

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Локомотиви»

«ДО ЗАХИСТУ»

Зав. кафедрою М.І. Капіца

« _____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань: *27 «Транспорт»*

Спеціальність: *273 «Залізничний транспорт»*

Спеціалізація *«Локомотиви та локомотивне господарство»*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ
РУХОМОГО СКЛАДУ З РЕЙКАМИ
ANALYSIS OF METHODS OF INCREASING THE COEFFICIENT OF
COUPLING OF ROLLING STOCK WITH RAILS

0032.150217.000.01MP.ПЗ

Керівник дипломного проекту В.Н. Сердюк

Нормоконтролер Л.В. Колодій

Виконавець: студент групи ЛГ1921 С.А.Тишевський

Student S.A. Tyshevsky

Дніпро-2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені В.Лазаряна
Факультет «Транспортна інженерія» кафедра «Локомотиви»
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»
Спеціалізація «Локомотиви та локомотивне господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедрою

М.І.Капіца

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР «магістр»
студента групи ЛГ1921 Тишевський Сергій Андрійович
(прізвище , ім'я та по-батькові)

1. Тема магістерської дипломної роботи Аналіз методів підвищення коефіцієнту зчеплення коліс рухомого складу з рейками

Затверджена наказом по університету від 16 грудня 2019 р. № 948ст

2. Термін подання студентом закінченої роботи 30 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до магістерської роботи. Твердий активізатор зчеплення АС-РПАК-ФТ. АС-РПАК-ФЖ (рідкий активізатор зчеплення). : активізатор зчеплення LCF - з коефіцієнтом тертя менше 0,2; НРФ - з коефіцієнтом тертя 0,2 - 0,4; VНРФ - з коефіцієнтом тертя 0,4.

4. Перелік креслень (демонстративного матеріалу) _____

Результати експертного опитування за напрямками досліджень _____

Основні фактори визначаючі потенціальної сили _____

Методологічний підхід до визначення пріоритетних напрямків досліджень залізничного транспорту _____

Стратегічні принципи розвитку світової залізничної системи до 2050 р _____

Основні методи підвищення коефіцієнта зчеплення _____

Залежність коефіцієнта тертя від товщини окисної плівки на поверхні рейки _____

Методи оптимізації фрикційної взаємодії колеса з рейкою _____

Математична модель зчеплення _____

Варіанти кріплення активізаторів зчеплення _____

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Аналіз процесу взаємодії колеса з рейкою та шляхів поліпшення їх зчіпних характеристик	12.10.2020	30
Аналіз перспективних методів підвищення коефіцієнта зчеплення із застосуванням експертного оцінювання	9.11.2020	30
Теоретичні дослідження взаємодії абразивних часток з поверхнею рейок та колеса	30.12.2020	40

Дата видачі завдання « 15 » грудня 2019 р.

Керівник магістерської роботи _____ Сердюк В.Н. _____
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Тишевський С.А. _____
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Аналіз методів підвищення коефіцієнта зчеплення рухомого складу з рейками» розроблена на замовлення ПРАТ «ПІВНГЗК» у загальному обсязі 8 креслень і 119 аркушів розрахунково-пояснювальної записки та складається з 4 частин. Проект містить 25 рисунків, 18 таблиць та список літературних джерел з 30 найменувань.

Об'єктом досліджень в магістерській роботі виступає існуюча проблема не ефективного використання тягового рухомого складу, а саме часта необхідність використання додаткового локомотива в якості допоміжного, на затяжних підйомах. Метою роботи є створення активізатора зчеплення, що забезпечує в будь-яких погодних умовах, стабільний коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками не менше 0,3.

На основі існуючої фізико-математичної моделі фрикційної підсистеми «колесо - проміжна фрикційна зв'язок - рейка», розроблена методика визначення величини проковзування в трибосистеми «колесо - рейка» з використанням роликової аналогії на стандартній машині тертя, істотно спрощує процедуру експерименту. Розроблено критерій подібності адгезійних зв'язків третього тіла в контакті «колесо - рейка» з метою оптимізації триботехнічних характеристик.

З метою обґрунтування можливості ефективного використання активізатора зчеплення нами виконано математичне моделювання мікрооб'єму поверхонь тертя, та встановленні всі необхідні умови відповідності. Розраховано очікуваний економічний ефект від впровадження активізатора зчеплення. Запропоновано варіант встановлення на локомотиві.

Ключовими словами в дипломному проекті являються: ЛОКОМОТИВ, КОЛЕСО-РЕЙКА, КОЕФІЦІЄНТ ЗЧЕПЛЕННЯ, ФРИКЦІЙНА СИСТЕМА, АБРАЗИВ, МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

					0032.150217000.02MP.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАМОДІЇ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ ТА ШЛЯХІВ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ЗЧІПНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	
1.1 Методологічний підхід до визначення пріоритетних напрямків досліджень залізничного транспорту.....	
1.2 Аналіз різних факторів, впливають на величину коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою.....	
1.3 Вплив наявності мастила в контакті на зчеплення колеса з рейкою.....	
1.4 Висновки по розділу.....	
2 АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ.....	
2.1 Механічне очищення.....	
2.2 подача гарячого повітря.....	
2.3 Пневмо-гідроочищення.....	
2.4 Хімічне очищення.....	
2.5 Термомеханічна очищення пригальмуванням.....	
2.6 Очищення джерелами високих енергій.....	
2.7 подача різного за властивостями сипучого матеріалу.....	
2.8 Модифікатори тертя (активатори зчеплення).....	
2.9 Поліпшення фрикційних характеристик колеса і рейки шляхом очищення їх поверхонь гранулами сухого льоду.....	
2.10 Струменево-абразивна дія на контактуючі поверхні.....	
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАМОДІЇ АБРАЗИВНИХ АСТОК	
3 ПОВЕРХНЕЮ РЕЙОК ТА КОЛЕСА.....	
3.1 Сутність та технологічні можливості струменево-абразивного впливу.....	

					<i>0032.150217.000.01MP.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Аналіз методів підвищення коефіцієнту зчеплення коліс рухомого складу з рейками</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Тишевський</i>					5	
<i>Перевір.</i>		<i>Сердюк</i>				<i>ДНУЗТ, зр. ЛГ1921</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Колодій</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Капіца</i>						

3.2 Багаторівнева математична модель впливу двофазного потоку абразивних частинок на поверхні колеса і рейки.....	
3.3 Імітаційна модель руху абразивного матеріалу	
3.4 Аналіз і його розподіл в перетині сопла.....	
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПІСКУ ПІД РУШІЙНІ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА.....	
4.1 Розробка вузла форсунки.....	
4.2 Універсальний блоковий модуль конструкції бункера з форсункою та системою управління.....	
4.3 Визначення форми та розмірів наконечника.....	
4.4 Кріплення наконечника та трубопроводу на непідресореної частини візка локомотива (буксе).....	
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ АБРАЗИВНОГО МАТЕРІАЛУ.....	
5.1 Загальні положення розрахунку економічного ефекту.....	
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Українська мережа залізниць є однією з найбільш розвинутих серед європейських країн, займає провідне місце за обсягами перевезень та відіграє важливу транзитну роль на Євразійському континенті.

Залізничний транспорт є базовою галуззю національної економіки та основою її транспортної системи, забезпечує понад дві третини загального вантажо- та пасажирообігу. У подальшому, враховуючи вимоги Європейського Союзу щодо необхідності зменшення шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє природне середовище, питома вага залізничних перевезень збільшуватиметься.

На сьогодні резерви технічних потужностей залізничного транспорту, його провізної спроможності практично вичерпані, що ставить під загрозу можливість безперервного задоволення зростаючих потреб суспільства у транспортному обслуговуванні.

Розвиток економіки ставить перед залізничним транспортом підвищені вимоги, в тому числі щодо збільшення вагових норм і швидкостей руху поїздів, однією з умов реалізації якого є стабілізація коефіцієнта зчеплення (КС) коліс локомотива з рейками на рівні не менше 0,3.

В даний час коефіцієнт зчеплення в залежності від стану фрикційної системи колесо-рейка змінюється від 0,1 до 0,5. Основним методом підвищення КС, застосовуваним на залізничному транспорті, є використання кварцового піску. Однак при його доступності та низької вартості, є ряд негативних наслідків від застосування технології піскоподачі: засмічення баласту і як наслідок погіршення його дренажних властивостей, втрата до 5% тягової потужності локомотива в перший момент подачі піску РІ його руйнування і підвищений знос від абразивного впливу на колеса і рейки.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на, що зниження коефіцієнта зчеплення призводить до недовикористання встановленої потужності рухомого складу, до зривів зчеплення, боксування і підвищеного зносу коліс і рейок, питання його стабілізації є актуальним.

Магістерська робота виконувалася відповідно до програми розвитку залізничного транспорту, в якій вказується необхідність поліпшення тягових властивостей локомотивів на 20-30% без збільшення навантаження на осі колісних пар, а так само підвищення величини коефіцієнта зчеплення коліс локомотивів з рейками до 0,3 без застосування піску. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від № 1555-р від 16.09.2009 р «Стратегія розвитку залізничного транспорту України до 2020 року.

Метою роботи є створення активізатора зчеплення, що забезпечує в будь-яких погодних умовах, стабільний коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками не менше 0,3.

В результаті проведених досліджень в роботі:

- Експериментально встановлено, що використання рідин з низькою в'язкістю для змочування абразиву забезпечує високу швидкість освіти адгезійних зв'язків з поверхнею кочення колеса.
- Показано, що застосування вологого абразиву забезпечує коефіцієнт зчеплення на рівні не менше 0,3 при оптимальному вмісті рідини - 78-82%, незалежно від її в'язкості.
- На основі існуючої фізико-математичної моделі фрикційної підсистеми «колесо - проміжна фрикційна зв'язок - рейка», розроблена методика визначення величини проковзування в трибосистеми «колесо - рейка» з використанням роликового аналогії на стандартній машині тертя, істотно спрощує процедуру експерименту. Розроблено критерій подібності

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адгезійних зв'язків третього тіла в контакті «колесо - рейка» з метою оптимізації триботехнічних характеристик.

Експериментально встановлено, що наявність води на поверхні тертя збільшує кількість дефектів викликаних корозійними процесами. Подача дрібнодисперсного абразиву в зону тертя дозволяє зробити шліфування дрібних тріщин і запобігти їх збільшення.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ ТА ШЛЯХІВ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ЗЧІПНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Проблема зчеплення коліс локомотива з рейками виникла з моменту зародження першого паровоза і продовжує залишатися особливо гострою до теперішнього часу. У багатьох країнах, протягом тривалого часу, триває вивчення фізичних основ зчеплення колеса з рейкою, досліджуються залежності коефіцієнта зчеплення від впливають на нього різних факторів, щоб на основі цих даних знаходити шляхи подальшого вдосконалення локомотивів і методи їх раціональної експлуатації.

Фрикційне взаємодія в трибосистемі «колесо-рейка» є головним процесом визначальним досягнення максимально можливих тягових якостей локомотива, від якого залежать найважливіші техніко економічні показники: вагова норма поїздів, швидкість руху, витрата екіпірувальних матеріалів, знос контактуючих поверхонь, провізна здатність ділянок залізниць, безпеку руху, витрата палива і електроенергії на тягу поїздів.

Функціональна залежність коефіцієнта зчеплення Ψ від швидкості ковзання, яку прийнято називати характеристикою зчеплення, є однією з найважливіших в оцінці динамічних процесів при терті кочення. Дана функціональна залежність може служити для визначення як величини коефіцієнта зчеплення, так і оцінки його стабільності в процесі експлуатації без доведення коліс рухомого складу до боксування. У момент боксування відбувається перехід від неповного ковзання до повного.

Великий внесок в пояснення процесу зчеплення присвячений широкий ряд теоретичних і експериментальних робіт наступних учених: Ісаєва І.П., Каменєва Н. Н., Калкера І.І., Карпова НА, Картера Ф., Коняєва А.Н., Коротенко М.Л., Косікова С.І. ін.

Так само потрібно відзначити учених, які сформулювали уявлення про фрикційної взаємодії на мікрорівні: Герц Г., Горячева І.Г., Демкин Н.Б., Дерягин

										0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Б.В., Євдокимов Ю.А., Крагельський І.В., Коровчинський М.В., Макушин А.П., Боуден Ф., та інші.

1.1 Методологічний підхід до визначення пріоритетних напрямків досліджень залізничного транспорту

Збільшення швидкостей руху залізничних транспортних засобів створює нові можливості для економічної спеціалізації і кооперації, підвищення рухливості населення, робить більш доступними нові виробничі ресурси і розширює зони збуту товарів.

Таким чином, збільшення швидкості руху - це важливий фактор і ефективний інструмент прискорення зростання економіки, тому необхідні цілеспрямовані рішення щодо створення умов для підвищення швидкостей руху залізничного транспорту та системи реалізації інноваційних рішень.

На підставі того, що зростання швидкості є одним з головних чинників розвитку залізничного транспорту необхідні принципово нові інноваційні розробки, Що забезпечують підвищення швидкостей, безпеку руху та значний економічний ефект.

З огляду на вищевикладене, можна сказати, що залізнична наука повинна бути більш сфокусованою на забезпеченні сталого розвитку залізничного транспорту і підвищення його конкурентоспроможності. На 83-й генеральній асамблеї Міжнародного союзу залізниць (МСЗ) намічені стратегічні принципи розвитку світової залізничної системи на перспективу до 2050 року (рис. 1.1).

Відштовхуючись від намічених принципів, проведено спільне дослідження наукових організацій-учасників (рис.1.2) з метою визначення пріоритетних напрямків наукових досліджень, розробка яких сприятиме ефективному розвитку залізничного транспорту. Внаслідок різноманіття напрямків наукових досліджень членами МСЗ затверджений перелік з 5-и кластерів, до яких увійшли 20 пріоритетних напрямків для досліджень (таблиця 1.1) [1].

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Пріоритетні напрямки досліджень

Інфраструктура	Взаємодія в системі колесо-рейка
	Розробка нових матеріалів і технологій для інфраструктури
	Технології для моніторингу шляху рухомого складу і сумісність (запобігання сходу з рейок і т.п.)
	Управління активами (ефективність, збільшений термін служби, зменшення вартості конструкції і її обслуговування)
Рухомий склад	Нові матеріали і виробничі процеси для рухомого складу
	Стійка конструкція рухомого складу
	Конструкція рухомого складу високої продуктивності
	Внутрішнє оснащення поїздів
Система як ціле	Інтегровані системи для пасажирських і вантажних перевезень
	Збільшення пропускної здатності
	враження клієнта
	Залізничні системи майбутнього
Енергія та навколишнє середовище	Безпека руху і особиста безпека пасажирів
	Взаємодія між залізничними енергетичними системами і інтелектуальними енергосистемами
	Оптимізація енергоспоживання в залізничних системах
	Скорочення шкідливих викидів від дизельного рухомого складу
Інтелектуальні системи	Шум і вібрація
	ERTMS рівень 2/3 (GSM): Економічна рентабельність для вантажного транспорту
	Інтелектуальні автоматизовані системи управління рухом
	Управління інформацією (бази даних, доступність клієнтам і т.д.)

Скориставшись методом експертного оцінювання, в роботі [1] проведена обробка близько ста анкет опитування галузевих науковців з країн учасників дослідження (рис. 1.2), які представляють індивідуальний дослідницький досвід поряд з досвідом вирішення конкретних завдань залізничної галузі в своїх державах.

Для визначення затребуваних напрямів досліджень експертам потрібно:

-попарно порівняти кожен напрямок з усіма іншими, з точки зору пріоритетності виставляючи 1 бал більше пріоритетному і 0 балів менше пріоритетному напрямку досліджень (якщо обидва мають однаковий пріоритет виставлялося по 0,5 бала);

									0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

-за методом рангової кореляції розставити бали усіх напрямках від 100 для самого пріоритетного - до 5 для найменш пріоритетного, на думку експерта;

-привласнити напрямками відповідні місця від 1-го до 20-го. результати експертного опитування представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Результати експертного опитування за напрямками досліджень

напрямок дослідження		середнє значення
1	Стійка конструкція рухомого складу	0,9853
2	Безпека руху і особиста безпека пасажирів	0,9326
3	Технології для моніторингу шляху рухомого складу і сумісність (запобігання сходу з рейок і т.д.)	0,9215
4	Розробка нових матеріалів і технологій для інфраструктури	0,9052
5	Нові матеріали і виробничі процеси для рухомого складу	0,8876
6	Взаємодія в системі колесо-рейка	0,8727
7	Конструкція рухомого складу високої продуктивності	0,8148
8	Управління активами (ефективність, збільшений термін служби, зменшення вартості конструкції і її обслуговування)	0,7874
9	Оптимізація енергоспоживання в залізничних системах	0,7846
10	Інтегровані системи для пасажирських і вантажних перевезень	0,7617
11	Інтелектуальні автоматизовані системи управління рухом	0,7194
12	Збільшення пропускної здатності	0,7136
13	Залізничні системи майбутнього	0,6412
14	Управління інформацією (бази даних, доступність клієнтам і т.д.)	0,6074
15	Внутрішнє оснащення поїздів	0,6065
16	Шум і вібрація	0,5939
17	Скорочення шкідливих викидів від дизельного рухомого складу	0,5847
18	ERTMS рівень 2/3 (GSM): Економічна рентабельність для вантажного транспорту	0,5687
19	Взаємодія між залізничними енергетичними системами і інтелектуальними енергосистемами	0,5306
20	враження клієнта	0,4306

Аналіз результатів експертного опитування показав, що самими затребуваними виявилися напрямки:

- Стійка конструкція рухомого складу (кластер «Рухомий склад»).
- Безпека руху і особиста безпека пасажирів(кластер «Система як єдине ціле»).
- Технології для моніторингу шляху Рухомого складу та сумісність (Кластер «Інфраструктура»).
- Розробка нових матеріалів і технологій для інфраструктури (Кластер «Інфраструктура»).
- Нові матеріали і виробничі процеси для рухомого складу (Кластер «Рухомий склад»).
- Взаємодія в системі колесо-рейка (Кластер «Інфраструктура»).

Аналізуючи перші 6 напрямів досліджень, можна виділити закономірність з найбільшою концентрацією та затребуваністю напрямків в рамках наукових кластерів «Інфраструктура» та «Рухомий склад» (таблиця 1.1-1.2). Надійна і безпечна робота інфраструктури і рухомого складу - основа ефективного функціонування залізничного транспортного комплексу. При цьому можливості інфраструктури повинні відповідати можливостям рухомого складу, тому саме новий рухомий склад є драйвером інноваційного розвитку залізничного транспорту [2-3].

Отримані результати лише, загалом, здатні охарактеризувати тенденцію затребуваності наукових досліджень, так як кожен з напрямків можна в свою чергу розділити на піднапрями для їх уточнення.

Фрикційне взаємодія в системі «колесо-рейка» є головним процесом визначальним досягнення максимально можливих тягово-зчіпних якостей локомотива, від якого залежать найважливіші техніко-економічні показники: вагова норма поїздів, швидкість руху, витрата екіпірувальних матеріалів, знос контактуючих поверхонь, провізна здатність ділянок залізниць доріг, надійне гальмування, безпеку руху, витрата палива і електроенергії на тягу поїздів.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз різних факторів, що впливають на величину коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою

Досвід експлуатації залізниць і спеціально проведені дослідження [4-6] показують, що реалізуються локомотивами коефіцієнти зчеплення можуть змінюватися від 0,1 до 0,5 і значно відрізняться від розрахункових.

При аналізі причин, що призводять до значних коливань величин коефіцієнта зчеплення коліс з рейками, було встановлено, що істотний вплив на величину реалізованих коефіцієнтів зчеплення надає зміна фрикційних властивостей поверхонь тертя коліс і рейок, що залежать від безлічі різних зовнішніх факторів.

Аналізуючи результати проведених досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених, слід звернути увагу на те, що на величину сили зчеплення особливо помітно впливають фактори, представлені на рисунк 1.3.

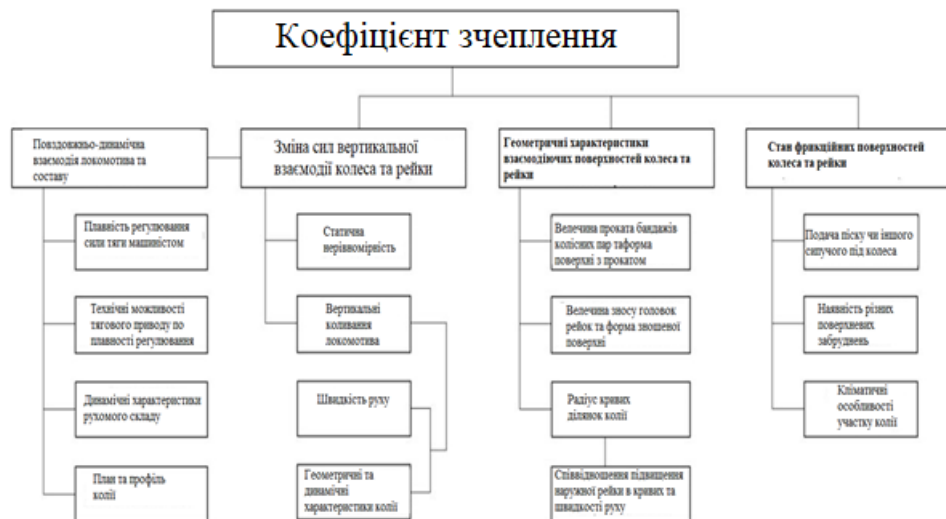
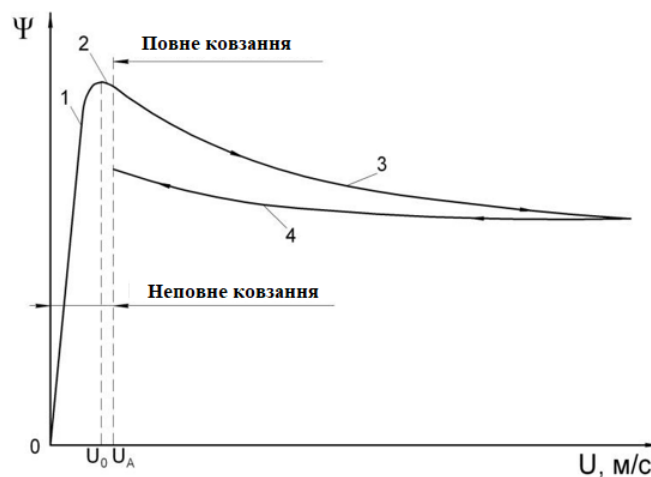


Рисунок 1.3 - Основні фактори, що визначають потенційні сили зчеплення коліс локомотива з рейками

Одним з найважливіших критеріїв при оцінці динамічних процесів при терті ковзання вважають функціональну залежність сили зчеплення Ψ від швидкості ковзання U , яку прийнято називати характеристикою зчеплення. Дана залежність приведена на рисунку 1.4 і може служити для визначення, як величини коефіцієнта зчеплення, так і оцінки його стабільності в процесі експлуатації без доведення коліс рухомого складу до боксування.

Прийнято розрізняти три гілки на цій залежності [7]: 1 - висхідна, відповідає неповного ковзанню і зі зростанням росте до свого максимального значення; 2 - проміжна, відповідає приблизно постійному (максимальному) коефіцієнту зчеплення. У цій зоні колесо знаходиться в стані нестійкої рівноваги, відповідному неповного ковзанню і досить незначного зміни крутного моменту або погіршення умов зчеплення, щоб виникло боксування або повне ковзання; 3 - падаюча, при значеннях $U \geq U_A$ ковзання стає повним, при подальшому збільшенні швидкості ковзання коефіцієнт зчеплення падає. У момент боксування перехід через максимум супроводжується стрибкоподібним зменшенням сили зчеплення за твердженням одних дослідників [8], а на думку інших [7, 9-11] - плавним переходом. Функціональна залежність $\Psi(U)$ визначається падаючої гілкою характеристики зчеплення.



1- висхідна гілка; 2 - проміжна гілка; 3 - падаюча гілка при збільшенні швидкості ковзання; 4 - падаюча гілка при зменшенні швидкості ковзання

Рисунок 1.4 - Залежність сили зчеплення від швидкості ковзання

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01MP.ПЗ

Контактують поверхні кочення коліс і рейок, працюючи в певному навколишньому середовищі, не є абсолютно чистими (рисунок 1.5) і завжди покриті поверхневими забрудненнями, які на 80-95% складаються з твердих речовин, і в меншій кількості, з води і мастильних матеріалів, які і визначають величину коефіцієнта зчеплення [12].

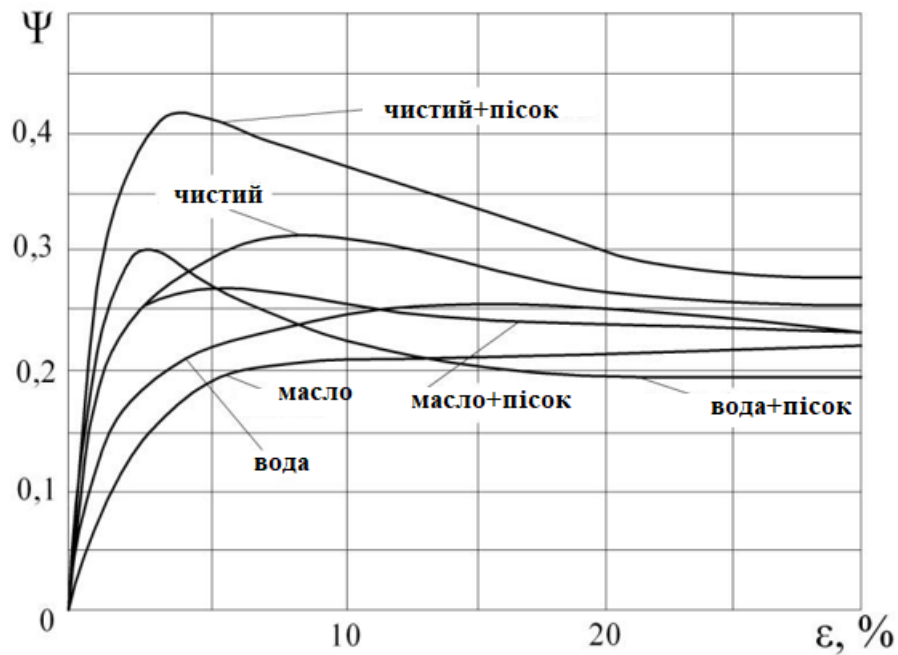
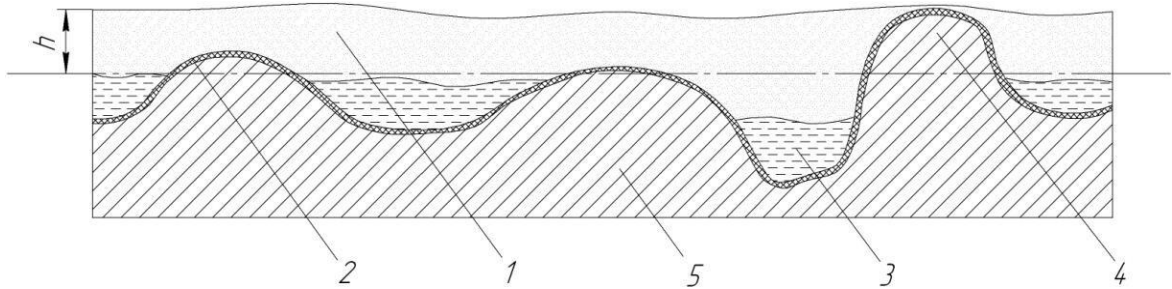


Рисунок 1.5 - Характеристика зчеплення при різних умовах контактування колеса з рейкою

Поверхневі забруднення утворюються частинками невизначеної форми з дуже розвиненою поверхнею і розмірами більшості частинок 1 ... 3 мкм. Товщина поверхневого шару забруднень неоднорідна по ширині доріжок тертя, при цьому більш тонкі шари (товщиною 1 ... 20 мкм) і з меншою кількістю мастильних речовин знаходяться в центральній частині доріжок катання коліс по рейках, а більш товсті (≥ 50 мкм) - по їх краях. Експериментальними методами було встановлено, що на центральній частині поверхні рейок основну частку забруднень складає залізо, алюміній, кремній і в незначних кількостях містяться кальцій, сірка,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ					

мідь, марганець, нікель. Поверхневі забруднення полідисперсні. Дуже часто виступи поверхні тертя коліс і рейок бувають вільними від мастила, а основна її маса зосереджується всередині поверхневого забруднення і в западинах поверхні (рис. 1.6).



- 1- дисперсний шар (тверді частинки продуктів зносу, пил і т.п.);
 2- оксидний шар; 3 - органичні забруднення; 4 - виступи поверхні тертя; 5 -
 основа поверхні тертя

Рисунок 1.6 - Схема шару поверхневих забруднень колеса або рейки

Відомо, що на властивості полідисперсних забруднень надають надзвичайно великий вплив різноманітні і численні фактори: кліматичні умови, стан погоди, пору року і час доби, мікроклімат залізничного полотна і характер вантажів, що перевозяться (нафта, різне паливо і мастила, і т.п.). Але найбільш істотний вплив на забруднення (стан) поверхонь контакту і, отже, на величину коефіцієнта зчеплення надають: навколишнє повітря; вологість повітря і атмосферні опади - пари і волога влітку, іній, сніг або лід взимку; мастило, жир і інші органичні речовини, що потрапляють на поверхні контакту; механічні забруднення мінеральними речовинами жухелицею, бруд, пил, продукти зносу гальмівних колодок і коліс, частки вантажу, що перевозиться і т.п. Перераховані найважливіші фактори, як правило, діють спільно, хоча ті чи інші з них зазвичай переважають.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ					

1.3 Вплив газів, вологості повітря та атмосферних опадів на зчеплення колеса з рейкою

Взаємодія контактуючих поверхонь з навколишнім середовищем визначається природою молекулярних сил і хімічною спорідненістю матерії.

Неврівноважений стан атомів кристалічної решітки на чистих поверхнях коліс і рейок призводить до того, що їх поверхневі шари вступають в молекулярне та хімічну взаємодію з газами навколишнього повітря, утворюючи на поверхні міцні, тонкі, невидимі для ока плівки. Взаємодія чистих сталевих поверхонь з газами відбувається надзвичайно швидко (шар утворюється за 0,05 с) і з плином часу товщина плівки збільшується до певних розмірів, потім її зростання сповільнюється зі збільшенням товщини [13].

Поверхневі плівки коліс та рейок значно знижують величину коефіцієнта зчеплення і чим товще плівка, тим більше значніше відбувається зниження. Однією з причин такого впливу є те, що механічна міцність адсорбованих плівок (оксидів) менше, ніж міцність основного металу, тобто наявність плівок адсорбованих газів або оксидів призводить до ослаблення сил тяжіння контактуючих поверхонь і, отже, ослаблення адгезії між ними. На рисунку 1.7 показана експериментальна залежність коефіцієнта тертя від товщини окисної плівки, отримана В.Є. Кемпбелл.

В абсолютному вакуумі коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою дорівнює кільком одиницям, що підтверджують досліди Боудена Ф.П., Хьюза, Шоу П.Є. і Ліві Е.В., які в вакуумі отримували величини коефіцієнтів тертя металів порядку декількох десятків одиниць [13].

Кількість вологи на рейках, що впливає на величину коефіцієнта зчеплення, не завжди помітно при візуальному спостереженні. Вплив вологи залежить не тільки від ступеня вологості повітря, але і від різниці температур рейки і навколишнього середовища. Якщо на поверхні головки рейки утворюється роса, то коефіцієнт зчеплення у всіх випадках знижується (0,2 і менше), навіть в тих випадках, коли рейок абсолютно чистий. Сприятливі умови зчеплення

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спостерігаються у перших поїздів в ранні ранкові години. Це явище пояснюється утворенням поверхневої рідинної плівки, яка настільки тонка, що чи не порушує контакт металу колеса і рейки, але, поглинаючи достатню кількість тепла, покращує зчеплення.

Результати роботи [14] при дослідженні характеру зміни коефіцієнта тертя на рейко-колійній машині між двома циліндрами, що моделюють взаємодію колеса з рейкою, з контролем відносної вологості повітря (P / P_s) і рівня відносного ковзання циліндрів, представлені на рисунку 1.8.

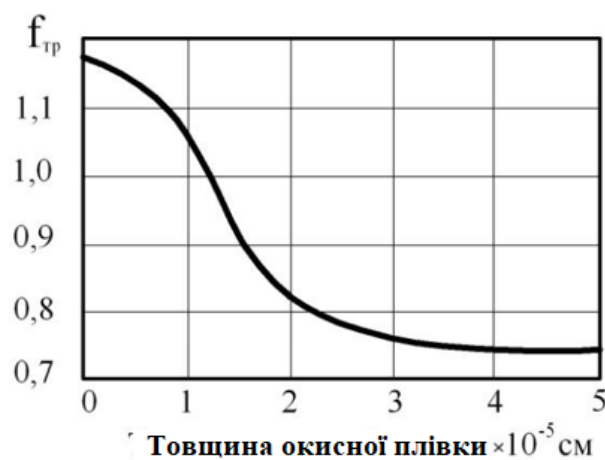
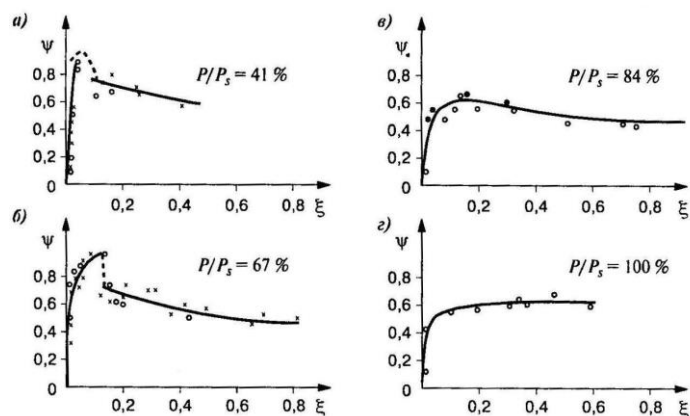


Рисунок 1.7 - Залежність коефіцієнта тертя від товщини окисної плівки на поверхні рейки



а - відносна вологість 41%; б - 67%; в - 84%; г - 100%

Рисунок 1.8 - Залежність коефіцієнта зчеплення циліндрів від відносної швидкості їх ковзання при фіксованій відносній вологості повітря (P / P_s)

Вони свідчать про те, що від ступеня зволоження поверхонь, що труться коефіцієнт тертя між ними здатний змінюватися як за величиною, так і за характером кривої. Особливо сильні зміни відбуваються при відносній швидкості ковзання $\xi < 1$.

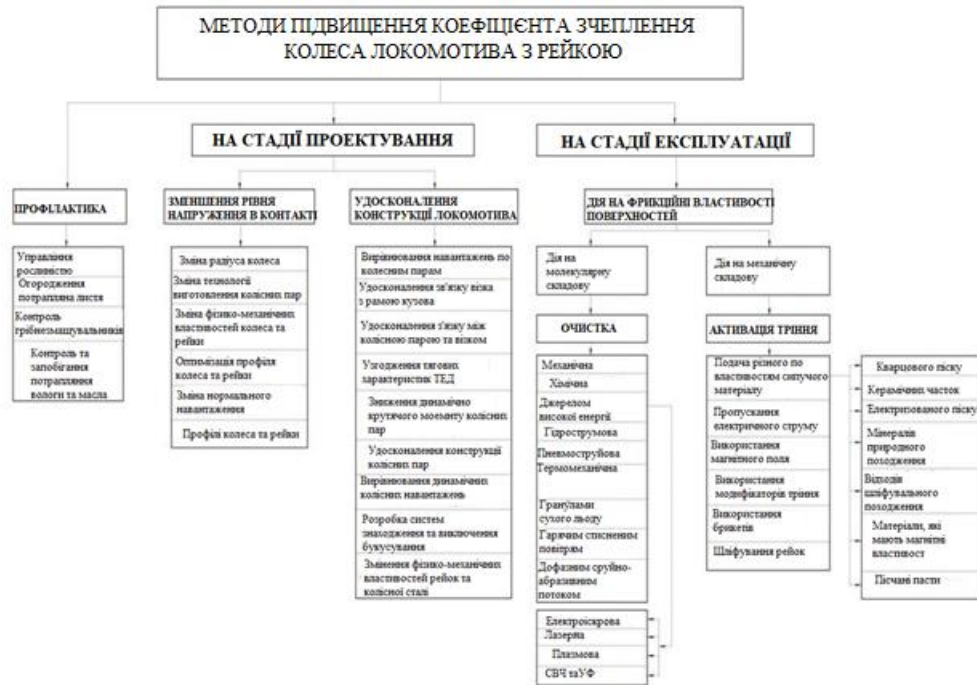


Рисунок 1.10 - Методи підвищення коефіцієнта зчеплення коліс локомотива з рейками

1.4 Застосування експертного оцінювання для прийняття технічного рішення при визначенні перспективних методів підвищення коефіцієнта зчеплення

При виборі подальшого напрямку дослідження необхідно визначити найбільш ефективний метод підвищення зчеплення коліс з рейками в експлуатації. Для правильного вибору потрібно оцінити кожен метод по представленим параметрам:

-ефективність очищення (прогнозований коефіцієнт зчеплення, якість

- чистоти поверхні);
- безпека застосування і експлуатації;
- дія на взаємодіючі поверхні (різні види зносу);
- швидкодію методу (необхідний час для досягнення стабільно- високого коефіцієнт зчеплення);
- енергоспоживання методу (електрична енергія, стиснене повітря і т.п.);
- вартість виготовлення і встановлення обладнання;
- складність модернізації існуючого обладнання (за існуюче, приймається пісочна система локомотива - як найбільш поширена).

У більшості випадків, тільки лише на основі аналізу джерел інформації одній людині важко з достатнім ступенем об'єктивності оцінити всі представлені методи, а то і просто виділити найбільш ефективні. В даний час рішення задач науково-технічного та економічного прогнозування свідчить про корисність звернення до експертних оцінок, які передбачають опитування експертів, аналіз літературних і експлуатаційних даних в цілях ранжирування всіх чинників за ступенем їх впливу на вихідну величину. Метод експертних оцінок широко використовується при прогнозуванні ефективності прийняття технічних рішень.

Скориставшись методом експертного оцінювання, проведене опитування компетентних експертів-фахівців в даній області знань: вчених дослідників (кафедра залізничного транспорту СНУ ім. В.Даля), інженерів-конструкторів (ПАТ «Крюковський вагонобудівній завод»),. Найбільш ефективними способами роботи з експертами вважаються інтерв'ювання та анкетування. У роботі був обраний другий спосіб, який дає можливість експертам не тільки глибоко зосередитися на розв'язуваній проблемі, а й додатково вивчити подану проблему і способи її вирішення. Тому експертам пропонувалося заповнити складену анкету (додаток А, таблиця А.1), в якій перераховані методи підвищення зчеплення коліс з рейками,

У процесі експертного опитування анкета була доповнена думками експертів, а результати анкетування в подальшому будуть служити вихідною інформацією для бази даних з даного питання.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Вибір шкали оцінок відноситься до найбільш важливого завдання в загальній процедурі експертних оцінок. Вона полягає у вирішенні двох підзадач: вибору форми вираження оцінки та вибору способу її формування. При анкетуванні експертів використовувалася бальна шкала, що дозволяє оцінити об'єкт в безрозмірних одиницях (балах) і характеризує корисність об'єкта з точки зору експерта. Кожен фактор (метод) пропонувалося оцінювати за десятибальною шкалою (найвища оцінка 10, нижча 1) в залежності від ступеня його важливості.

З метою забезпечення достатньої гнучкості і зручності у використанні і обчисленні, при проведенні експертного аналізу, створена автором комп'ютерна програма для сучасної комп'ютерної техніки

«Прийняття рішень у задачах залізничного транспорту з використання методу експертних оцінок» (свідоцтво про реєстрацію авторського права №45058) [12]. Робота створеної комп'ютерної програми і методика визначення перспективних методів підвищення коефіцієнта зчеплення із застосуванням експертного оцінювання. За результатами проведеного розрахунку ваги кожного фактора W_i побудована діаграма рангів (рисунок 1.11).

Таким чином, використання методу експертних оцінок необхідно при вирішенні складного завдання оцінювання та вибору технічних пристроїв підвищення зчеплення колеса з рейкою, а також при прийнятті рішень в представленій проблемі, де необхідно залучення знань, інтуїції, досвіду багатьох компетентних і висококваліфікованих фахівців-експертів.

Проведений аналіз отриманих результатів експертного оцінювання показав, що найбільш ефективним є метод підвищення коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою двофазним струменево-абразивним потоком.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакту, який головним чином обумовлений погодно-кліматичними умовами і характером поверхневих забруднень.

Аналіз світового досвіду щодо методів підвищення коефіцієнта зчеплення, дозволив доповнити їх класифікацію новими і перспективними методами. Детальне вивчення кожного методу дало можливість визначити їх переваги і недоліки, що стало основною інформацією при розробці нового методу підвищення зчеплення коліс локомотива з рейками.

Визначено напрямок підвищення зчеплення колеса з рейкою за рахунок САВ на взаємодіючі поверхні колеса і рейки, де абразивний матеріал під дією стисненого повітря з високим прискоренням діє як очищає засіб, впроваджується в поверхневий шар, здійснює очистку і усунення поверхневих забруднень.

У роботі використаний метод експертних оцінок для визначення перспективних методів підвищення коефіцієнта зчеплення, заснований на використанні прикладної математичної статистики і створеної автором комп'ютерної програми. Аналіз отриманих результатів експертного опитування показав, що найбільш ефективним є запропонований автором метод підвищення коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою САВ на їх взаємодіючі поверхні (фактор 14, ранг 0,08). Велику популярність у експертів має подача піску (фактор 1, ранг 0,076), використання модифікаторів тертя (фактор 17, ранг 0,074) і подача електризуватися абразивного матеріалу (фактор 3, ранг 0,073).

На підставі зроблених висновків, обраний напрямок проведення досліджень і сформульовані завдання магістерської роботи:

розробити багаторівневу модель впливу двофазного потоку абразивних частинок на поверхні колеса і рейки, яка включає в себе: імітаційну модель руху абразивного матеріалу, математичну модель контактування одичної абразивної частинки з поверхнею рейки, математичну модель тертя поверхонь колеса і рейки при САВ;

за результатами планування експерименту дослідити процес двофазного САВ на поверхні тертя і отримати залежність коефіцієнта тертя від параметрів, які впливають на цей процес, визначити їх ступінь впливу;

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експериментально та теоретично довести і обґрунтувати доцільність використання нового способу САВ для підвищення зчеплення за рахунок ефективності очищення взаємодіючих поверхонь колеса і рейки і зниження опору руху в порівнянні з традиційним способом подачі піску;

провести експериментальні випробування і надати оцінку ефективності розробленого способу підвищення коефіцієнта зчеплення за рахунок САВ;

розробити рекомендації і технічні рішення щодо поліпшення зчіпних якостей локомотива за рахунок створення системи САВ і модернізації пісочної системи;

розробити адаптивну систему подачі абразивного матеріалу з повторенням траєкторії руху колеса по рейці і зміною продуктивності за рахунок імпульсної подачі.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКСПЕРТГОГО ОЦІНЮВАННЯ

Найбільш ефективні методи оптимізації фрикційного взаємодії колеса з рейкою представлені на рисунку 2.1.

К методам збільшення коефіцієнту зчеплення відноситься очищення (механічне, хімічне, гідроструйне, сухим льодом, пневмо-імпульсне, джерелом високих енергій: лазерне, НВЧ і УФ, плазмове) та активація тертя (електричним струмом, магнітним полем, подача сипучих матеріалів: кварцового піску, керамічних частин). В свою чергу к методам зниження тертя у контакті реборда колеса рейка – нанесення мастильних матеріалів (рейка колеса), антифрикційні покриття (покриття на базі мінеральних порошків, полімерні антифрикційні матеріали).

З рисунку 2.2 можна зробити висновки, перше завдання оптимізації фрикційного взаємодії колеса з рейкою (забезпечення стабільно високого коефіцієнта зчеплення в зоні контакту колеса з рейкою) може бути вирішене двома способами - очищенням поверхонь, що контактують від забруднень або введенням в зону контакту різних речовин (активаторів).

Ці завдання зводяться до керування поверхневим шаром, як основного фактору, який безпосередньо впливає на процеси, що протікають при терті колеса по рейці. Основні параметри якості поверхневого шару представлені у вигляді схеми на рисунку 2.2.

На межі розподілу двох середовищ (метал-метал) існує надлишок вільної енергії. Тому, керування процесами у контакті колеса з рейкою зводиться до управління поверхневою енергією, завдяки якій можна змінювати стан поверхневого шару і впливати на процес зчеплення.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

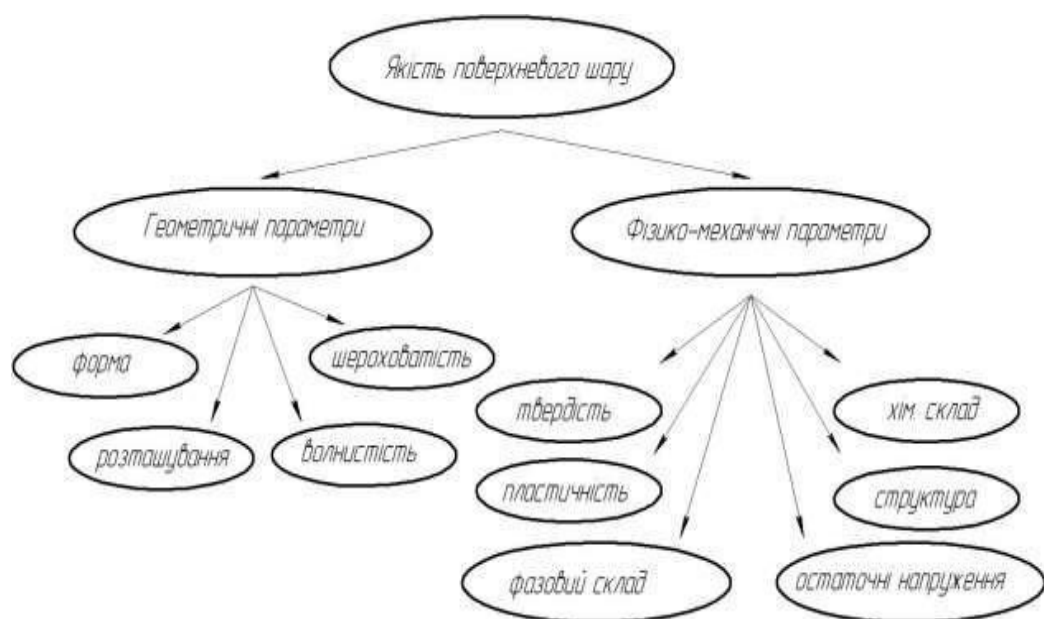


Рисунок 2.2 – Параметри якості поверхневого шару

Наведемо основні методи оптимізації фрикційного взаємодії колеса з рейкою.

2.1 Механічне очищення

Механічне видалення з робочої поверхні головок рейок (колес) забруднень відбувається за допомогою спеціальних пристроїв, розташованих попереду рухомого екіпажу [17, 18, 19, 20].

Спеціальні пристрої являють собою встановлені під деяким кутом до поздовжньої осі рейки скребки, що обертаються металеві щітки або ножі для очищення нижньої поверхні головки рейки, що дозволяють здійснювати притиснення їх до поверхні рейок безпосередньо з кабіни локомотива. Також може застосовуватися пристрій, який дозволяє за допомогою спереду рухомого складу гумового ролика видаляти надлишкову вологу, що знаходиться на рейках. Зазвичай ці пристрої виконувалися у вигляді встановлених під деяким кутом до поздовжньої осі рейки скребоків або металевих щіток, що дозволяють здійснювати притиснення їх до поверхні рейок безпосередньо з кабіни локомотива.

Відомі випадки використання пристроїв для механічного очищення рейок на причіпному рухомому складі. Знизу на пружних підвісках вагона (рисунок 2.3) прикріплюється змінна платівка з очищує губчастим матеріалом. Під дією пружинок платівка притискається до рейки і очищає його поверхню катання від пилу та бруду.

Експлуатаційної перевіркою роботи пристроїв для механічної очистки рейок на вітчизняних і зарубіжних дорогах виявлено низький ступінь очищення, можливість їх застосування в обмеженому діапазоні швидкості руху (не вище 15-20 км / ч) і мала надійність щодо безпеки руху поїздів. Крім того, застосовувалися раніше пристрою механічної очистки мають властивості акумулювати на собі поверхневі забруднювачі, в результаті чого вони стають нездатними забезпечити повноцінний процес механічного очищення.



Рисунок 2.3- Вагон 2-вісний для очищення рейок механічним способом

недоліки:

- невисока ступінь очищення;
- властивість акумулювати на собі поверхневі забруднення;
- низька швидкодія (можливість використання в обмеженому діапазоні швидкості руху до 15-20 км / ч) [21, 22];
- мала надійність в відношенні безпеки руху поїздів,

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідність підтримки пристроїв в працездатному стані;

- є вельми трудомісткою і не завжди ефективною, так як адсорбовані плівки майже неможливо механічно видалити.

переваги:

не вимагає складного і дорогого обладнання.

2.2 подача гарячого повітря

Відомий спосіб та пристрій для підвищення зчіпних властивостей локомотива, що містить розташовані попарно у кожного колеса форсунки переднього і заднього ходу для подачі в момент початку боксування колеса з рейкою стисненого повітря та піску.

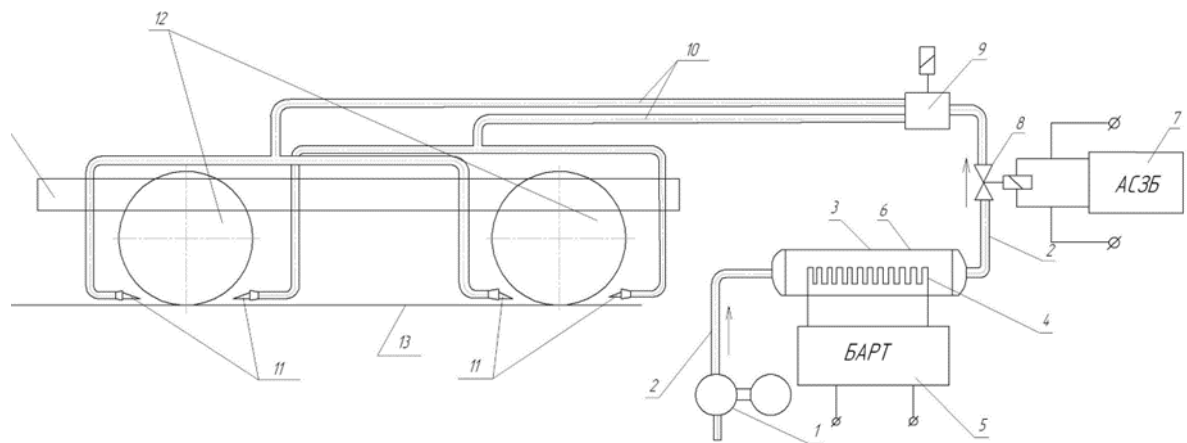


Рисунок 2.4- подача гарячого повітря в зону контакту колесо-рейка

Досягається це тим, що в момент початку боксування колеса та рейки здійснюють подачу повітря в зону їх контакту зі швидкістю та температурою, при яких виключається боксування між ведучим колесом та рейкою, при цьому подачу повітря здійснюють із сопла форсунки зі швидкістю не менш 85 м/с та його температурою, що дорівнює $+375^{\circ}\div 430^{\circ}\text{C}$, а перепад тиску в соплі форсунки на вході та виході з нього забезпечують 5-15кгс/см²), що виключають боксування (рисунок 2.4).

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваги:

- зменшення зносу коліс і рейок;
- зниження експлуатаційних витрат (піску).

недоліки:

- великі енерговитрати (на нагрів повітря, що подається);
- нестабільність в збільшенні коефіцієнта зчеплення при різних негативних факторах.

2.3 Пневмо-гідроочищення

Деяке підвищення зчеплення коліс з рейками спостерігалось при обмивання рейок гарячою водою з наступною обдування їх сухим повітрям [14]. Пневмоочистку застосовують дуже рідко для видалення з рейок пилу і снігу - перед крайніми колісними парами швейцарських електровозів серії Re 4/4, розміщені по дві трубки, одна з яких служить для попередньої, а друга для чистої очищення поверхні рейки [16].

На державних залізницях Німеччини (DBAG) застосовують модульні установки для очищення водою під тиском. Поряд з агрегатом подачі води під тиском ця система має відсмоктує агрегат, який збирає насичену частинками мастильної плівки водяний пил (рис. 2.5). Забруднену воду, що накопичується в спеціальному баку, зливають в систему водоочищення.

Прийнятну якість очищення досягається при робочій швидкості 40 км / год, що створює перешкоди для руху поїздів, наприклад, на лініях міської залізниці.

Випробування, проведені у Великобританії, показали, що навіть при порівняно високому тиску рідини (до $5,6 \times 10^7$ Па), не дивлячись на видалення листя з поверхні рейок, коефіцієнт зчеплення зменшувався. Це обумовлено тим, що через тих, що були на рейках звичайних забруднень потрапляння води призводило до погіршення умов зчеплення. Додавання в воду абразивних матеріалів сприяло поліпшенню зчеплення. У Великобританії експлуатуються кілька поїздів, які

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.150217.000.01MP.ПЗ

виробляють очищення рейок комбінованим способом: водою в поєднанні з механічним очищенням за допомогою дротяних щіток або дерев'яних брусків.

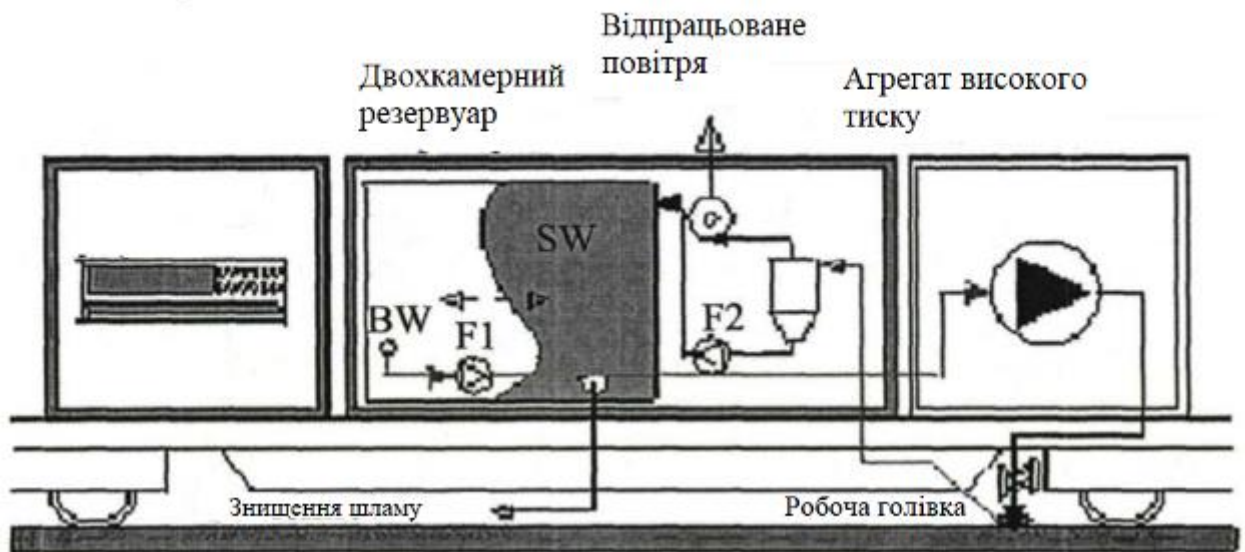


Рисунок 2.5 - Установка для очищення рейок водою під тиском: BW- чиста вода; SW- забруднена вода; F1, F2 — насоси

переваги:

- дешевизна і доступність, зменшення зносу коліс і рейок.

недоліки:

- низька швидкодія (найбільша ефективність при швидкості до 10 км / год і при подачі піску);
- зниження ефективності очищення рейок за рахунок залишків на них водо масляної емульсії;
- негативний вплив (даний метод сприяють посиленою корозії рейок);
- необхідність встановлення обладнання для зберігання і нагрівання води.

2.4 Хімічне очищення

Хімічні способи очищення [5, 14] з використанням розчинів різних ефірів, ацетону, бензолу, деяких кислот, хімікатів мають в своєму складі кварц, засновані

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ				

на швидкому хімічній взаємодії подаються на рейки хімікатів і органічною складовою забруднень. Так само запропоновано пристрій і спосіб для збільшення зчеплення колеса з рейкою [24, 25], яке полягає в тому, що рідина перед нанесенням на рейки обробляють ультразвуковим випромінюванням і доводять її до стану кавітації, і в цьому стані подають на поверхню рейок. Обробку рідини здійснюють ультразвуковими коливаннями з частотою 18-20 кГц при звуковому тиску $1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$ протягом 0,1-10 хв.

При хімічному очищенню рейок істотною часткою забруднень рейок, різко знижують коефіцієнт зчеплення, є їх органічна складова у вигляді адсорбованих плівок мастила і жирних кислот, добре взаємодіють з деякими хімічними розчинниками. В силу цього на ряді залізниць були проведені випробування різних способів хімічної очистки рейок.

В умовах експлуатації ефект від застосування розчинників для очищення поверхні рейок залежить як від ступеня забруднення рейок, так і від типу локомотива і стану колії. В силу цих причин отримані суперечливі результати дослідів [52, 73, 78 - 80]. Крім того, для ефективної хімічної обробки поверхні рейок потрібен тривалий час; необхідно повторення її після проходу двох - трьох поїздів. Така обробка покращує загальний стан поверхні рейок, але не виключає випадків боксування локомотивів через можливість утворення місцевого забруднення вже незабаром після виробництва очищення. Все це обмежує її практичне використання.

Підвищення коефіцієнта зчеплення коліс з рейками [26] досягається нанесенням на поверхні тертя речовини, що зв'язує при випаровуванні частки шару забруднень між собою і з поверхнею тертя.

переваги:

- можливе збільшення коефіцієнта зчеплення в порівнянні з піском (при нанесенні певної речовини або ефективної його подачі);
- зниження механічного зносу коліс і рейок в порівнянні з подачею твердих

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

абразивних речовин;

можливість комбінувати даний метод з іншими

недоліки:

- низька швидкодія (максимальний ефект поліпшення зчіпних властивостей проявляється через один-два тижні після нанесення реагенту);
- надає змазує вплив на рейок;
- нерівномірність збільшення коефіцієнта зчеплення по довжині обробленої ділянки шляху;
- необхідність регулярного повторення процесу після проходу кожних двох-трьох поїздів;
- досить невідпрацьований і недосконалий метод на даний момент;
- трудомісткість виготовлення комбінованих розчинів і витрати на необхідні хімічні речовини.

2.5 Термомеханічна очищення пригальмуванням

Пригальмування рушійних коліс локомотивів застосовується в зимовий період часу як профілактичний захід для очищення бандажів перед затяжними підйомами, але також його стали використовувати в роботі протибоксовочних систем [27]. Гальмівними колодками впливають на колісну пару протягом 20 сек і більше, при цьому проводиться очищення поверхні кочення бандажів з певним їх нагріванням, що підвищує зчеплення.

Термомеханічна очищення бандажів підгальмуванням є досить поширеним прийомом, використовуваним локомотивними бригадами, хоча і небажаним з точки зору зносу бандажів, рейок і гальмівних колодок. Крім того, слід зазначити, що протибоксовочне пригальмування вимагає використання на локомотивах високочутливих систем виявлення боксування, збільшує тривалість роботи гальмівного компресора і пов'язане з постійною необхідністю підтримки гальмівної системи локомотивів в хорошому технічному стані. Не можна також допускати використання зношених гальмівних колодок. При цьому збільшується

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час, необхідний для притиснення колодки до бандажу, і боксуюча вісь може придбати таку швидкість руху, що відновити зчеплення легким підгальмуванням виявиться неможливим.

переваги:

- відсутність витрат піску або інших речовин;
- відсутність необхідності установки додатково обладнання для очищення.

недоліки:

- знос коліс і гальмівних колодок;
- додаткові витрати на обладнання (противобоксовочного пригальмовування вимагає використання на локомотивах високочутливих систем виявлення боксування);
- необхідністю підтримки гальмівної системи локомотивів в хорошому технічному стані, не допускається використання зношених гальмівних колодок;
- очищення колеса об гальмівну колодку не очищати рейок, який може бути покритий поверхневими забрудненнями.

2.6 Очищення джерелами високих енергій

Електроіскрове очищення.

Електроіскровий спосіб очищення обумовлює високотемпературне вплив на контактуючі поверхні колеса або рейки, завдяки чому досягається висока ступінь їх очищення від усіх забруднень, включаючи і адсорбовані плівки газів, які є однією з причин зниження коефіцієнта зчеплення. Металографічне дослідження робочих поверхонь показало, що при електричному впливі відбувається утворення на обробленій поверхні тонкого шару мартенситу з перехідною зоною змішаної структури. Разом з тим недостатньо міцний зв'язок мартенситових включень з основним металом бандажа і рейки призводить до викришування їх при терті, а розвиток пластичної деформації при впровадженні мікровиступів - до схоплювання

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхонь з глибинним вириванням металу. В результаті зростає знос контактуючих тіл, який в умовах описуваних випробувань виявився на 50% вище, ніж в разі кочення роликів, які не оброблених електроіскровим способом. Крім того, необхідно враховувати вплив швидкості руху локомотива, т. К. При використанні електроіскровий очищення поверхні кочення бандажів і рейок тривалість імпульсів робочого струму при малій швидкості може зрости, створивши передумови для виникнення значних структурних змін оброблюваних поверхонь.

Були спроби підвищувати коефіцієнт зчеплення шляхом створення в зоні контакту колеса з рейкою сильного електромагнітного поля [85 - 87]. В результаті чого було досягнуто збільшення коефіцієнта зчеплення приблизно на 20%, але пропонована система виявилася складна, а додатковий витрата міді (3 - 4 т на локомотив) підставив під сумнів можливість її широкого впровадження.

переваги:

- висока ефективність (зростання коефіцієнта зчеплення з 0,1-0,2 до 0,6 0,7 і вище [17]).

недоліки:

- недостатньо міцний зв'язок мартенсітових включень з основним металом колеса або рейки призводить до викришування їх при терті;
- розвиток пластичної деформації при впровадженні мікроступів призводить до схоплювання поверхонь з глибинним вириванням металу;
- знос контактуючих тіл, який в умовах проведених випробувань [28] виявився на 50% вище, ніж в разі кочення тіл, котрі оброблених електроіскровим способом;
- використання рейки як зворотний провід викликало електроерозійне пошкодження його робочої поверхні, що виявляється в розпиленні і вигорянні окремих мікрооб'ємів металу;

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необхідність використання декількох електродів, забезпечення стійкої і рівномірної роботи яких при харчуванні від одного джерела струму представляє відомі труднощі;
- складність конструкції системи (необхідність враховувати вплив швидкості руху локомотива на тривалість імпульсів струму [29]);
- дуже низька швидкодія (близько 3 км / год);
- висока вартість потужних установок;
- наявність таких явищ як шум, перешкоди в рейкових і телефонних ланцюгах, радіо- і акустичних перешкод, здатних порушити нормальне функціонування радіорелейного зв'язку;
- необхідність малого повітряного проміжку між електродом і рейкою, що не перевищує 10 мм.

Плазмове очищення

Одним з перспективних способів підвищення коефіцієнта зчеплення вважається плазмова очищення [30] рейкового шляху перед проходженням поїзда, а також очищення поверхні рейки, охолоджувальної плазмової аргано-водневої пальником. З цією метою на локомотиві встановлюються два генератора низькотемпературної плазми (плазмотрона), що живляться від джерела електричного струму. Проведені лабораторні дослідження плазмових генераторів дозволили встановити принципову можливість використання плазми для зняття антифрикційних покриттів з робочої поверхні рейки, що погіршують зчеплення локомотива.

переваги:

- збільшення коефіцієнта зчеплення приблизно на 0,1-0,2 [30].

недоліком такого методу є більшу кількість вимог до плазмотронів, а саме:

- плазмотрони повинні володіти широким діапазоном регулювання

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності і високим ККД;

- наявність дизель-генераторних установок;
- підтримання постійного зазору між пальником і поверхнею рейки;
- обов'язкове рідинне охолодження;
- робочим ресурсом, відповідним міжремонтному пробігу локомотива;
- працювати на недефіцитним газі;
- бути технологічними у виготовленні, простими в обслуговуванні і експлуатації;
- мати високу вібростійкість і надійно протистояти іншим факторам механічного впливу;
- неефективні на високих швидкостях (понад 30 км / год).

Лазерне очищення.

Ідея використовувати лазер для очищення рейок з'явилася у англійського інженера Малкольма Хіггінса в 1999 р Після підготовчих досліджень створення пристрою почалося в 2001 р Разом з заснованої Хиггинсом компанією «LaserThor» в роботі брали участь Фраунгоферовський інститут лазерних технологій і Еплтонська лабораторія Резерфорда. В остаточному варіанті Laser Railhead Cleaner використаний неодимовий лазер (Nd: YAG) з довжиною хвилі 80 нм і потужністю 1 кВт. Разом з системою охолодження установка важить 500 кг. Споруда двох таких пристроїв обійшлася компанії Network Rail в 2,7 мільйона доларів США.

Лазерна очищення рейки, полягає в напрямку імпульсного випромінювання високої інтенсивності на поверхню рейки для руйнування забруднень з його поверхні. На базі великого обсягу проведених експертиз в області потужних імпульсних лазерів Фраунгоферовський інститут лазерної техніки (ILT) спільно з британською компанією Laserthor розробили такий лазер з діодним накачуванням і робочою оптикою на базі волоконної техніки. При очищенні утворилася плівку забруднень локально розігрівають до температури, що перевищує поріг випаровування, не піддаючи при цьому основний матеріал термічному впливу.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

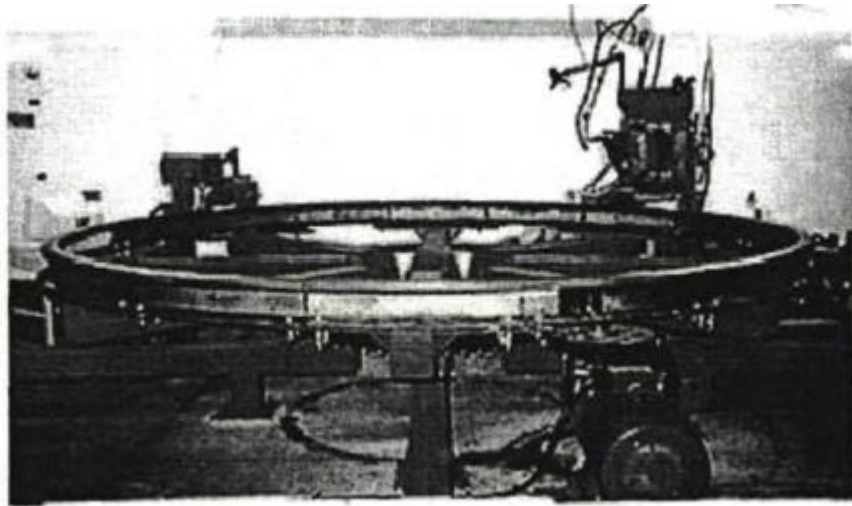


Рисунок 2.6 - Лазерний випробувальний стенд в Бістер

В даний час головка рейки осушується і відчищається при швидкості 13 км / ч. Лазерні технології по темпу розвитку йдуть в ногу з мікропроцесорними, де обчислювальна потужність приблизно подвоюється кожні 1,5 року, і це дає розробникам підстави розраховувати на те, що в найближчому майбутньому поставлені завдання будуть вирішені.

Слід зазначити, що лазер становить певну небезпеку, і на промінь інфрачервоного лазера можна дивитися без спеціальних окулярів, потрібно блокування дверей машинного відділення під час роботи лазера. Виникає необхідність захисту оптичної частини лазерного пристрою від вібрацій і ударів.

переваги:

- плівка видаляється майже без шкоди для основного матеріалу ;

недоліки:

- необхідна відносно висока швидкість очищення, приблизно рівна 60 км / год;
- фокусує пристрій повинен бути компактним і відповідати вимогам

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідної механічної міцності в зв'язку з розміщенням його поблизу головки рейки;

- для забезпечення оптимальної якості очищення необхідне одночасне дію кількох лазерів з потужністю в імпульсі 100 кВт;

Обробка СВЧ і УФ-випромінюванням

На поверхні контакту колеса і рейки подається потік електромагнітної енергії регульованою надвисокої частоти від $3 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^{10}$ Гц, при цьому на контактні поверхні рейок додатково впливають потоком регульованого ультрафіолетового випромінювання частот від $3 \cdot 10^{13}$ до $3 \cdot 10^{14}$ Гц. Це призводить до руйнування структур забруднення рейки, а також видалення вологи з зони контакту.

переваги:

- значне підвищення зчеплення від 0,2 до 0,6-0,7.

недоліки:

- дорожнеча методу;
- складність налагодження (настройки) даного методу;
- електромагнітне випромінювання може негативно впливати сигнали, передаються по рейковому колу;
- можливе застосування при стійкій сухій погоді.

Дія електричного струму і магнітного поля

Робилися способи поліпшення фрикційних характеристик пари тертя «колесо-рейка» за рахунок впливу на контакт електричного струму і магнітного поля. Ковзаючи контакти і колісні пари забезпечені електричною ізоляцією від інших елементів конструкції візка локомотива. Це дозволяє впливати електричним струмом на зони контакту буксуючої провідної колісної пари і та рейок і таким чином підвищити їх коефіцієнт зчеплення, що забезпечує припинення буксування без зниження сили тяги локомотива

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Подача різного за властивостями сипучого матеріалу

Подача піску.

Найпоширенішим способом підвищення зчеплення колеса з рейкою є подача кварцового піску під колеса локомотива (рисунок 2.8).

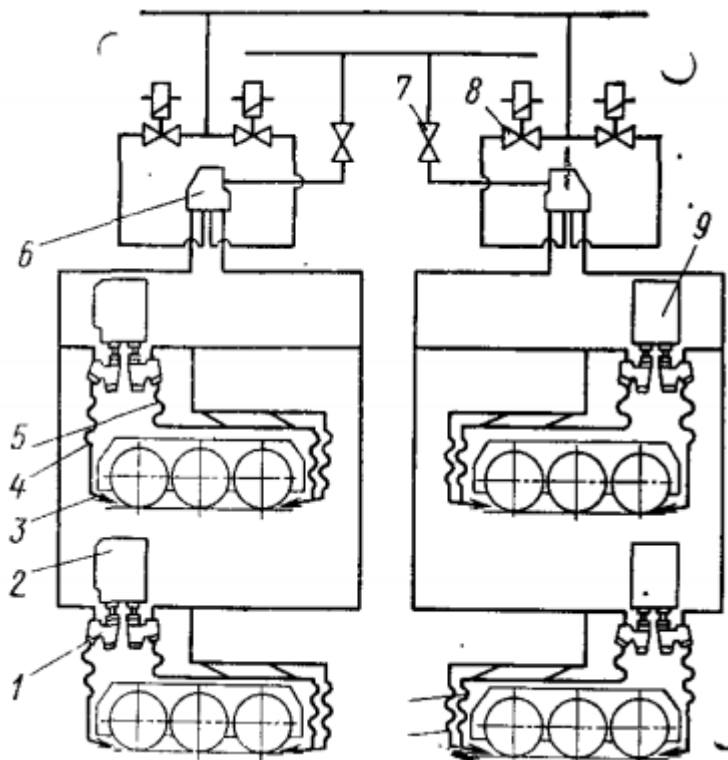


Рисунок 2.8 – Принципова схема піскоструминної системи:

- 1 – форсунка, 2 – передній бункер; 3 – наконечник; 4, 5 – шланги;
6 – повітродозподільник, 7 – роз'єднувальний кран; 8 – електропневмовентиль; 9 – задній бункер

Дослідження ЦНДІ показали, що максимальна кількість піску, що подається в контакт колеса з рейкою для ефективного зчеплення, має становити 0,6-1 кг/хв. Подача піску не повинна перевищувати 1,5-1,6 кг/хв для електровозів і 50% цієї кількості - для тепловозів, враховуючи неминучі втрати піску від бічного вітру, а

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також імпульсну роботу пісочниць. При збільшенні швидкості руху локомотива від 6 до 20 км/год кількість піску слід збільшувати на 20-30%. Найбільший ефект у підвищенні тягового зусилля досягається застосуванням піску з розмірами зернин 0,1-0,3 мм. [32].

переваги:

- доступність і дешевизна.

недоліки :

- надмірна і неконтрольована подача піску (рисунок 2.6, а) знижує ефективність його застосування (найбільший ефект досягається при подачі піску в один шар), а так само викликає забруднення баластної призми, рейкошпальної решітки та деталі рухомого складу. За даними [20], кількість піску, що не потрапило в зону контакту колеса з рейкою, представляє в середньому від 20 до 60% від загальної кількості подаваного піску;

- збільшення опору руху проходить складу на 12-20%, що особливо помітно при проході кривих ділянок колії, де наявність залишків піску на рейках (рисунок 2.6 б) ускладнює поперечне переміщення вагонних коліс і перешкоджає вільній установці візків вагонів у напрямку кривої, що безпосередньо впливає на витрату паливно-енергетичних ресурсів, так як на процес дроблення піску витрачається 2,5-3% тягової енергії локомотива;



а)

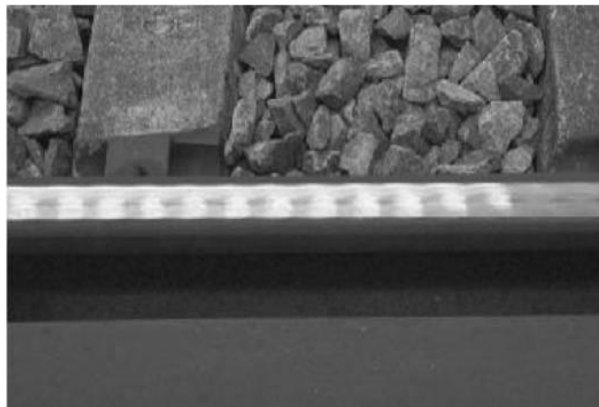


б)

Рисунок 2.9 - Процес подачі (в експлуатації) піско-повітряної суміші (а), залишок піску рейках після проходження останнього вагона (б)

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підвищений знос і пошкодження рейок і коліс локомотива у вигляді дефектів № 14 (пробуксовка рейок колесами локомотивів) і № 40 (хвилеподібна деформація головки рейки - короткі хвилі), (рисунок 2.7), згідно з нормативно-технічному документу НТД / ЦП-1 93;



а)

б)

а - дефект № 14; б - дефект № 40

Рисунок 2.10 - Види дефектів через надмірну подачі піску

- в разі подачі піску під час проходження локомотивом стрілочного переводу, надлишок піску засмічує проміжок між дотепним і рамною рейкою, порушуючи тим самим нормальне функціонування переказного механізму, що не тільки збільшує витрати колійного господарства на його очищення, а й негативно позначається на безпеці руху поїзда особливо на швидкісних магістралях;

- неефективність роботи і підвищені витрати абразивного матеріалу в зв'язку з тим, що кріплення наконечника з трубопроводом на рамі візка (рисунок 2.3, а) не забезпечує постійне положення його відносно колеса (рама візка переміщається щодо колісної пари в поперечному напрямку на 140-170 мм) і подачу абразивного матеріалу безпосередньо в зазор між поверхнею доріжки кочення колеса і поверхнею головки рейки так, як візок виконує складну траєкторію руху (вильання коліс щодо рейкового полотна);

- неточна подача піску призводить до засмічення пружних прокладок між

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

0032.150217.000.01МР.ПЗ

баласту щодо відведення вологи, що тягне за собою значні матеріальні витрати для колійного господарства;

- виділення конденсату в снігову вологу погоду в сталевих трубопроводах і наконечниках, що при мінусовій температурі навколишнього середовища викликає його намерзання всередині, перешкоджаючи нормальному функціонуванню пісочної системи. Це вимагає довгого і трудомісткого ремонту, який виконується слюсарями за допомогою паяльних ламп і простукування молотком, викликаючи появи вм'ятин і дефектів . При цьому, слюсарі через трудомісткою роботи не мають можливості в відведений час привести в працездатність все елементи пісочної системи локомотива надійшов на ТО;

- низька швидкодія попадання абразивного матеріалу в необхідну зону контактуючих поверхонь, обумовлено значною відстанню розташування бункера з абразивним матеріалом і форсунками від вихідного перетину наконечника, а також довгої трубопроводів. Це явище стає вирішальним при спрацьовуванні противбоксовочної системи, коли миттєва і своєчасна подача абразивного матеріалу дозволить попередити можливий розвиток процесу боксування без скидання позиції контролера машиніста;

- швидкий витрата піску призводить до необхідності частіше повторювати екіпіровку локомотива на спеціальних пунктах, що пов'язано з втратами часу і додатковою витратою ресурсів;

- надмірне і інтенсивний початок подачі піску часом призводить до різкого зростання зчеплення коліс з рейками, а, отже, різкого зростання навантаження на тягові двигуни [47]. Це явище викликає ривки в тязі і може привести до відключення тягових двигунів з боку захисту, налаштованої на відключення двигунів при їх перевантаженні. Дане явище особливо небажано на підйомах, оскільки може привести до зупинки складу і виникненню проблеми його зворушення в цих умовах;

- зайвий пісок на рейках знижує електричний контакт колісних пар з рейкою [47]. Це може послужити причиною відсутності сигналу про зайнятість шляху при

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зупинках складу, що дуже небажано з точки зору безпеки;

- трудомісткість виготовлення і технологічної обробки суцільнолитих форсунок і зварних бункерів для абразивного матеріалу;
- негативний вплив на екологію і організм людей, які обслуговують локомотив, так як розмелені частки піску настільки дрібні, що знаходяться тривалий час в підвішеному стані в атмосфері.

У зв'язку з перерахованими недоліками питань найбільш ефективною подачі піску і пошуку йому альтернативи, вільної від властивих піску недоліків, вже тривалий час приділяється велика увага. Розглянемо деякі перспективні варіанти використання піску та інших сипучих матеріалів.

Подача керамічних частинок.

Компанія Tess (Японія) випускає інноваційну систему Cerajet System призначену для запобігання боксування, забезпечуючи рівномірне надходження і розподіл по поверхні катання рейки частинок твердої кераміки.

переваги:

- необхідність меншої кількості керамічних частинок, ніж піску на третину.

недоліки:

- наявність зносу коліс і рейок;
- висока вартість керамічних частинок в порівнянні з піском;
- відбувається засмічення верхньої будови колії;
- зростання опору руху.

Подача матеріалу, що володіє магнітними властивостями.

Абразивний порошок, що володіє магнітними властивостями [49, 50] подається в зону контакту за допомогою магнітних сил, що здійснюють не тільки розподіл, але і частковий збір відпрацьованого порошку з тим, щоб використовувати його багато разів.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваги:

- ефективне підвищення зчеплення (як при подачі піску);
- можливість часткового збору і повторної подачі матеріалу;
- зменшений знос коліс і рейок в порівнянні з піском;
- зменшення витрат стисненого повітря або відсутність необхідності в його використанні.

недоліки:

- дорожнеча даного матеріалу;
- наявність додаткового обладнання для створення і управління магнітними силами.

Подача електризованих частинок піску.

Одним з ефективних методів підвищення зчеплення є застосування одного шару піску в контакті колеса з рейкою. Даний ефект досягається за рахунок попередньої електризації абразивного сипучого матеріалу. Розроблено ряд технічних рішень по конструкції пісочної системи заснованої на електризації частинок і способам підвищення зчеплення колеса з рейкою.

переваги:

- зниження витрат на використання сипучого матеріалу;
- підвищення коефіцієнта зчеплення на 20-30% в порівнянні зі звичайним піском;
- зменшений знос колеса і рейки;
- зменшення опору руху поїзда;
- екологічна ефективність методу за рахунок зменшення кількості викинутого піску.

недоліки:

- низька ефективність, обумовлена здуванням з рейки сипучого матеріалу

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

боковим вітром і завихреннями повітря, викликаними рухом локомотива;

- хаотичне розсіювання струменя суміші на великих швидкостях руху;
- складність виготовлення і дорожня електризується установки.

Подача піщаної пасти.

У Великобританії досліджували вплив піщаної пасти «сліп-майстер», що представляє суспензію піску в водному розчині етиленгліколю і органічних речовин.

переваги:

- можлива реалізація коефіцієнта зчеплення в діапазоні 0,25-0,3.

недоліки:

- досліди з трібометричним поїздом свідчать про те, що подача пасти викликає зменшення коефіцієнта зчеплення і лише через деякий час настає його збільшення;

- органічні речовини, що входять до складу пасти, викликають зниження коефіцієнта зчеплення.

Модифікатори тертя (активатори зчеплення).

Одним з останніх досягнень в області поліпшення параметрів фрикційного контакту «колесо - рейка» будуть діючі в ряді країн (США, Канада, Франція) модифікатори тертя Centrac VHPF, HPF, LCF розроблені компанією «Portec Railway Maintenance Products» і фірмою «Kelsan Lubricants».

Модифікатори тертя діляться на три основні групи: LCF - з коефіцієнтом тертя менше 0,2; HPF - з коефіцієнтом тертя 0,2 - 0,4; VHPF - з коефіцієнтом тертя 0,4 і більше при значних прослизаннях колеса. Нове покоління модифікаторів тертя зазвичай застосовують у формі стрижня (рисунок 2.11) і наносять на колеса за допомогою лубрикаторів, що встановлюються на локомотивах, або в рідкому вигляді наносять за допомогою ручних аплікаторів на рейки (рисунок 2.13). Передбачається, що модифікатори тертя мають гарні утримують здібностями і

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хорошою водостійкістю, щоб витримувати багаторазові контактні впливу (зберігатися на поверхні головки рейки після походу 4000 коліс). Величина тертя залежить від товщини шару, який створює кожен з модифікаторів і швидкості прослизання коліс рухомого складу.



Рисунок 2.12 - Модифікатори тертя Centrac VHPF, HPF, LCF

Спеціалізовані модифікатори тертя типу HPF ефективно покращують умови тертя і зменшують рівень шуму на шляху з рейками, схильними до хвилеподібного зносу і прослизанню коліс. Проте кожен модифікатор тертя такого типу не може задовольняти широкому набору вимог охорони навколишнього середовища і експлуатації шляху. У разі застосування модифікаторів такого типу з коефіцієнтом тертя більше 0,2 виникають проблеми, пов'язані з негативним тертям, схоплювання локомотивних коліс, динамічним гальмуванням, хвилеподібним зносом рейок.

До сих пір ще не розроблені практичні методи ступеневої зниження необхідного для локомотивів високого коефіцієнта тертя до середнього рівня, прийняттого для вагонів.

У лабораторіях РГУПС розроблені рідкий і твердий активізатори зчеплення: - твердий активізатор зчеплення АС-РІПАК-ФТ для тягового рухомого складу, що працює на малих плечах;

АС-РІПАК-ФЖ (рідкий активізатор зчеплення) для магістральних локомотивів.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

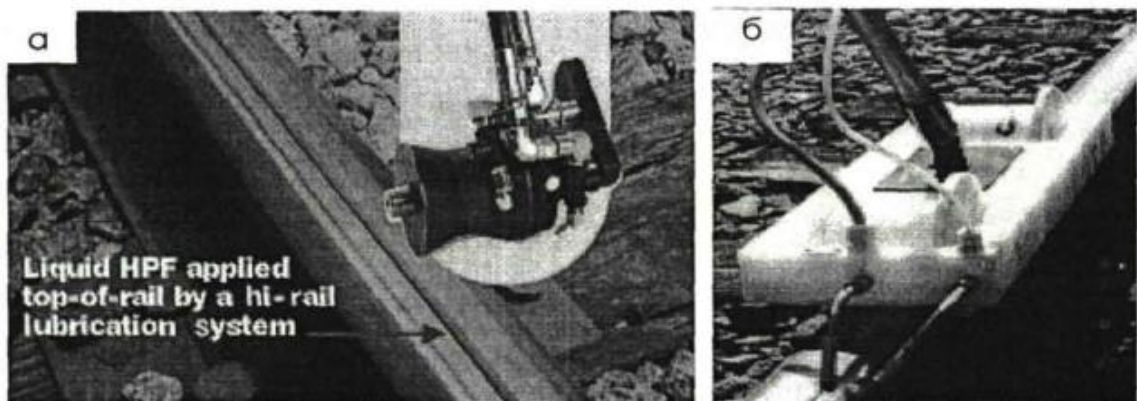


Рисунок 2.13- Рідкі модифікатори тертя Centrac HPF, LCF і пристрої для їх нанесення а - Centrac FEFP; б - Centrac LCF

В ході проведених випробувань було встановлено, що гідністю розроблених активізаторів є те, що вони сприяють швидшому досягненню граничного значення коефіцієнта тертя, ніж подається в зону фрикційного контакту пісок. Пропоновані активізатори тертя мають наступні переваги в порівнянні з застосуванням піску:

- забезпечують взаємодію фрикційних поверхонь з коефіцієнтом тертя не нижче 0,3 - 0,35;
- знижують інтенсивність зношування за рахунок формування на поверхні тертя вторинних зносостійких структур;
- мають можливість активно руйнувати решту обсягів поверхневих забруднень;
- в момент подачі активізаторів зчеплення в зону контакту не спостерігається різких стрибків коефіцієнта зчеплення, як в момент подачі піску;
- при пропонованому способі модифікації поверхні не створюються додаткові адгезійні зв'язки в контакті колеса з рейкою і відповідно додатковий опір коченню коліс причіпного рухомого складу.

До недоліків твердого активізатора слід віднести малий ресурс одноразової заправки, нестабільність коефіцієнта зчеплення, недоліком рідкого активізатора зчеплення є складна конструкція існуючого приводу, обумовлена необхідністю забезпечення герметичності. Також слід звернути увагу на відсутність відомостей

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01MP.ПЗ

про роботу активатора з умовах негативних температур.

У роботах [28-29] робляться спроби створення всесезонного активатора зчеплення, що забезпечує в будь-яких погодних умовах, стабільний коефіцієнт зчеплення коліс локомотива з рейками не менше 0,3, за рахунок активації і очищення поверхонь коліс від забруднень.

переваги:

- забезпечення коефіцієнта зчеплення $0,32 \pm 0,02$;
- велика однорідність коефіцієнта зчеплення при різних умовах роботи;
- зниження значення абразивного зносу більш ніж в 2 рази і зниження витрати піску в 50 разів.

недоліки:

- велика вартість брикетів, ніж піску;
- часті поломки активаторів, пов'язані з поздовжніми і поперечними переміщеннями коліс щодо рами візка;
- необхідність створення подає і керуючого пристрою.

Використання піщаних брикетів.

Для приготування брикетів на залізницях, які знаходяться до кварцового піску додавали 5-10% сполучного матеріалу (гіпс, оксид магнію, оксид заліза, борошно, клей) і виготовляли брикети шляхом пресування.

переваги:

- при доброму адгезійному зв'язку частинок брикету з колесом коефіцієнт зчеплення досягав 0,45-0,51 (досліди на моделі).

недоліки:

- при поганому зв'язку незначно перевищував контрольні величини, отримані для необроблених поверхонь;
- необхідність переобладнання візків, є потреба у додатковому пневмоприводі;

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01МР.ПЗ

- знос коліс і рейок можна порівняти з використанням звичайного піску.

2.8 Поліпшення фрикційних характеристик колеса і рейки шляхом очищення їх поверхонь гранулами сухого льоду

Проаналізувавши методи підвищення та стабілізації зчеплення колеса з рейкою (див. Підрозділ 1.3), можна так само виділити найбільш ефективний і перспективний метод, що полягає в очищенні взаємодіючих поверхонь гранулами сухого льоду. Як відомо сухий лід

– це тверда двоокис вуглецю (CO₂), низькотемпературний продукт.

Інтенсивне очищаючу дію даного методу забезпечується трьома ефектами:

1. *Очищення механічним впливом* - гранули сухого льоду бомбардують поверхню підлягає очищенню з високою швидкістю.

2. *Очищення за рахунок теплової енергії* - різке охолодження поверхні сухим льодом, що має температуру -79 ° С, призводить до утворення в шарі забруднення дрібних тріщин через великий перепад температур.

3. *Очищення за рахунок сублімації* - через що формуються тріщини гранули сухого льоду проникають всередину шарів забруднень і сублімує в них з більш ніж 400-кратним розширенням обсягу, викликаючи ефект вибуху і забруднення відриваються від поверхні.

Головними перевагами такого методу є:

– Сухий лід сублімується з освітою вуглекислого газу, повертається в атмосферу;

– матеріали не піддаються корозії, відсутній знос і ерозія;

– гранули сухого льоду практично не надають абразивного дії, не ушкоджуються очищаються поверхні;

– технологія очищення не вимагає застосування додаткових хімічних або абразивних засобів і є екологічно чистою.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2.9 Струменево-абразивна дія на контактуючі поверхні

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань розроблений перспективний метод підвищення зчеплення колеса з рейкою [56, 57, 58, 59, 60, 61], який полягає в двофазному струменево-абразивному впливі (САВ) на взаємодіючі поверхні колеса і рейки, де абразивний матеріал під дією стисненого повітря з високим прискоренням діє як очищає засіб і впроваджується в поверхневий шар, здійснюючи очищення поверхонь і усуваючи поверхневі забруднення.

Після очищення запропонованим способом поверхню рейки відповідає ступеню очищення, встановленої міжнародним стандартом ISO 8501-1: 2007 (SA1, SA2, SA2.5, SA3). Попередньо проведені дослідження дозволили встановити такі переваги і недоліки САВ на контактуючі поверхні колеса і рейки.

переваги:

- можливість ефективного очищення від поверхневих забруднень в порівнянні з традиційною подачею піску;
- можливість (в залежності від режиму впливу) освіти ефективної шорсткості поверхні (за рахунок збільшення площі контакту колеса з рейкою), що призводить до значного підвищення коефіцієнта зчеплення;
- економія абразивного матеріалу (згідно з проведеними попередніми експериментів продуктивність системи струймо- абразивного впливу лежить в межах 300-450 г / хв);
- відсутність піску на поверхні рейок призводить до зменшення опору руху поїзда в порівнянні з традиційним способом подачі піску, при якому опір руху поїзда збільшуючи на 12-20% [62];
- висока швидкість очищення;
- простота конструктивного виконання, експлуатації та обслуговування.

недоліки:

- можливий знос поверхні.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Анкета опитування експертів

Прізвище _____
 ім'я _____
 По батькові _____
 Утворення _____
 Займана посада _____
 Стаж роботи за даною спеціальністю _____

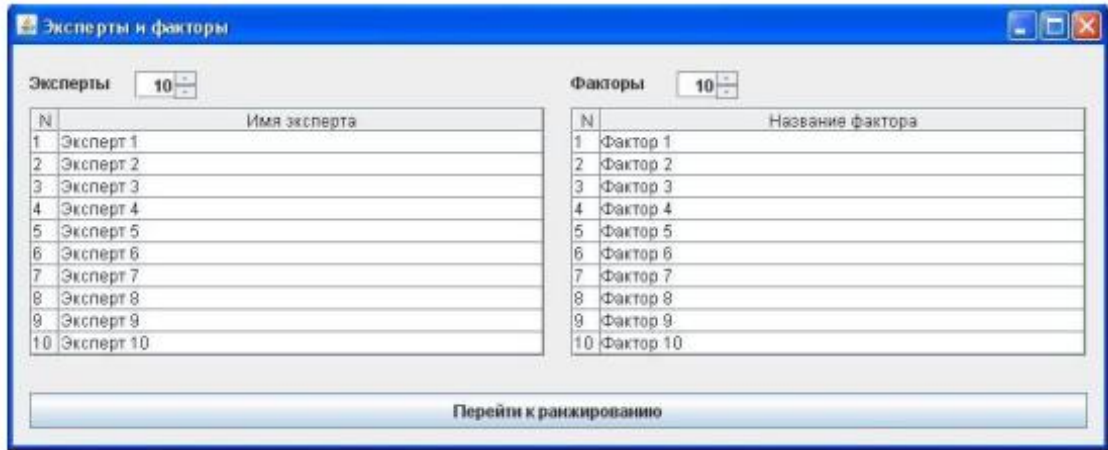
Вибір методу підвищення зчеплення в контактi колеса з рейкою.

Таблиця 2.2 - Ранжування факторів (методів)

Метод (фактор)			оцінка експерта
1	Подача	Абразивного матеріалу (кварцового піску)	-
2		Матеріалу володіє магнітними властивостями (Порошки, металева стружка)	-
3		Електризуватися абразивного матеріалу	-
4		Керамічних частинок	-
5		Пісочної пасти	-
6		Гарячого повітря	-
7	Очищення	Плазмова (паяльниками, плазмотронами)	-
8		Електроіскрова (електродугова)	-
9		Лазерна	-
10		Хімічна	-
11		Механічна (щітками, скребками, додатковими ножами)	-
12		Термомеханічна (підгальмуванням)	-
13		Пневмо- і гідروочищення	-
14		Двофазним струменево-абразивним потоком	-
15	Вплив	СВЧ і УФ – випромінюванням	-
16		Електричного струму і магнітного поля	-
17	Використання	модифікаторів тертя	-
18		брикетів на основі абразивного матеріалу	-

Для початку роботи в програму необхідно ввести вихідні дані:

- об'єктивні анкетні дані про самого експерта (таблиця 1.1, рисунок 2.14, а);
- назви факторів (Методів), які необхідно оцінити експертам (рисунок 2.14, а);
- оцінки експертів по кожному фактору (в програмі передбачено введення до 20 експертів і чинників) (таблиця 1.1, рисунок 2 14, б).



а)

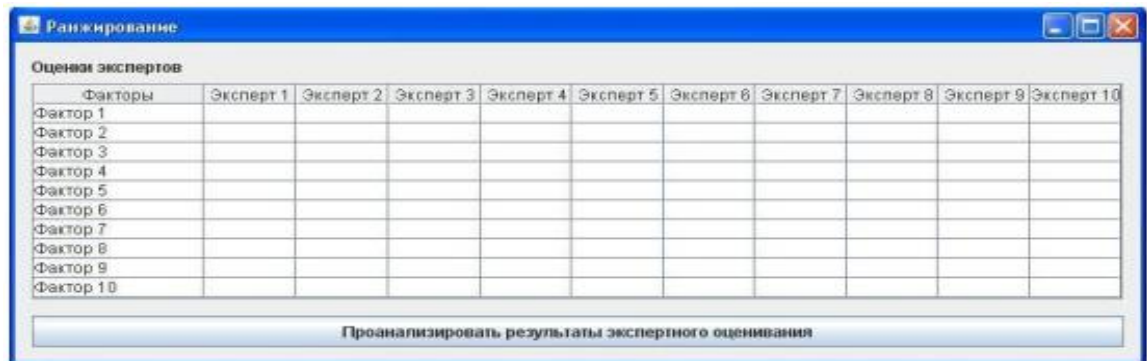


Рисунок 2.14 - Вікна розробленої комп'ютерної програми

Після чого введені дані обробляються і на екран виводяться результати розрахунку: очікуваного значення кожного з факторів, вага фактора, варіаційний розмах, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації і коефіцієнт конкордації (узгодженості) експертів. У вікні програми існує можливість упорядкувати фактори по вазі і побудувати діаграму рангів. Для обчислення в програму закладені стандартні функції, деякі з яких розглянемо більш детально.

Для визначення, наскільки той чи інший фактор (метод) важливий (істотний) з точки зору будь-якого критерію необхідно визначити вагу кожного фактора.

програму закладені стандартні функції, деякі з яких розглянемо більш детально.

Для визначення, наскільки той чи інший фактор (метод) важливий (істотний) з точки зору будь-якого критерію необхідно визначити вагу кожного фактора.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАІМОДІЇ АБРАЗИВНИХ ЧАСТОК З ПОВЕРХНЬОЮ РЕЙК І КОЛЕСА

3.1 Сутність і технологічні можливості струменево-абразивного впливу

Процеси двухфазного абразивного впливу на поверхні, глибоко досліджені в роботах Крагельського І.В., Кащеева В.Н., Клейс І.Р., Ратнера С.В., Непомнящего Е.Ф., Стиллера Е.Е., Тененбаума М. М., Костецького Б.І., Ейзнера Л.А. та інших вчених.

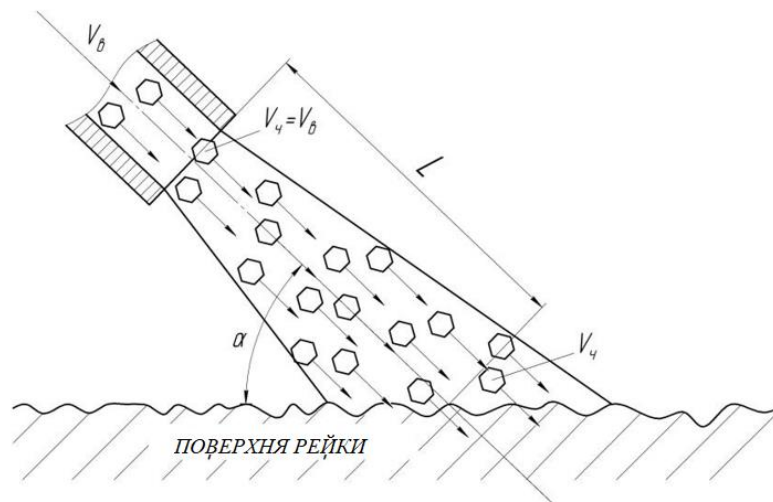
За останні роки роботи таких вчених як Анділахай А.А., Ісупов М.Г., Проволоцкій А.Е., Стефанович Т.А., Тамаркіна М.А., Тихонов А.А., Юрченко В.І. та ін. присвячені дослідженню даного процесу [13, 14, 15].

Газо-абразивний струмінь являє собою двофазний потік, основною особливістю якого є спільний рух газового середовища і розподілених в ній абразивних частинок. При цьому газова фаза є несучим середовищем та її рух визначає і рух твердої фази.

Несиметрична форма, різні розміри частинок, різні радіуси при вершині частинок - все це впливає на параметри одержуваної поверхні, такі як глибина впровадження частинок, шорсткість і залишкові напруги. На рисунку 3.1 представлена схема струменево-абразивного впливу на поверхню.

По змінах, які відбуваються на поверхні при струменево-абразивному впливі, можна виділити кілька етапів протікання процесу. На початковому етапі відбувається руйнування виступаючих на поверхні мікронерівностей, пластична деформація їх основ і пружна деформація практично всієї оброблюваної поверхні. Наступний етап характеризується масовим усередненням шорсткості при одночасній пластичній деформації мікровиступів та мікровпадин по всій оброблюваній поверхні.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



V_0 - швидкість повітряного потоку; V_4 - швидкість абразивної частинки; α - кут атаки абразивної струменя; L - відстань від сопла до поверхні

Рисунок 3.1 - Схема струменево-абразивного впливу на поверхню

Показниками якості в більшості випадків є фізико-механічні властивості поверхні, обробленої струменем абразивних частинок. До таких показників можна віднести наступні:

Інтенсивність зняття матеріалу і ступінь рівномірності обробки. При деяких режимах обробки поверхонь струменем абразивних часток відбувається процес зняття матеріалу. Експериментально встановлено, що струмінь, спрямований під кутом щодо оброблюваної поверхні, залишає на ній слід у формі еліпса з великою віссю в напрямку закінчення робочого середовища.

Шорсткість поверхні. Струменево-абразивну дію застосовували до теперішнього часу виключно як чорнову операцію очищення поверхонь. Однак, випадки його застосування для створення змашування поверхонь тертя, показали його перспективність, як фінішної операції, особливо для прецизійних деталей тертя. При струменевій обробці поверхонь з вихідною шорсткістю $R_a=40\dots80\text{мкм}$ можливе отримання шорсткості $R_a=10\dots20\text{мкм}$. Максимально досягне значення шорсткості даної поверхні без спотворення її мікрогеометрії дорівнює $R_a=2,5\text{мкм}$.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ					

Для попередньо оброблених поверхонь при відповідному виборі режимів і зернистості абразиву можна досягти значень шорсткості $R_a=1,16\dots0,32\text{мкм}$.

Технологічні характеристики струменево-абразивного струменя визначаються його обробною здатністю, яка залежить від кінетичної енергії удару абразивних частинок:

$$W_a = 0,5 \sum_{i=1}^n m_i \cdot V_i, \quad (3.1)$$

де i – індекс абразивної частинки;

n - число абразивних частинок, потрапили на поверхню;

m_i - маса абразивної частинки, $m = 4 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho$,

V_i - швидкість абразивної частинки.

Струменево-абразивна дія має низку особливостей, яка робить значний вплив на якість одержуваної поверхні:

- вплив здійснюється одночасно великою кількістю ріжучих елементів - абразивних частинок, що мають високу мікротвердість;
- частинки розташовані в повітряному струмені хаотично, вони мають несиметричну форму, контакт частки з поверхнею здійснюється будь-якою частиною частки;
- робота, вироблена часткою, залежить від її кінетичної енергії. Нижче наведені відомі технологічні можливості струменево абразивного впливу:
- видалення задирок;
- округлення гострих кромки і радіусів;
- видалення окалини, іржі та гострих радіусів;
- зменшення або збільшення шорсткості поверхні ,в залежності від режиму впливу;
- видалення поверхневих забруднень (вода, масло і т.п.);
- видалення дефектного поверхневого шару на поверхні;
- часткове виведення окремих поверхневих дефектів.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В основу розроблених представленими вище дослідниками математичних моделей, покладена модель одиничного акту контактної взаємодії незв'язаного твердого тіла з елементарною ділянкою оброблюваної поверхні.

Однак зміна характеристик двофазного робочого потоку (швидкість, напрямок, кінетична енергія) уздовж поперечних перерізів струменя розпилу, а також необхідність впливу строга на доріжку кочення колеса по рейці, ускладнюють задачу застосування даного методу для очищення контактуючих поверхонь колеса і рейки. Тому, доцільно розробити багаторівневу математичну модель для процесу струменево-абразивного впливу, на основі якої можна визначити як параметри якості чистоти поверхні, так і конструктивні особливості системи подачі абразивного матеріалу, з урахуванням різних внутрішніх і зовнішніх факторів.

3.2 Багаторівнева математична модель впливу двофазного потоку абразивних частинок на поверхні колеса і рейки

За результатами проведеного в підрозділі 1.3 огляду методів і пристроїв підвищення зчеплення, контактуючих поверхонь колеса і рейки [28, 29], визначено їх загальні недоліки:

- низька ефективність очищення, що не дозволяє значно підвищити і стабілізувати коефіцієнт зчеплення;
- підвищений знос, зміна структури поверхні, що очищається;
- низька ефективність роботи в широкому діапазоні швидкостей локомотива;
- великі витрати на установку обладнання, яке необхідно для реалізації різних способів очищення та підтримання їх в робочому стані;
- негативний вплив на екологію та колійне господарство;
- складність установки обладнання на локомотиві і низька довговічність його роботи.

Запропонований новий перспективний метод підвищення зчеплення колеса з

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.150217.000.01МР.ПЗ

рейкою [16], що полягає у впливі двухфазного струменево-абразивного потоку на взаємодію поверхонь колеса і рейки, дозволяє:

- ефективно видаляти різні поверхневі забруднення;
- утворити ефективну шорсткість поверхні, що призводить до значного підвищення зчеплення за рахунок збільшення площі контакту колеса з рейкою;
- легко сконструювати і експлуатувати розроблену систему.

Складність уявлення процесу впливу двухфазного струменево-абразивного потоку на поверхні колеса і рейки (переміщення сопла щодо рейки, наявність забруднень, вплив зовнішніх факторів - бічний вітер і т.п.), вимагає розробки багаторівневої математичної моделі, яка на різних рівнях деталізації розглядатиме досліджуваний процес. Дана методика дозволить якісно представити і оцінити різноманіття формулювання факторів і їх вплив на фрикційні властивості взаємодіючих поверхонь колеса і рейки.

У магістерській роботі вперше розроблена багаторівнева математична модель впливу двофазного потоку абразивних частинок на поверхні колеса і рейки, що включає в себе:

- імітаційну модель руху абразивного матеріалу;
- математичну модель взаємодії одиначної абразивної частинки з поверхнею Рейки;
- математичну модель тертя колеса і рейки при струменево абразивному впливі.

Робота багаторівневої математичної моделі представлена на рисунку 2.2, де блоки, виконані штрих пунктирними лініями, позначають введення вихідних і проміжних даних. Блоки, виконані суцільними лініями— це отримані за моделями результати, які доповнюють відсутні вихідні дані для подальшого моделювання. На першому етапі теоретичного дослідження виконано моделювання по вперше розробленій імітаційній моделі руху абразивного матеріалу, яка дозволяє моделювати двофазний струменево-абразивний потік з урахуванням різних параметрів подає пристрою, а також характеристик абразивного матеріалу.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати моделювання по даній моделі використовуються в математичній моделі взаємодії одиничної абразивної частинки з поверхнею колеса або рейки, яка отримала подальший розвиток. Після попереднього введення вихідних даних і виконання моделювання по даній моделі, вихідні величини використовуються в отриманні подальшого розвитку математичної моделі тертя колеса і рейки при струменево-абразивному впливі, що дозволяє визначити кінцеві результати у вигляді величини коефіцієнта тертя колеса з рейкою.

Таким чином, розроблена багаторівнева математична модель складається з трьох під моделей і дозволяє детально, на різних рівнях деталізації, розглянути складний процес впливу двухфазного струменево-абразивного потоку на поверхні колеса і рейки, з урахуванням різноманітних факторів, що впливають на даний процес.

3.3 Імітаційна модель руху абразивного матеріалу

Вивчення процесу руху абразивних частинок з сопла з урахуванням різних факторів, обумовлено високою складністю отримання і аналізу результатів при проведенні стендових і натурних експериментів. Тому одним з головних завдань в роботі було створення імітаційної моделі, яка описує процес руху абразивного матеріалу, яка дозволяє встановити вплив параметрів подачі (кути нахилу сопла в різних площинах, продуктивність системи подачі, швидкість руху і фізико-механічні характеристики абразивного сипучого матеріалу і т.п.) на динаміку розподілу його по ширині головки рейки протягом певного часу.

Створена імітаційна модель (комп'ютерна програма "Моделювання руху абразивного матеріалу в зазорі сопло-поверхня колеса та рейки", свідоцтво № 47808 від 14.02.2013) заснована на використанні алгоритмічних моделей, що реалізуються на персональному комп'ютері, для дослідження процесу руху абразивних частинок. Для реалізації моделі був розроблений спеціальний моделюючий алгоритм, блок-схема, яка представлена на рисунку 2.3. Відповідно до нього програмно виробляється інформація, що описує елементарні процеси

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01MP.ПЗ

досліджуваної системи з урахуванням взаємозв'язків і взаємовпливів. При цьому моделює алгоритм побудований відповідно до логічної структурної системи, зі збереженням послідовності протікаючих в ній процесів і відображенням основних станів системи.

Для моделювання досліджуваної системи на комп'ютері, що моделює алгоритм, був записаний на вхідному універсальному алгоритмічній мові високого рівня Borland C ++ Builder.

Основними етапами роботи розробленої моделі є:

- вхідних і зовнішніх впливів.
- відтворення роботи моделюючого процесу (моделює алгоритм).
- обробка результатів моделювання і їх інтерпретація.

Досліджувана система може одночасно містити елементи безперервної і дискретної дії, бути схильною до впливу численних випадкових факторів (бічний вітер, завихрення повітря в зоні контакту і т.п.), тому використання розробленої імітаційної моделі дозволяє досліджувати динаміку функціонування процесу протягом певного часу, легко змінювати значення параметрів досліджуваного процесу і його початкові умови.

Результати імітаційного моделювання є важливим фактором для прийняття рішень при перевірці нової ідеї, так як це дозволяє досліджувати велику кількість альтернатив (варіантів рішень), програвати різні сценарії при будь-яких вхідних даних. Імітаційне моделювання дозволяє прогнозувати результати, коли мова йде про проектні системи або досліджувані процеси в тих випадках, коли в реальності це призводить до економічних витрат.

Так як даний метод моделювання є чисельним, то результати, отримані по завершенню моделювання, відповідають фіксованим значенням параметрів досліджуваного процесу і його початкових умов. Для аналізу розробленого методу доводиться багаторазово моделювати процес його функціонування, варіюючи вихідними даними, набираючи, таким чином статистику результатів,

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яку потім можна апроксимувати. Реалізація розробленої моделі проводилася на персональному комп'ютері з високою продуктивністю.

В основі розробленої імітаційної моделі лежить метод частинок (дискретно-елементний), що передбачає обчислення положення і відповідних параметрів кожної моделюючої частки в різні моменти часу, а також важливою особливістю даного методу є можливість врахування впливу великої кількості різноманітних за своєю природою факторів. Це дозволяє отримати детальну просторово-часову картину розподілу потоку частинок на досліджуваній поверхні. Модель руху двофазного потоку описує рух частинок, з огляду на зіткнення частинок в потоці і їх відображення від поверхні рейки або колеса. Виконуючи чисельне моделювання руху потоку частинок - розподіл за розмірами, швидкості, часу і їх просторове розташування по перетину сопла (координати кожної частки), в початковий момент часу визначається умовами завдання, а також технологічними параметрами подає пристрою. Кожна моделююча частка ставиться у відповідність з однією реальною часткою, число яких в обчислювальному експерименті визначається виходячи з об'ємної концентрації потоку, заданого в початкових умовах. Частинки моделюються твердими кулями із заданою щільністю. Розрахункова схема моделі руху частинок і схема параметрів частинки при виході з сопла представлена на рисунку 3.3.

При описі двофазного потоку (твердих абразивних частинок в повітряному потоці) використаний дискретно-траєкторний підхід (Ейлер-Лагранж). Це обумовлено вибором методу часток для створення моделі і тією обставиною, що такий підхід використовується для моделювання двофазних потоків з твердою фазою. При цьому для частинок використовується метод Лагранжа, а для повітряної фази - метод Ейлера. Наочними ілюстраціями можливостей використання лагранжевого траєкторного методу для вивчення поведінки твердих частинок в турбулентних потоках повітря можуть служити роботи [17].

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.1 Аналіз абразивного матеріалу і його розподіл в перетині сопла

Як відомо, для підвищення зчеплення коліс локомотива з рейками використовують різні абразивні матеріали, які мають значну твердість. Ісаєвим І.П. встановлено [22], Що величина зчеплення колеса з рейкою залежить від твердості абразивного матеріалу і не залежить від їх геометричних параметрів, однак при абразивному зносі геометрична форма і розмір абразивних частинок грають важливу роль.

На величину зносу контактуючих поверхонь колеса і рейки впливає розмір абразивного матеріалу, так як процес руйнування частинки являє собою миттєве звільнення енергії, яка витрачається на створення знову утворених поверхонь зруйнованої частки. При цьому відбувається інтенсивний знос контактуючих поверхонь. Встановлено, що чим більше частки абразивного матеріалу і чим менше їх твердість, тим більше буде циклів руйнування, що викличе ще більший знос поверхонь.

Збільшення твердості частинок абразивного матеріалу призводить так само до підвищеного зносу колеса і рейки, тому при його використанні, як засобу підвищення зчеплення колеса з рейкою, необхідно домагатися мінімізації зносу, контактуючих поверхонь абразивним матеріалом.

При виборі абразивного матеріалу для проведення теоретичних і експериментальних досліджень використовувалися:

пісок з пісочних систем локомотивів, які експлуатуються на Укрзалізниці;

пісок будівельний (кар'єрний) по ГОСТ 8736-93;

формульований пісок, який використовується при литті металів (ГОСТ 2138-91).

Визначення гранулометричного складу абразивного матеріалу і розподіл часток за розміром, вивчалось в метрологічній лабораторії ПАТ «Луганськтепловоз» за допомогою мікроскопа МПБ-3 (при 50-кратному

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ				

збільшенні), універсального вимірювального мікроскопа УИМ-21 (рисунок 2.5) і цифрового фотографування.

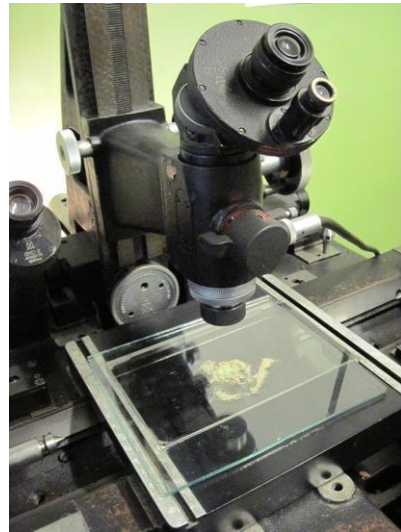


Рисунок 3.3 - Універсальний вимірювальний мікроскоп УИМ-21

Проведений аналіз піску з пісочних систем локомотивів (рисунок 3.4, а, б, в, г) показав середній діаметр абразивних частинок 0,6 0,8 мм і наявність:

- частинок сферичної форми $\approx 40\%$ від загального обсягу (рисунок 3.4, а);
- частинок гострокутної форми $\approx 30\%$ від загального обсягу (рисунок 346, б);
- частинок витягнутої форми $\approx 20\%$ від загального обсягу (рисунок 3.4, в);
- частинок різних за формою і складом (рисунок 3.4, г).

Згідно досліджень в роботах [21, 22], такі частинки викликають дряпання і шаржування (впровадження в поверхню з подальшим утворенням в ній лунки), що вкрай не бажано з точки зору зносу поверхонь.

Абразивний знос взаємодіючих між собою поверхонь зростає зі збільшенням розміру часток що містяться між ними та наявністю частинок гострокутної форми з високою твердістю. Абразивний матеріал різної твердості по-різному впливає на знос поверхонь. Частинки абразиву, твердість яких нижче твердості зношуваної поверхні, не можуть впроваджуватися в цю поверхню і утворювати на ній лунки. Зі збільшенням твердості абразиву його вплив на

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ				

поверхню зношування, при інших рівних умовах, підвищується, що в кінцевому підсумку викликає пропорційне збільшення зносу.

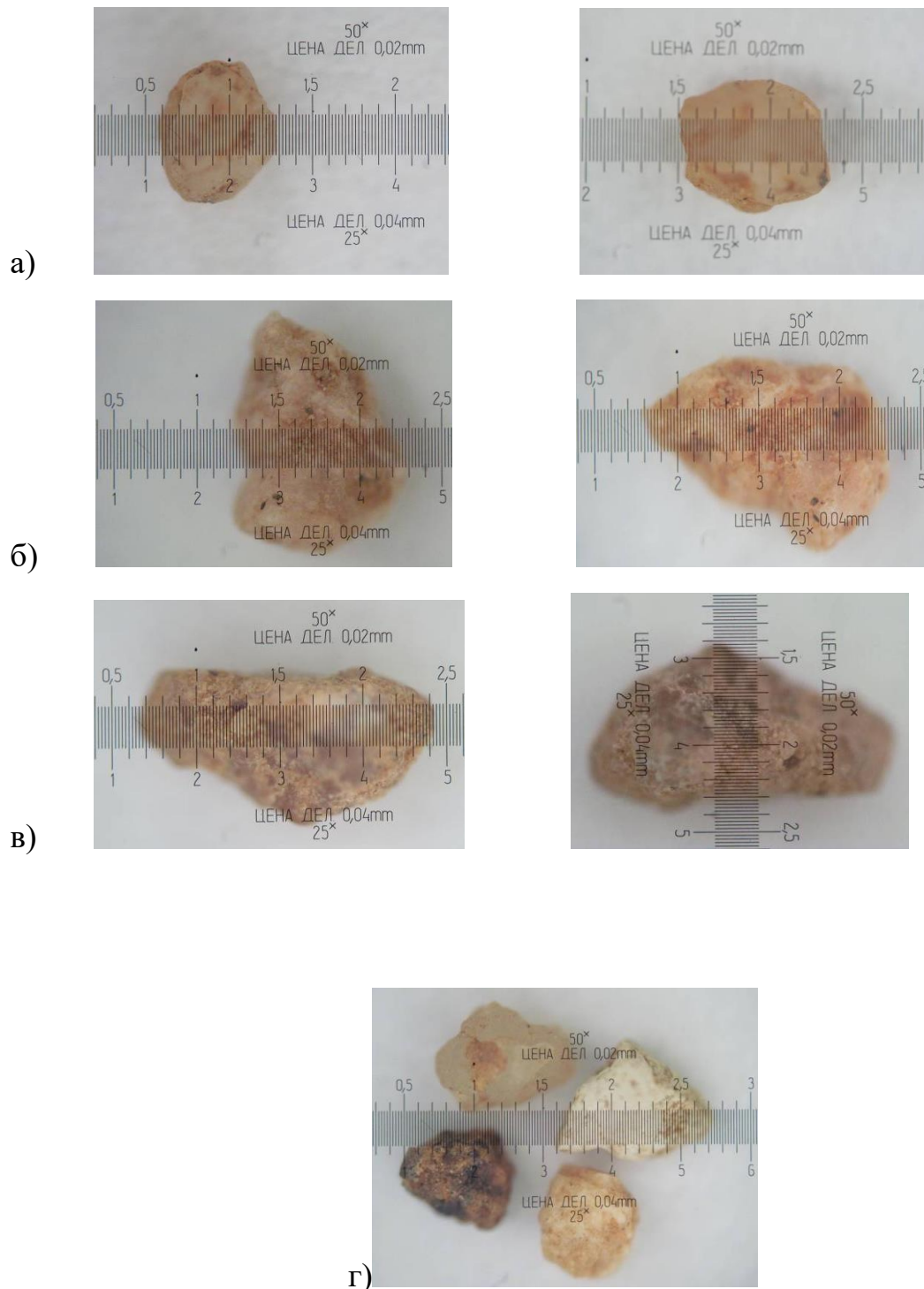


Рисунок 3.4 - Знімки розміру абразивного матеріалу за допомогою мікроскопа МПБ-3

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подача досліджуваного піску з пісочних систем локомотива (даних форм і розмірів) буде вимагати попередньо великих зусиль на роздавлювання частинок, які маючи велику міцність, при руйнуванні викликають інтенсивний абразивний знос поверхонь коліс і рейок, що також спричинить за собою підвищений опір руху.

Найбільш оптимальні умови зчеплення коліс локомотива з рейками створює однорідний пісок з розмірами частинок (0,2-0,5 мм), найбільшим вмістом кварцу (не менше 75%) і мінімальним вмістом шкідливих, особливо глинистих (не більше 3%), домішок і включень. Даним вимогам відповідає будівельний пісок (ГОСТ 8736-93) і формувальний пісок (ГОСТ 2138-91), частки, яких при явно вираженій кристалічній структурі мають досить близьку до сферичної форму.

На початок роботи імітаційної моделі відбувається генерація часток відповідно до законна рівномірного розподілу (відповідно до теорії ймовірності) по: координатам в перерізі сопла, швидкості, розміром фракції і часу.

Рівномірний розподіл на відрізку числової прямої $[a, b]$, $a < b$, - це розподіл ймовірностей, що має щільність:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b], \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases} \quad (3.2)$$

Функція розподілу задається формулою:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b, \\ 1, & x > b. \end{cases} \quad (3.3)$$

а характеристична функція задається формулою

$$\varphi(t) = \frac{1}{it(b-a)} (e^{itb} - e^{ita}). \quad (3.4)$$

Для виконання статистичного розподілу абразивних частинок за їх

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

розміром виконані наступні дії.

- Визначено максимальне і мінімальне значення розміру часток:

$$X_{max} = 0,0005 \text{ м}; X_{min} = 0,0002 \text{ м}. \quad (3.5)$$

- Встановлено діапазон розкиду значень розміру часток, як різниця їх максимального і мінімального значень:

$$D = X_{max} - X_{min} = 0,0005 - 0,0002 = 0,0003 \text{ м}. \quad (3.6)$$

- Для побудови графіка щільності розподілу часток за розміром фракції вибираємо кількість інтервалів (згідно з формулою Стерджесса приймаємо $K = 5$) та визначає величину інтервала:

$$\Delta = \frac{D}{K} = \frac{0,0003}{5} = 0,00006. \quad (3.8)$$

По величині інтервалу розраховуємо межі інтервалів:

$$П_l = X_{min} + (l - 1) \cdot \Delta, \quad (3.8)$$

де l - номер інтервалу ($l = 1, 2, 3 \dots, K$),

$П_l$ - нижня межа інтервалу.

Робимо розподіл значень розміру по інтервалах і заносимо в таблицю 2.1. У розрахунках використовувалася частка абразивних частинок, взята від загальної кількості частинок.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Зведена таблиця розподілів абразивних частинок за розміром фракції

№ інтервалу	Інтервали значень розміру часток	Частка абразивних частинок, %	Частість, P_i
1	$2 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-4}$	4	0,04
2	$2,6 \cdot 10^{-4} - 3,2 \cdot 10^{-4}$	24	0,24
3	$3,2 \cdot 10^{-4} - 3,8 \cdot 10^{-4}$	55	0,55
4	$3,8 \cdot 10^{-4} - 4,4 \cdot 10^{-4}$	13	0,13
5	$4,4 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	4	0,04

- Визначимо частість для кожного інтервалу за формулою:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (3.9)$$

де n_i - кількість значень розміру - $\sum_{i=1}^k n_i$ загальна кількість значень розміру по статистичній вибірці.

Будуємо графік щільності розподілу значень розміру абразивних частинок P_i (рисунок 3.5).

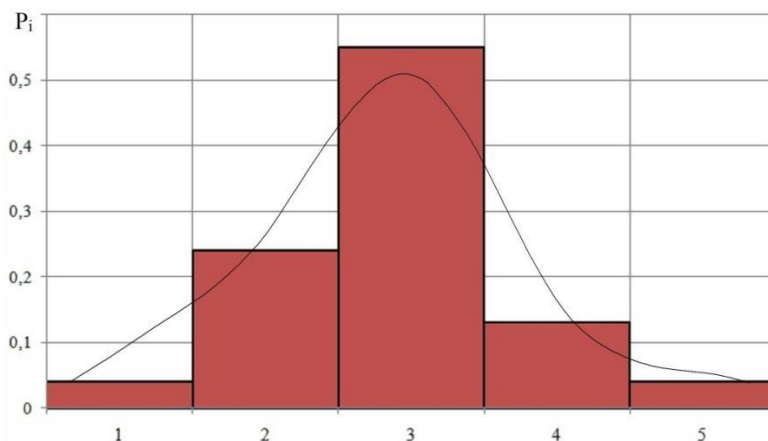


Рисунок 3.5 - Графік щільності розподілу абразивних частинок по розміром фракції

3.3.2 Рух абразивних частинок по трубопроводу

Розглянемо рух частинок по трубопроводу під дією несучого потоку повітря (рисунок 3.2, 3.6).

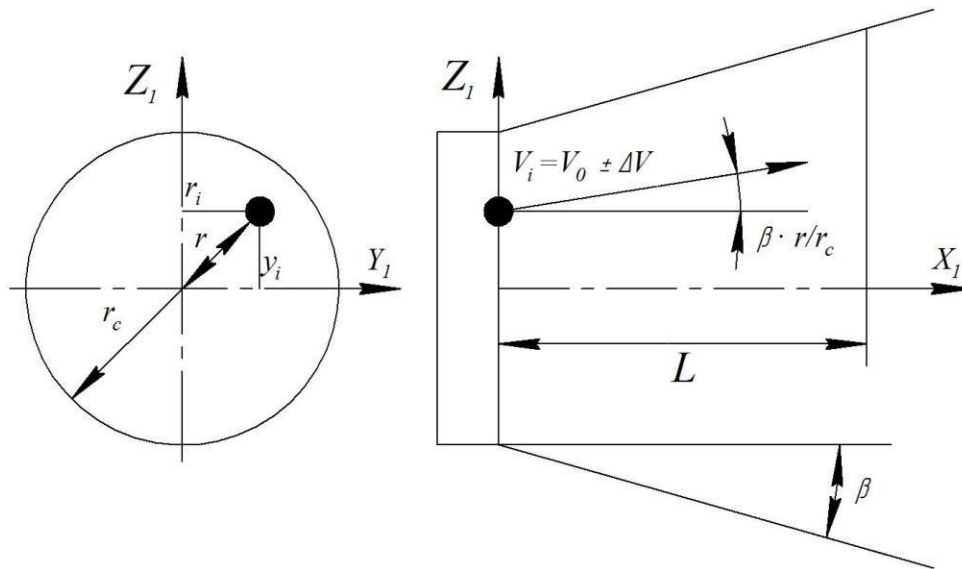


Рисунок 3.6 - Схема параметрів частинки при виході з сопла

Після виходу з сопла на частинки діє поле швидкостей несучої фази, що складається з кількох повітряних потоків: струменя повітря з сопла $\vec{V}(L, r)$, потоку повітря, пов'язаного з рухом локомотива \vec{V}_n і потоку V_n повітря, пов'язаного з вітром довільної швидкості і напрямку \vec{V}_e .

Таким чином, при русі частинок піску з сопла до поверхні контакту колеса і рейки на них впливає повітряний потік зі швидкістю:

$$\vec{V}_n = \vec{V}(L, r) + \vec{V}_e - \vec{V}_l, \quad (3.10)$$

де L - відстань від зрізу сопла,

r - відстань від центральної осі сопла.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01MP.ПЗ

Будемо вважати, що мають рівномірний розподіл швидкостей і ці швидкості і напрямку потоків відомі. Орієнтація вектора $\vec{V}(L, r)$ залежить від орієнтації сопла відносно рейки. Відразу після виходу частинок з сопла починається процес розширення струменя в поперечному перерізі. Він обумовлений дією хвилі розрідження, яка проникає в обсяг струменя і «розносила» частинки, необмежені стінками сопла, по її радіусу до зовнішньої кордоні.

Для опису поля швидкостей струменя в міру віддалення від сопла скористаємося залежністю, отриманою в роботі [25] при моделюванні двофазного турбулентної струменя з твердими частинками:

$$V(L, r) = V_0 \left(1 - \frac{3c\rho_B L}{2d_a \rho_a} \right)^{1/2} \left[1 - \left(\frac{r}{R_c + L \operatorname{tg} \beta} \right)^{3/2} \right]^2, \quad (3.11)$$

де V_0 - початкова осьова швидкість потоку на виході з сопла,

c - коефіцієнт, що залежить від форми частинки;

ρ_B - щільність повітря;

L - відстань від зрізу сопла;

d_a - математичне очікування діаметра кулястої частинки;

ρ_a - щільність абразиву;

R_c - конструктивний радіус сопла;

β - кут розпилу струменя.

Рівняння руху одиночної твердої частинки в турбулентному газовому потоці має вигляд:

$$\rho_a \frac{\pi d_{ai}^3}{6} \frac{d\vec{V}_i}{dt} = \sum_k \vec{F}_i^k(r_a, t), \quad (3.12)$$

де d_{ai} - діаметр i -ї частинки піску;

\vec{V}_i - швидкість i -ї частинки;

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\vec{F}_i^k(r_a, t)$ - зовнішні сили, що діють на частинку;

r_a - координати частинки;

t - час.

Основними силовими чинниками, що впливають на рух частинок в потоці несучої фази є: сила тяжіння, сила аеродинамічного опору, сила Сефмена, сила Магнуса, сила турбофореза (внаслідок градієнта тиску), сила термофорезу і взаємодія частинок між собою.

У трубопроводі на піщинку діє сила аеродинамічного опору \vec{F}_A (рисунок 2.9), причиною виникнення, якої є різниця швидкості повітря U та швидкості частки V що рухається в ньому. Дія сили аеродинамічного опору призводить до прискорення частинки, якщо $U > V$, навпаки, до гальмування в разі, коли $U < V$.

Формула аеродинамічної сили має вигляд:

$$\vec{F}_A = C_D \rho \frac{\pi d_p^2}{4} \frac{|\vec{U} - \vec{V}|(\vec{U} - \vec{V})}{2}, \quad (3.13)$$

де C_D - коефіцієнт аеродинамічного опору частинки;

ρ - щільність повітря;

\vec{U} - проекція швидкості повітря.

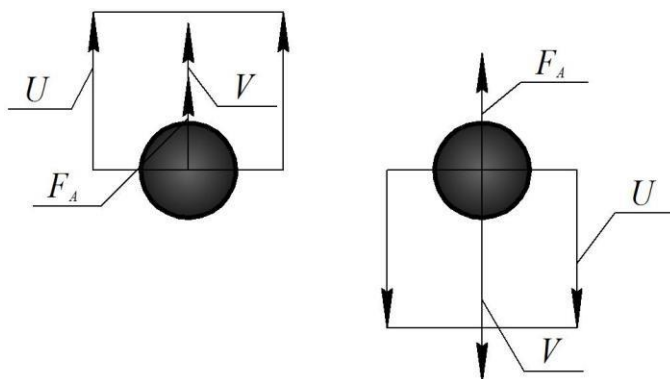


Рисунок 3.7 - Схема руху частинки при дії сили аеродинамічного опору

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також з силою аеродинамічного опору \vec{F}_A на часту діє сила тяжіння \vec{F}_g , яка є одним з важливіших силових факторів, визначаючих динаміку частки. Вплив сили тяжіння на рух частки буде значним та її облік буде необхіден.

Вираз дії сили тяжіння має вигляд:

$$\vec{F}_g = \rho_p \frac{\pi d_p^3}{6} \vec{g}. \quad (3.14)$$

Неоднорідність профілю середньої швидкості несущого потоку повітря викликає дію на частку сили Сефмена \vec{F}_S , при цьому різниця відносних швидкостей обтікання частки з різних сторін призводить до перепаду тисків.

Рух частинок здійснюється в бік зниженого тиску (рисунок 3.8) [26]. Величина сили Сефмена, що діє на частинку при її русі в потоці з лінійним профілем швидкості, визначається за такою формулою:

$$F_S = k_S v^{1/2} \rho d_p^2 (U_x - V_x) \left(\frac{dU_x}{dr} \right)^{1/2}. \quad (3.15)$$

В випадку, коли $U_x / (v dU_x / dr)^{1/2} \ll 1$, значення коефіцієнта $k_S = 1,61$ [25];

v – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

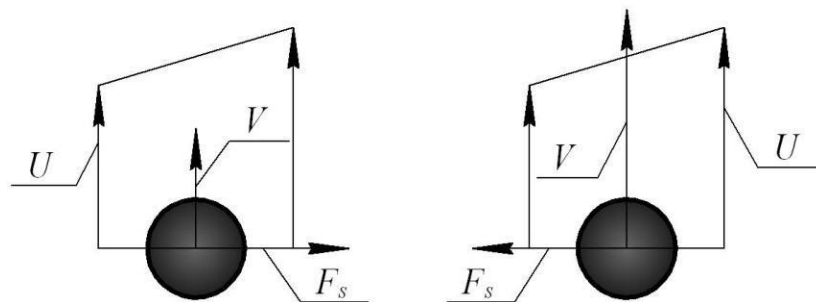


Рисунок 3.8 - Схема поперечної міграції частки в неоднорідному потоці при дії сили Сефмена

Сила Сефмена може робити істотний вплив на рух частинок при їх русі в

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01MP.ПЗ

пристінної області, де мають місце великі градієнти осередненої швидкості несучого повітря.

При русі в потоці повітря частки складної форми (несферичних) завжди обертаються. Що стосується сферичних, то вони також будуть обертатися в потоці з неоднорідним профілем швидкості. Обертаючись, частка захоплює за собою повітря. В результаті на тій стороні, де напрямки обтікання і обертання елементів повітря збігаються, тиск стає зниженим в порівнянні з областю, де ці напрямки протилежні. Таким чином, частка буде переміщатися в бік зниженого тиску (рисунок 3.9). Величина сили, що діє на частку при її обертанні, описується силою Магнуса \vec{F}_M [27, 28]:

$$\vec{F}_M = k_M \rho \left(\frac{d_p}{2} \right)^3 (\vec{W} \times \vec{\omega}_p), \quad (3.16)$$

де k_M (Re) - коефіцієнт, який змінюється в залежності від числа Рейнольдса;

\vec{W} - переносна швидкість відносного потоку;

$\vec{\omega}_p$ - швидкість обертання частки.

Аналіз впливу сили Магнуса на рух частинок проведено в [29]. Показано, що величина сили Магнуса практично завжди менше сили Сєфмена. Проте, зневага поперечним зміщенням частинок внаслідок дії сили Магнуса в високошвидкісних потоках, де реалізуються великі градієнти швидкості повітря, а отже, і великі швидкості обертання частинок, є неправомірним.

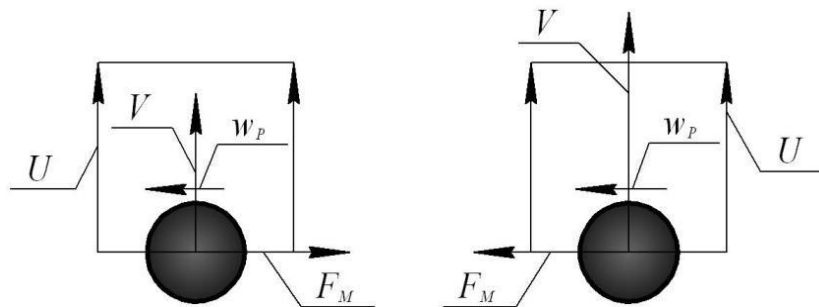


Рисунок 3.9 - Схема міграції обертається частки при дії сили Магнуса

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ				

При вильоті з сопла на частку так ж діють сила аеродинамічного опору від можливого бокового вітру \vec{F}_{A1} і сила опору повітря від руху локомотива \vec{F}_{A2} .

Причиною виникнення сили термофорезу є неоднорідність профілю температури носе повітря. З причини того, що в даному випадку градієнти температури невеликі, сила термофорезу не враховується.

В роботі [20] показано, при оптимальній подачі піску пісочної системою локомотива вже в початковому перерізі струменя частки твердої фази рухаються, розрізнено, без помітного збитку один на одного. На відстані близько 40 мм від вихідного перетину сопла концентрація потоку зменшується настільки, що вільне повітряний простір більш ніж 12 раз перевищує розмір часток і ймовірність їх зіткнення в процесі руху до поверхні рейки (колеса) не перевищує 1%. З огляду на дану обставину, взаємодією частинок між собою можна знехтувати.

Сила турбофореза виникає в наслідок неоднорідності профілю пульсаційної швидкості несучого повітря. У даній роботі сила турбофореза ігнорується.

3.3.3 Принцип роботи розробленої імітаційної моделі руху абразивного матеріалу

Для моделювання досліджуваної системи на комп'ютері в якості комп'ютерної програми, що моделює алгоритм був записаний на вхідному універсальному алгоритмічній мові C ++ в середовищі Borland C ++ Builder 6.0 [23]. У вікні інтерфейсу програми (рисунок 3.10) проводиться введення початкових даних для виконання моделювання.

Алгоритм роботи імітаційної моделі руху абразивного матеріалу від сопла до поверхні контакту колеса і рейки (рисунок 3.3) являє собою наступну послідовність дій заданою витратою піску Q і математичному очікуванню і математичному очікуванню час появи t_i в інтервалі $0 \dots t_{\Sigma}$. Крім того, кожній частці випадковим чином задаються:

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

початкові координати (y_i, z_i) В перерізі сопла (рисунок 3.4, 3.8);

швидкість руху на виході з сопла в діапазоні $\Delta V = 0,05 \cdot V_0$;

- орієнтацію швидкості V_i ;

- кут $\beta \cdot r / r_c$ до осі потоку;

- розмір часток у відповідності з розподілом, представленим на рисунку 3.9.

- На кожному кроці інтегрування, по згенерованій послідовності появи частинок, перевіряється необхідність включення в розрахунок часток за умовою $t \geq t_i$, де t поточний розрахунок часу.

Якщо умова $t \geq t_i$ виконується, то частка включається в список часток, які знаходяться в польоті.

- Для кожної частинки, що знаходиться в польоті, визначаються сили, діючі на частку (права частина рівняння 3.12). Використовуючи алгоритм Верле, здійснюється обчислювати координати частинки по її попереднього $\vec{r}(t-\Delta t)$ та справжньому $\vec{r}(t+\Delta t)$ місцезнаходженню. Враховуючи, що перша похідна по часу є швидкість $\vec{v}(t)$, а друга – прискорення $\vec{a}(t)$, чисельне інтегрування рівняння руху (3.12) можна записати у вигляді:

$$\vec{r}(t+\Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t)\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}(t)\Delta t^2 + \frac{1}{6}\vec{b}(t)\Delta t^3 + O(\Delta t^4), \quad (3.17)$$

$$\vec{r}(t-\Delta t) = \vec{r}(t) - \vec{v}(t)\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}(t)\Delta t^2 - \frac{1}{6}\vec{b}(t)\Delta t^3 + O(\Delta t^4), \quad (3.18)$$

де t – час;

Δt - крок інтегрування по часу;

$\vec{r}(t)$ - положення частки в момент часу t ;

$\vec{v}(t)$ - швидкість частки;

$\vec{a}(t)$ - прискорення часток

Склавши ці два рівняння і виразив $\vec{r}(t+\Delta t)$, отримаємо:

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\vec{r}(t + \Delta t) = 2\vec{r}(t) - \vec{r}(t - \Delta t) + \vec{a}(t)\Delta t^2 + O(\Delta t^4) \quad (3.19)$$

Оскільки інтегруємо рівняння Ньютона, прискорення частинок легко вважаються через силу, яка в свою чергу є функція положення $\vec{r}(t)$

$$\vec{a}(t) = \frac{\vec{F}(\vec{r}(t))}{m} = -\frac{1}{m} \nabla U_p(\vec{r}(t)) \quad (3.20)$$

де m - маса частинки;

U_p - потенційна енергія частки.

$$\vec{v}(t) = \frac{1}{2} \Delta t [\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t - \Delta t)] + O(\Delta t^2) \quad (3.21)$$

В результаті визначаються нові значення прискорень, швидкостей і координат частинок.

Використовуючи нові координати частинок, здійснюється перевірка взаємодії частинки з поверхнею рейки (колеса). Можливі кілька варіантів взаємодії:

-частинка рухається в напрямку поверхні рейки. В цьому випадку не робиться ніяких додаткових дій;

-частка досягла поверхні. В цьому випадку визначаються параметри взаємодії частинки з поверхнею (швидкість частинки в момент удару, кут атаки, координати точки поверхні, швидкість з якою частка відбилася від поверхні). Інформація про взаємодію вноситься в статистику взаємодій частинок з поверхнею;

-частка потрапила в зону контакту колеса з рейкою. Інформація про це вноситься в статистику частинок потрапили в контакт, і частка виключається з подальшого розгляду;

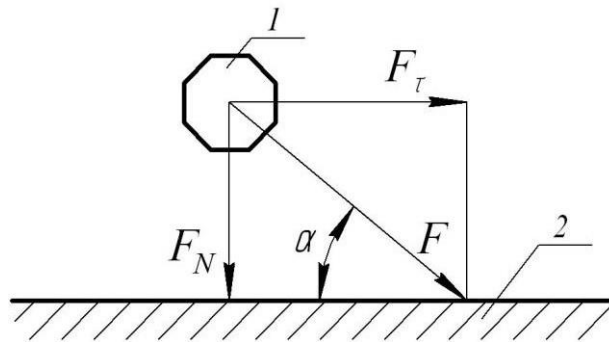
-частка перетнула кордони простору, в якому можливо зіткнення з поверхнею рейки (колеса). Частка виключається з подальшого розгляду.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.4 Математична модель взаємодії одиничної абразивної частинки з поверхнею рейки математична модель взаємодії одиничної абразивної частинки з поверхнею рейки

Основоположним у створенні теоретичної моделі САВ лежить процес взаємодії одиничної абразивної частинки робочого струменя з контактує поверхнею рейки.

Кожна абразивна частка (рисунок 3.12), що рухається в потоці, під кутом α до поверхні рейки діє на поверхню з силою F , яку можна розкласти на нормальну F_N , Перпендикулярну до очищуюся поверхні, і дотичну F_τ , Значення яких залежить від кута атаки α . При цьому взаємодія абразивної частинки також супроводжується виникненням крутного моменту $M_{кр}$ навколо центра ваги частинки.



1 - абразивна частка, 2 - поверхня

Рисунок 3.12 - Взаємодія абразивної частинки з поверхнею

При впровадженні частки відбувається в загальному випадку пружно-пластичне деформування поверхні, причому загальна глибина впровадження буде дорівнює сумі пружною і пластичної складових деформацій. На початковому етапі впровадження відбувається пружне деформування. Осередок пластичної деформації зароджується при досягненні максимальними напруженнями в центрі площадки контакту (відповідно до теорії Герца) критичного значення. Як показують розрахунки,

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для більшості металів і сплавів, величина пружного впровадження на кілька порядків менше радіуса заокруглення вершин абразивної частинки. Тому, нехтуючи пружною деформацією, можна вважати, що очищається поверхню рейки являє собою пластичне напівпространство. Для аналізу взаємодії абразивної частинки з поверхнею рейки приймемо такі припущення:

- абразивний частка вважається абсолютно жорсткою і в момент удару і частка не руйнується;
- частка являє собою кулю з радіусом R ;
- маса поверхні рейки в порівнянні з масою частинки нескінченно велика, тому хвильовими процесами при ударі нехтуємо;
- враховуємо тільки ковзання частинки по поверхні, обертанням і можливим перекошування частки при ударі нехтуємо;
- поверхню рейки представляє собою пластичне напівпространство.
- поверхню рейки будемо розглядати як гладку, без врахування шорсткості.

Процес зняття поверхневих забруднень, а в деяких випадках і вершин мікронерівностей поверхні, що очищається рейки стає можливим при напружених по лінії сколювання, що перевищують зазвичай опір матеріалу зрізу [11, 12]. При впровадженні абразивної частинки, забруднення по краях витріщає, і впровадження відбувається до тих пір, поки частка не досягне поверхні і напруга на контактній поверхні не стане рівним σ_s (σ_s - межа пластичності матеріалу поверхні, s – коефіцієнт, оцінюючий несучу спроможність контактної поверхні) При певному впровадженні, коли напруга на контактній поверхні досягає перевищує зазначені величини, настає загальмування матеріалу перед абразивної часткою, обтікання припиняється і починається на гребні е матеріалу, починає відбуватися процес мікрорізання забруднення (в деяких випадках - поверхні). Видалення забруднень відбувається в напрямку руху в площині торкання.

При побудові моделі процесу взаємодії, однією абразивної частинки поверхню, що очищується рейки, скористаємося методикою Непомнящего Е.Ф.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.150217.000.01МР.ПЗ

[19] при дослідженні тертя і зносу під дією потоку твердих сферичний, а також роботами вчених в цій галузі Тамаркіна М.А. і Тихонова А.А. [10-12].

Приймемо, що абразивна частка, що має характерний розмір R і рухається з сопла з початковою швидкістю V_n під кутом α до поверхні, вдаряється об неї з силою, достатньою для зняття поверхневих забруднень і вершин мікронерівностей. Позначимо dV - обсяг забруднення, віддаленого на шляху ковзання d_x , dV_d - деформований об'єм при взаємодії абразивної частки сферичної форми з деформованим простором :

$$dV = \frac{dV_d}{L} \cdot dx$$

де L - середній діаметр плями торкання абразивної частинки і поверхні при ударі.

Скористаємося співвідношенням відомим з теорії ковзання жорсткої сфери що пластично деформується простором [15, 16]:

$$L = 2\sqrt{R \cdot h} \quad (3.22)$$

$$V = \pi \cdot R \cdot h^2 \quad (3.23)$$

де h - глибина впровадження частки в шар забруднень і поверхню.

Проінтегрував (3.23) по шляху ковзання частинки, отримаємо:

Тоді

$$dV = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{R} \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot dx \quad (3.24)$$

Проінтегрував (3.24) по шляху частинки, отримаємо:

$$V = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{R} \cdot \int_0^x h^{\frac{3}{2}} \cdot dx \quad (3.25)$$

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В одних і тих же умовах мікрорізання одиничної абразивної часткою з підвищенням пластичності матеріалу збільшується кількість матеріалу, пластично відтисненого по краях подряпини, і зменшується частка матеріалу, який видаляється у вигляді мікростружка. Кількісна оцінка цього явища коефіцієнт стружкообформування, який визначається як [17]:

$$k_c = 1 - \varepsilon_n \quad (3.26)$$

де ε_n - коефіцієнт навалів, визначений згідно з [17].

З урахуванням вище зазначеного, можна записати:

$$V = \frac{\pi}{2} \cdot k_c \cdot \sqrt{R} \cdot \int_0^x h^{\frac{3}{2}} \cdot dx \quad (3.27)$$

Для знаходження межі інтегрування введемо безрозмірні величини зміщення абразивної частинки відносно плоскій поверхні:

$$\varepsilon = \frac{h}{h_{max}} \text{ и } \xi = \frac{x}{h_{max}}$$

Де h_{max} - максимальна глибина впровадження абразивної частинки. Після перетворень отримаємо:

$$V = \frac{\pi}{2} \cdot k_c \cdot \sqrt{R} \cdot h^{\frac{5}{2}} \cdot \int_0^{\varepsilon(\xi)} \varepsilon^{\frac{3}{2}} \quad (3.28)$$

Для врахування впливу реальних існуючих поверхневих забруднень на формування поверхневого шару рейки при САВ введений коефіцієнт K_e [18]. Він характеризує відношення енергії, що підводиться абразивних частинок до ефективно витраченої, що витрачається на руйнування шарів поверхневих забруднень і їх винесення при відскоку. визначення величини коефіцієнта K_e проводилося експериментально для різних, де чистота отриманої поверхні оцінювалася відповідно до міжнародного стандарту ISO 8501-01-1988.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Для подальшого аналізу скористаємося тим, що удар жорсткої абразивної частинки сферичної форми про напівпространство що деформується (рисунок 3.13), обмежене площиною, описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} k_e \cdot m \frac{d^2 h}{dt^2} = -P_N \\ k_e \cdot m \frac{d^2 x}{dt^2} = -P_\tau \end{cases} \quad (3.29)$$

де k_e - коефіцієнт енергії, витраченої на руйнування шарів поверхневих забруднень;

m – маса частинки,

ρ_c – щільність $m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_c$ матеріалу частинки;

t - час, за який відбувається очищення.

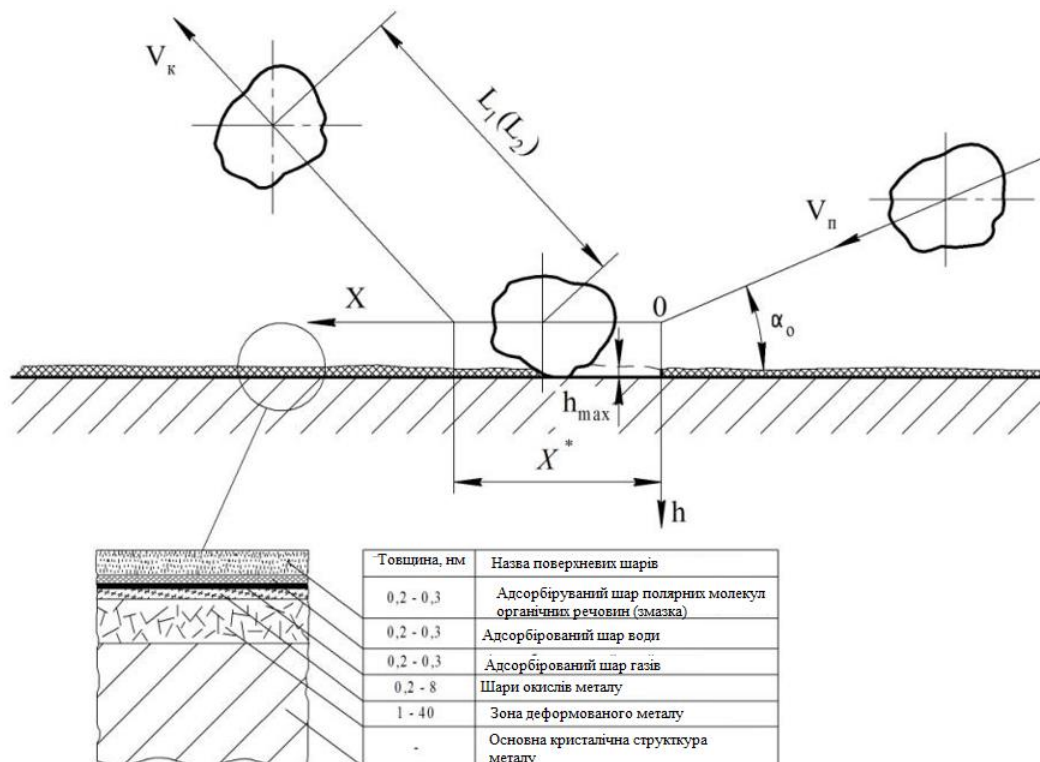


Рисунок 3.13 - Розрахункова схема взаємодії абразивної частинки з поверхнею рейки

Перше рівняння системи (3.30) можна вирішити, використовуючи відоме співвідношення з теорії пластичного контакту гладкою сферичної частинки з деформується півпростором [16]:

$$P_N = \frac{1}{2} \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot c \cdot \sigma_s \quad (3.30)$$

Реальна поверхня абразивної частинки значно відрізняється від гладкої сферичної поверхні геометричною формою. З огляду на велику різницю в твердості абразивних частинок і поверхні рейки, можна стверджувати, що площа фактичного торкання частки з поверхнею буде в основному визначатися мікрогеометрією абразивної частинки. Вплив форми абразивної частинки на фактичну площу контакту з поверхнею рейки визначається за допомогою коефіцієнта k_ϕ , Який дорівнює відношенню площі поверхні частинки до площі поверхні сферичної частинки рівного з нею обсягу [19].

З огляду на це, у натуральному вираженні (3.30) замінимо R на еквівалентний радіус частинки

$$R_\phi = R \cdot k_\phi \quad (3.31)$$

де k_ϕ - коефіцієнт, що враховує вплив форми абразивної частинки на фактичну площу контакту.

$$P_N = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot k_\phi \cdot R^2 \cdot h \cdot c \cdot \sigma_s \quad (3.32)$$

Після підстановки (3.32) в (3.30) отримаємо:

$$k_e \cdot m \frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot k_\phi \cdot R^2 \cdot h \cdot c \cdot \sigma_s$$

або

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{k_\phi \cdot c \cdot \sigma_s \cdot h}{k_e \cdot \rho_c \cdot R^2}$$

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

звідки, враховуючи, що при $t = 0, h=0$ та $\frac{dh}{dt} = 0$, отримаємо:

$$\frac{dh}{dt} = \pm \sqrt{V_n^2 \cdot \sin \alpha - \frac{3}{4} \cdot \frac{k_\phi \cdot c \cdot \sigma_s \cdot h}{k_e \cdot \rho_\psi \cdot R^2}} \quad (3.35)$$

З огляду на те, що при $h = h_{max}, \frac{dh}{dt} = 0$ отримаємо залежність для

визначення максимальної глибини впровадження частки:

$$h_{max} = 2 \cdot V_n \cdot k_\phi \cdot R^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_\psi}{3 \cdot k_e \cdot c \cdot \sigma_s}} \quad (3.36)$$

Перейшовши до безрозмірних координат можна записати:

$$\frac{dh}{dt} = \pm V_n \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad (3.37)$$

$$dt = \pm \frac{h_{max} \cdot d\varepsilon}{V_n \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2}} \quad (3.38)$$

Вважаючи, що дотичні зусилля обумовлені тільки тертям

$$d\xi = \left(f \pm \frac{ctg\alpha - f}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \right) d\varepsilon \quad (3.39)$$

Тут знак плюс відповідає збільшенню впровадження а $d\varepsilon > 0$, знак мінус-
 $d\varepsilon < 0$. зменшення.

Використовую (3.39), можливо проінтегрувати. Межа інтегрування знаходимо з умови, що ковзання припиняється, коли ε чи коли $\varepsilon = 0$.

У першому випадку з (3.47) маємо:

$$\varepsilon^* = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{f \cdot tg\alpha} - 1 \right)^2} \quad (3.40)$$

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

у другому випадку $\varepsilon = 0$.

Підінтегральна функція і межі інтегрування інтеграла, що входить в рівняння (2.29), можна висловити через безрозмірні величини ε та ξ :

$$A = \int_0^{\varepsilon^*} \varepsilon^{\frac{3}{2}} \cdot d\xi \quad (3.41)$$

Підінтегральна функція і межі інтегрування у виразі (3.41) залежать від кінематики зіткнення абразивної частинки з поверхнею. У нашому випадку тангенціальна компонента швидкості не гаситься в процесі зіткнення, так як за даними робіт [23,24] Коефіцієнт тертя абразивного зерна по металу дорівнює в середньому 0,25, а найбільш оптимальний кут контактування абразивної частинки з поверхнями контакту колеса з рейкою, не перевищує 45, тобто коли при цьому інтеграл (3.41) розпадається на суму двох інтегралів, які після простих перетворень зводяться до вираження:

$$A = 2(ctg\alpha - f) \int_0^1 \frac{\varepsilon^{\frac{3}{2}} \cdot d\xi}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \quad (3.42)$$

Інтеграл, представлений в натуральному вираженні (3.42) не береться до кінцевому вигляді, але його можна виразити через гамма-функцію:

$$A = \sqrt{\pi} \frac{\Gamma(\frac{5}{4})}{\Gamma(\frac{7}{4})} (ctg\alpha - f) \quad (3.43)$$

Підставляючи значення гамма-функції, отримаємо:

$$A = 1,75 \cdot (ctg\alpha - f) \quad (3.44)$$

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляючи (3.44) в вираз (3.29), після перетворень отримаємо залежність для визначення обсягу матеріалу, вилученого за один удар абразивної часткою:

$$V_m = 3,8 \cdot k_c \cdot \frac{R^2}{k_\phi^{3/4}} \cdot \left(V_n \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_c}{3 \cdot c \cdot \sigma_s}} \right)^2 \cdot \left[\operatorname{ctg} \alpha - f \cdot \left(1 + \left(1 - \frac{1}{k_e} \right) \right) \right] \quad (3.45)$$

де ρ_p - щільність матеріалу рейки.

Для зручності запису і користування залежностями (3.45, 3.46) введемо новий $k_3 = \frac{1}{k_\phi^{3/4}}$ коефіцієнт і назвемо його коефіцієнтом, що враховує вплив форми абразивної частинки на видалення поверхневих забруднень або згладжування вершин мікронерівностей.

Тоді залежності (3.45, 3.46) запишуться в наступному вигляді:

$$V_m = 3,8 \cdot k_c \cdot k_3 \cdot R^3 \cdot \left(V_n \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_c}{3 \cdot c \cdot \sigma_s}} \right)^2 \cdot \left[\operatorname{ctg} \alpha - f \cdot \left(1 + \left(1 - \frac{1}{k_e} \right) \right) \right] \quad (3.47)$$

$$q_m = 3,8 \cdot k_c \cdot k_3 \cdot R^3 \cdot \left(V_n \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_c}{3 \cdot c \cdot \sigma_s}} \right)^2 \cdot \left[\operatorname{ctg} \alpha - f \cdot \left(1 + \left(1 - \frac{1}{k_e} \right) \right) \right] \cdot \rho_p \quad (3.48)$$

В результаті видалення поверхневих забруднень і згладжування вершин мікронерівностей, середнє арифметичне відхилення профілю усталеною шорсткості рейки визначається за формулою:

$$R_a = 0,03 \cdot \sqrt{\frac{h_{max} \cdot l_{ed}}{N}} \quad (3.49)$$

де l_{ed} - одиниця довжини нормального перетину рейки;

N - кількість частинок, що контактують з поверхнею.

Виконане математичне моделювання процесу формування геометричних параметрів поверхневого шару рейки, при взаємодії його з однією абразивної часткою, дозволяє прогнозувати вплив двофазного потоку на поверхню рейки,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ					

прогнозувати очищення поверхні за міжнародним стандартом ISO 8501-1: 2007 і формувати необхідну шорсткість при різних параметрах впливу потоку.

3.3.4 Методика визначення коефіцієнта k_e

Втрати енергії при ударах абразивних частинок про зовнішніх поверхнях складають до 15% від величини енергії, яку вони мають на початку взаємодії з поверхнею [23] і значно залежать від різного фрикційного стану поверхні.

Коефіцієнт пружно-пластичного контакту абразивної частки з поверхнею рейки була проведена експериментально, шляхом вимірювання k_e , дальності відскоку 11 абразивних частинок від чистої, сухої поверхні і є відношенням енергії, що підводиться, до енергії, поглиненої при взаємодії з поверхнею оцінка цього дальності їх відскоку 12 після взаємодії з поверхнею покритою забрудненнями (вода, дизельне паливо, відпрацьоване масло, окалина або іржа). коефіцієнт K_e визначається за формулою:

$$k_e = \frac{l_1}{l_1 - l_2} \quad (3.50)$$

Експериментальне визначення величини коефіцієнта K_e здійснювалося за наступною методикою. Як досліджуваних зразків обрані натурні зразки рейки (рисунок 2.18, а) Р50 по ГОСТ Р 51685- 2000 і бандажа (рисунок 3.18, б) по ГОСТ 398-96. Досліджувана і базова поверхні зразків попередньо прошліфовані до шорсткості $R_a = 2,2 \text{ мкм}$, що відповідає шорсткості головки рейки і поверхні кочення колеса в експлуатації [11].

Як абразивний матеріал, при проведенні експериментальних досліджень, використовувався пісок будівельний (кар'єрний) по ГОСТ 8736-93. Перед початком кожного експерименту струменево-абразивний апарат фіксувався за допомогою штатива над поверхнею досліджуваних зразків. Кут атаки двухфазного струменя до поверхні зразка встановлювався рівним $\alpha = 30^\circ$, відстань від сопла 7 до поверхні зразка складає $l = 100 \text{ мм}$. Очистка зразків вироблялась

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервно продовж 5 секунд при різному фракційному стані поверхней. На рисунку 2.18 (а, б) показані очищенні зразки, на яких чітко проглядались сліди, залишені струйно-абразивної струї.

Швидкість робочого потоку при всіх експериментах становила 50 м/с і визначалася анемометром багатофункціональним АМ-70, виготовленим та прийнятими відповідно до ТУ 4311-003-25057366-2003 (межа допустимої абсолютної похибки - 0,1 м/с).

Як абразивний матеріал, при проведенні експериментальних досліджень, використовувався пісок будівельний (кар'єрний) по ГОСТ 8736-93. Перед початком кожного експерименту струменево-абразивний апарат фіксувався за допомогою штатива над поверхнею досліджуваних зразків. Кут атаки двофазної струменя до поверхні зразка встановлювався рівним $\alpha = 30^\circ$, відстань від сопла 7 до поверхні зразка складає $l = 100 \text{ мм}$. Очистка зразків вироблялась безперервно продовж 5 секунд при різному фракційному стані поверхней. На рисунку 3.14 (а, б) показані очищенні зразки, на яких чітко проглядались сліди, залишені струйно-абразивної струї.

Швидкість робочого потоку при всіх експериментах становила 50 м/с і визначалася анемометром багатофункціональним АМ-70, виготовленим та прийнятими відповідно до ТУ 4311-003-25057366-2003 (межа допустимої абсолютної похибки - 0,1 м/с).

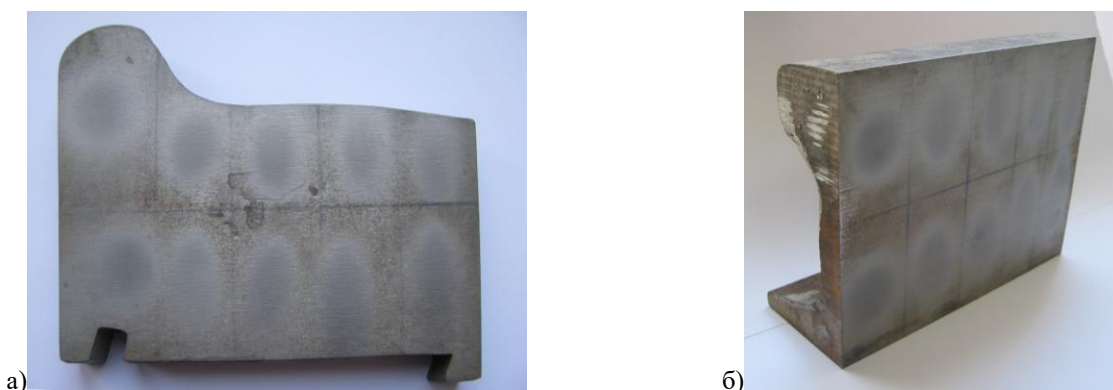


Рисунок 3.14 -Натурі зразки

						0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Поверхні досліджуваних зразків (до очищення) візуально здаються гладкими і чистими, але після дослідження поверхонь зразків за допомогою мікроскопа МПБ-3 при 50 кратному збільшенні визначено, що поверхня схильна до корозії і на ній присутні області покриті іржею та окалиною (рисунок 3.15, а, б).

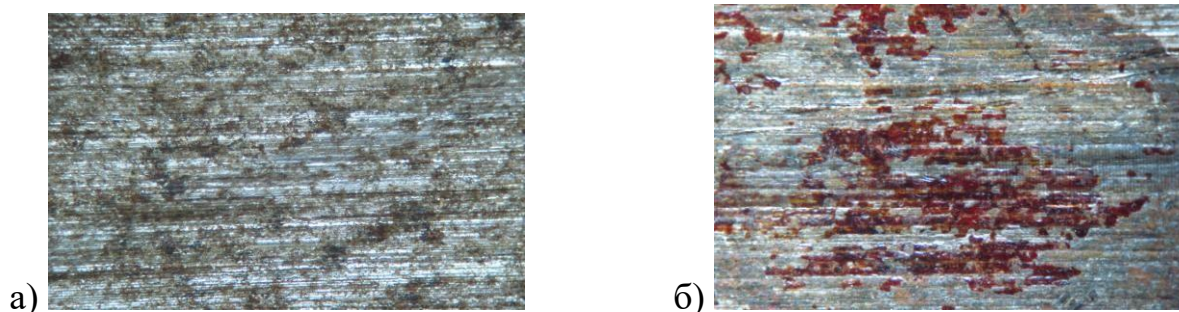


Рисунок 3.15 - Поверхневий шар досліджуваних зразків, 50×50

Як відомо [5, 14] Дані фактори негативно впливають на зчеплення колеса з рейкою. В результаті струменево-абразивної очистки сталося видалення всіх забруднень з поверхонь досліджуваних зразків. При цьому поверхню (рисунок 3.15) відповідає вимогам Міжнародного стандарту ISO 8501-01-1988 [11, 12].

При перевірці неозброєним поглядом поверхню виглядає очищеної від видимої окалини, іржі та інших сторонніх речовин, що в специфікаціях відповідає стандарту ISO-Sa 2,5 «Дуже ретельна піскоструминне очищення».

Після очищення відбувалося вимір величин l_1 і l_2 , за допомогою залежно (3.50) розраховувалися значення коефіцієнта $k_{едл}$ для різного фрикційного стану поверхонь (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 - Результати експериментальних досліджень визначення коефіцієнта k_e

Стан поверхні		Величина коефіцієнта K_e
1	Вкрита водою	3
2	Вкрита дизельним паливом	2,4
3	Вкрита відпрацьованим маслом	1,7
4	Вкрита окалиною або іржею	2,7

З метою визначення впливу коефіцієнта k_e на величину максимальної глибини впровадження h_{max} при САВ, виконаний розрахунок по залежності (3.36). Середнє арифметичне відхилення R_a профілю усталеною шорсткості рейки визначалося по залежності (3.49). Результати розрахунків зведені в таблиці 3.3-3.4.

Таблиця 3.3 - Результати експериментальних досліджень визначення h_{max} .

Стан поверхні		h_{max} , м
1	Вкрита водою	$1,36 \cdot 10^{-4}$
2	Вкрита дизельним паливом	$1,521 \cdot 10^{-4}$
3	Вкрита відпрацьованим маслом	$1,807 \cdot 10^{-4}$
4	Вкрита окалиною або іржею	$1,434 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 3.4 - Результати експериментальних досліджень визначення середнього арифметичного відхилення R_a

№	Стан поверхні	R_a , мкм
1	Вкрита водою	0,95
2	Вкрита дизельним паливом	1,022
3	Вкрита відпрацьованим маслом	1,15
4	Вкрита окалиною або іржею	0,99

Отримані експериментальні значення величини коефіцієнта k_e дозволяють врахувати наявність забруднень (вода, дизельне паливо, відпрацьоване масло, продукти зносу і корозії) на контактуючих поверхнях їх струменевого очищення, що дозволить адекватно оцінити показники якості і чистоти поверхні, а так само коефіцієнта тертя.

3.4.2 Побудова опорних кривих поверхонь

Однією з найважливіших топографічних характеристик мікрогеометрії є крива опорної поверхні, що описує розподіл матеріалу по висоті поверхні шару. На підставі отриманих профілограм поверхні катання рейки, представлених на рисунку 3.20, побудовані криві опорних поверхонь (рисунок 3.17) у відносних координатах. Початкова частина опорної кривої апроксимується наступним виразом [13]:

$$\eta_s = b \varepsilon_{max}^v = t_m \varepsilon^v, \quad (3.51)$$

де η_s - відносна опорна площа;

t_m - відносна опорна довжина профілю;

ε - відносне зближення; b і v - константи.

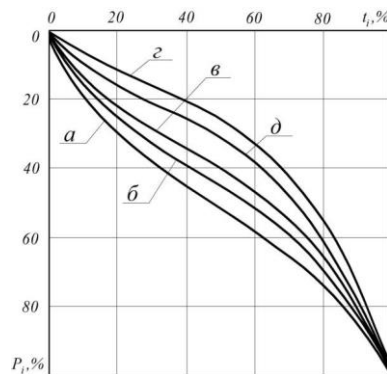


Рисунок 3.17 - Криві опорних поверхонь рейки

Параметри опорної кривої b і v визначаються з профілограми за такими формулами:

$$v = 2t_m \left(\frac{R_p}{R_a} \right) - 1, \quad b = t_m \left(\frac{R_{max}}{R_p} \right)^v \quad (3.52)$$

Підставивши формули (3.52) і в вираз (3.51), отримаємо:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01МР.ПЗ

$$\eta_S = t_m \left(\frac{P'}{R_p} \right)^{\frac{2t_m R_p}{R_a} - 1}, \quad (3.53)$$

де p' - величина зближення;

R_p - висота згладжуючи (нівелювання).

Для частини опорної кривої, розташованої нижче лінії, тобто $P' > R_p$ при отримаємо:

$$\eta_S = 1 - (1 - t_m) \left(1 - \frac{R_{max} - P'}{R_{max} - R_p} \right)^{\frac{2(1 - t_m)(R_{max} - R_p)}{R_a} - 1}, \quad (3.54)$$

де R_{max} - найбільша висота нерівностей профілю опорна крива, описується виразами (3.53) і (3.54), включають в себе параметри шорсткості, які визначені експериментально і буде відповідати розподілу матеріалу досліджуваної реальної поверхні.

Вимірювання шорсткості на поверхні рейки виконувалися в метрологічній лабораторії ПАТ «Луганськтепловоз» за допомогою приладу фірми «Hommel Tester» типу T1000 (паспортна похибка 0,002 мм), представленого на рисунку 3.18. На очищену поверхню рейки, після кожного режиму впливу струменево-абразивним потоком, встановлювався і фіксувався вимірювальний перетворювач з індуктивної системою щупа. Дія приладу заснована на принципі проходження нерівностей досліджуваної поверхні алмазної голкою щупа і перетворення, що виникають при цьому механічних коливань щупа в зміни напруги, пропорційні цим коливанням, які посилюються і перетворюються електронним блоком. Результати вимірювання виводяться на рідкокристалічний дисплей блоку управління і портативний друковане пристрій.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

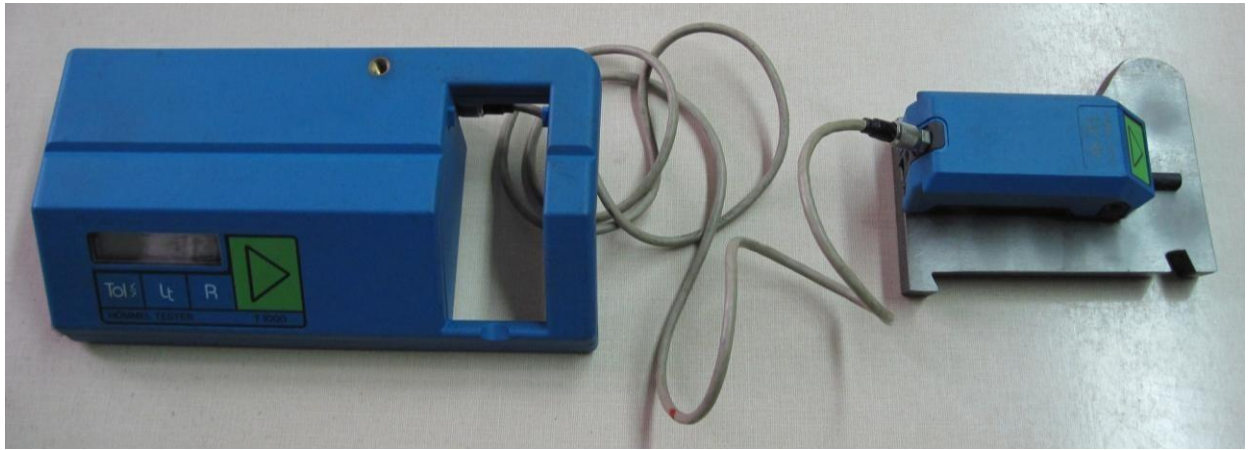


Рисунок 3.18 - Вимірювання шорсткості поверхні за допомогою приладу
Hommel Tester T1000

Межа систематичної складової основної похибки по параметру R_a становить 3%, що дозволяє з високою точністю і достовірністю визначати всі необхідні для подальших розрахунків параметри шорсткості поверхні.

Отримані результати використовуються при математичному моделюванні тертя, поверхонь колеса і рейки, з огляду на зміну кривих опорних поверхонь мікрогеометрії, взаємодіючих колеса і рейки, при дії на них двухфазного струменево-абразивного потоку. Це дозволяє визначити фрикційні характеристики контакту з урахуванням параметрів потоку абразивних частинок і параметрів шорсткості контактуючих поверхонь.

3.5.3 Визначення фрикційних характеристик контакту колеса і рейки

В результаті контактування поверхонь колеса і рейки на плямах фактичної площі контакту утворюються когезійні містки, які є результатом молекулярного взаємодії поверхонь. Виступи і западини контактуючих поверхонь, в свою чергу, вступають в механічне взаємодія між собою, викликаючи деформацію.

Процес зовнішнього тертя колеса і рейки є деформування поверхневих шарів контактуючих елементів, що супроводжується безперервним розривом і

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відновленням когезіонних містків між поверхнями. Згідно робіт [13, 14] силу тертя, що виникає на кожній мікронерівності профілю, можна уявити, як суму молекулярної сили тертя $F_{i,мол}$ і механічної сили тертя $F_{i,мех}$

$$F_i = F_{i,мол} + F_{i,мех} \quad (3.55)$$

В роботі [29] молекулярна складова коефіцієнта тертя визначається як:

$$f_{i,мол} = \frac{\tau}{P_\phi} + \beta, \quad (3.56)$$

де τ - здвиговий опір матеріалу, $\tau = 608$ мПа;

P_ϕ - фактичний тиск в контактi, $P_\phi = 120$ кН ;

β - пьезокоефіцієнт молекулярної складової тертя, $\beta = 0,08$.

Механічна складова коефіцієнта тертя визначається для пружного контакту сферичної нерівності виразом [14]:

$$f_{i,мех} = 0,19\alpha_\Gamma \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (3.57)$$

де $\alpha_\Gamma = 1$ - коефіцієнт гістерезисних втрат при ковзанні, $\alpha_\Gamma = 1$;

h - глибина впровадження нерівності;

r - радіус нерівності.

Коефіцієнт тертя для одиничної нерівності, з урахуванням виразів(3.56) і (3.57), буде дорівнює:

$$f_{i,мол} = \frac{\tau}{P_\phi} + \beta + 0,19\alpha_\Gamma \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (3.58)$$

В результаті моделювання, вираз для визначення коефіцієнта тертя з урахуванням утвореної модифікованої поверхні рейки (очищення від поверхневих забруднень і зміна параметрів шорсткості при САВ), запишеться у вигляді:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.150217.000.01МР.ПЗ

$$f = \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2^{v_K} \sqrt{2k_v}} \right)^{2v_K+1} \frac{\tau \left(2 \frac{1-\mu_c^2}{E_c} \right)^{\frac{2v_K}{2v_K+1}}}{P_\phi^{\frac{1}{2v_K+1}} \Delta^{\frac{v_K}{2v_K+1}}} + \beta +$$

$$+ 0,19 K_v \left(\frac{2\sqrt{\pi}}{k_v} \right)^{\frac{1}{2v_K+1}} \alpha_\Gamma \left(P_\phi 2 \frac{1-\mu_c^2}{E_c} \right)^{\frac{1}{2v_K+1}} \Delta^{\frac{v_K}{2v_K+1}}, \quad (3.59)$$

де Δ - комплексний критерій шорсткості [14];

$k_v = 0,54$, $K_v = 0,76$ - коефіцієнти, пов'язані через гамма функцію з v_K ;

E_c - модуль пружності, $E_{zc} = 2 \cdot 10^5$;

μ_c - коефіцієнт Пуассона, $\mu_c = 0,3$.

Середній радіус ня вершин нерівностей визначається за формулою:

$$r_K = \frac{r_K \cdot r_P}{r_K + r_P}, \quad (3.60)$$

де - r_K і r_P - відповідно радіус заокруглення вершин нерівностей колеса і рейки.

Аналіз залежності (3.59) показує, що коефіцієнт тертя колеса і рейки в кінцевому підсумку залежить від мікрогеометрії поверхонь, навантаження колеса на рейку і фізико-механічних властивостей поверхонь матеріалу.

На підставі формули (3.59) і результатів моделювання по багаторівневої моделі визначені раціональні параметри системи САВ на формування поверхневого шару рейки. Встановлено, що регулювати коефіцієнт тертя колеса з рейкою в діапазоні 0,3-0,41 можливо при використанні параметрів системи САВ в межах:

- кут атаки абразивної струменя $\alpha = 15 - 20^\circ$;
- швидкість абразивного матеріалу $V_1 = 50 - 60$ м/с;
- діаметр сопла $d_c = 0,02 - 0,025$ м/с ;
- кут розпилу струменя $\beta = 4 - 6^\circ$ м/с ;
- зернистість абразиву $d = 0,0003 - 0,0006$ м;

						0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- відстань від сопла до поверхні (довжина абразивної струменя) $L = 0,2 - 0,3$ м ;
- витрата абразивного матеріалу $Q = 0,3 - 0,4$ кг/хв

Висновки до розділу. Використовуючи вперше розроблену імітаційну модель руху абразивного матеріалу і комп'ютерну програму для її реалізації, проведено серію чисельних експериментів і визначено вплив параметрів системи подачі абразивного матеріалу на його розподіл по ширині головки рейки.

Отримала подальший розвиток математична модель контактування одиничної абразивної частинки з поверхнею рейки, в якій враховано вплив форми абразивних частинок і наявність забруднень на контактуючих поверхнях. Експериментальним шляхом отримані значення величини коефіцієнта K_e , характеризує енергію, витраченої на руйнування шарів поверхневих забруднень, для різного фрикційного стану поверхонь. визначено вплив коефіцієнта K_e на величину максимальної глибини впровадження частки h_{max} і середнє арифметичне відхилення R_a профілю усталеної шорсткості рейки при САВ.

Проведений аналіз параметрів мікрогеометрії поверхонь свідчить, що найбільш сприятливим, для зчеплення колеса з рейкою, режимом впливу є IV-й ($\alpha = 15^\circ, V_1 = 50$ м/с, $L = 0,2$ м), який дозволяє добитися 7 класу шорсткості ($R_a = 0,74$ мкм) згідно ГОСТ 2789-73.

На підставі отриманих змін кривих опорних поверхонь мікрогеометрії, взаємодіючих колеса і рейки при дії на них двухфазного струменево-абразивного потоку отримала подальший розвиток математичну модель тертя поверхонь колеса і рейки при САВ.

За результатами моделювання на вперше розробленої багаторівневої математичної моделі, в яку входять: імітаційна модель руху абразивного матеріалу, математична модель контактування одиничної абразивної частинки з поверхнею рейки і математична модель тертя поверхонь колеса і рейки, встановлені раціональні параметри системи САВ з можливістю регулювання коефіцієнта тертя колеса з рейкою при їх різному фрикційної стані в діапазоні 0,3-0,41.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПІСКУ ПІД РУШІЙНІ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА

В даний час технічний стан рухомого складу України не відповідає сучасним вимогам. Велика частина тягового рухомого складу українських залізниць побудована згідно з технічними вимогами минулого століття. Такий рухомий склад характеризується збільшеними і постійно зростаючими експлуатаційними витратами, має низьку економічність порівняно з локомотивами нового покоління. Темпи старіння локомотивного парку залізниць України значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків тягового рухомого складу, внаслідок щорічного недостатнього фінансування для відповідного оновлення.

Тому основним завданням для вирішення встановлює оновлення, тягового рухомого складу, є його часткова модернізація, яка дозволить продовжити терміни його експлуатації, підвищити економічність, а також знизити витрати на експлуатаційні ресурси.

Як було встановлено, одним із пріоритетних напрямків наукових досліджень є взаємодія в системі колесо-рейка», тому доцільно проводити модернізацію пісочної системи локомотива для досягнення максимально можливих зчпних якостей при різних погодних умовах і режимах експлуатації.

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

Це обумовлено:

- виявленням підвищеного зносу пружних прокладок між подошвами рейок і шпалами, який тягне за собою зміну жорсткості рейкошпальної решітки;
- підвищеною витратою піску на локомотивах, експлуатованих на дорогах Укрзалізниці.

Пропонована конструкція адаптивної системи подачі піску під рушійні колеса локомотива розробляється відповідно до вимог наказів Укрзалізниці.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновано розробити конструкторську-технічну документацію на пісочну систему локомотива блочно-модульного типу для тепловозів 2ТЕ116, ТЕМ103 та електровозів 2ЕЛ4, 2ЕЛ5, зокрема на:

1.1. Пружний вузол кріплення наконечника і трубопроводу на невіднесеної частини візка локомотива (буксе), з подачею піскоповітряної суміші безпосередньо в контакт системи «колесо-рейка».

1.2. Форсунку піскоподаючої системи з регульованою продуктивністю.

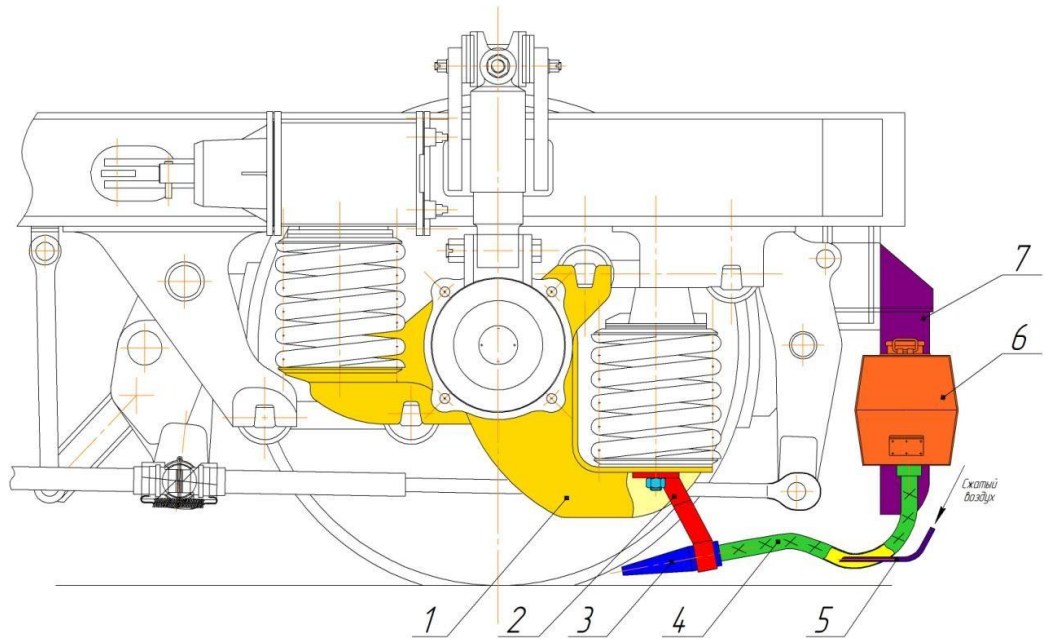
1.3. Універсальний блоковий модуль конструкції бункера з форсункою і системою управління для установки і кріплення на рамі візка (тепловоза і електровоза).

1.4. Електричну систему мікропроцесорного ступеневої управління з регульованою продуктивністю подачі піску (за результатами моделювання та випробувань).

1.5. Зносостійкий наконечник і полегшений трубопровід (форму перетину, діаметр і матеріал), у відповідність до прийнятої продуктивністю пісочної системи.

Створення адаптивної, що повторює практично всі переміщення колеса, системи подачі піску, можливо за рахунок кріплення гумового наконечника і трубопроводу за допомогою кронштейна на крилі букси візка для точної, дозованої подачі піску. Вільний хід колісної пари щодо букси дорівнює 2 мм, що дозволить наконечнику, закріпленому на буксі, виконувати переміщення з меншою амплітудою, ніж при кріпленні на рамі візка і компенсувати це переміщення кутом розпилу піско-повітряного струменя. На рисунку 4.1 представлений один з варіантів кріплення кронштейна з трубопроводом і наконечником на крилі букси за допомогою штатної гайки, що служить для регулювання жорсткості пружин ресорного підвішування.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - крило букси, 2 - кронштейн кріплення наконечника, 3 - наконечник, 4 - трубопровід подачі піску-повітряної суміші, 5 - трубопровід подачі стисненого повітря, 6 - бункер з піском, 7 - кронштейн кріплення бункера

Рисунок 4.1 - Загальний вигляд букси тривісної візки локомотива обладнаної модернізованою системою подачі піску

Передача тягових і гальмівних зусиль від колісних пар на раму візка здійснюється поводками з пружними резино металевими втулками, а корпус букси має можливість повертатися в площині, перпендикулярній осі колісної пари (рисунок 4.2).

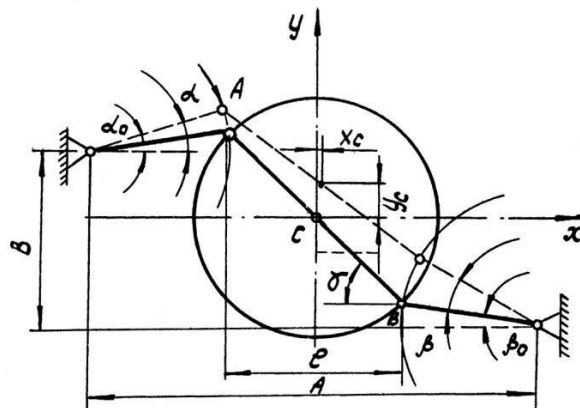


Рисунок 4.2 - Кінематична схема буксового вузла

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.150217.000.01MP.ПЗ

4.1 Розробка вузла форсунки

Однією з головних завдань в сучасному машинобудуванні є зменшення матеріалозатрат на виробництво тієї чи іншої продукції (системи або окремої деталі), без зниження її ефективності роботи при існуючих умовах експлуатації. Найбільшого поширення в пісочних системах вітчизняних локомотивів отримала форсунка ОНЗ-64 (рисунок 4.3), яка служить для створення піско-повітряної суміші, її дозування і транспортування в трубопроводі. Від правильності регулювання форсунки залежить ефективність використання піску. Подача піску регулюється на продуктивність від 750 до 2000 г / хв під кожне колесо обертанням регулювального гвинта. Регулювання продуктивності неможлива в умовах експлуатації, це виражається в тому, що кількість подаваного піску завжди однаково незалежно від конкретних умов.



Рисунок 4.3 - Форсунки ОНЗ-64 для подачі піску під 1-ю і 3-ю колісні пари (з одного боку візки)

Форсунка ОНЗ-64 - цільнолита деталь складної форми, яка так само вимагає складної технологічної обробки. Ціна виготовлення однієї форсунки ОНЗ-64 дорівнює близько 650 гривень. На одну секцію локомотива встановлюються 8

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час відсутні системи автоматичного управління та оптимізації параметрів пневмодозіруючих пристроїв, які могли б забезпечити не тільки режим стійкої подачі, але і дозування абразивного сипучого матеріалу. Саме тому необхідно, розробити метод автоматичного управління процесом найбільш ефективного і економічно вигідного дозування абразивного матеріалу, що адаптується до різних погодних умов і режимів руху локомотива.

Управління витратою абразивного матеріалу може бути реалізовано як в безперервній, так і в імпульсній формі. Використовуючи імпульсну форму можна виконувати дозування абразивного матеріалу в широкому діапазоні, забезпечивши ряд додаткових можливостей для управління системою подачі:

- управління у вигляді суворо регламентованих вагових або об'ємних доз абразивного матеріалу підвищує точність середньої витрати;
- наявність в керуючому впливі сигналів з різною амплітудою, тривалістю і шпаруватістю, що дозволяє підвищити якість управління дозуванням;
- постійна величина миттєвої витрати в межах одиничного імпульсу може бути стабілізована на тому значенні, яке найбільшою мірою відповідає вимогам конкретних умов експлуатації;
- параметри двофазного потоку при постійній величині витрати можуть бути визначені розрахунковим шляхом, що дозволяє легко коректувати і налаштовувати систему.

При подачі матеріалу у вигляді імпульсної послідовності з постійними параметрами імпульсів і змінною частотою їх подачі, середній в часі об'ємний витрата матеріалу визначається:

$$Q_{cp} = V_0 \cdot f, \quad (4.1)$$

де V_0 - обсяг одиничної дози;

f - частота видачі доз;

T - період видачі. При імпульсній подачі параметри послідовності.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

імпульсів повинні бути обрані таким чином, щоб проміжок часу між імпульсами при максимальній частоті подачі дозволяв з деяким запасом по часу заповнити поверхню пористої пластини дозатора.

При проектуванні системи необхідно вирішити дві головні завдання - визначити параметри імпульсу витрати (амплітуду, тривалість і шпаруватість) і розрахувати основні конструктивні параметри виконуючого пристрою.

Система подачі абразивного матеріалу повинна працювати в двох режимах подачі - безперервної (для випадку екстреного гальмування) і імпульсної, забезпечуючи достатню швидкодію і точність регулювання витрати. Функціональна схема системи автоматичного регулювання витрати абразивного матеріалу представлена на рисунку 4.5. У схемі передбачений контроль за витратою абразивного матеріалу і його зіставлення з еталонним випадком (відповідно до градації продуктивності системи).

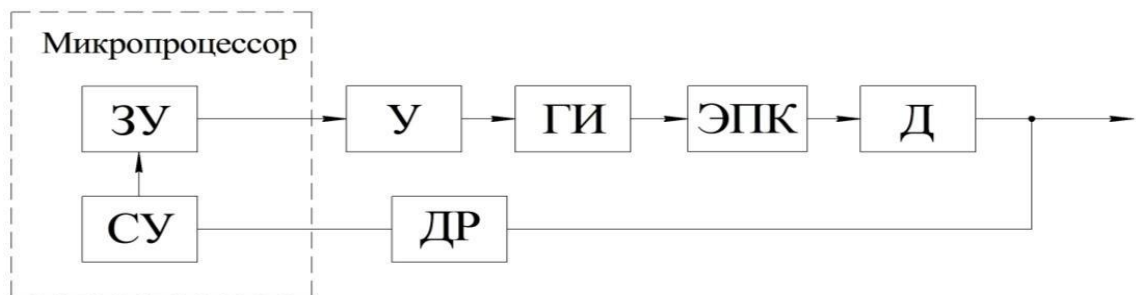


Рисунок 4.5 - Функціональна схема системи автоматичного регулювання витрати абразивного матеріалу

Основними елементами системи є мікропроцесор, який включає задає пристрій (ЗУ) і порівняльне пристрій (СУ), а так же підсилювач (У), генератор імпульсів (ГІ), електропневматичний клапан (ЕПК), дозатор (Д) і датчик витрати абразивного матеріалу (ДР).

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.150217.000.01МР.ПЗ

Програмне забезпечення пристрою, що задає, яке обробляється мікропроцесором, отримує задають сигнали від машиніста з пульта управління і передає їх підсилювач. Підсилювач вибирається на основі узгодження (посилення) вхідного сигналу (напруги) надходить в електропневматичні вентилі використовуються для управління пневматичною системою в режимі безперервної або імпульсної подачі стисненого повітря в дозатор, здійснюючи прискорення подачі абразивного матеріалу.

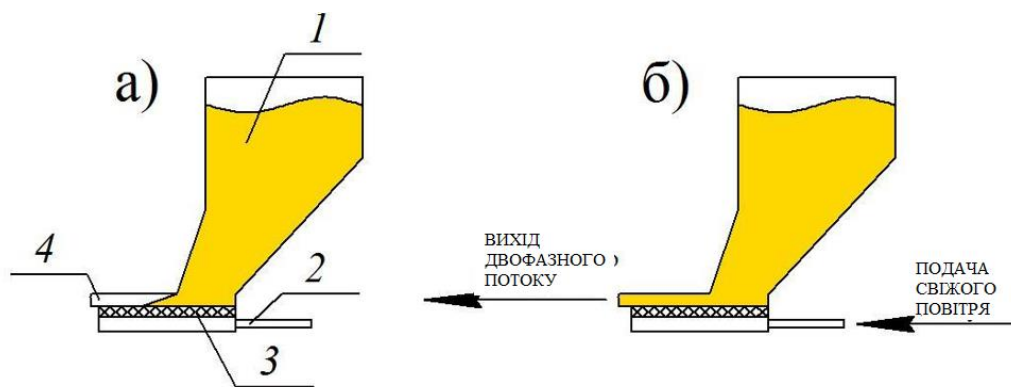
Включення системи подачі абразивного матеріалу здійснюється за обраною машиністом однією з градацій продуктивності пісочної системи на пульті управління (в залежності від погодних умов і режиму руху поїзда). При цьому задає сигнал для регулювання витрати надходить з мікропроцесора на підсилювач. Далі посилений сигнал надходить на генератор імпульсів, який виробляє імпульси певної форми, тривалості і шпаруватості, що впливають на роботу електропневматичного клапана, підключеного до джерела стисненого повітря. Джерелом стисненого повітря служить пневматична система локомотива або спеціально встановлений компресор з тиском стисненого повітря від 0,4 мПа до 1,0 мПа.

Як дозатора використовується імпульсний (дискретний) дозатор (рисунок 4.6), що має не складну конструкцію, простий в обслуговуванні, що дозволяє подавати дозується матеріал як безперервно, так і імпульсно через певні проміжки часу. Швидкість подачі матеріалу визначається конструктивними характеристиками дозатора і може регулюватися в обраних межах згідно градацій продуктивності системи.

Принцип дії дозатора заснований на властивості сипучих матеріалів набувати властивостей рідини при подачі повітря для аерації. Абразивний матеріал з бункера для зберігання впливає на пористу пластину, проте далі не рухається, так як сила тертя абразивних часток один про одного і про пористу пластину перешкоджає силі тяжіння просунути частки і виштовхнути їх через вихідний патрубок дозатора. Таким чином, без подачі стисненого повітря відбувається само запирання матеріалу.

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При подачі стисненого повітря у вхідний патрубок, повітря проходить через пористу пластину і аерується шар матеріалу, що прилягає до пластини, при цьому сила тертя частинок зменшується і стає менше сили тяжіння, яка виштовхує матеріал через вихідний патрубок. Величина імпульсу повітря на аерацію визначається пристроєм управління відповідно до градації системи (алгоритму дозування). Швидкість витікання абразивного матеріалу залежить від властивостей матеріалу (розміру фракції, форми частинок, їх вологості), конструкції дозатора і інтенсивності повітряного потоку спрямованого на аерацію.



а) без подачі стисненого повітря; б) при подачі стисненого повітря;

1 - бункер з абразивним матеріалом, 2 - патрубок подачі стисненого повітря, 3 - пориста пластина, 4 - патрубок виходу двофазного потоку

Рисунок 4.6 - Дозатор з бункером для абразивного матеріалу

Перевагами такого дозатора є:

- імпульсний і безперервний спосіб подачі, що дуже важливо при екстреному гальмуванні, коли необхідно подавати рівномірний потік;
- великий діапазон зміни величини дози подає матеріалу;
- простота конструкції: дозатор не має рухомих частин, не вимагає мастила, не зношується, є компактним і недорогим у виготовленні і обслуговуванні;
- малий тиск повітря, необхідного для аерації;
- малі витрати стисненого повітря, необхідного для роботи дозатора.

На працездатність пісочної системи впливають такі фактори як вологість

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ					

абразивного матеріалу, закупорка пісочних трубопроводів, порушення герметичності пневматичної системи і сполучних трубопроводів. Так само рух двофазного потоку має свої особливості пов'язані з різною дисперсністю абразивного складу, відмінностями швидкостей окремих фаз, а як же їх концентрацією. З огляду на дані фактори і особливості, при подачі абразивного матеріалу необхідно мати точне уявлення про величину його витрат, що дозволить оперативно контролювати і коригувати продуктивність системи в процесі експлуатації.

На підставі аналізу датчиків витрати сипучих матеріалів і досвіду вчених, які проводили дослідження в даній області, при розробці датчика витрати абразивного матеріалу обраний ємнісний перетворювач, який реагує на вимірювання його коефіцієнта заповнення абразивним матеріалом з діелектричної проникністю. Такий датчик може бути використаний як індикатор концентрації абразивного матеріалу в робочій області вимірювального конденсатора. Датчик витрати складається з гумового сопла, в якому коаксиально встановлені дві металеві втулки з внутрішнім діаметром рівним діаметру сопла (рисунок 4.7). Втулки є електродами конденсатора, з'єднані з джерелом живлення.

У процесі руху через конденсатор двухфазного абразивного потоку розглядаємо його як конденсатор з двошаровим діелектриком. Ємність такого конденсатора визначаємо за формулою:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{d_0 + \frac{d_1}{\varepsilon_1}}, \quad (4.2)$$

ε_0 - діелектрична постійна;

S - площа електрода конденсатора;

d_1 - відстань між електродами конденсатора, займане абразивним матеріалом з діелектричної проникністю 1;

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d_0 - відстань між електродами конденсатора, займане повітряним зазором.

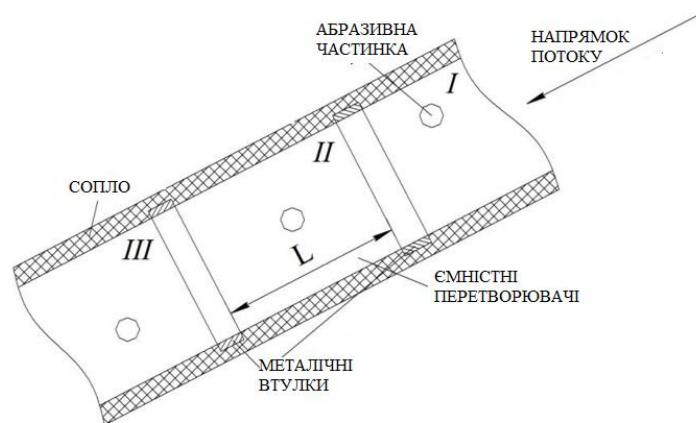


Рисунок 4.7 - Схема руху абразивної частинки в соплі через ємнісний перетворювач

Так як абразивні частинки мають форму близьку до кулі з радіусом R і рухаються хаотично по всьому об'єму вимірювального конденсатора, уявімо двофазний абразивний потік у вигляді двошарового діелектрика з обсягами V_B і $V_{ам}$ (обсяг робочої області конденсатора, займаний абразивним матеріалом). За умови, що в ємнісному перетворювачі знаходяться N кількість частинок абразивного матеріалу можна обчислити $V_{ам}$ за формулою:

$$V_{ам} = V_{ш} \cdot N = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^3}{3} \cdot N. \quad (4.3)$$

Якщо відомий обсяг твердої речовини, то при заданій площі електродів ємнісного перетворювача можна визначити величину шару діелектрика.

При проходженні двофазного потоку через електричне поле відбувається явище поляризації, що сприяє зміні ємності конденсатора C . Рух абразивного матеріалу в соплі з вбудованим ємнісним перетворювачем можна розглянути в три етапи (рисунок 4.7):

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ				

I етап - до появи абразивної частки в електричному полі ємнісного перетворювача, при цьому її ємність дорівнює C_0 ;

II етап - абразивна частка знаходиться між електродами перетворювача, електрична ємність ємнісного перетворювача дорівнює $C_{еп} = C_0 + \Delta C$

III етап - абразивна частка знаходиться за межами електричного поля ємнісного перетворювача, електрична ємність ємнісного перетворювача дорівнює $C_{еп} = C_0$.

Для вимірювання швидкості руху твердого речовини потрібно зафіксувати проміжок часу, при якому ємність перетворювача дозволяє визначити швидкість його руху $V_{дв}$:

$$V_{дв} = \frac{L}{t}, \quad (4.5)$$

де L - довжина електродів ємнісного перетворювача;

t - час руху абразивної частинки в ємнісному перетворювачі.

Рух абразивного матеріалу через сопло впливає на ємність конденсатора, яка зміниться пропорційно діелектричній проникності матеріалу і його обсягу. Зміна електричної ємності конденсатора буде проявлятися на його заряді, утримуваного на електродах, так як він підключений до джерела постійної напруги:

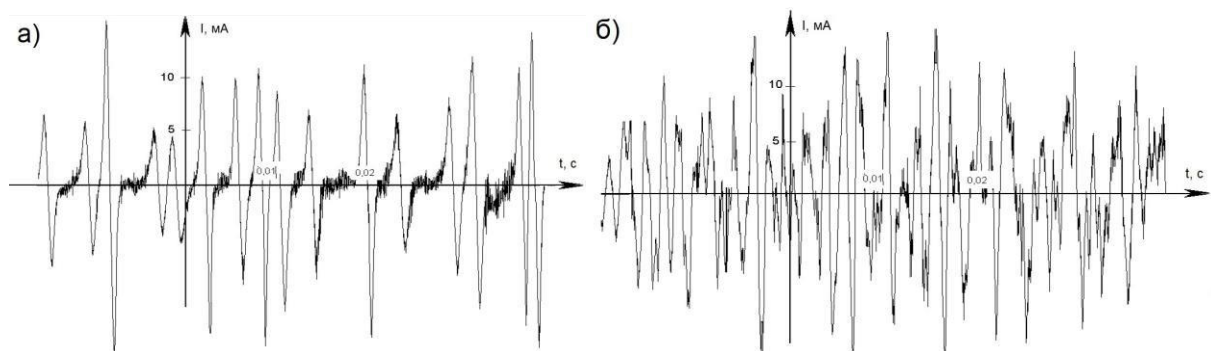
$$\Delta C = \frac{\Delta q}{U}. \quad (4.6)$$

Величина зміни заряду q прямо пропорційна зміні електричної ємності конденсатора ΔC і поданого на його електроди напруги U . Зміна ємності прямо пов'язане з діелектричною проникністю абразивного матеріалу, його об'ємом і геометричним розташуванням усередині електричного поля конденсатора. Зміна заряду конденсатора утворює струм поляризації:

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (4.7)$$

Переміщення кожної абразивної частинки через електричне поле конденсатора частка буде створювати сплеск електричного струму (рисунок 4.8), максимальне значення якого визначається не тільки геометричними і електричними характеристиками речовини, але і швидкістю його руху. Чим швидше рухається частка, тим більше буде імпульс струму.



а) невисока концентрація; б) середня концентрація

Рисунок 4.8 - Величина електричного струму вимірювального конденсатора при русі через нього абразивного матеріалу різної концентрації

Отриманий сигнал через підсилювач подається на компаратори аналогових сигналів для фіксації струмів поляризації, викликаних рухом абразивного матеріалу. Виходи компараторів підключаються до мікроконтролеру для визначення тимчасового інтервалу між сигналами з компараторів. Мікроконтролер за заданою програмою обчислює швидкість руху кожної частинки і видає середню швидкість потоку частинок за певний проміжок часу. Виміряна швидкість руху абразивного матеріалу і його концентрація в ємнісному перетворювачі служать вихідними даними для розрахунку масового та об'ємної витрати. Величина витрати

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ					

передається в порівняльне пристрій мікропроцесора, що дозволяє порівняти витрати в процесі експлуатації з тарировочною залежністю, відповідної градації продуктивності системи подачі абразивного матеріалу.

У разі закупорки сопла, його діелектрична проникність буде значно вище, ніж при проходженні через нього потоку абразивного матеріалу і сигнал, що надходить на мікроконтролер, матиме максимально значення, що сигналізує про освіту «пробки» в соплі.

Таким чином, застосування запропонованого пристрою з датчиком витрати абразивного матеріалу дозволяє управляти продуктивністю і здійснювати контроль за подачею матеріалу в процесі руху локомотива і визначати продуктивність системи в різних умовах експлуатації.

4.1 Визначення форми і розмірів наконечника

Аналіз пісочних систем вітчизняних і зарубіжних локомотивів (як старих, так і нових зразків) показує, що не існує єдиної концепції у виборі найбільш доцільної форми і розмірів вихідного перетину наконечника. Наприклад, на тепловозах, що експлуатуються на залізницях країн СНД, подача піску під колеса здійснюється по трубах внутрішнім діаметром 32 мм і діаметром вихідного перетину наконечника 20-25 мм.

Найбільш різноманітною на різних моделях локомотивів є форма вихідного перетину наконечників. Огляд наукової літератури, а так само фотоматеріалів з міжнародних виставок залізничної техніки, дозволив виділити найбільш популярні форми наконечників трубопроводів пісочних систем:

- циліндричні трубопроводи без наконечників різної форми і довжини;
- гумові наконечники з косим зрізом, паралельним площині рейки;
- металеві або гумові конфузори;
- металеві наконечники з косим зрізом, зверненим до поверхні кочення колеса локомотива або до поверхні головки рейки;

						0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

– наконечники з круглою формою поперечного перерізу.

Така велика різноманітність конструкцій наконечників свідчить про недостатню вивченість процесу руху частинок піску, але доводить про великий інтерес, який проявляється до цього питання з боку залізниць, локомотивбудівних компаній і дослідницьких організацій.

На локомотивах, експлуатованих на залізницях країн СНД, застосовуються гумові наконечники з косим зрізом, паралельним площині рейки, які володіють недостатньою точністю подачі, що викликає ряд недоліків (див. Підрозділ 1.3).

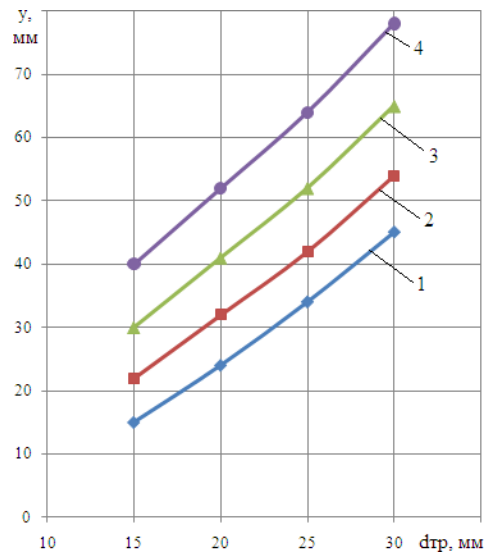
Підвищення швидкості подачі піску забезпечує надійні умови для транспортування його в зону контакту колеса з рейкою, тому вона є важливим чинником при роботі пісочної системи, визначаючи її швидкодію і надійність.

Як відомо швидкість руху твердих частинок піску істотно відрізняється від швидкості руху транспортує повітря і може бути на 30% нижче. У піщаних системах характеризуються складною конфігурацією трубопроводу (значна довжина і складні вигини), а також наявністю перехідних вставок різного діаметру, слід очікувати ще більшого розходження швидкостей транспортує повітря і частинок піску.

Проведені Каменєвим М.М. експериментальні дослідження [18] Впливу площі вихідного перетину наконечника на ефективність подачі піску свідчать, що чим вона менша, тим вище швидкість витікання піску і відповідно менше віднесенні поперечним потоком повітря. На рисунку 4.9 представлені залежності, які побудовані на підставі даних обробки відбитків, отриманих при використанні наконечників у формі конфузорів з діаметрами вихідного перетину 15, 20, 25, 30 мм при відстані його до відбитка 390 мм. З наведених залежностей випливає, що збільшення швидкості транспортує пісок повітря призводить до різкого зниження величини відхилення піскоповітряного струменя боковим вітром. Особливо це спостерігається при зменшенні діаметра вихідного перетину. При збільшенні швидкості витікання повітря з 30 до 45 м / с відхилення струменя при швидкості вітру 12 м/с зменшується майже в 2 рази при $d_{mp}=25$ мм і в 3 рази при $d_{mp}=15$ мм

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експериментальні дослідження, проведені на локомотивах, які мали наконечники діаметром $d_{mp}=25$ мм свідчить, що застосування таких наконечників призводить до зниження надійності роботи пісочної системи локомотивів через засмічення їх в експлуатації.



1 - V_{cm} м/с, 2 - V_{cm} м/с, 3 - V_{cm} м/с, 4 - V_{cm} м/с

Рисунок 4.9 - Вплив розмірів вихідного перетину наконечника на величину відхилення струменя поперечним потоком повітря ($V_{n6}=12$ м/с)

Для усунення цих недоліків пропонується застосовувати гумові наконечники у формі подовженого конфузора (рисунок 4.10), з конусністю 1: 7, довжиною 175 мм і діаметром вихідного перетину 20 мм.

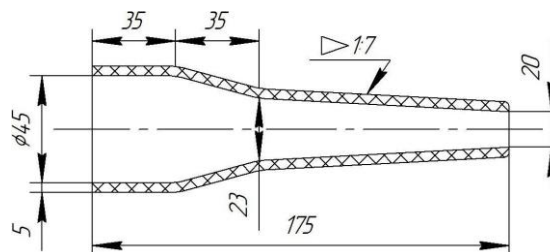


Рисунок 4.10 - Загальний вигляд пропонуваного наконечника

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01MP.ПЗ					

Потік повітря характеризують параметрами тиску, температури, щільності і швидкості. Динамічне тиск повітряного потоку $P_{дин}$ характеризує його кінетичну енергію в перетині наконечника, де воно виміряна:

$$P_{дин} = \rho \frac{v^2}{2}, \quad (4.8)$$

де ρ - щільність повітря, кг/м³

v - швидкість потоку повітря, м/с

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{дин}}{\rho}}. \quad (4.9)$$

Для ідеального газу, в якому відсутні сили міжмолекулярної взаємодії, співвідношення щільності, тиску і температури описано рівнянням Клайперона:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (4.10)$$

де R - газова постійна, рівна для повітря 286,7 Дж/(кг·К);

T - температура по шкалі Кельвіна.

Для стандартного стану повітря при температурі 20 °С і відносної вологості $\varphi = 0,5$

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{101325}{286,7 \cdot 293} = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Важливими параметрами повітряного потоку є його середня швидкість v_{cp} , м / с, і масовий M , кг/с, або об'ємний Q , м³/с, витрата повітря. Ці параметри пов'язані між собою в такий спосіб:

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$Q = F \cdot v_{cp}; M = F \cdot v_{cp} \cdot \rho, \quad (4.11)$$

де F - площа поперечного перерізу наконечника, m^2

За умовою нерозривності повітряного потоку витрата повітря постійний для будь-якого перетину наконечника. Для перетинів 1, 2 і 3 (рисунок 4.11) ця умова можна записати так:

$$M_1 = M_2 = M_3; F_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 = F_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2 = F_3 \cdot v_3 \cdot \rho_3 \quad (4.12)$$

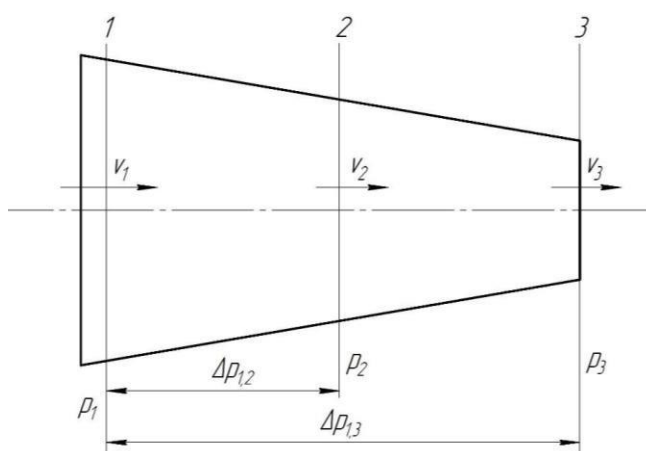


Рисунок 4.11 - Схема руху потоку в трубопроводі

При зміні тиску повітря в межах до 5000 Па щільність його залишається майже незмінною. У зв'язку з цим:

$$F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2 = F_3 \cdot v_3 \text{ чи } Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (4.13)$$

Зміна тиску повітряного потоку по довжині труби підпорядковується закону Бернуллі. Для перетинів 1, 2 можна написати:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150217.000.01МР.ПЗ					

$$p_{cm1} + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_{cm2} + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \Delta p_{1,2}. \quad (4.14)$$

$$p_1 = p_2 + \Delta p_{1,2}. \quad (4.15)$$

де $p_{1,2}$ - втрата тиску, викликана опором потоку через стінки наконечника на ділянці між перетинами 1 і 2, Па.

З рівняння Бернуллі випливають висновки:

З виразів (4.14) і (4.15) випливає, що:

$$p_1 - \Delta p_{1,2} = p_{cm2} + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}. \quad (4.16)$$

Зі зменшенням площі поперечного перерізу 2 наконечника (рисунок 4.11) відповідно до рівняння (4.13) швидкість повітря в цьому перерізі збільшиться, так що об'ємна витрата залишиться незмінним.

1. Запишемо рівняння Бернуллі для ділянки труби 1-3 в відносних тисках:

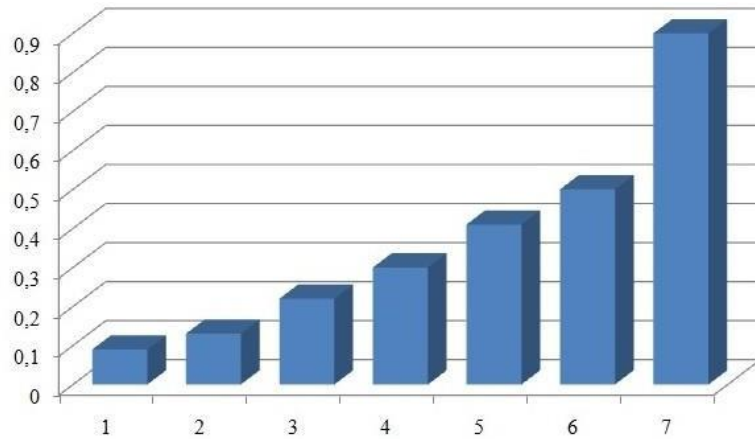
$$H_{cm1} + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = H_{cm3} + \frac{\rho \cdot v_3^2}{2} + \Delta p_{1,3}. \quad (4.17)$$

У перетині 3 на виході наконечника абсолютне статичний тиск дорівнює атмосферному. Відносне статичний тиск в цьому перерізі дорівнює нулю. Тоді вираз (4.10) можна записати в наступному вигляді:

$$H_{cm1} + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = \frac{\rho \cdot v_3^2}{2} + \Delta p_{1,3} \quad (4.18)$$

де $-p_{1,3}$ втрата тиску, викликана опором потоком о стінки наконечника на ділянці між перетинами 1 і 2.

						0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



1-поліуретан, 2 - гума, 3 - поліетилен, 4 - силікон, 5 - розжарена сталь, 6 - вуглецева сталь, 7 – алюміній

Рисунок 4.12 - Порівняльна характеристика абразивного зносу гуми з іншими матеріалами

Гума має еластичність, високим опором розривів і багаторазовим деформаціям, вібростійкістю і пружністю при низьких температурах, високою стійкістю до значних нерівномірних навантажень.

Доцільність застосування розробленого наконечника здійснювалася шляхом експериментальних досліджень подачі піску на натурному стенді «Колесо-рейка» (рисунок 4.13). Встановлені раніше пружного наконечника з трубопроводом під кутом 25 ° до поверхні рейки і на відстані 200 мм від зрізу наконечника до зазора між колесом і рейкою.



Рисунок 4.14 - Установка модернизированной системы на тепловозі ЧМЕЗ (№2247)



Рисунок 4.15 - Установка модернизированной системы на тепловозі 2ТЕ116 (№1077)

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Розрахунок економічної ефективності при зниженні витрат абразивного матеріалу

Згідно з даними експлуатації локомотивів в депо НД-вузол на період 2019-2020 рр. витрата піску Q за один рік парком локомотивів складає 389 т, вартість однієї тони піску - P – 400грн.

Вартість піску з урахуванням витрат пов'язаних з очищенням баласту верхньої будови колії від забруднень піском враховується коефіцієнтом μ , згідно даних експлуатації локомотивів на мережі залізниць.

$$\mu = \left(1 + \frac{32}{26} \right) = 2,23$$

Відповідно, повна вартість піску витрачається за один рік локомотивним парком депо НД-вузол складе:

$$P_{o1} = Q \cdot P \cdot \mu = 400 \cdot 389 \cdot 2,23 = 362548 \text{грн} \quad (4.19)$$

Вартість піску витрачається за один рік локомотивних парком з застосування модернізованої пісочної системи, складе:

$$P_{o2} = Q \cdot P \cdot \mu = 400 \cdot 155,6 \cdot 2,23 = 138795 \text{грн} \quad (4.20)$$

Отже, економія піску за рахунок модернізації пісочної системи, на парк локомотивів за один рік складе:

$$\Delta \Xi = P_1 - P_2 = 362548 - 138795 = 223753 \text{грн} \quad (4.21)$$

					0032.150217.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лapidус Б.М. Приоритетные направления железнодорожных исследований в рамках глобальной экономики / Б.М. Лapidус // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2013. – №5 – С. 1-10.
2. Горбунов Н.И. Методология инновационного развития железнодорожного транспорта / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Р.Ю. Дёмин // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2014. – № 3 (210). – С. 22-28.
3. Горбунов Н.И. Развитие железнодорожного транспорта применением методологии инновационных решений / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, О.В. Просвинова, Р.Ю. Дёмин, В.Д. Черников // Інноваційні технології на залізничному транспорті: збірник тез V міжнародної науково-практичної конференції (31 березня – 07 квітня 2014 р., м. Лондон, Англія). – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 25-27.
4. Мур Д.Ф. Основы и применение трибоники / Д.Ф. Мур, И.В. Крагельский, Г.И. Трояновская. – М.: Мир, 1978. – 487 с.
5. Казаринов В.М. Коэффициенты сцепления колесных пар с рельсами при торможении / В.М. Казаринов, Л.А. Вуколов // Исследование автотормозной техники на железных дорогах СССР // Науч. тр. ВНИИЖТ. – М.: Транспорт. – 1961. – Вып. 212. – С. 5-28.
6. Лисицын А.Л. Выбор расчётного значения коэффициента сцепления локомотивов / А.Л. Лисицын, А.С. Потапов // Электрическая и тепловозная тяга. – 1976. – №4. – С.42-44.
7. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей / Д.К. Минов. – М.: Транспорт, 1965. – 267 с.
8. Меншутин Н.Н. Зависимость между силой сцепления и скоростью скольжения колесной пары локомотив / Н.Н. Меншутин // Вестник ВНИИЖТ. – 1960. – №7. – С. 12-14.

											0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

9. Лисунов В.Н. Тяговое обеспечение поездов повышенного веса / В.Н. Лисунов // Железнодорожный транспорт. – 1980. – № 4.
10. Вербек Г. Современное представление о сцеплении и его использовании / Г. Вербек // Железные дороги мира. – 1974. – №4. – С. 23-53. 143
11. Бычковский А.В. Новый метод экспериментального исследования сцепления между рельсами и одиночными осями электровозов и тепловозов / А.В. Бычковский // Вестник ВНИИЖТа. – 1958. – №2.
12. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / А.И. Костюкевич; Луганский машиностроительный университет. – 1991. – 232 с.
13. Кащеев Н.Т. Заклинивание колесных пар и меры его предупреждения / Н.Т. Кащеев, М.А. Спицын. – М.: «ТРАНСПОРТ», 1964. – 176 с.
14. Лужнов Ю.М. Сцепление колес с рельсами. Природа и закономерности / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
15. Коллинз А., Причард К. Новые исследования сцепления. – «The Railway Engineering Journal», September, 1972.
16. Хлебников В.Н. Исследование способов увеличения коэффициента сцепления колес с рельсами / В.Н. Хлебников // Железнодорожный транспорт за рубежом. – 1976. – №4 (174). – С. 18-34.
17. Нувиньон М. Новое в коэффициенте сцепления электровозов / М. Нувиньон, М. Бернар // «Бюллетень технико-экономической информации МПС». – 1961. – №7.
18. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Н.Н. Каменев // Тр. ЦНИИ МПС. – М.: Транспорт, 1968. – № 336. – 86 с.
19. Спицын М.А. Физическая природа сцепления колес с рельсами и способы повышения величины коэффициента сцепления / М.А. Спицын // Исследование автотормозной техники на железных дорогах СССР // Науч. тр. ВНИИЖТ. – 1961. – № 212. – С. 39-44.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

29. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – М.: Госэнергоиздаг, 1950. – 68 с.
30. Доббс Д. Плазменная горелка применима при низких скоростях движения / Доббс Д. // Железнодорожный журнал. – 1969. – № 7.

					0032.150217.000.01МР.ПЗ	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		