

Ковтанець М.В., Могила В.І.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЧІПНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛОКОМОТИВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТОЧНОЇ ПОДАЧІ ПІСКУ В ЗОНУ КОНТАКТУ КОЛЕСА І РЕЙКИ

У статті розглядається проблема забезпечення стабільних зчіпних властивостей локомотивів шляхом удосконалення пісочної системи, що залишається одним із ключових засобів підвищення тяги за несприятливих умов взаємодії «колесо–рейка». Актуальність дослідження зумовлена тим, що навіть за умов оновлення парку локомотивів сучасні машини та особливо раніше побудовані локомотиви потребують підвищення тягових характеристик для забезпечення перевезень у складних кліматичних та інфраструктурних умовах. Значний розкид значень коефіцієнта зчеплення, що підтверджується експериментальними даними, викликає необхідність точнішого та більш контрольованого застосування піску. При цьому традиційні пісочні системи мають низьку конструктивних і експлуатаційних недоліків, серед яких нерівномірність подачі, засмічення трубопроводів, неефективність під час низьких температур та надмірне споживання піску.

У роботі проаналізовано відомі дослідження щодо впливу піску на підвищення коефіцієнта зчеплення та узагальнено чинники, які знижують ефективність існуючих систем, зокрема недосконале кріплення сопла відносно колісної пари. Встановлено, що неправильне або надмірне подавання піску призводить до прискореного зносу рейок і ходових частин локомотива, ускладнює роботу стрілочних переводів, а також може спричиняти автоколювання тягових двигунів. Проаналізовано поширені дефекти залізничного полотна, зокрема №14 та №49, і показано, що їх частка сягає до 12% річних відмов рейок, що підтверджує критичну роль якісної та дозованої піскоподачі.

Запропоновано удосконалену конструкцію пісочної системи, основним елементом якої є гнучкий гумовий трубопровід та нове кріплення сопла безпосередньо на буксі візка. Таке конструктивне рішення дозволяє соплу повторювати траєкторію руху колісної пари та точно подавати мінімальний шар піску безпосередньо у зону контакту «колесо–рейка», що практично виключає розсипання абразиву по поверхні рейки й усуває втрати матеріалу. Доведено, що використання гуми як основного матеріалу трубопроводу зменшує ризик закупорювання та обмерзання внутрішньої поверхні завдяки її еластичності, а також забезпечує вищу абразивну стійкість у порівнянні з металевими трубами. Наведено порівняльну характеристику зносостійкості різних матеріалів та обґрунтовано доцільність вибору гуми з наповнювачами.

Показано, що впровадження запропонованої конструкції дозволяє суттєво знизити витрати піску, зменшити трудомісткість обслуговування, підвищити надійність роботи системи та запобігти утворенню типових дефектів рейок, пов'язаних із пробуксовуванням. Точна подача піску, модульність конструкції та адаптивність до умов експлуатації забезпечують підвищення енергоефективності локомотива, зменшення навантаження на шляхову інфраструктуру та покращення безпеки руху.

Отримані результати підтверджують, що запропонована модернізація пісочної системи може бути застосована як на нових локомотивах, так і під час модернізації існуючих машин, забезпечуючи підвищення їх тягово-зчіпних властивостей та зниження експлуатаційних витрат. Удосконалення системи піскоподачі є важливим напрямом розвитку залізничної техніки, що сприяє підвищенню ресурсу колії, ходових частин та загальної надійності транспортної інфраструктури.

Ключові слова: пісочна система, коефіцієнт зчеплення, локомотив, пробуксовування, дефекти рейок, хвилеподібна деформація, модернізація конструкції, подача піску.

Актуальність дослідження. Наразі склалися умови, коли поряд із поступовим оновленням парку локомотивів на більш досконалі машини з покращеними тяговими та експлуатаційними характеристиками, проводиться значна робота з підвищення тягових властивостей раніше побудованих локомотивів. Однією з основних вимог, що висувуються до локомотива, є реалізація великої сили зчеплення у контакті «колесо–рейка», оскільки саме її величина визначає масу поїзда, яку може перевезти даний локомотив, а також забезпечує безпечну експлуатацію, зокрема безюзове гальмування.

Аналіз досліджень та публікацій. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження демонструють значну варіативність коефіцієнта зчеплення: від 0,45 за сприятливих умов до 0,1 за несприятливих [1, 2, 3]. Така нестабільність зумовлена впливом великої кількості факторів, що випадково змінюються під час руху поїзда — типу та ступеня забруднення поверхні рейок, наявності вологи, погодних і кліматичних умов, температури коліс та рейок, величини навантаження на рейку від колеса, швидкості руху й інших параметрів.

Для збільшення коефіцієнта зчеплення використовують різноманітні конструктивні рішення, однак найбільш дієвим і поширеним способом залишається подача піску (абразивного матеріалу) на поверхню рейок перед колесами локомотива. У працях [4, 5, 6] доведено, що для досягнення високих тягових та гальмівних характеристик необхідно забезпечити надходження точної та визначеної кількості піску безпосередньо в зону контакту колеса з рейкою.

Під час експлуатації пісочної системи необхідно, окрім правильного розподілу подачі піску під колеса різних осей, обов'язково забезпечити однакову подачу піску в кожну пару трубопроводів, що ведуть до коліс однієї колісної пари [7].

Крім того, надмірна та нерівномірна подача піску спричиняє:

- швидке спрацювання і навіть пошкодження рейок та ходової частини (бандажів) локомотива;
- порушення нормального функціонування стрілочного переводу та неповне прилягання гостряка до рамної рейки при проходженні локомотивом ділянки автоматичного стрілочного переводу, що впливає на безпеку руху;
- можливість виникнення автоколивань тягового двигуна при боксуванні на надмірно товстому шарі піску, що може супроводжуватися повним осіданням пружин та сильними ударними навантаженнями в елементах приводу і підвіски.

У сніжну та вологу погоду відбувається «зволоження» (конденсація) сталевих трубопроводів і кінців труб, а за низьких (від'ємних) температур навколишнього повітря – їхнє обмерзання зсередини, що ускладнює подачу піску під колеса. Це потребує тривалого та трудомісткого ремонту, який виконують слюсарі з використанням паяльних ламп (для розтоплення льоду) та простукуванням трубопроводу молотком, що призводить до появи вм'ятин і дефектів.

Однією з причин неефективної роботи пісочної системи та підвищених витрат піску є кріплення сопла пісочної системи на рамі візка, яке не забезпечує сталого положення сопла відносно колісної пари та подачі піску безпосередньо в контакт колеса з рейкою. Оскільки візок виконує складну траєкторію руху [8], це призводить до розсіпання піску та його надмірних витрат через розподіл по всій ширині головки рейки, а також спричиняє засмічення рейково-шпальної решітки та баластної призми.

Аналіз досліджень літературних джерел на нормативної інформації, свідчать про ненадійну роботу пісочних систем локомотивів, що призводить до масової появи на залізничному шляху дефектів №14 пробуксовування рейок колесами локомотивів та №49 хвилеподібна деформація головки рейки (короткі хвилі) які становлять приблизно до 12% відмов рейок у середньому на рік за період 2010-2020 рр. по колійному господарству [9].

1. Дефект №49 – Хвилеподібна деформація головки рейки (короткі хвилі) – це один із найпоширеніших дефектів поверхні кочення рейки у всьому світі, особливо на ділянках із високошвидкісним рухом і великою інтенсивністю руху, класифікується як періодична нерівність або корозійно-втомне пошкодження поверхні кочення (рисунок 1, а).

Вигляд: це серія періодичних нерівностей (хвиль), що чергуються з певним кроком по довжині рейки. Короткі хвилі, довжина яких зазвичай становить 30-100 мм (3-10 см).

Механізм: виникає внаслідок комплексного взаємодії динамічних сил, що створюються рухомим складом, та властивостей рейкового матеріалу. Вважається результатом самоорганізації системи «колесо-рейка» під впливом коливань.

Причини:

- динамічна взаємодія: резонансні коливання пружних елементів системи «колія-рухомий склад», особливо при високих швидкостях руху;
- конструкція скріплень: недостатня жорсткість рейкових скріплень або неправильний розподіл жорсткості вздовж колії;
- характеристики ґрунту: особливості динамічних властивостей баластного шару та земляного полотна;
- ковзання коліс: наявність мікроковзання коліс уздовж рейки, яке сприяє пластичній деформації металу.

Частота: у технічних звітах часто вказується, що хвилеподібна деформація є основною причиною шуму та вібрації на рейковому транспорті.

Залежність: її виникнення тісно корелює з типом рейкового металу, швидкістю руху, навантаженням на вісь та жорсткістю підрейкової основи.

Значимість: дефект №49 є основною причиною високого рівня шуму та вібрації на залізниці. Він значно підвищує динамічне навантаження, спричиняючи прискорений втомний знос рейкового металу, елементів рейкових скріплень, а також елементів рухомого складу. У багатьох країнах дефект №49 є ключовим показником, що вимагає шліфування рейок для відновлення гладкості поверхні. Обсяги шліфувальних робіт (які є прямим наслідком №49) вимірюються сотнями або тисячами кілометрів на рік на великих залізничних мережах.

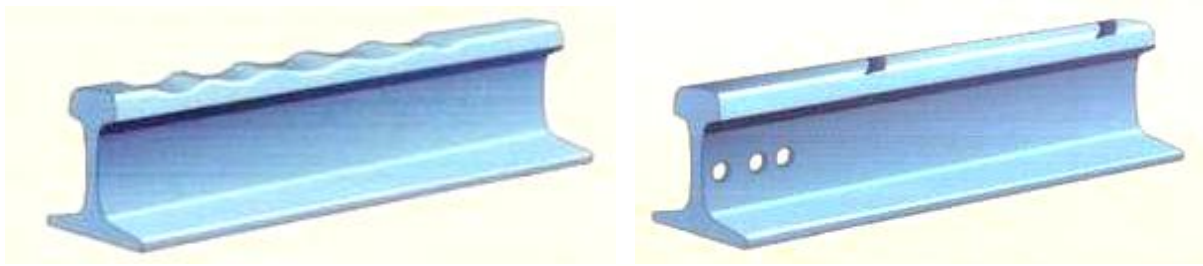
2. Дефект №14 – Пробуксовування рейок колесами локомотивів, класифікується як локальне пошкодження поверхні кочення, спричинене надмірним теплом та механічним впливом, його поява є регулярною через особливості експлуатації потужних локомотивів (рисунок 1, б).

Вигляд: являє собою короткі оплавлені ділянки або вибоїни (втискання) на поверхні головки рейки. Метал у цьому місці має характерний вигляд, часто з темними або синюватими слідами від перегріву.

Механізм: виникає внаслідок проковзування колеса локомотива відносно рейки. При буксуванні (пробуксовуванні) енергія тертя перетворюється на тепло, яке локально розігріває та оплавляє метал головки рейки.

Причини: виникає на підйомах, при старті локомотива або при гальмуванні (коли колесо блокується). Навіть одне сильне пробуксовування може створити дефект, який вимагатиме усунення.

Значимість: дефект №14 (як і схожий №13 – навар) є одним із найважливіших з точки зору безпеки руху, оскільки викликає сильні динамічні ударні навантаження на колію при проходженні колеса через утворену вибоїну/оплавлення, що може прискорити руйнування рейки (утворення тріщин) та знос рухомого складу. Через це він підлягає першочерговому виявленню та усуненню.



а)

б)

Рисунок 1 – Схематичне зображення дефектів а – дефект №49, б – дефект №14

Мета статті. Оптимізація пісочної системи локомотива для підвищення зчіпних властивостей шляхом подачі мінімального шару піску безпосередньо в контакт системи «колесо-рейка» та зменшення трудо- і матеріаломісткості її виготовлення й обслуговування.

Результати дослідження.

Актуальність проблеми застосування піску на залізничному транспорті зумовлена необхідністю забезпечення безпечного та ефективного руху за умов низького коефіцієнта зчеплення (наприклад, під час опадів, обледеніння або опадання листя). Проте, традиційні пісочниці історично мали низку експлуатаційних недоліків (засмічення навколишнього середовища, підвищений знос елементів колії та рухомого складу).

У сучасному розвитку пісочних систем локомотивів спостерігається їхнє спрощення та поступовий перехід до систем із низьким споживанням піску, відмові від складних механізмів та пневматичних схем на користь більш надійних і контрольованих (таблиця 1):

- *перехід до модульності:* заміна громіздких інтегрованих пісочних баків (бункерів) на компактні модульні системи, які легше обслуговувати та інтегрувати у конструкцію нових локомотивів;
- *оптимізація трактів подачі:* спрощення трактів подачі піску та форсунок, впровадження засобів контролю залишку піску та запобігання його злежуванню.
- *електронне управління:* відхід від чисто механічного або пневматичного управління до мікропроцесорних систем контролю подачі, що забезпечує точне дозування та моментальне припинення подачі.

Перехід до систем із низьким споживанням піску (Low-Consumption Systems) – це найбільш важливий аспект, що базується на інтелектуалізації процесу подачі.

Таблиця 1

Аспекти та деталізація модернізації пісочної системи локомотива

Аспект	Деталізація
Точне дозування	Використання електронних клапанів та регуляторів тиску для подачі мінімально необхідної кількості піску (зазвичай, у вигляді коротких імпульсів, а не постійного потоку) для відновлення та стабілізації необхідного коефіцієнта зчеплення.
Адаптивність	Впровадження систем, що аналізують реальний коефіцієнт зчеплення (через датчики швидкості на осі) та подають пісок лише у момент фактичного пробуксовування (slip detection) або примусово на критичній ділянці (за GPS-координатами).
Зменшення втрат	Мінімізація розпилення піску на рейки, зменшення обсягу піску, що потрапляє на головку рейки у неробочих зонах, та цільова подача безпосередньо у зону контакту «колесо-рейка».
Екологічні та економічні переваги	Скорочення обсягу споживання піску зменшує експлуатаційні витрати (на закупівлю та завантаження) та знижує негативний вплив на верхню будову колії (зменшення абразивного зносу рейок та елементів стрілочних переводів).

Поставлене авторами завдання вирішено шляхом виготовлення сопла і трубопроводу, що з'єднує сопло з форсункою, з гуми та їх кріплення за допомогою кронштейна на буксі візка для точної дозованої подачі піску безпосередньо в зону контакту колеса з рейкою [10, 11].

На рисунку 2 зображено загальний вигляд букси триосьового візка локомотива, обладнаної запропонованою пісковою системою.

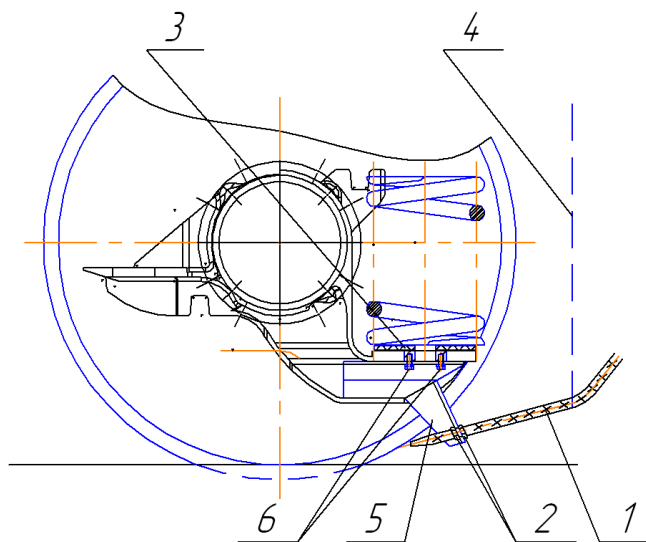


Рисунок 2 – Загальний вигляд букси тривісного візка локомотива обладнаною пропонованою пісочною системою 1 – трубопровід, 2 – затискні гайки, 3 – опора пружини, 4 – запобіжний ланцюжок з хомутом (показаний умовно), 5 – кронштейн; 6 – болти кріплення кронштейна.

У результаті кріплення трубопроводу та сопла пісочної системи на кронштейні (рисунок 2), закріпленому на крилі букси візка, завдяки гумовому виконанню трубопроводу, він не створює опору при повороті сопла під час вилітання колісної пари відносно рейки (рисунок 3). Це дозволяє соплу слідувати практично всій траєкторії руху колісної пари та подавати абразивний матеріал безпосередньо у зону контакту колеса з рейкою [10, 11].



Рисунок 3 – Загальний вигляд букси тривісного візка локомотива з пропонованою системою

Перевага гумового матеріалу при виготовленні трубопроводу полягає у тому, що він характеризується більш високою абразивною стійкістю, ніж метал, що підтверджено фундаментальними дослідженнями (рисунок 4). Абразивна стійкість матеріалу визначає його здатність протистояти зносу при контакті з твердими поверхнями та частинками, що рухаються. В умовах експлуатації транспортних засобів, машин та промислового обладнання, цей показник є критично важливим для забезпечення довговічності деталей та зменшення витрат на технічне обслуговування. Гума, завдяки своїй еластичності та здатності поглинати удари, демонструє специфічні характеристики абразивної стійкості порівняно з металами, пластиками та керамікою [12].

Абразивна стійкість матеріалів визначається рядом факторів:

- механічні властивості: твердість, модуль пружності, еластичність;
- структура матеріалу: однорідність, наявність наповнювачів або армування;

- умови експлуатації: температура, вологість, наявність хімічних речовин;
- характер тертя: сухе або змащене.

Для гуми особливо важливу роль відіграє склад каучуку та наявність добавок, таких як сажа, кремнезем або силікони, які підвищують зносостійкість.

На рисунку 3 наведено порівняльну характеристику абразивної стійкості деяких матеріалів (умовні одиниці зносу, чим менше, тим краща стійкість):

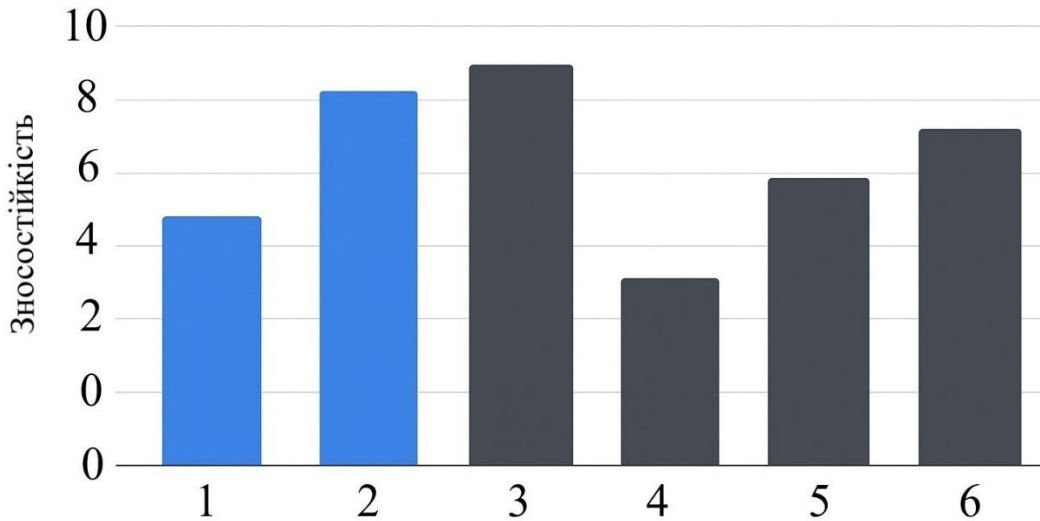


Рисунок 4 – Абразивна стійкість гуми у порівнянні з іншими матеріалами 1 – гума (натуральна), 2 – гума (синтетична з наповнювачем), 3 – гартована сталь, 4 – алюміній, 5 – полімери (ПВХ, поліуретан), 6 – кераміка.

Гума займає проміжне положення серед матеріалів за зносостійкістю:

- вона поступається металам та кераміці у стійкості до сильного абразиву, але значно виграє за здатністю поглинати удари та адаптуватися до нерівностей поверхні;
- використання наповнювачів і модифікація складу гуми дозволяє суттєво підвищити її абразивну стійкість, що робить її конкурентною для промислових та транспортних застосувань;
- гума є оптимальним вибором там, де потрібна комбінація еластичності та помірної зносостійкості, наприклад у колесах, шинах, амортизаторах, втулках, шлангах і т.п.

Ключові переваги удосконаленої пісочної системи локомотива [13, 14]:

Зниження витрат та простота виробництва

- Зменшення трудо- та матеріаломісткості виробництва: відмова від використання багатосекційних, складних металевих труб для подачі піску, які часто ламаються від ударних навантажень.

Підвищення надійності та обслуговування

- Використання гумових трубопроводів: усуває необхідність у з'єднаннях, що запобігає проникненню вологи та закупорці піску.
- Спрощення обслуговування: кріплення трубопроводу та сопла на кронштейні крила букси зменшує трудомісткість виробництва візків, покращує експлуатаційні характеристики локомотива та умови обслуговування екіпажної частини.

Економія піску та часу

- Точна подача піску: подача піску безпосередньо в зону контакту колеса з рейкою значно знижує витрату піску.

- Оптимізація системи: це дозволяє зменшити вихідний отвір сопла, діаметр трубопроводу та ємність пісочного бункера, що суттєво (на порядок) скорочує час на екіпування піском за інших рівних умов.

Підвищення безпеки та терміну служби

- Усунення ризику потрапляння піску на стрілочні переводи: виключається ймовірність потрапляння піску у зазор між гостриком та рамною рейкою.

- Збільшення безпеки та довговічності: це знижує ударні навантаження, підвищує безпеку під час проходження стрілочних переводів, а також збільшує термін служби елементів стрілочних переводів, ходової частини локомотива та вагонів.

Таким чином, сучасний розвиток систем пісчоподачі спрямований на перетворення їх з допоміжних механізмів у високоінтелектуальні, адаптивні підсистеми тягового керування. Це забезпечує поліпшення тягово-енергетичних характеристик локомотивів, підвищення надійності руху та мінімізацію екологічного та механічного навантаження на інфраструктуру залізниці.

Висновок. У роботі представлено перспективний спосіб подачі піску безпосередньо в контакт колеса з рейкою, який може бути використаний для підвищення тягово-зчіпних якостей як нових, так і раніше побудованих локомотивів.

Удосконалення пісочної системи є критично важливим для підвищення ефективності та безпеки залізничного транспорту, оскільки існуючі конструкції мають суттєві недоліки: нераціонально використовують абразив, спричиняють підвищений знос елементів екіпажної частини та стрілочних переводів, а також демонструють низьку надійність, особливо за несприятливих погодних умов.

Встановлено, що абразивна стійкість матеріалів залежить від твердості, еластичності та структурних характеристик. Гума демонструє середню абразивну стійкість, але її експлуатаційні властивості покращуються за рахунок добавок. Для довготривалої роботи у складних умовах застосування гуми з високим вмістом наповнювачів є ефективним рішенням, яке дозволяє поєднати міцність та ударопоглинальні властивості.

Запропонована конструкція, що включає гнучкий гумовий трубопровід та точне кріплення сопла на буксі візка, забезпечує спрямовану подачу піску в зону контакту. Це дозволяє зменшити витрати піску, уникнути засмічення рейкових елементів і знизити опір руху. Використання гумових матеріалів підвищує надійність і довговічність системи, спрощуючи її обслуговування.

Впровадження і реалізація цієї інновації запропонованої пісочної системи на практиці сприятиме не лише поліпшенню тягово-зчіпних і гальмівних властивостей локомотива, але й зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню енергоефективності та загального рівня безпеки руху.

Л і т е р а т у р а

1. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
2. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / А.И. Костюкевич. – Луганск: 1991. – 21с.
3. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
4. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Н.Н. Каменев – М.: Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.
5. Осенін Ю.І. Прогнозирование и управление фрикционными свойствами триботехнической системы «колесо-рельс»: автореф. дис. ... д. т. н.: 05.22.07 / Ю.І. Осенін. – Восточноукраинский государственный университет. – Луганск: – 1994. – 39 с.
6. Кравченко Е.А. Обоснование резервов повышения тяговых качеств локомотива и их реализация управлением скольжения в системе колеса с рельсом: дис. к.т.н.: 05.22.07 / Е.А. Кравченко. – Восточноукраинский государственный университет. – Луганск: – 2010. – 215 с.
7. Ковтанец М.В. Применение экспертного оценивания для принятия технического решения [Электронный ресурс] / М.В. Ковтанец, Е.А. Кравченко, Н.Н. Горбунов, Г.А. Бойко, О.В. Просвирина // Наукові вісті Давіського університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 7.
8. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет усовершенствования упругих связей тележек: дис... к.т.н.: 05.22.07 / ДИИТ, Днепропетровск, 1987. – 180 с.
9. Ковтанец М.В. Підвищення ефективності тягово-зчіпних та гальмівних якостей локомотивів за рахунок безпосередньої подачі піску в контакт колеса з рейкою / М.В. Ковтанец, В.І. Могила // Наукові вісті Давіського університету, № 28, 2025. Електронне наукове фахове видання. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2025-28-11>
10. Патент України №77314 на корисну модель Пристрій подачі абразивного матеріалу в зону контакту колеса з рейкою МПК (2006.01) В61С 15/10 / заявник і власник Мокроусов С.Д., Горбунов М.М., Ковтанец М.В., Щербаків В.П., Могила В.І., Найш Н.М. – u201208879; заявл. 18.07.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 3 с.
11. Kovtanets M. Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / M. Kovtanets, N. Gorbunov, O. Prosvirova, S. Sosnovenko, V. Astakhov // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012. Vol 12, №4, Lublin-Lugansk 2012. – p. 90-95.
12. Горбунов Н.И. Энергетическое воздействие двухфазного потока на зону контакта движущего колеса с рельсом – метод управления сцепными характеристиками локомотива: Монография. Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Т.Н. Ковтанец – Одесса: Купrienko СВ, 2019. – 181 с.
13. Ноженко В.С. Метод управління фрикційною взаємодією у двоточковому трибоконтакті «колесо-рейка» / В.С. Ноженко, М.В. Ковтанец, Д.М. Марченко, М.М. Вакулик, Т.М. Ковтанец // Наукові вісті Давіського університету, № 25, 2023. Електронне наукове фахове видання.
14. Ковтанец М.В. Вибір моделі зчеплення для моделювання динамічної поведінки локомотивів / М.В. Ковтанец, І.О. Цигановський, О.В. Сергієнко, В.С. Ноженко, Т.М. Ковтанец // Вісник СХУ ім. В. Даля, № 5 (275), 2022. – С. 65-71.

R e f e r e n c e s

1. Luzhnov Yu.M. Stsepljenje kolёs s relsamy (pryroda y zakonomernosty) / Yu.M. Luzhnov. – М.: Yntekst, 2003. – 144 s.
2. Kostiukevych A.Y. Chyslennaia y eksperymentalnaia ydentyfikatsiya protsessa stseplenyia koles lokomotyva s relsamy: avtoref. dys. ... k. t. n.: 05.22.07 / A.Y. Kostiukevych. – Luhansk: 1991. – 21s.
3. Osenin Yu.I. Fryktsiina vzaiemodiia kolesa z reikoii / Yu.I. Osenin, D.M. Marchenko, I.O. Shvedchikova. – Luhansk: Vyd-vo SUDU, 1997. – 227 s.
4. Kamenev N.N. Effektivnoe yspolzovanye peska dlia tiahы poezdov / N.N. Kamenev – М.: Yzd-vo Transport, 1968. – 87 s.
5. Osenyn Yu.Y. Prohnozyrovanye y upravlenye fryktsyonnymy svoistvamy trybotekhnicheskoi systemy «koleso-rels»: avtoref. dys. ... d. t. n.: 05.22.07 / Yu.Y. Osenyn. – Vostochnoukraynskyi hosudarstvennyi unyversytet. – Luhansk: – 1994. – 39 s.
6. Kravchenko E.A. Obosnovanye rezervov povыshenyia tiahovykh kachestv lokomotyva y ykh realizatsyia upravlenyem skolzhenyia v systeme kolesa s relsom: dys. k.t.n.: 05.22.07 / E.A. Kravchenko. – Vostochnoukraynskyi hosudarstvennyi unyversytet. – Luhansk: – 2010. – 215 s.

7. Kovtanets M.V. Prymenenye ekspertnogo otsenyvaniya dlia pryniatiya tekhnicheskogo resheniya [Elektronnyi resurs] / M.V. Kovtanets, E.A. Kravchenko, N.N. Horbunov, H.A. Boiko, O.V. Prosvyrova // Naukovi visti Dalivskoho universytetu: zb. nauk. prats. – 2012. – № 7.
8. Horbunov N.Y. Povyshenye tiahovykh kachestv teplovozov za schet usovershenstvovaniya upruhykh svyazei telezhek: dys... k.t.n.: 05.22.07 / DYYT, Dnepropetrovsk, 1987. – 180 s.
9. Kovtanets M.V. Pidvyshchennia efektyvnosti tiahovo-zchipnykh ta halmivnykh yakoste lokomotyviv za rakhunok bezposerednoi podachi pisku v kontakt koleasa z reikoioi / M.V. Kovtanets, V.I. Mohyla // Naukovi visti Dalivskoho universytetu, № 28, 2025. Elektronne naukove fakhove vydannia. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2025-28-11>
10. Patent Ukrainy №77314 na korynsnu model Prystrii podachi abrazyvnoho materialu v zonu kontaktu koleasa z reikoioi MPK (2006.01) B61C 15/10 / zaiavnyk i vlasnyk Mokrousov S.D., Horbunov M.M., Kovtanets M.V., Shcherbakov V.P., Mohyla V.I., Naish N.M. – u201208879; zaiavl. 18.07.2012; opubl. 11.02.2013, Biul. № 3. – 3 s.
11. Kovtanets M. Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / M. Kovtanets, N. Gorbunov, O. Prosvirova, S. Sosnovenko, V. Astakhov // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012. Vol 12, №4, Lublin-Lugansk 2012. – p. 90-95.
12. Horbunov N.Y. Enerheticheskoe vozdeistvie dvukhfaznogo potoka na zonu kontakta dvyzhushcheho koleasa s relsom – metod upravleniya stserpnymu kharakterystykamy lokomotyva: Monohrafiya. N.Y. Horbunov, M.V. Kovtanets, T.N. Kovtanets – Odessa: Kupryenko SV, 2019. – 181 s.
13. Nozhenko V.S. Metod upravlinnia fryktsiinoiu vzaïemodiïeu u dvotochkovomu trybokontakti «koleso-reika» / V.S. Nozhenko, M.V. Kovtanets, D.M. Marchenko, M.M. Vakulyk, T.M. Kovtanets // Naukovi visti Dalivskoho universytetu, № 25, 2023. Elektronne naukove fakhove vydannia.
14. Kovtanets M.V. Vybir modeli zcheplennia dlia modeliuvannia dynamichnoi povedinky lokomotyviv / M.V. Kovtanets, I.O. Tsyhanovskiy, O.V. Serhiienko, V.S. Nozhenko, T.M. Kovtanets // Visnyk SNU im. V. Dalia, № 5 (275), 2022. – S. 65-71.

The article examines the problem of ensuring stable adhesion properties of locomotives by improving the sanding system, which remains one of the key means of increasing traction under unfavorable «wheel-rail» interaction conditions. The relevance of the research is driven by the fact that even with the gradual renewal of the locomotive fleet, modern machines – and especially older locomotives – require improved traction characteristics to ensure transportation under complex climatic and infrastructural conditions. A significant scatter in adhesion coefficient values, confirmed by experimental data, necessitates more precise and controlled sand application. At the same time, traditional sanding systems have several structural and operational disadvantages, including uneven sand delivery, pipeline clogging, inefficiency at low temperatures, and excessive sand consumption.

The study analyzes known research on the influence of sand on increasing the adhesion coefficient and summarizes the factors that reduce the efficiency of existing systems, particularly the imperfect mounting of the nozzle relative to the wheelset. It is established that improper or excessive sand delivery leads to accelerated wear of rails and locomotive running gear, complicates the operation of turnouts, and may cause self-excited oscillations of traction motors. Common railway track defects, including № 14 and 49, are analyzed, and it is shown that their share reaches up to 12% of annual rail failures, confirming the critical role of high-quality and precisely metered sand application.

An improved sanding system design is proposed, the main element of which is a flexible rubber pipeline and a new nozzle mounting directly on the axlebox of the bogie. This design solution allows the nozzle to follow the trajectory of the wheelset and deliver a minimal layer of sand directly into the «wheel-rail» contact zone, which practically eliminates abrasive scattering over the rail surface and prevents material losses. It is demonstrated that the use of rubber as the primary pipeline material reduces the risk of clogging and freezing of the inner surface due to its elasticity and provides greater abrasion resistance compared to metal pipes. A comparative evaluation of wear resistance of various materials is presented, and the feasibility of using filler-reinforced rubber is substantiated.

It is shown that the implementation of the proposed design significantly reduces sand consumption, decreases maintenance labor intensity, increases system reliability, and prevents the formation of typical rail defects associated with wheel slip. Precise sand delivery, modularity of the design, and adaptability to operational conditions enhance locomotive energy efficiency, reduce the load on track infrastructure, and improve traffic safety.

The obtained results confirm that the proposed modernization of the sanding system can be applied both to new locomotives and during the upgrading of existing units, ensuring improved traction-adhesion properties and reduced operational costs. Improvement of the sand delivery system is an important direction in the development of railway engineering, contributing to the extended service life of track, running gear components, and overall transport infrastructure reliability.

Keywords: sanding system, adhesion coefficient, locomotive, wheel slip, rail defects, corrugation, design modernization, sand delivery.

Ковтанець М. В. – доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; kovtanetsm@gmail.com

Могіла В. І. – професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; vimogila1@ukr.net

Стаття надійшла до редакції: 18.11.2025 р.

Стаття прийнята до друку: 24.11.2025 р.

Стаття опублікована: 09.12.2025 р.