трамваях та метро, адже там не виникають такі високі навантаження як на магістральних коліях) (рис. 1, в) [12]. Свою основну мету такі технології виконують вдало, але мають суттєві недоліки, до яких можна віднести: надмірне змащення, необхідність заміни елементів змащення, великі витрати мастильного матеріалу, нерівномірність та некоректність нанесення мастильного матеріалу в зону контакту «колесо-рейка».

Точність у нанесенні та дозуванні мастильного матеріалу є пріоритетною, тому що потрапляння на поверхню катання є недопустимою адже це призводить, в подальшому, до зниженню зчеплення поверхні катання колеса з рейкою.

Аерозольний метод нанесення лубриканта на реборду колеса є більш точним та економічно вигідним порівняно з іншими методами адже забезпечує чіткий рівномірний факел розпилу мастильного матеріалу на реборду колеса та в подальшому його переносі на бічну поверхню рейки.

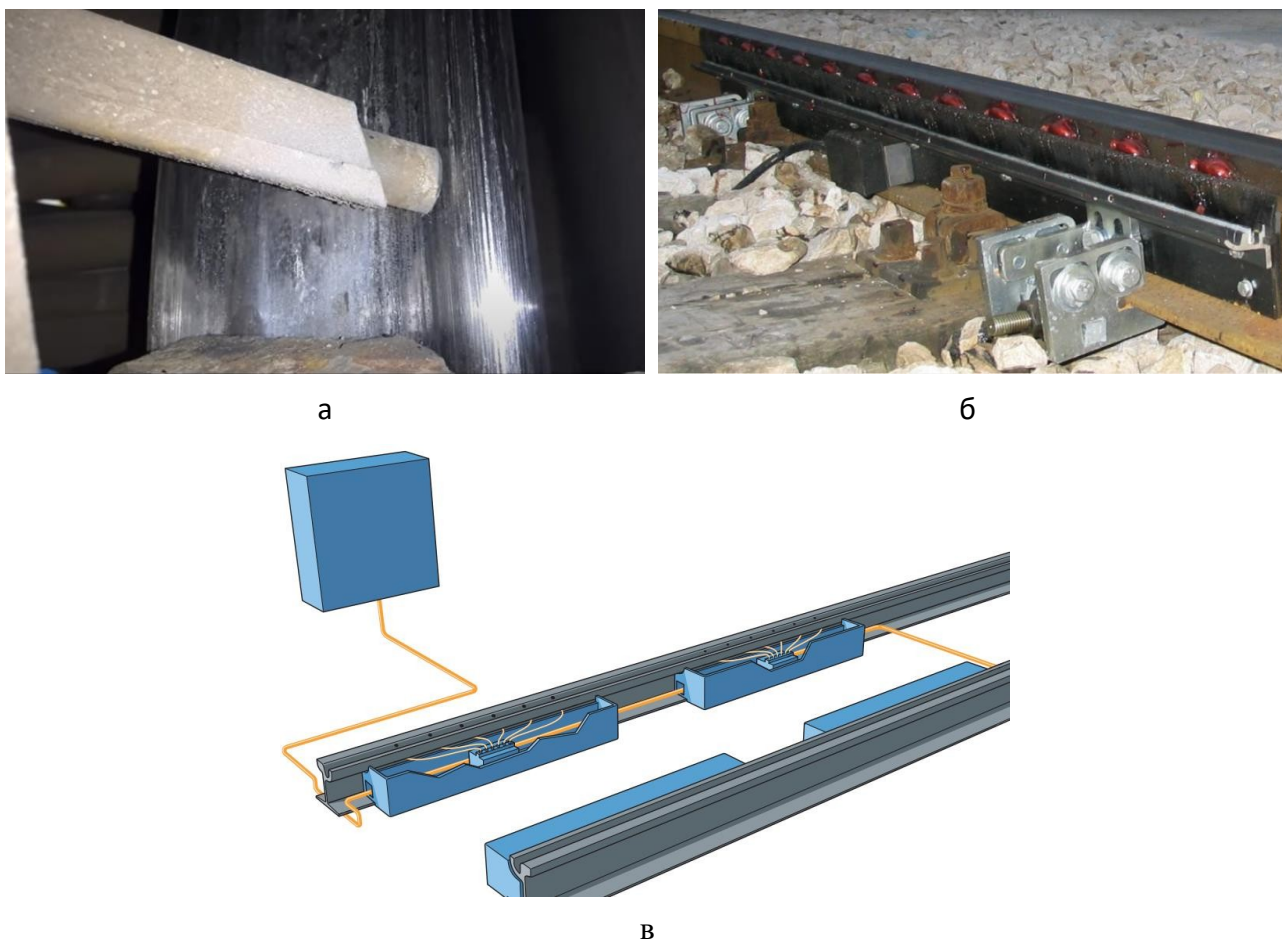


Рис. 1. Технології подавання в зону контакту «третього тіла»:
 а – мастильними стрижнями для змащення реборди; б – стаціонарними системами, які підводять мастильний матеріал через щітки; в – стаціонарними системами, які підводять мастильний матеріал через головку рейки

Серед передових систем у вирішенні цього питання виступає компанія «SKF». Системи SKF EasyRail для змащення реборди колеса, а також головок рейок, використовують форсунки з дозувальним клапаном SP9-2, SP9-2-S7 [13]. На рис. 2, а зображено форсунку SP9-2-S7 та її схематичний вид на рис. 2, б. Монтується система на першій колісній парі головного вагону, за необхідності можливо збільшити кількість форсунок шляхом додавання клапанних блоків та реалізувати роздільну подачу на ліве та праве колесо окремо.

Коли система ввімкнена, повітря та мастильний матеріал подаються з ємності з пластичним мастильним матеріалом до

форсунки розпилення. Мастило розпилюється на реборду колеса тонким шаром і передається на бічну поверхню рейки при безпосередньому контакті.

Технічні характеристики форсунок SP9-2, SP9-2-S7 наведено в табл. 1 [14].

Компанія Sécheron пропонує форсунку, що розпиляє мастильний матеріал на реборду колеса за допомогою двотрубною системи, яка підводить мастильний матеріал і повітря до форсунки окремо [15]. На рис. 3 зображено форсунку, що пропонує компанія Sécheron.

На рис. 4 зображено устаткування системи мащення Sécheron.

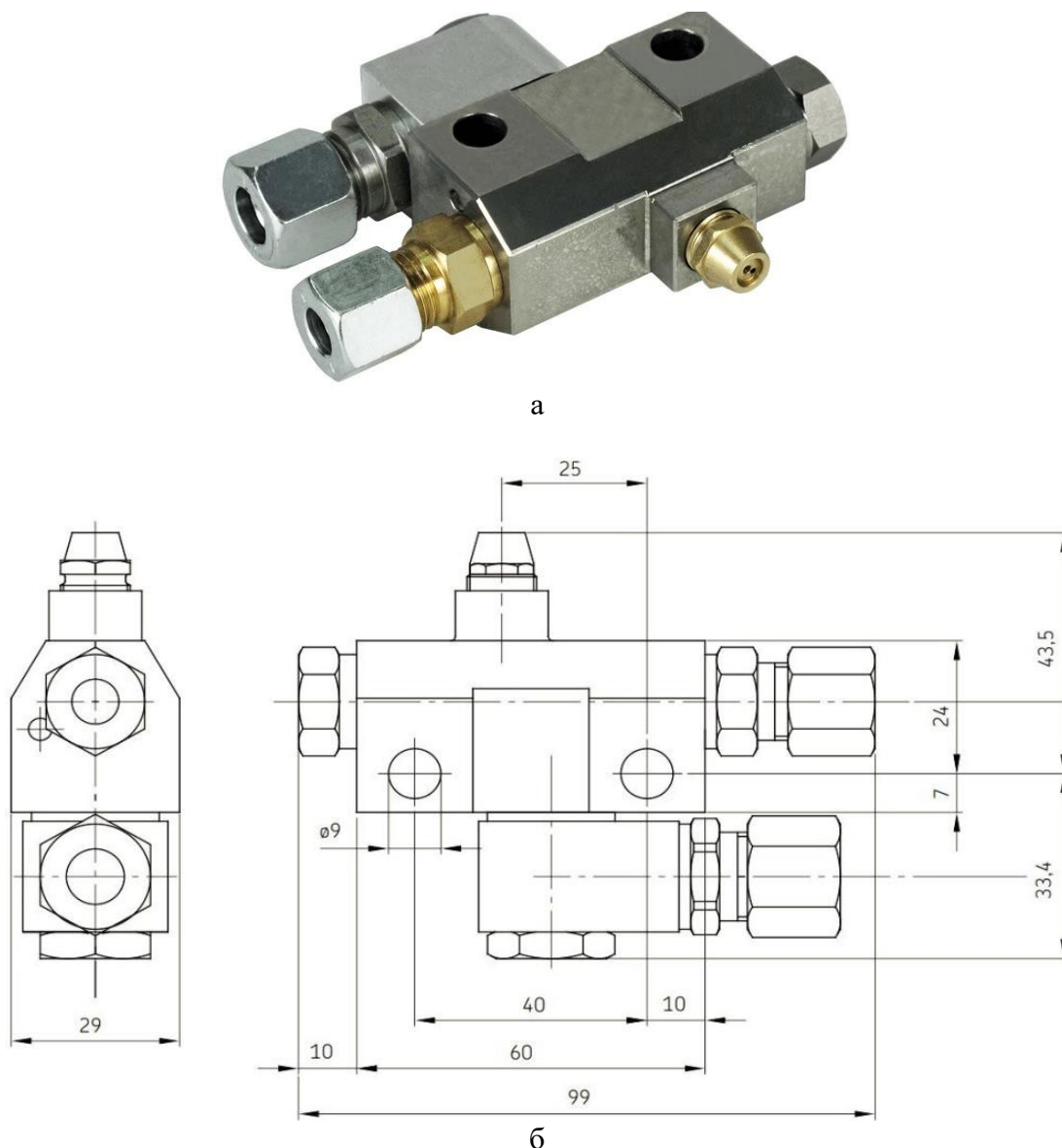


Рис. 2. Форсунка SP9-2-S7:
а – загальний вигляд форсунки; б – схематичний вигляд форсунки

Таблиця 1

Технічні характеристики форсунок SP9-2, SP9-2-S7

	SP9-2	SP9-2-S7
Розпилювана кількість	0,03 см ³ /спрацьовування	0,05 см ³ /спрацьовування
Стиснене повітря	4,5-10 бар	4,5-10 бар
Витрати стисненого повітря	близько 4,5 станд. м ³ (при 6 бар/1,5 с)	близько 4,5 станд. м ³ (при 6 бар/1,5 с)
Робочий тиск	40 бар	40 бар
Мастило, матеріал	пластичне мастило класів 000, 00 за NLGI	пластичне мастило класів 000, 00 за NLGI



Рис. 3. Форсунка компанії Sécheron

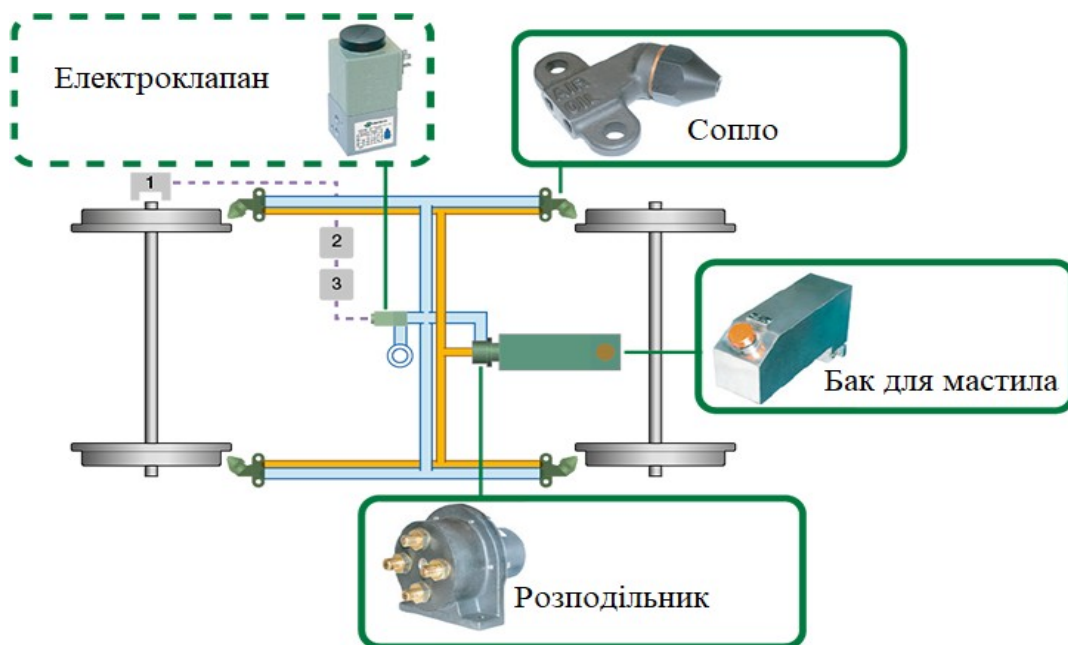


Рис. 4. Устаткування системи мащення Sécheron

Опис продукту:

- об'єм мастильного бака: 7 л (більше – на замовлення);
- напруга керування електропневматичним клапаном від 24 до 110 В ПС;
- електропневматичний клапан підключення повітря G 1/4”;
- номінальний робочий тиск повітря 0,6 МПа;

- розподільник із чотирма мастильними насосами (до чотирьох розпилювачів);
- регульований об'єм мастила від 10 до 40 мм³ на насос;
- підключення повітря розподільника 1 x G 3/8”;
- масляні з'єднання розподільника 4 x G 1/4”;

– повітряний патрубок розпилювальної форсунки G 1/8”;

– придатний для температури навколишнього середовища від –25 °С до +40 °С.

ТОВ «Науково-виробнича фірма «Югтехнотранс» розробило та виготовило

систему змащення гребенів коліс локомотивів СПП 12-5 [16], що зображено на рис. 5, на рис. 6 зображено вигляд форсунки в розрізі [17].

Технічні характеристики СПП 12-5 наведено в табл. 2 [18].

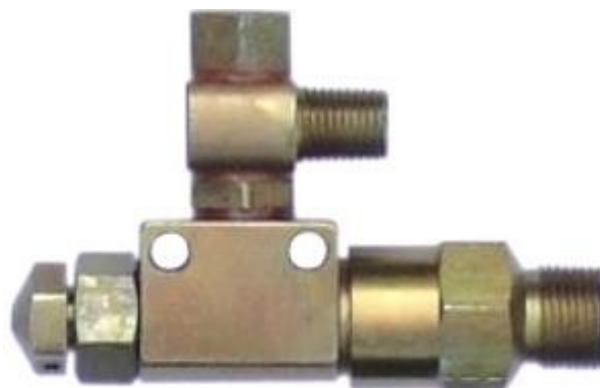


Рис. 5. Форсунка СПП 12-5

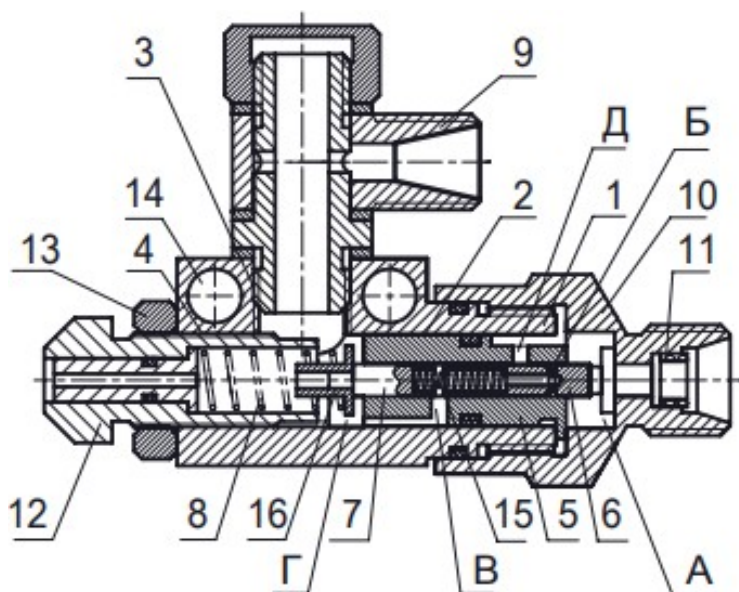


Рис. 6. Конструкція форсунки СПП 12-5:

- 1 – корпус; 2, 3 – входні отвори; 4 – вихідний отвір; 5 – втулка; 6 – розподільчий плунжер; 7 – дозувальний плунжер; 8 – пружина; 9 – штуцер кутовий; 10 – штуцер; 11 – фільтр; 12 – розпилювач; 13 – гайка; 14 – кріпильний отвір; 15 – пружина розпірна; 16 – упор; А, Б, В, Г – порожнини; Д – канал

Технічні характеристики СПП 12-5

Параметр	Показник
Тиск повітря на вході в систему, МПа	0,6 – 0,9
Тиск мастила на виході з насоса, МПа	3,0 – 5,0
Продуктивність насоса подавання мастила, см ³ /хід	12,0
Номінальний обсяг мастила на виході з форсунки за один цикл подавання, см ³	0,05
Кількість змащуваних точок, шт.	2; 4
Об'єм бака, м ³	8,0 (16,0)
Частота подавання мастила, вмик./хв	2 – 4
Час безперервної роботи на одній заправці, год	300 – 350 (600 – 650)

Система складається з таких частин [19]:

- електронний блок керування БУГ, який керує електричними клапанами, які починають виконавчий пристрій мастила живлення, і відкриває прохід повітря у трубопровід повітря;

- агрегат подавання мастила АПС, який є виконавчим пристроєм попереднього очищення та подавання мастила в мастило трубопроводів під високим тиском;

- трубопроводи, які транспортують стиснене повітря та мастильний матеріал під тиском безпосередньо у фільтри тонкого очищення, а звідти – до форсунок;

- форсунки, які є пристроями точного дозування порцій мастильного матеріалу, змішування його з повітрям і тонкого наплення пилу суміші повітря-мастило з утворенням 3-7 мікрон плівки на поверхні гребеня колеса;

- кріплення, фітинги та вентилі.

Для змащування гребенів коліс локомотивів застосовують мастило «Mariol NT».

TrainSys-AL – це система для змочування головки/бігової поверхні рейки

без використання стисненого повітря з використанням фрикційної добавки «HeadLub 90» або гребеня колеса з «RailLub». Система складається з бака, насоса, форсунок та блоку керування. TrainSys-AL має модульну структуру та може бути адаптована до розмірів установки. Система характеризується максимальною стабільністю заданої кількості розпилення. Кількість матеріалу, що розпилюється, завжди однакова при кожній активації системи [20]. На рис. 7 зображена насадка TrainSys-AL, використовується для змочування фланця колеса. На рис. 8 зображено баки з насосами, які керуються окремо для лівого та правого колеса [21].



Рис. 7. Насадка для фланця колеса TrainSys-AL



Рис. 8. Бак з насосами

До особливостей такої технології нанесення мастильного матеріалу відносять:

- система не потребує особливого обслуговування, не потрібне стиснене повітря;
- незалежна від температури, постійна швидкість подавання;
- точна точність потрапляння, відсутність відходів продукту;
- насосами (лівий, правий) можна керувати індивідуально;
- обробляє висококонцентровані фрикційні добавки з твердими частинками (HeadLub 90);

– можливі нестандартні розміри бака. Dropsa пропонує розпилювальний клапан серії 1132330 [22] (рис. 9). Цей пневматичний розпилювальний клапан призначений для роботи у складі системи змащення залізничного рухомого складу та колій. Розпилювальні клапани встановлюють над лівими і правими передніми та задніми колесами

локомотивів. Керування системою здійснюється бортовим комп'ютером поїзда. Робота системи відбувається в межах мінімального та максимального діапазонів швидкостей і вимикається при гальмуванні поїзда. Поворот розпізнаваний за допомогою світлових променів і фотоелектричних елементів. Світловий промінь прямує у фотоелемент під час руху поїзда по прямій, при повороті світловий промінь переривається рухом візка поїзда. Потім сигнал надходить на бортовий комп'ютер.

Технічні характеристики [23]:

- діапазон тиску: 3 бар хв – максимально 12 бар;
- продуктивність: 30 мм³/хід;
- мастильний матеріал: макс. NLGI 1.

Проведений огляд відомих конструкцій рейко- та гребенезмащувальних пристроїв показав, що нема такої конструкції, яка б задовольняла усі вимоги, що висувають до таких пристроїв. Тому була розроблена нова форсунка для аерозольного розпилювання мастила та виготовлена експериментальна установка

для проведення лабораторних досліджень процесу розпилювання мастила (рис. 10).

Установка працює на стисненому повітрі, тому для роботи їй потрібен

компресор, бажано з ресиверним балоном, щоб досягти стабільності та виключити можливість пульсуючої роботи форсунки.



Рис. 9. Розпилювальний клапан серії 1132330

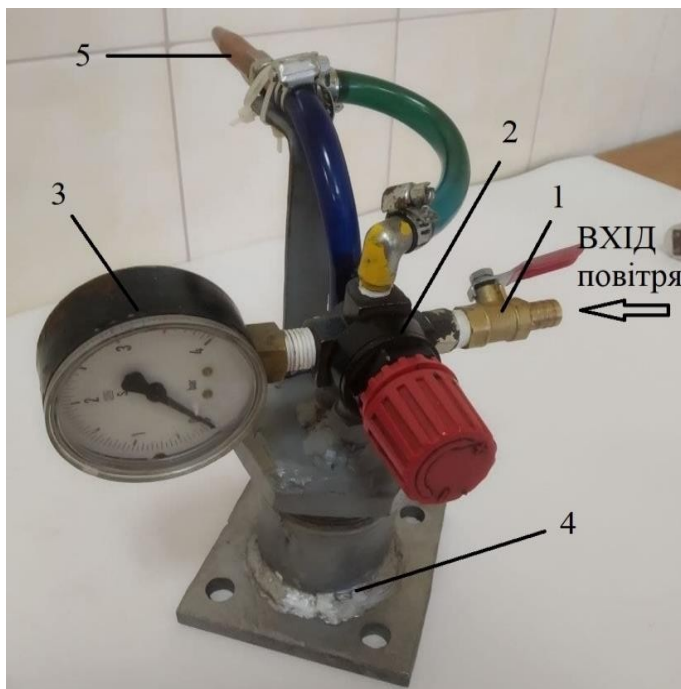


Рис. 10. Складові лабораторного пристрою для дослідження процесу розпилювання рейкозмащувального матеріалу:

1 – кульковий кран; 2 – редукційний клапан; 3 – манометр; 4 – бак; 5 – форсунка

Для підготовки такої установки до роботи потрібно:

- перевірити, чи закритий шаровий кран 1, якщо ні – закрити;
- відкрутити кришку бака 4;
- заповнити бак мастильним матеріалом;
- закрити кришку;

- подати стиснене повітря до входу в систему;

- за допомогою редукційного клапана 2 відрегулювати тиск повітря в системі, контролюючи тиск за допомогою манометра 3.

Розглянемо принцип роботи форсунки більш детально на гідравлічній схемі (рис. 11).

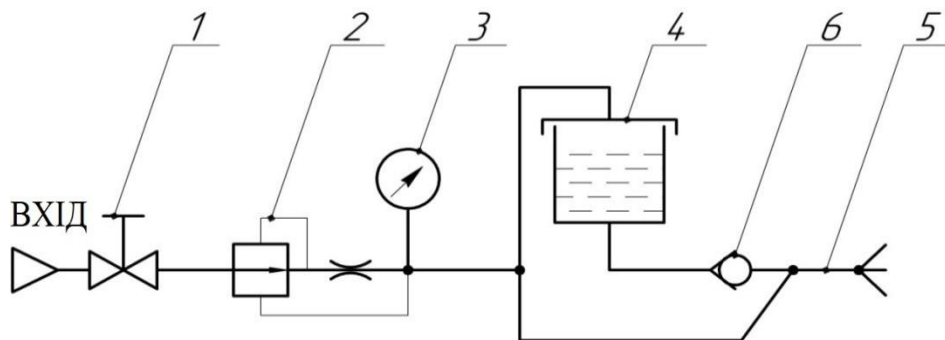


Рис. 11. Гідравлічна схема експериментальної установки для вивчення процесу розпилювання рейкозмашувального матеріалу

На вхід системи подають стиснене повітря від ресиверного балона компресора. Кульковий кран, зображений на позиції 1, призначений для регулювання тиску в системі, щоб завершити процес роботи чи додати мастильний матеріал у бак. Редукційний клапан 2 призначений для регулювання і стабілізації тиску повітря в експериментальній установці. Манометр 3 призначений для контролю тиску в системі. Потім потік стисненого повітря поділяється на два канали. Один канал веде безпосередньо до форсунки 5, а інший до бака 4 з мастильним матеріалом. Повітря тисне на мастило, тим самим витискає його з бака (незалежно від в'язкості рідини). Забір мастильного матеріалу відбувається з низу бака, це забезпечує стабільне подавання мастила. Мастило з бака подається на форсунку через зворотний клапан 6. Він призначений для запобігання самовільного витоку мастильної рідини з

баку. Мастило та повітря подається до форсунки 5, яка формує на виході мастильний аерозольний факел (рис. 12).

На рис. 12 зображено конструкцію форсунки, яка включає такі основні деталі: форсунку 1, у порожнині якої утворюється аерозоль; трубку 2 для подавання мастильної рідини до форсунки; контргайку 3 для формування факела аерозолю та фіксації форсунки; трійник 4 для змішування повітря та мастильної суміші.

Попередніми дослідженнями встановлено, що оптимальними параметрами такої установки є:

- тиск повітря – 0,5 МПа;
- витрати повітря – $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- діапазон регулювання тиску повітря розпилювача – 0-0,5 МПа;
- вихідний діаметр сопла форсунки – 1-3 мм;
- вага пристрою – 1,5 кг.

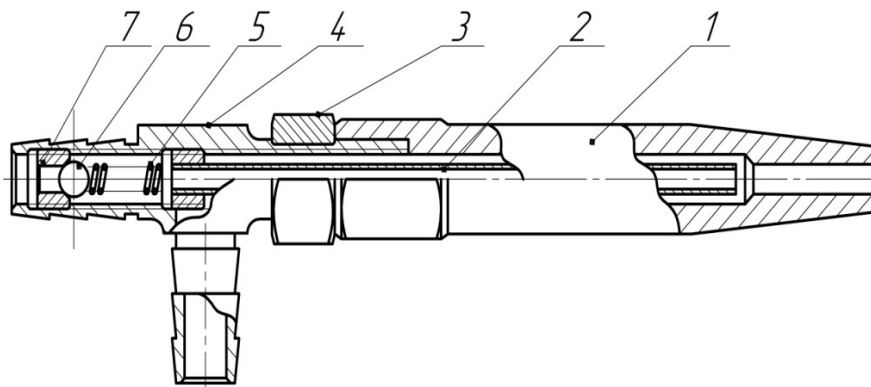


Рис. 12. Конструкція форсунки:

1 – форсунка; 2 – сопло; 3 – контргайка; 4 – трійник; 5 – пружина;
6 – кулька зворотного клапана; 7 – сідло клапана

Для проведення дослідів пристрій було закріплено на маніпулятор. Він забезпечив рівномірний хід пристрою. Мастильний матеріал наносили на ватман, що дало змогу наглядно побачити роботу форсунки за різних режимів подавання стисненого повітря в систему.

Ряд дослідів показав, що така установка добре розпилює як густу (наприклад Рельсол-ГС, Рельсол-М, Мариол-NT), так і рідку рідину (РС-6 «В») залежно від підбраного тиску повітря та діаметра сопла форсунки.

На прикладі проведених дослідів на мастильній рідині типу РС-6 «В» (рис. 13) добре видно, що форсункою діаметром 1 мм і за тиску повітря 0,05 МПа аерозольне

розпилювання відбувається не рівномірно, а пульсуючи. За підвищеного тиску розпилювання стає рівномірним, пульсуючого ефекту нема, збільшується розмір факела аерозольного розпилювання. У разі застосування форсунки діаметром 3 мм і за тиску повітря 0,05 МПа аерозольне розпилювання відбувається більш рівномірно, але можна спостерігати хвилеподібні виступи на краях лінії факела розпилювання, що свідчить про невелику пульсацію. За підвищення тиску збільшується рівномірність розпилю. Результати показано на рис. 14. У табл. 3 наведено витрати мастильного матеріалу РС-6 «В» за різного подавання тиску повітря та різного діаметра сопла форсунки.

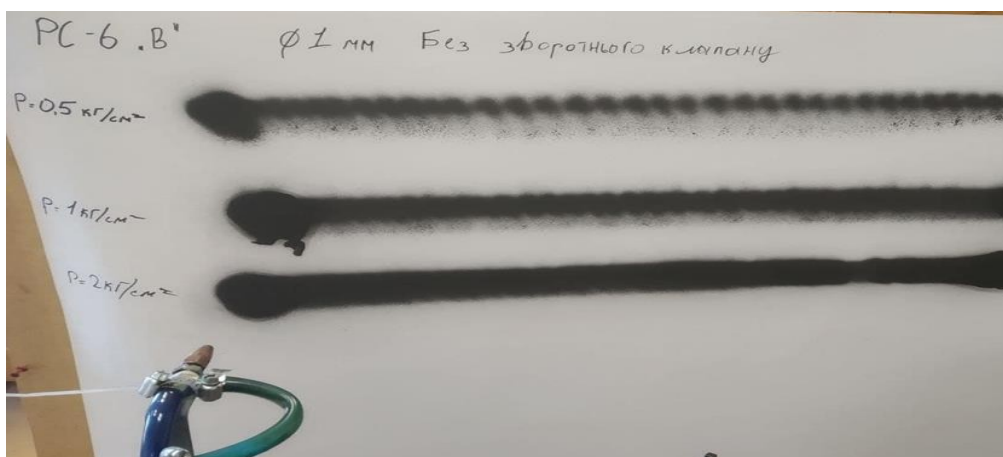


Рис. 13. Результати розпилювання форсунки діаметром 1 мм, РС-6 «В»

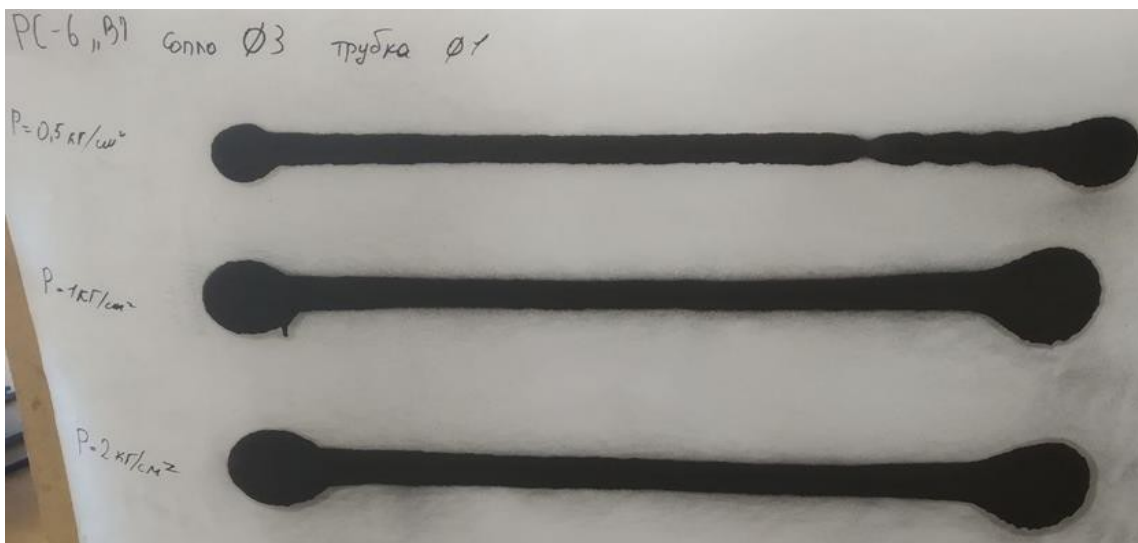




Рис. 14. Результати розпилювання форсунки діаметром 3 мм, РС-6 «В»

Таблиця 3

Витрати матеріалу залежно від тиску, мастило РС-6 «В»

Діаметр форсунки	Тиск повітря, МПа	Витрати мастила, кг/год
1 мм 	0,05	1,08
	0,1	2,16
	0,2	4,32
3 мм 	0,05	2,88
	0,1	5,76
	0,2	7,92

У дослідях із Рельсол-М застосовано форсунку діаметром 3 мм і тиск повітря 0,15 МПа, аерозольне розпилювання нерівномірне, є пульсуючий ефект. За збільшення тиску повітря лінія мащення стає рівномірною, факел розпилювання збільшується.

У дослідях із Рельсол-ГС застосовано форсунку діаметром 3 мм і тиск повітря 0,15 МПа, аерозольне розпилювання рівномірне, відсутній пульсуючий ефект, ширина лінії незмінна. Підвищення тиску лише збільшує товщину нанесеного шару.

У дослідях із Mariol-NT застосовано форсунку діаметром 3 мм і тиск повітря 0,15 МПа, аерозольне розпилювання рівномірне, відсутній пульсуючий ефект, ширина лінії незмінна. Підвищення тиску лише збільшує товщину нанесеного шару.

У табл. 4 наведено витрати мастильних матеріалів Рельсол-ГС, Рельсол-М, Mariol-NT за різного подавання тиску повітря та діаметра сопла форсунки 3 мм.

На рис. 15 (а – РС-6 «В»; б – Рельсол-ГС, Рельсол-М, Mariol-NT) наведено графіки залежності витрат мастильного матеріалу за зміни тиску повітря.

Таблиця 4

Витрати матеріалу залежно від силу тиску, мастила Рельсол-ГС, Рельсол-М, Mariol-NT

Масильний матеріал	Тиск повітря, МПа	Витрати мастила, кг/год
Рельсол – М 	0,15	0,15
	0,2	0,180
	0,3	0,54
	0,4	0,72
Рельсол – ГС 	0,15	0,06
	0,2	0,24
	0,3	0,36
	0,4	0,48
Mariol – NT 	0,15	0,072
	0,2	0,24
	0,3	0,48
	0,4	0,72

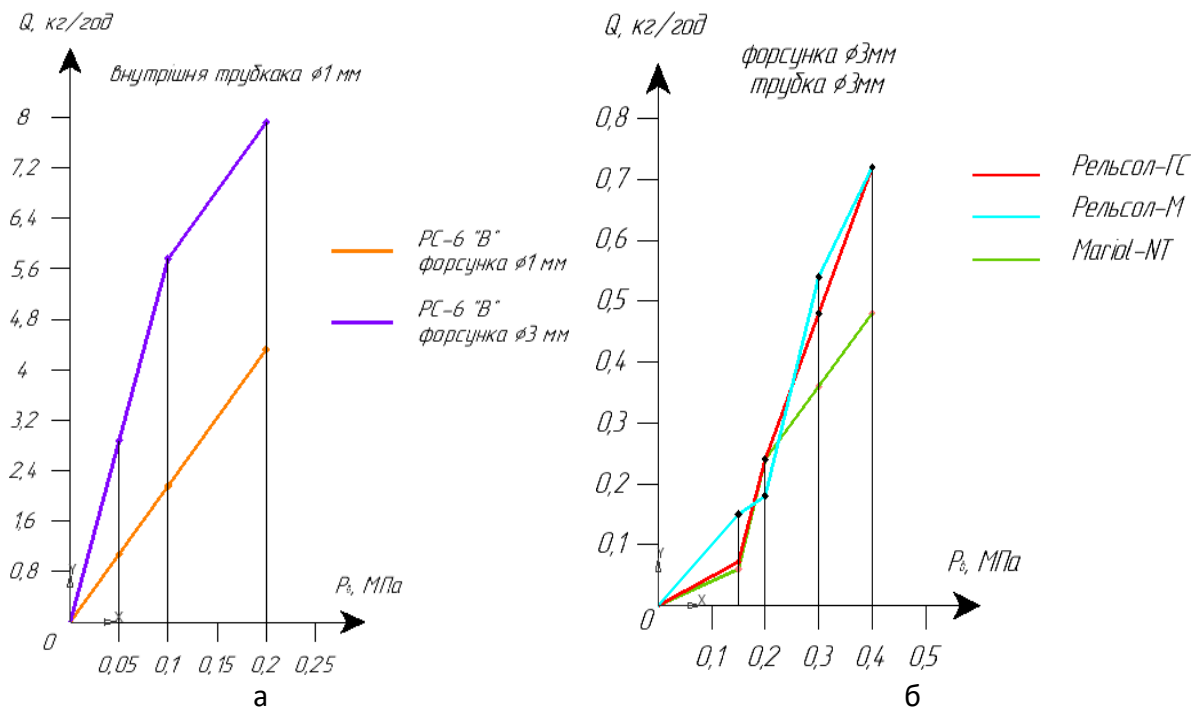


Рис. 15. Графік залежності витрат масильного матеріалу

Висновки. Проведений огляд та аналіз конструкцій рейко- та гребенезмащувальних пристроїв показав, що серед розмаїття механізмів і пристосувань нема таких, щоб відповідали

вимогам економічного та достатнього нанесення масильних матеріалів за пересування потягів із різними швидкостями, тому запропоновано нову конструкцію рейкозмащувача, яка може

працювати як із рідкими, так і густими мастильними матеріалами. Досліджено процес мащення рейок різними форсунками з різними мастильними матеріалами, розроблено методику та засоби для вимірювання основних параметрів нової конструкції розпилювача, проведено вимірювання витрат мастила, розміру

факела та швидкості пересування розпилювача, витрат стисненого повітря. Розроблено експериментальний стенд для проведення базових вимірювань. Проведені дослідження дали змогу встановити оптимальні параметри конструкції та умови розпилювання мастильних матеріалів з урахуванням швидкості потяга.

Список використаних джерел

1. Gang Shen, Xiaobo Zhong. Implementations of newly developed wheel and rail profile design methods. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. Vol. 1. Iss. 3. 2014. P. 221-227. URL: [https://doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30105-7](https://doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30105-7) (дата звернення 13.09.2023).
2. Jianxi Wang, Zhiqiang Ren, Jinjie Chen, Long Chen. Study on rail profile optimization based on the nonlinear relationship between profile and wear rate. *Mathematical Problems in Engineering*. 2017. Vol. 2017. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/6956514> (дата звернення 17.10.2023).
3. Soleimani, H., Moavenian, M. Tribological Aspects of Wheel–Rail Contact: A Review of Wear Mechanisms and Effective Factors on Rolling Contact Fatigue. *Urban Rail Transit* 3. 2017. P. 227–237. URL: <https://doi.org/10.1007/s40864-017-0072-2> (дата звернення 21.08.2023).
4. Anders Ekberg, Elena Kabo, Roger Lundén. Rail and wheel health management. *Wear*. 2023. Vol. 526–527. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204891> (дата звернення: 23.09.2023).
5. Радкевич А. В., Арбузов М. А., Губар О. В. Вдосконалення методики визначення приведенного зносу рейки. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2022. № 22. URL: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268392> (дата звернення 27.09.2023).
6. Csontos G., Augusztinovicz F. & Bocz P. (2021). Optimal operation of a rail lubrication device with respect to noise reduction and wheel/rail friction coefficient. *Acta Technica Jaurinensis*. 14. № 2. P. 138–154. URL: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00592> (дата звернення 01.09.2023).
7. Ali Samet Ayvaz, Mohammad Alalou. Lubrication models in railway curves. *International journal of innovations in engineering research and technology*. 2021. Vol. 8. Iss. 4. P. 154-160. URL: <https://repo.ijert.org/index.php/ijert/article/view/2445> (дата звернення 10.10.2023).
8. Valeriy Kossov, Andrey Lunin, Andrey Spirov, Yury Panin, Natalja Ivaškovska, Aleksandrs Nikolajevs. The technology of rail lubrication by the hauling locomotive in train formation. *Procedia computer science*. 2019. Vol. 149. P. 331-335. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.144> (дата звернення 27.10.2023).
9. Баб'як М. О., Джус В. С., Шпира А. Т., Житков С. Б. Аналіз проблеми ефективної експлуатації рейкозмашувачів на львівській залізниці. *75 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. 2015. С. 119. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7075d3e6-a5bf-418a-b23c-013cd2a654ea/content> (дата звернення 16.09.2023).

10. Temple P., Harmon M., Lewis R., Burstow M., Temple B., Jones D. Optimisation of grease application to railway tracks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232. Iss. 5. P. 1514-1527. URL: <https://doi.org/10.1177/0954409717734681> (дата звернення 22.10.2023).
11. Geležinkelio įranga, jos dalys ir remontas. URL: <https://izovoltas.com/veiklos-sritys/gelezinkelio-iranga/> (дата звернення 21.07.2023).
12. SKF lubrication systems optimize tram operations. P. 4. URL: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680c5a59f/pdf_preview_medium/0901d19680c5a59f_pdf_preview_medium.pdf#cid-578207 (дата звернення 19.07.2023).
13. SP9-2-S7 - Vogel / SKF Spray nozzle for fluid grease - 0,05 cm³/Acutation. URL: <https://www.central-lubrication.com/SKF-Spray-nozzle-for-fluid-grease005-cml-Acutation> (дата звернення 19.07.2023).
14. SKF EasyRail Systemkomponenten Produktserien 112, PF, PER, LCG2. P. 19. URL: https://www.vogel-gruppe.de/fileadmin/user_upload/Schmiertechnik/SKF/Produkte/SKF-Produktserien_112_PF_PER_LCG2-Vogel-1-8092-DE.pdf (дата звернення 02.08.2023).
15. Wheel flange lubricators. URL: <https://www.secheron.com/products-solutions/ess/wheel-flange-lubricators/> (дата звернення 12.11.2023).
16. Система змащування гребенів коліс локомотивів СПП 12-5. URL: <https://uttm.com.ua/signal-2-9.html> (дата звернення 06.11.2023).
17. Інструкція з експлуатації СПП 01.00.00 PE. URL: https://www.uttm.com.ua/uploadfile/RE_2.pdf (дата звернення 06.11.2023).
18. Система змащування гребенів коліс локомотивів СПП 12-5. Принцип роботи. URL: <https://uttm.com.ua/constr-2.html> (дата звернення 06.11.2023).
19. Система змащування гребенів коліс локомотивів СПП 12-5. Склад системи. URL: <https://uttm.com.ua/products-2.html> (дата звернення 06.11.2023).
20. Train Sys-AL® druckluftlose Sprühanlage. URL: <https://igralub.com/wp-content/uploads/2022/11/201-Systeme.pdf> (дата звернення 19.10.2023).
21. SYSTEME Fahrzeug- und Schienen-Applikation. URL: <https://igralub.com/spruehsysteme-mobil/> (дата звернення 08.10.2023).
22. Dropsa spray valve for wheel flange lubrication. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/EN/D/D.cf397917c25bdfcabdc4/P/BLOB%3AID%3D991E/pdf?mode=download> (дата звернення 28.09.2023).
23. Spray Valve Serie 1132330. URL: <https://www.dropsa.com/en/valves-spray-nozzles/spray-valve-serie-1132330> (дата звернення 28.09.2023).

Воронін Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0000-0001-8443-3222. Тел.: +38(095)500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Стефанов Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0000-0002-7947-2718. Тел.: +38 (068) 819-84-27. E-mail: vstef@ukr.net.

Суранов Олексій Олексійович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0000-0001-8449-2038. Тел.: +38 (093) 69-58-907. E-mail: lhornet.hneu@gmail.com.

Гамора Віталій Олександрович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0002-4150-8153.

Тел.: +38 (067) 69-72-112. E-mail: vitaligamora5912@gmail.com.

Стефанов Сергій Олександрович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин,

Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-4686-1757.

Тел.: +38 (093) 69-58-907. E-mail: sergey_stefanov@ukr.net.

Voronin Serhii, Dr. Sc. (Tech.), professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-8443-3222.

Тел.: +38 (095)500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Stefanov Volodymyr, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-7947-2718.

Тел.: +38 (068) 819-84-27. E-mail: vstef@ukr.net.

Suranov Oleksii O. PhD (Tech.), Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-8449-2038. Тел.: +38(093) 69-58-907.

E-mail: lhornet.hneu@gmail.com.

Hamora Vitalii, postgraduate student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0002-4150-8153. Тел.: +38 (067) 69-72-112.

E-mail: vitaligamora5912@gmail.com.

Stefanov Sergii, postgraduate student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-4686-1757. Тел.: +38 (093) 69-58-907.

E-mail: sergey_stefanov@ukr.net.

Статтю прийнято 29.04.2024 р.