

Ковтанець М.В., Могила В.І.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ТА ГАЛЬМІВНИХ ЯКОСТЕЙ ЛОКОМОТИВІВ ЗА РАХУНОК БЕЗПОСЕРЕДНЬОЇ ПОДАЧІ ПІСКУ В КОНТАКТ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ

*У статті проаналізовано актуальні технічні та експлуатаційні проблеми функціонування пісочних систем локомотивів, які суттєво впливають на ефективність тягово-зчіпних і гальмівних властивостей, знос елементів рухомого складу та залізничної інфраструктури, а також на загальний рівень безпеки руху поїздів. Для підвищення зчіпних властивостей широке застосування отримала система подачі піску. Проте сучасні конструкції мають низку серйозних недоліків: низьку точність подачі, перевитрату абразивного матеріалу, засмічення стрілочних переводів, баласту та рейко-шпальної решітки, підвищення опору руху, погіршення маневрових характеристик у кривих ділянках колії. Особливо критичними виявляються проблеми, що виникають у зимовий період — замерзання вологи у сталевих трубопроводах ускладнює роботу системи, вимагаючи трудомісткого ремонту в депо, що неможливо повністю реалізувати у відведений час технічного обслуговування. З метою усунення перелічених недоліків у статті запропоновано вдосконалену конструкцію пісочної системи локомотива, яка базується на використанні гнучкого гумового трубопроводу та кронштейна для кріплення сопла безпосередньо на буксі візка. Така система дозволяє точно спрямовувати абразивний матеріал безпосередньо в зону контакту колеса з рейкою, ефективно компенсуючи поперечні переміщення колісної пари під час руху. Матеріал гумового трубопроводу обраний з урахуванням його високої абразивостійкості, еластичності, стійкості до багаторазових деформацій, вібрацій та низьких температур, що забезпечує тривалий термін експлуатації і зменшує ризик закупорки піску. Запропонована конструкція дозволяє зменшити витрату піску, знизити зношування коліс, бандажів та рейок, підвищити надійність роботи пісочної системи в складних умовах експлуатації, покращити умови обслуговування екіпажної частини, а також оптимізувати витрати на виготовлення і технічне обслуговування. Застосування такої системи створює передумови для переходу до енергоощадних і ресурсозберігаючих технологій у локомотивному господарстві. Отримані результати мають практичну цінність для модернізації існуючого парку локомотивів і розробки нових конструкцій пісочних систем, що відповідають сучасним вимогам безпеки, економічності та екологічності.*

**Ключові слова:** локомотив, пісочна система, зчеплення, гумовий трубопровід, подача піску, букса візка, абразивний матеріал, експлуатаційна надійність.

**Актуальність дослідження.** В даний час склалися умови, коли крім поступового оновлення парку локомотивів на більш досконалі з покращеними тяговими та експлуатаційними характеристиками, проводиться велика робота щодо покращення тягових властивостей раніше побудованих локомотивів.

Однією з основних вимог, що пред'являються до локомотива, є реалізація великої сили зчеплення в контакт «колесо-рейка», оскільки саме її величиною визначається вага складу, який може перевозити даний локомотив та забезпечується безпека експлуатації, зокрема, безюзного гальмування.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Експериментальні дослідження [1, 2, 3] показують великий розкид значень коефіцієнтів зчеплення (від 0,45 при сприятливих умовах до 0,1 при несприятливих) в результаті дії безлічі факторів, що випадково змінюються у процесі руху: наявність на рейках різного характеру поверхневих забруднень та вологи, погодно-кліматичні умови, температура коліс та рейок, навантаження від колеса на рейку, швидкість руху тощо.

Для підвищення коефіцієнта зчеплення застосовуються різні заходи конструктивного характеру, однак, найефективнішим і найпоширенішим методом є подача піску на рейки під колеса локомотива.

У роботах [4, 5, 6] автори показали, що для забезпечення високих тягових властивостей локомотива до контакту колеса з рейкою слід подавати певну кількість піску. При експлуатації пісочної системи необхідно, окрім правильного розподілу подачі піску під колеса різних осей, обов'язково домагатися однакової подачі піску в кожен пару трубопроводів, що йдуть до коліс однієї колісної пари.

Існуючі конструкції пісочних систем мають ряд недоліків, які тією чи іншою мірою негативно впливають на безпеку руху локомотива та ефективне використання його потужності. До цих недоліків належать:

1. Неefективність роботи та підвищені витрати абразивного матеріалу у зв'язку з тим, що кріплення наконечника з трубопроводом на рамі візка (рисунок 1) не забезпечує постійне положення його щодо колеса (рама візка переміщається щодо колісної пари в поперечному напрямку на 140-170 мм [7]) і подачу абразивного матеріалу безпосередньо в зазор між поверхнею доріжки кочення колеса та поверхнею головки рейки так, як візок виконує складну траєкторію руху (вплив коліс щодо рейкового полотна).



Рисунок 1 – Кріплення пісного трубопроводу з наконечником кронштейном на рамі візка

Це призводить до:

- зниження попадання у необхідній кількості абразивного матеріалу в зону контакту рушійних коліс локомотива з рейками, тим самим виключає підвищення їх коефіцієнта зчеплення при спрацьовуванні протибоксувальної або протиюзної систем;
- пісок залишається на поверхнях рейок збільшуючи на 12-20% опір руху вагонів (рисунок 2), що рухаються за локомотивом [5], це особливо помітно при проходженні кривих, де наявність залишків піску на рейках ускладнює поперечне переміщення вагонних коліс і перешкоджає вільному встановленню візків вагонів у напрямку кривої, відповідно підвищуючи витрату паливно-енергетичних ресурсів;



Рисунок 2 – Залишок піску на рейках після проходження останнього вагона

- у разі подачі піску при проходженні локомотивом стрілочного переводу, надлишок піску від неточної його подачі в зону контакту засмічує проміжок між гостряком і рамною рейкою, порушуючи тим самим нормальне функціонування перевідного механізму та знижуючи безпеку руху рухомого складу;
- неточна подача піску призводить до засмічення пружних прокладок між підшвами рейок і шпалами (рисунок 3), що спричиняє їх знос та викликає за собою зміну жорсткості рейко-шпальних ґрат [8].

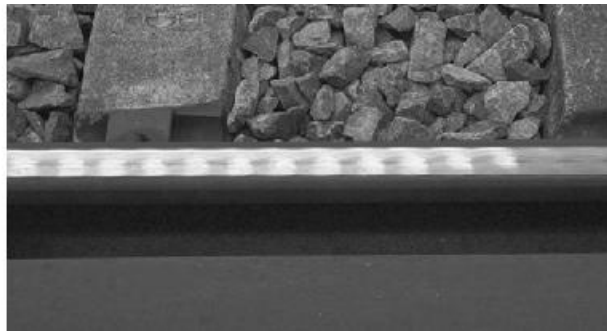


Рисунок 3 – Засмічення пружних прокладок

2. Підвищений знос або пошкодження рейок та екіпажної частини (коліс або бандажів) локомотива та вагонів (рисунок 4) у вигляді дефектів № 14 (пробоксування рейок колесами локомотивів, у режимі стійкого боксування) та № 40 (хвильова деформація головки рейки) [9].



а)



б)

Рисунок 4 – Види дефектів через надмірну подачу піску  
а – дефект № 14; б – дефект №40.

3. Неконтрольована подача піску знижує ефективність його застосування (найбільший ефект досягається при подачі піску в один шар), а також викликає забруднення баластної призми та рейко-шпальної решітки (рисунок 5). За даними [10], кількість піску, що не потрапила в зону контакту колеса з рейкою, становить в середньому від 20 до 60% від загальної кількості піску, що подається.



Рисунок 5 – Надмірна подача піску

4. Зниження ефективності роботи пісочної системи у зв'язку з тим, що відбувається засмічення сталевих трубопроводів абразивним матеріалом, особливо в зимову пору року, що пов'язано з тим, що при подачі теплої піско-повітряного (двофазного) струменя в холодний сталевий трубопровід з наконечником відбувається виділення вологи (конденсату) в них, що при негативній температурі навколишнього повітря намерзає всередині трубопроводу з наконечником, у результаті ускладнюється подача абразивного матеріалу [11]. Це вимагає тривалого та трудомісткого ремонту, який виконується слюсарями за допомогою паяльних ламп (для розтоплення намерзання) та простукування трубопроводу молотком, викликаючи появи при цьому вм'ятин та дефектів. При цьому, згідно з нормативними документами з обслуговування локомотивів у депо, слюсарі через трудомістку роботу не мають можливості у відведений час привести в працездатність усі елементи пісочної системи локомотива, що надійшов на ТО.

5. Виникнення автоколивань тягового двигуна при боксуванні на надмірно товстому шарі піску, що може супроводжуватися повним осадженням пружин та сильними ударними навантаженнями в елементах приводу та підвіски [11].

Відомо, що загальною тенденцією розвитку пісочної системи є її різке спрощення і поступовий перехід до систем з низькою витратою піску.

**Мета статті.** Удосконалення пісочної системи локомотива для підвищення тягово-зчіпних та гальмівних якостей локомотива, пов'язане із зменшенням витрати піску шляхом безпосередньої його подачі, в один шар, в контакт колеса з рейкою, а також зниження трудомісткості і матеріаломісткості виробництва та експлуатації нової системи подачі піску.

**Результати дослідження.** Поставлене автором завдання вирішено шляхом виконання сопла та трубопроводу, що з'єднує сопло з форсункою, з гуми та кріплення їх за допомогою кронштейна на буксі візка для точної дозованої подачі піску безпосередньо в контакт колеса з рейкою.

На рисунку 6 зображено загальний вигляд букси тривісного візка локомотива обладнаної пропонованою пісочною системою.

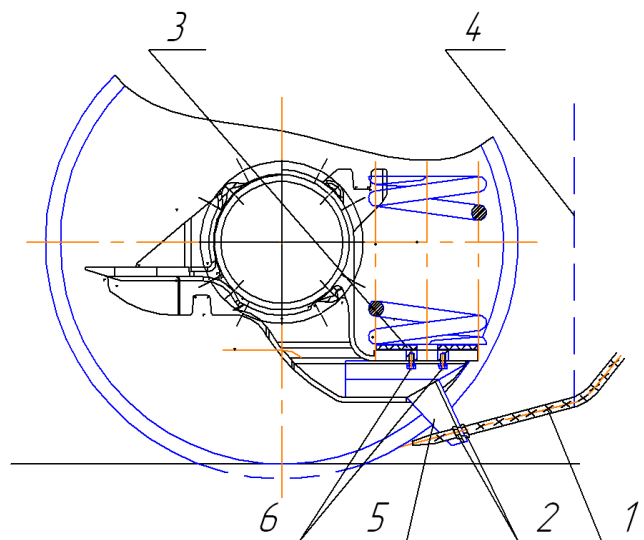


Рисунок 6 – Загальний вигляд букси тривісного візка локомотива обладнаною пропонованою пісочною системою 1 – трубопровід, 2 – затискні гайки, 3 – опора пружини, 4 – запобіжний ланцюжок з хомутом (показаний умовно), 5 – кронштейн; 6 – болти кріплення кронштейна.

У результаті кріплення трубопроводу і сопла пісочної системи на кронштейні (рисунок 1), закріпленому на крилі букси візка, за рахунок того, що трубопровід виконаний з гуми, він не створює опір повороту сопла при виланні колісної пари щодо рейки, яке повторює практично всю її траєкторію руху, подаючи абразивний матеріал безпосередньо в контакт колеса з рейкою.

Виготовлення трубопроводу з гуми аргументується тим, що згідно з фундаментальними дослідженнями гума має абразивну стійкість вище, ніж у металів (рисунок 7). Гума має еластичність, високий опір розривів і багаторазові деформації, вібростійкість і пружність при низьких температурах, високу стійкість до значних нерівномірних навантажень [12].

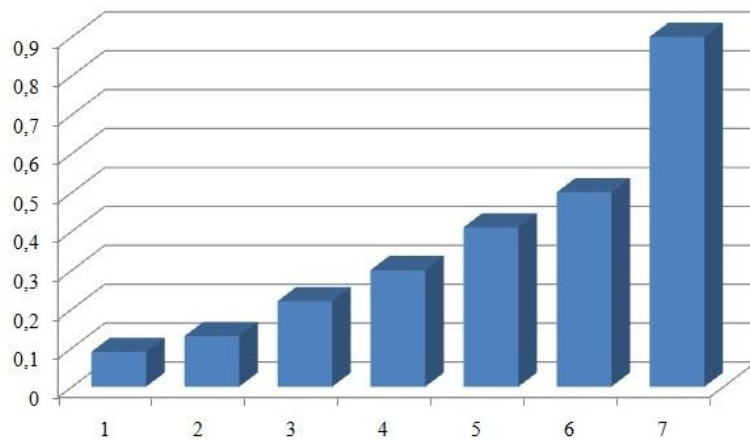


Рисунок 7 – Порівняльна характеристика абразивного зношування гуми з іншими матеріалами 1 – поліуретан, 2 – гума, 3 – поліетилен, 4 – силікон, 5 – гартована сталь, 6 – вуглецева сталь, 7 – алюміній

Основними перевагами пропонованої конструкції пісочної системи локомотива є [13, 14]:

- зниження трудомісткості та матеріаломісткості виробництва за рахунок відмови від багатодільної та складної роботи у виробництві металевих труб для подачі піску, які при виникненні ударних навантажень часто обриваються;

- виконання трубопроводів з гуми дозволить усунути з'єднання між ними при прокладці на локомотиві, забезпечивши можливість проникнення вологи, що сприяє виникненню закупорки піску;

- подача піску безпосередньо в контакт колеса з рейкою дозволить знизити витрату піску, що дозволить зменшити вихідний отвір сопла та діаметр трубопроводу, а також ємність бункера для зберігання піску на локомотиві, що на порядок знижує витрати часу на екіпірування піском за інших порівнянних умов;

- кріплення трубопроводу та сопла пісочної системи на кронштейні крила букси, знижує трудовитрати при виробництві візків, покращує експлуатаційні якості локомотива та умови обслуговування екіпажної частини локомотива;

- виключить імовірність попадання піску в зазор між гострьком і рамною рейкою, що знизить ударні навантаження, підвищить безпеку під час руху у стрілочному переводі, так само збільшиться тривалість терміну служби елементів стрілочних переводів, ходової частини локомотива та вагонів.

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

Удосконалення пісочної системи локомотива є важливою складовою підвищення ефективності та безпеки експлуатації залізничного транспорту. Проведене дослідження виявило суттєві недоліки в існуючих конструкціях, що призводять до нераціонального використання абразивного матеріалу, підвищеного зносу елементів екіпажної частини та стрілочних переводів, а також зниження надійності роботи пісочної системи, особливо за несприятливих погодних умов.

Запропонована конструкція, що передбачає використання гнучкого гумового трубопроводу та точне кріплення сопла на буксі візка, дозволяє забезпечити спрямовану подачу піску безпосередньо в зону контакту колеса з рейкою. Це дає змогу зменшити витрати піску, уникнути засмічення рейкових елементів і знизити опір руху складу. Використання гумових матеріалів сприяє підвищенню надійності та довговічності системи, а також спрощує її технічне обслуговування.

Таким чином, реалізація запропонованої пісочної системи на практиці сприятиме не лише покращенню тягово-зчіпних та гальмівних характеристик локомотива, а й зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню енергоефективності та загальної 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. 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.
8. Kovtanets Maksim Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / Maksim Kovtanets, Nicholas Gorbunov, Olga Prosvirova, Sergei Sosnovenko, Vitali Astakhov // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012. Vol 12, №4, Lublin-Lugansk 2012. – p. 90-95.
9. Лысюк В.С. Надежность железнодорожного пути / В.С. Лысюк, В.Б. Каменский, Л.В. Башкатова; под ред. В.С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
10. Бугаенко В.В. Улучшение тягово-экономических характеристик локомотивов путем повышения коэффициента полезного действия системы подачи песка: автореф. дис. к.т.н.: 05.22.07 / В.В. Бугаенко. – Восточноукраинский государственный университет. – Луганск: – 2010. – 25 с.
11. 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.
12. Полиуретановые технологии – Режим доступа: <http://purelast.com.ua>. – Назва з екрану.
13. Ноженко В.С. Метод управління фрикційною взаємодією у двоточковому трибодотакті «колесо-рейка» / В.С. Ноженко, М.В. Ковтанець, Д.М. Марченко, М.М. Вакулик, Т.М. Ковтанець // Наукові вісті Давіського університету, № 25, 2023. Електронне наукове фахове видання.
14. Ковтанець М.В. Вибір моделі зчеплення для моделювання динамічної поведінки локомотивів / М.В. Ковтанець, І.О. Цигановський, О.В. Сергієнко, В.С. Ноженко, Т.М. Ковтанець // Вісник СХУ ім. В. Даля, № 5 (275), 2022. – С. 65-71.

### References

1. Luzhnov Yu.M. Stseplenie kol'Yos s rel'sami (priroda i zakonomernosti) / Yu.M. Luzhnov. – M.: Intekst, 2003. – 144 s.
2. Kostyukovich A.I. Chislennaya i eksperimental'naya identifikatsiya protsessa stsepleniya koles lokomotiva s rel'sami: avtoref. dis. ... k.t.n.: 05.22.07 / A.I. Kostyukovich. – Lugansk: 1991. – 21 s.
3. Osenin Yu.I. Friktsiynaya vzaemodiyaya koleasa z reykoynu / Yu.I. Osenin, D.M. Marchenko, I.O. Shvedchikova. – Lugansk: Vid-vo SUDU, 1997. – 227 s.
4. Kamenev N.N. Effektivnoe ispolzovanie peska dlya tyagi poezdov / N.N. Kamenev – M.: Izd-vo Transport, 1968. – 87 s.
5. Osenin Yu.I. Prognozirovaniye i upravleniye friktsionnyimi svoystvami tribotekhnicheskoy sistemyi «koleso-rel's»: avtoref. dis. ... d. t. n.: 05.22.07 / Yu.I. Osenin. – Vostochnoukrainskiy gosudarstvenniy universitet. – Lugansk: – 1994. – 39 s.
6. Kravchenko E.A. Obosnovaniye rezervov povyisheniya tyagovyih kachestv lokomotiva i ih realizatsiya upravleniem skolzheniya v sisteme koleasa s rel'som: dis. k.t.n.: 05.22.07 / E.A. Kravchenko. – Vostochnoukrainskiy gosudarstvenniy universitet. – Lugansk: – 2010. – 215 s.
7. Gorbunov N.I. Povyisheniye tyagovyih kachestv teplovozov za schet usovershenstvovaniya uprugih svyazey telezhok: dis... k.t.n.: 05.22.07 / DIIT, Dnepropetrovsk, 1987. – 180 s.
8. Kovtanets Maksim Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / Maksim Kovtanets, Nicholas Gorbunov, Olga Prosvirova, Sergei Sosnovenko, Vitali Astakhov // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012. Vol 12, №4, Lublin-Lugansk 2012. – p. 90-95.
9. Lyisyuk V.S. Nadezhnost zheleznodorozhnogo puti / V.S. Lyisyuk, V.B. Kamenskiy, L.V. Bashkatova; pod red. V.S. Lyisyuka. – M.: Transport, 2001. – 286 s.
10. Bugaenko V.V. Uluchsheniye tyagovo-ekonomichnyih harakteristik lokomotivov putem povyisheniya koeffitsienta poleznogo deystviya sistemyi podachi peska: avtoref. dis. k.t.n.: 05.22.07 / V.V. Bugaenko. – Vostochnoukrainskiy gosudarstvenniy universitet. – Lugansk: – 2010. – 25 s.
11. Gorbunov N.I. Energeticheskoe vozdeystvie dvuhfaznogo potoka na zonu kontakta dvizhushego koleasa s rel'som – metod upravleniya stsepnymi harakteristikami lokomotiva: Monografiya. N.I. Gorbunov, M.V. Kovtanets, T.N. Kovtanets – Odessa: Kuprienko SV, 2019. – 181 s.
12. Poliuretanyie tehnologii – Rezhim dostupu: <http://purelast.com.ua>. – Nazva z ekranu.
13. Nozhenko V.S. Metod upravlinnya friktsiynoyu vzaemodiyeyu u dvotochkovomu tribokontakti «koleso-reyka» / V.S. Nozhenko, M.V. Kovtanets, D.M. Marchenko, M.M. Vakulik, T.M. Kovtanets // NaukovI vIstI DalIvskogo unIversitetu, № 25, 2023. Elektronne naukovne fahove vidannya.
14. Kovtanets M.V. VibiIr modelI zchepleniya dlya modelyuvannya dinamIchnoYi povedInki lokomotivIv / M.V. Kovtanets, I.O. Tsiganovskiy, O.V. SergIenko, V.S. Nozhenko, T.M. Kovtanets // VIIsnik SNU Im. V. Dalya, № 5 (275), 2022. – S. 65-71.

*The article analyzes current technical and operational problems of locomotive sanding systems, which significantly affect the efficiency of traction and braking performance, wear of rolling stock components and railway infrastructure, as well as the overall safety level of train operation. It is noted that one of the key requirements for a locomotive is to ensure a high adhesion force in the “wheel–rail” contact, which directly determines the locomotive’s ability to haul the required train mass without wheel slip or slide. Experimental studies reveal considerable variation in adhesion coefficients due to numerous influencing factors – weather conditions, rail surface contamination, temperature, train speed, axle load, and others. To improve traction properties, sanding systems are widely used. However, existing designs exhibit critical shortcomings: inaccurate sand delivery, overuse of abrasive material, fouling of turnouts, ballast and track structures, increased rolling resistance, and deterioration of curving performance.*

*These issues become particularly severe during winter, when moisture in steel pipelines freezes and disrupts sand flow, requiring complex and labor-intensive depot repairs, which cannot always be completed within allocated maintenance time. To eliminate these disadvantages, the article proposes an improved design of the locomotive sanding system, based on a flexible rubber pipeline and a bracket-mounted nozzle fixed directly to the bogie journal box. This system enables precise sand application directly into the wheel–rail contact zone, effectively compensating for lateral axle displacements during motion. The rubber pipeline material is selected for its high abrasion resistance, elasticity, resistance to repeated deformation, vibration, and low temperatures, ensuring durability and reducing clogging risks. The proposed design reduces sand consumption, minimizes wheel, tire, and rail wear, enhances the reliability of the sanding system under challenging conditions, improves maintenance accessibility, and optimizes production and operational*

*costs. Implementation of this system creates prerequisites for adopting energy-efficient and resource-saving technologies in locomotive maintenance.*

*The results obtained are of practical value for modernizing the current locomotive fleet and developing new sanding system designs that meet modern safety, efficiency, and environmental standards.*

**Keywords:** *locomotive, sanding system, adhesion, rubber pipeline, sand delivery, journal box, abrasive material, operational reliability.*

**Ковтанець М. В.** – доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; [kovtanetsm@gmail.com](mailto:kovtanetsm@gmail.com)

**Могіла В. І.** – професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; [vimogila1@ukr.net](mailto:vimogila1@ukr.net)