

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

*Кафедра «Локомотиви»*

«ДО ЗАХИСТУ»

Зав. кафедрою *Б. Боднар* Б. Боднар

« 16 » 12 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація «Локомотиви та локомотивне господарство»

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТРУМОЗ'ЄМУ ПРИ ШВИДКІСНОМУ РУСІ**

**Increasing the quality of the current collector during high-speed  
movement**

**0032.170139.000.01MP.ПЗ**

Керівник дипломного проекту *В. Сердюк* В. Сердюк

Нормоконтролер *Л. Колодій* Л. Колодій

Виконавець: студент групи ЛГ2121 *О. Савчак* О. Савчак

Student *О. Savchak* O. Savchak

2022

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Підвищення якості струмоз'єму при швидкісному русі» включає в себе 8 креслень, 135 аркушів розрахунково-пояснювальної записки та складається з 5 частин. Магістерська робота містить 52 рисунка, 10 таблиць, та список використаних джерел з 33 найменування.

Метою роботи є удосконалення конструкції струмоприймачів для швидкісного руху при експлуатації поїздів на високих швидкостях руху, аналіз існуючих конструкцій верхніх вузлів струмоприймачів та оцінка їх впливу на несучу здатність; створення методики розрахунку взаємодії струмоприймачів з контактної мережею з урахуванням різного виконання верхнього вузла струмоприймача; розробка конструкції верхніх вузлів струмоприймачів для забезпечення якісної передачі робочого струму до 3000 А при швидкостях руху до 250 км/год; формування методики та обладнання, що забезпечує проведення випробувань розроблених вузлів струмоприймача і перспективних контактних пар, що застосовуються в системах струмознімання магістрального електрорухомого складу, експериментальні дослідження розроблених пристроїв.

Запропоновано полоз струмоприймача електрорухомого складу, що містить контактні елементи, встановлені на коробах, з'єднаних з каркасом полоза за допомогою пружинних елементів і фіксуючих стрижнів, встановлених з зазором в нижній частині пазів, розташованих по обох кінцях коробів.

Проведено удосконалення стенду для визначення аеродинамічної характеристики струмоприймачів.

Ключові слова: ШВИДКІСНИЙ РУХ, ЕЛЕКТРОРУХОМИЙ СКЛАД, СТРУМОПРИЙМАЧ, ПОЛОЗ, КАРЕТКА, СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ СТРУМОПРИЙМАЧІВ, СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСИКИ СТРУМОПРИЙМАЧІВ.

					0032.170139.000.04 МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ШВИДКІСНИХ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Струмознімання - процес передачі електричної енергії від контактної мережі до електроустаткування електрорухомого складу через струмоприймачі.

Актуальність проблеми струмознімання на електрифікованих залізничному транспорті визначається наступними обставинами [1]:

- збільшення швидкостей руху на залізничних магістралях (до 220 км/год і 350 км/год у пасажирському та до 160 км/год – у вантажному русі) значно погіршує динамічні умови процесу взаємодії контактної підвіски і струмоприймача;

1) підвищення потужностей електрорухомого складу приводить до збільшення сили струму, що проходить через один струмоприймач;

2) посилення екологічних норм на радіоперешкоди, шум та продукти зносу;

- посилення вимог до надійності перевезень у зв'язку з перспективами збільшення міжнародного євразійського транзиту.

Проведений аналіз наслідків погіршеного струмознімання [1] дозволив виділити два шляхи вирішення проблеми: при збільшенні швидкостей руху електрорухомого складу до 220 км/год необхідно удосконалити струмоприймачі, а при збільшенні швидкостей руху понад 220 км/год необхідно покращувати характеристики контактних підвісок, а також вдосконалювати елементи струмоприймачів.

Аналіз електрорухомого складу (табл. 1.1 і 1.2), що експлуатується в даний час на вітчизняних магістральних залізничних дорогах, показав, що він має підвищену потужність (до 12000 кВт), а, отже, знімається збільшений струм при тязі [2]. Часовий струм електрорухомого складу складається зі струму всіх тягових двигунів (часові струми наведено з урахуванням ККД тягових двигунів). Для перспективних швидкісних транспортних систем потужність

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01МР.ПЗ					

силових установок, що припадає на вагон - екіпаж, становить 3000-3200 кВт. При цьому, тяговий струм, що проходить через струмоприймачі при напрузі 3 кВ, становить 1500-2000 А. Отже, в умовах зростання тягових навантажень існуючі струмоприймачі та ті, що проектуються, а також тягова мережа повинні перевірятися на навантажувальну здатність, тобто для них має визначатися значення довгострокового знімання струму при русі та стоянці, при якому гарантована надійність струмознімання.

Навантажувальна здатність струмоприймача визначається граничним нагрівом його контактних і провідних елементів, вище яких настає термічне знеміцнення і руйнування струмопровідних матеріалів. Нагрівання здійснюється теплом, що виділяється при протіканні струму через провідні елементи.

Величини тривалого струму, що знімається в режимі руху і стоянки, для струмоприймачів електрорухомого складу нормуються заводами – виробниками (табл. 1.3). При стоянці струмоприймач споживає з контактного дроту струм для власних потреб електрорухомого складу, а пасажирські електровози також і струм централізованого електропостачання вагонів. У русі струмоприймач знімає тягове навантаження та навантаження першого режиму.

Крім того, згідно з нормами [3] дозволяється перевищення пускових струмів над тривалими протягом 30 с на 250%, а протягом 1 хв - на 40%.

Струмопровідні елементи струмоприймачів включають в себе полоз з контактними елементами, каретку, систему рухомих рам, основу і струмові шунти між ними. Як показує досвід, найбільший нагрів відчувають контактні елементи (вставки, пластини). Інші елементи нагріваються до значно меншої температури.

Характеристики електричних параметрів струмоприймачів пов'язані з тим, що необхідно враховувати струморозподілення по контактним елементам, а, отже, їх нагрівання, який досягає максимального значення в точки контакту.

					<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вирівнювання нагріву контактних елементів необхідно вирівняти контактне натискання струмоприймача по всім контактним елементам.

Слід зазначити, що струми всіх струмоприймачів слід визначати за умовою одночасної роботи всіх електричних апаратів електрорухомого складу, як найбільш небезпечного режиму.

Розглянемо заходи щодо підвищення навантажувальної здатності, які стосуються вдосконаленню конструкції струмоприймачів електрорухомого складу і його вузлів.

### **1.1 Особливості конструкцій верхнього вузла струмоприймачів**

Всі струмоприймачі, незважаючи на відмінність у конструктивному виконанні, складаються з чотирьох основних вузлів [4]:

- основи, виконаного у вигляді рами, що покоїться на опорних ізоляторах;
- рухомої системи, що складається з легких рухомих рам, шарнірно з'єднаних між собою;
- верхнього вузла, що представляє собою сукупність кареток (або пристрою, що його замінює) та одного або двох полозів з контактними елементами;
- механізму підйому-опускання, що складається із системи важелів, пневматичного приводу, редукційного або електропневматичного клапана, пружин підйому та опускання.

Нормальна робота струмоприймача можлива за умови, якщо основні параметри перелічених вузлів суворо пов'язані між собою і задовольняють наступним вимогам:

- висока механічна міцність, малі розміри основи, надійна ізоляція його від заземлених частин електровоза;

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- мала приведена маса системи рухомих рам, достатня механічна міцність, мале тертя в шарнірних з'єднаннях рухомої системи і бічна стійкість її проти коливань та вібрацій;

- можливо мала приведена маса і невелика «парусність» верхнього вузла і велика рухливість відносно верхнього шарніра;

- проста конструкція механізму підйому і опускання, надійність його роботи, можливість дистанційного управління рухливою системою при всіх умовах роботи.

### ***1.1.1 Особливості конструктивного виконання кареток***

Каретка - елемент конструкції струмоприймача, який повинен забезпечує пружне переміщення полоза щодо верхнього шарніра системи рухомих рам і призначений для зменшення впливу, в процесі взаємодії, інерції рам шляхом пружного розчленування мас, щоб безвідривно відпрацьовувати невеликі нерівності на контактних проводах, а при певних параметрах вибирати і міжпролітні стріли провисання.

Різноманіття конструкцій кареток дозволяє класифікувати їх (рис. 1.1) наступним чином. За способом установки пружних елементів між полозами і верхнім шарніром системи рухомих рам струмоприймача: плунжерні вертикальні; плунжерні нахилі; плунжерно-важільні; плунжерні з демпфіруванням; важільні; важільно-пружинні; пружинні; з кулісою (напрямною). За типом та якістю застосовуваних пружних елементів каретки бувають: з циліндричними пружинами, що працюють на стиснення, розтяг, закручування; з плоскими пружинами; з гумовими пружними елементами; з пневматичними пружними елементами; зі стрижнями, які працюють на вигин і скручування, а також листовими пружинами, які мають гумовими прокладки. По зв'язку кареток, які розташовані з різних кінців полоза, один з одним: синхронізовані, несинхронізовані. По зв'язку кареток, які несуть різні полози:

					<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



забезпечити практично будь-який потрібний хід каретки, але декілька ускладнює її конструкцію.

Пружинний спосіб кріплення є самим простим у порівнянні з розглянутими вище способами [6]. Аналіз відомих конструкцій показує, що ні в одній з кареток немає задовільного сполучення простоти і легкості конструкції, з одного боку, і достатньої еластичності - з іншого, що в однаковій мірі необхідно для забезпечення якісного струмознімання.

Кулісний (з напрямною) спосіб кріплення [7, 8] також досить простий, але володіє одним істотним недоліком - це заклинювання напрямної при появі горизонтальної поперечної сили, що з'являється від тертя при переміщенні контактного проводу по поверхні полоза і сході проводу на риг.

По типу і якості пружних елементів розглянута інформація розподіляється наступним чином. Самими численними, щодо застосування в конструкціях кареток, є циліндричні пружини, головна перевага яких - забезпечення ними постійної жорсткості в робочому діапазоні пружини і простота їх виготовлення [9,10].

Застосування в каретках струмоприймачів пружин, що працюють на закручування, дозволяє уникнути застосування додаткових важелів, які передають зусилля цих пружин на полоз і підтримують його в горизонтальному положенні, або скоротити кількість додаткових пружин, що виконують ту ж функцію, але працюють на стиск (розтягнення) [11].

Хоча листові пружини не мають постійну жорсткість вони дозволяють виключити вузли тертя і в значній мірі спрощують конструкцію каретки струмоприймача, а отже, і зменшують її масу, що є дуже бажаним для забезпечення якісного струмознімання при високих швидкостях руху електрорухомого складу [12].

Наявність у каретках гумовопружних елементів (сайлент-блоків, торсионів) в якості пружних елементів, не тільки знижує їх масу, але і зменшує вібрацію в точці електричного контакту, що виникає при русі рухомого складу

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01МР.ПЗ					

[13]. Але із-за наявних недоліків, таких як нелінійність характеристики, складність в експлуатації, вплив метеорологічних умов на характеристику і термін служби пружного елемента, широкого поширення в експлуатації вони не отримали.

Заміна в конструкції каретки металевих пружин на пневматичні покращує якість струмознімання за рахунок отримання можливості регулювання їх (кареток) характеристик шляхом зміни тиску стисненого повітря в пневматичних елементах. Причому цей процес можна здійснювати автоматично. Недоліком цього елемента є необхідність монтажу живильної пневматичної магістралі, а також необхідність захисту його від сонячної радіації і пропалювання при неякісному струмозніманні (наприклад, при ожеледиці) [14].

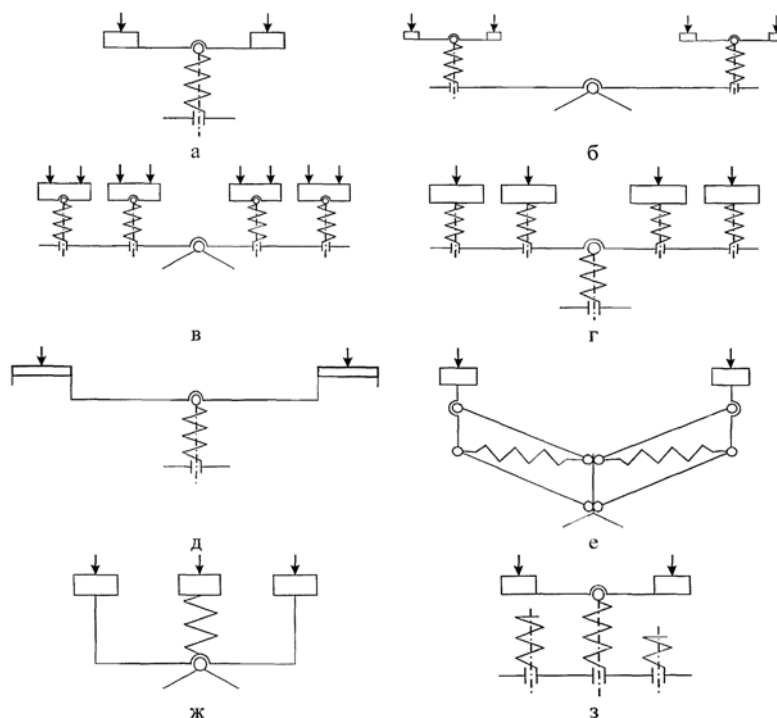
Синхронізація кареток по зв'язку один з одним при розташуванні останніх по кінцях полоза, забезпечує їх одночасну роботу незалежно від розташування контактного проводу на полозі, що значно підвищує надійність роботи особливо на повітряних стрілках, сполученнях анкерних ділянок і в кривих. Синхронізація може бути здійснена за допомогою: синхронізуючих тяг і важелів, пневматичних елементів, які забезпечують постійну роботу полоза струмоприймача в горизонтальному положенні за допомогою зворотного зв'язку, що вирівнює тиск у пневматичних циліндрах кареток [15], або за допомогою датчиків, що відстежують зміну горизонтальності полоза.

З усього різноманіття кареток слід виділити конструкції, які володіють збільшеним вільним ходом (до 300 мм), які виконуються як асиметричні напівпантографи або штанги з використанням урівнювальних тяг, для збереження горизонтальності робочої поверхні полоза у всьому робочому діапазоні. Застосування цих кареток утруднене із-за збільшення вертикального габариту електрорухомого складу і вимагає спеціальної ніші для струмоприймачів в кузові локомотива.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



верхнього шарніра системи рухомих рам) від прикладеної до середини полоза сили, спрямованої вниз. При цьому, при прикладанні сили, рівної пасивному статичному натисканню, хід полоза повинен становити 20-40% повного ходу, а кут повороту полоза повинен складати  $5-7^\circ$  в кожную сторону відносно середнього положення.



а - Сп-6М; б - ОмГУПС; в - ОмГУПС; г - ОмГУПС; д - П-82А; е - SSS87-RZD (Siemens); ж - ТЭ00.00.М (Бушевецкий завод); з - АТ-160 (ВНИИЖТ)

Рисунок 1.2- Конструкції верхніх вузлів струмоприймачів

Величина вільного ходу для синхронізованих кареток залежить від конструктивного виконання контактної підвіски, тобто від стріли провисання контактної підвіски. Збільшення вільного ходу більше 100-150 мм вимагає наявності демпфування системи рухомих рам струмоприймача. Для не синхронізованих кареток збільшення вільного ходу понад 100 мм потребує застосування полозів з позитивною кривизною контактуючої поверхні та зміненої геометрії рогів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>				

Крім того, попередній натяг кареток застосовується при наявності додаткового обресорювання контактних елементів, надмірній масі полозів і в принципі не є обов'язковим, так як жорсткість кареток може бути нелінійною.

### ***1.1.2 Особливості конструктивного виконання полозів***

Полоз - елемент струмоприймача, що забезпечує безпосередній зйом струму з контактного дроту та працює в найбільш важких умовах (механічне стирання, електрична ерозія, нагрівання струмом, дія поперечних та вертикальних сил та ін.). Тому конструкція полоза надає великий вплив на надійність і економічність струмознімання, особливо при ви високих швидкостях руху. Габарити, маса та конфігурація полоза визначаються такими параметрами, як максимальне горизонтальне відхилення контактного дроту в плані; конструкція стрілок; максимально допустимий струм, який знімається електрорухомим складом під час руху та на стоянці. Так, максимально допустиме відхилення контактного дроту в прольоті задає габарит середньої (струмознімальної) частини полоза в поперечному напрямку по ходу руху поїзда, підхват контактного дроту на повітряних стрілках визначає довжину та кут нахилу рогів полоза, а кількість контактних елементів визначає ширину полоза та залежить від значення знімаемого струму. В свою чергу, число контактних елементів та матеріал, з якого вони виготовлені, впливають на масу полоза, а значить, і на приведену масу струмоприймача.

Конструкції полозів струмоприймачів можна класифікувати по вузлам, що представляють контактні елементи, несучу конструкцію, роги, спосіб кріплення контактних елементів, наявність підресорювання контактних елементів, струмопровідні елементи (рис. 1.2). Схемні вирішення кожного з вузлів можуть бути різноманітними (рис. 1.3).

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

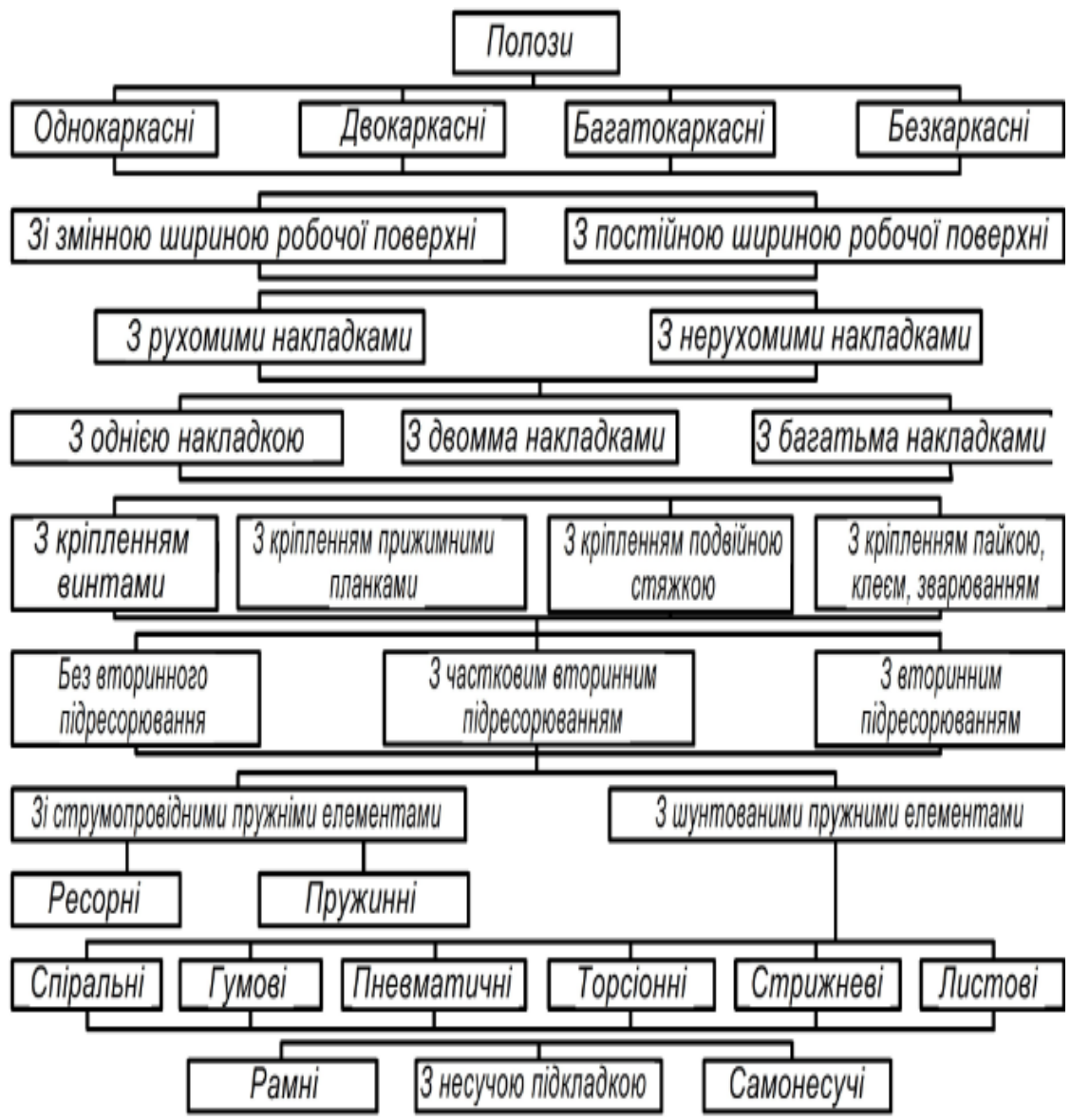


Рисунок 1.3- Класифікація полозів струмоприймачів

Кріплення контактних елементів полоза досить різноманітні (див. рис. 1.4, р, с) і залежать від виду та конфігурації контактного елемента (вставка, пластина). Основна вимога до способів кріплення - це зйом повного тягового струму з урахуванням теплового та дугового впливу, а також забезпечення необхідної механічної міцності конструкції полоза. Кріплення може бути виконано: гвинтами, притискними пластинами, розклинюванням, пружинами, подвійною стяжкою, зварюванням, приклеюванням, паянням.

За конструктивним виконанням полози можуть бути: розсувні, обертові та без рухомих частин.

Змінна довжина контактної поверхні полоза може виявитися необхідною при роботі струмоприймача в районах з підвищеним вітровим навантаженням, при проходженні повітряних стрілок та місць сполучення контактної підвіски. Вирішення цієї проблеми пропонується М. Зюберкрюбом [17], який створив універсальний полоз з розсувними каркасами (рис. 1.5), який забезпечує контакт з проводом при різному горизонтальному відхиленні останнього. Рама полоза складається з двох паралельних бічних труб, які служать для висування того чи іншого каркаса.

По типу каркасу несучі конструкції поділяються на суцільні, рамні, ползкові, а також, дискові, роликові та стрічкові.

Рамний каркас (рис. 1.4, в) при певній ширині, на відміну від суцільного (рис. 1.4, б), дозволяє зменшити масу контактних елементів.

Дискові, валикові та роликові конструкції дозволяють замінити тертя ковзання тертям кочення. Стрічкові каркаси усувають тертя в контактні за рахунок вирівнювання швидкостей руху електрорухомого складу та контактної поверхні стрічки. Але великого застосування ці конструкції не знайшли, так як мають істотний недолік - велику конструктивну масу, а, отже, погані інерційні характеристики, що неприпустимо при швидкісному струмозніманні.

На сучасному етапі спостерігається тенденція застосування самонесучих ползів (рис. 1.4, а), через що значно зменшується маса полоза.

По геометричній формі каркаси ползів бувають: з прямолінійною поверхнею і позитивною кривизною (рис. 1.4, н, о). Застосування останніх переважніше при використанні несинхронізованих кареток. По конфігурації профілю каркасів (несучих елементів) полози виконуються відкритого або замкнутого перерізу (див. рис. 1.4, з, і).

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Японський винахідник Кувабара запропонував полоз з розчленованими в поперечному напрямку (щодо осі полоза) контактними елементами [18]. Ці елементи виконані у вигляді «гусениці» і розташовані в два ряди (рис. 1.6). Підресорювання здійснюється листовими пружинами, виготовленими з електропровідного еластичного матеріалу, і закріпленими на каркасі полоза. Така конструкція полоза запобігає утворенню ступінчастоті та неоднаковості по висоті на кінцях примикаючих струмознімальних пластин, виключає рельєфний знос і вібрацію контактних елементів.

У нашій країні запропоновано [19] підресорювати контактні елементи за допомогою листових пружин (рис. 1.7), при цьому підресорені пружини повинні мати різну жорсткість для того, щоб уникнути одночасного входження в резонанс.

В Японії та Великобританії пропонується здійснювати підресорювання з допомогою гумовопружних елементів (рис. 1.8), що поряд з усіма перевагами підресорювання, зменшує вплив високочастотних коливань, які погіршують струмознімання при високих швидкостях руху. Але застосування цього технічного рішення можливе лише при малих змінах висотного положення контактної дроти, через нелінійні властивості гуми та малого робочого діапазону стиснень.

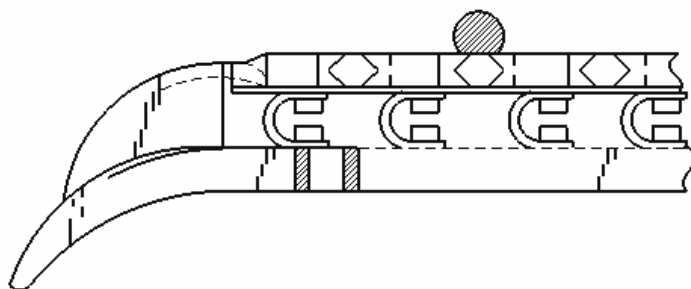


Рисунок 1.6- Полоз з поперечним подресорюванням контактних елементів

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

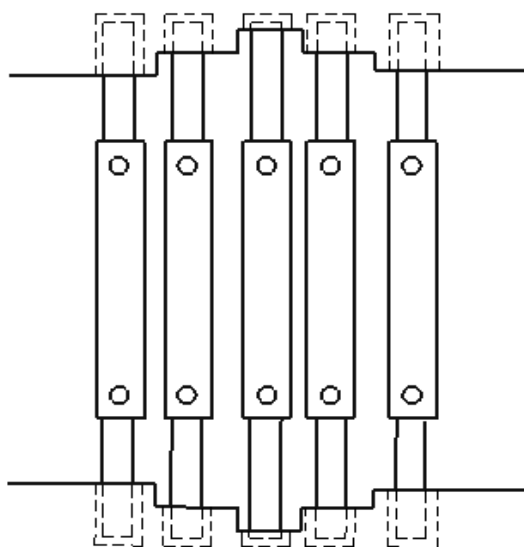


Рисунок 1.7 - Піддресорювання контактних елементів полоза з допомогою листових пружин

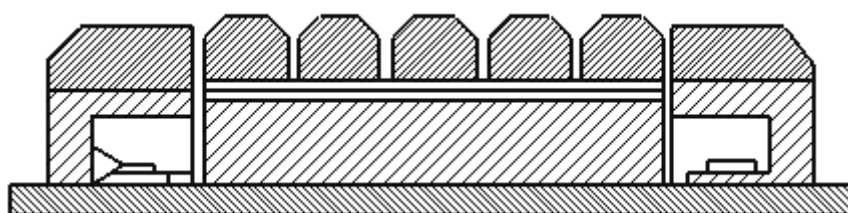


Рисунок 1.8 - Піддресорювання полоза з допомогою гумоупругих елементів

Відомі пристрої, в яких піддресорювання контактних елементів здійснюється рідиною за рахунок того, що питома вага рідини більше питомої

					<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



що дозволяє виключити з взаємодії масу рами (каркаса) полоза і розчленувати взаємодіючі маси

### ***1.1.3 Особливості конструктивного виконання контактних елементів струмоприймачів***

Навантажувальна здатність струмоприймачів багато в чому визначається властивостями контактних (контактуючих) елементів, встановлених на полозі. Призначення контактних елементів - здійснити безпосередній зйом струму з контактної підвіски, як на стоянці, так і під час руху електрорухомого складу з встановленими швидкостями. Тому контактні елементи повинні володіти гарною електропровідністю, достатньою механічною міцністю, бути термо - і корозійно стійкими, протистояти як фрикційному, так і електричному зносі, при мінімумі зносу контактних дротів.

Контактні елементи струмоприймачів, виконані у вигляді пластин і вставок, можна класифікувати за низкою ознак (рис. 1.9). Контактні пластини по матеріалу можуть бути - мідні, бронзові, сталеві і метало-керамічні (виготовлені методами порошкової металургії' на мідній або залізній основі) [20].

По ступіню просочення металокерамічні пластини можуть бути просочені і непросочені.

По виконанні: монослойні; двошарові, у яких нижня частина виконана з металу з більш низьким електричним опором, з кращими механічними характеристиками і меншою питомою вагою, ніж верхня (контактна) частина; і набврні, які складаються з вертикальних пластин різної електропровідності і дугостійкості . Застосування двошарових металокерамічних пластин дозволяє зменшити їх загальну щільність, поліпшити механічні та електричні характеристики, підвищити зручність кріплення до полозу, і, як наслідок, поліпшити якість струмознімання. Набірні пластини складні у виготовленні і

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



У двошарових та набірних контактних пластинах різнорідні матеріали можуть бути з'єднані: пайкою, зварюванням, спіканням, болтами та спеціальними обоймами. Перевагу слід віддати паяним та зварним з'єднанням, так як вони забезпечують надійний електричний контакт і дають можливість повторного використання нижньої частини пластин. Для зменшення зносу пластин і контактних проводів застосовується сухе графітове мастило, або жирнографітове мастило. Металокерамічні пластини можуть бути самозмазуемі за рахунок інгредієнтів, які введені в їх склад.

Контактні вставки по матеріалу можуть бути вугільно-графітові, графітові, металовугільні та металографітові.

З метою підвищення навантажувальної здатності контактних вставок, їх оснащують вбудованими струмопроводами, які забезпечують надійний електричний контакт з полозом незалежно від механічного з'єднання з ним або з обоймою. Зменшення втрат в електричному контакті між вставкою і полозом домагаються нанесенням на підшву вставки шару міді гальванічним або іншим способами.

Фірма Schunk, поряд із застосуванням вбудованих струмопроводів, пропонує нижню та бічні поверхні вставок покривати шаром ізоляції, щоб уникнути електроерозії обойми.

Для поліпшення контакту між вставкою та полозом прокладається струмопровідна перфорована фольга, а поверхня полоза забезпечується насічкою для прокладання фольги.

Перетин контактних елементів різноманітний і залежить, в основному, від способу їх закріплення на полозі. Так, контактні пластини по перетину можуть бути прямокутні з відгином і без нього. Вугільні вставки можуть бути прямокутними і трапецевидними (при кріпленні до полозу з допомогою пайки або приклеювання), або мати кріпильні канавки, прорізи, «ластівчині хвости». Для триразового використання, вставки виконуються з наскрізним продольним отвором, а в перерізі являють собою рівносторонній трикутник. Такі вставки на

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01МР.ПЗ					

швидкісному електрорухомому складі застосування не знайшли, через низьку навантажувальну здатність, малої механічної міцності та складності кріплення на полозі.

Якість контактних елементів, крім їх довговічності, механічних і електричних властивостей, визначається зносом контактних дротів, тому на електрорухомому складі змінного струму доцільно застосовувати графітові і міднографітові двошарові вставки, а для електровозів постійного струму - двошарові просочені металокерамічні пластини на мідній основі.

Застосування двошарових контактних елементів дозволяє підвищити навантажувальну здатність струмоприймачів за рахунок зменшення перехідного опору між вставкою і полозом, зменшити загальну масу контактних елементів і збільшити термін їх служби за рахунок більш повного використання контактного матеріалу.

Крім того, стандарт поділяє струмоприймачі за величиною струмового навантаження на апарати важкого та легкого типів. Струмоприймачі важкого типу, призначені для вантажних і пасажирських електровозів постійного струму і подвійного живлення, при русі електрорухомого складу повинні забезпечувати зйом з контактного дроту тривалого струму 2200 А, а при стоянці - 300 А для розрахункового зимового режиму (мінус 10°C) і 160 А для розрахунку літнього режиму (плюс 40°C). Струмоприймачі легкого типу, призначені для вантажних і пасажирських електровозів змінного струму, а також електропоїздів змінного і постійного струму, при русі електрорухомого складу повинні забезпечувати зйом з контактного дроту довгострокового струму 500А, а при стоянці - 80 А для розрахункового зимового режиму і 50 А для розрахункового літнього режиму. Величина максимального струму, що знімається не довше 1 хвилини для струмоприймачів обох типів, повинна становити не більш ніж 1,4 тривалого струму. Кількість контактних елементів на полозі та число полозів не обмовлюється. Регламентуються тільки гранично допустимі перевищення температури контактних елементів, при зйомі

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмоприймачів тривало допустимого струму при русі (швидкість обдуваючого потоку 11,1-16,66 м/с), які становлять для мідних - 100°C, вугільних - 180°C, металокерамічних на мідній основі - 100°C, а металокерамічних на залізній основі - 120°C. Стандарт на контактні елементи струмоприймачів електрорухомого складу, регламентуючи велику кількість геометричних та механічних характеристик, з електричних обмежує тільки питомий електричний опір. Струмове навантаження дається тільки на полоз в цілому, з якого важко з'ясувати навантажувальні здібності кожного окремого контактного елемента, так як збільшення їх числа на полозі не пропорційно струму, якій їм знімається.

В даний час різними заводами-виготовлювачами розробляється і виготовляється велика кількість контактних елементів. Сучасні контактні елементи поєднують в собі високі зносні властивості, дугостійкість та високі електричні параметри: складові (серійні вугільні; металокерамічні; мідно-графітовий композит; Ш-образні; типу «Сендвіч» та ін.) та самонесучі (металовуглецеві, мідно-графітові елементи в мідній обоймі та ін). Вони дозволяють знімати максимальний струм електрорухомого складу при мінімальній власній масі. Однак, на даний момент немає достовірної інформації про експлуатаційних характеристиках таких контактних елементів, тому всі виготовляемі та розроблювальні контактні елементи повинні досліджуватися за допомогою спеціальних зносних машин для визначення їх параметрів і умов їх найкращого використання в умовах експлуатації.

#### ***1.1.4 Вимоги, що пред'являються до верхніх вузлів струмоприймачів***

На основі аналізу верхніх вузлів струмоприймачів, складемо основні вимоги до їх конструкцій при взаємодії з контактними підвісками на високих швидкостях руху:

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) застосування контактних елементів, що забезпечують зйом значних струмів без нагрівання матеріалу дротів до температури рекристалізації при незначній власній масі;

2) забезпечення мінімальної приведеної маси верхнього вузла струмоприймача;

3) наявність пружних елементів між полозами і верхнім шарніром системи рухомих рам (елементів вторинного підресорювання);

4) забезпечення постійних (у діапазоні робочих висот і при зміні напрямку руху електрорухомого складу) аеродинамічних піднімаючих сил полозів струмоприймачів.

## **1.2. Шляхи підвищення навантажувальної здатності швидкісних струмоприймачів**

З підвищенням швидкостей руху електрорухомого складу незмінно зростає роль забезпечення надійного струмознімання. Актуальність проблеми підтверджується переходом пасажирського сполучення на діючих магістралях Київ - Дніпро, Дніпро - Харків та інших напрямків електрифікованих на постійному струмі 3 кВ, та змінного струму 25 кВ на підвищеній швидкості руху – 160 км/год.

Для забезпечення працездатності струмоприймачів електрорухомого складу необхідно вдосконалювати струмознімальні пристрої [21].

Вдосконалення контактної мережі включає наступні пункти:

1) застосування арматури з сучасних спеціальних бронзових сплавів, які мають високі механічні властивості та електропровідність;

2) застосування діагностичних пристроїв контактної мережі (зовнішніх та вбудованих: вагони-лабораторії контактної мережі);

3) контроль за станом вузлів і деталей контактної підвіски та їх періодична заміна, навчання персоналу.

					<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модернізація струмоприймачів електрорухомого складу включає наступні напрямки:

- 1) удосконалення конструкцій рухомих рам, кареток і полозів для зниження приведеної маси та збільшення надійності (міцності);
- 2) застосування автоматичних діагностичних пристроїв струмоприймачів (вбудованих в контактну мережу та електрорухомий склад);
- 3) контроль параметрів струмоприймачів при ремонті та технічному обслуговуванні електрорухомого складу шляхом застосування автоматизованих діагностичних пристроїв (паспортизація та прогнозування).

Таким чином, для забезпечення якісного струмознімання при високих швидкостях руху необхідно струмоприймач, що дозволяє знімати великі робочі струми електрорухомого складу та забезпечує стабільне контактне натискання. Розглядаючи конструкції полозів, можна встановити, що число контактних точок може бути не більше двох. При цьому слід врахувати, що струм може перерозподілятися по точках в залежності від контактного натискання в них. Перерозподіл контактного натискання знижує загальний струм полоза, так як нагрів над найбільш завантаженим контактним елементом буде більше, ніж над іншими. Перерозподіл залежить від мас елементів та жорсткості пружин підресорювання.

Збільшення точок контакту можливо за рахунок підресорювання деяких контактних елементів (вставок, накладок). Однак, така конструкція верхнього вузла струмоприймача має ряд недоліків: нерівномірний знос контактних поверхонь; нерівномірне контактне натискання по контактним елементам полоза; нерівномірне струморозподілення полоза (середній ряд більш завантажений).

**Висновки до розділу.** Таким чином, на підставі вищевикладеного можна виділити наступні шляхи підвищення навантажувальної здатності струмоприймачі:

- збільшення числа контактних елементів на полозах;

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підресорювання окремих рядів контактних елементів;
- поліпшення електричних (використання матеріалів з низьким власним опором) та динамічних властивостей контактних елементів струмоприймачів;
- поліпшення умов відведення знімаемого струму з контактних елементів та каркасів полозів (зниження перехідного опору), а також охолодження контактних елементів.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **2 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРХНЬОГО ВУЗЛА СТРУМОПРИЙМАЧА ПРИ ЙОГО ВЗАЄМОДІЄЮ З КОНТАКТНОЮ ПІДВІСКОЮ**

Надійне та економічне струмознімання - це таке струмознімання, при якому забезпечується висока надійність контактної мережі і струмоприймачів, а також о тривалий термін служби контактуючих елементів системи струмознімання.

Відомо, що термін служби контактного дроту залежить від багатьох факторів, більшість з яких визначає головним чином середній знос дроту. Тільки характер зміни натискання в контакті суттєво впливає на нерівномірність зносу контактного дроту: при великій різниці контактного натискання на контактному дроті з'являються окремі зони з підвищеним зносом. Необхідність заміни контактного дроту визначається не тільки його середнім зносом, але і розмірами та кількістю локальних зносів. Саме остання обставина і обумовлює одну із головних завдань дослідження процесу механічної взаємодії струмоприймача та контактного дроту - визначення умов стабілізації та оптимізації контактного натискання.

Розроблений раніше професором В.П.Міхєєвим метод оцінки якості передачі електроенергії через ковзний контакт передбачає визначення двох основних показників - надійності та економічності струмознімання [11]. Надійність струмознімання - це забезпечення передачі електроенергії через ковзний контакт без відривів та пошкоджень пристроїв струмознімання. Економічність струмознімання - надійна передача електроенергії через ковзний контакт при мінімальному зносі контактуючих елементів.

Основним критерієм надійності та економічності є контактне натискання для конкретних матеріалів контактних пар, при зменшенні якого зростає ймовірність відривів і пов'язаних з ним випадків іскроутворення, а при збільшенні виникає небезпека пошкодження контактуючих елементів (струмоприймача та

					<b>0032.170139.000.01МР.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контактного дроту) за рахунок значних динамічних сил, особливо при високих швидкостях руху.

Знос струмознімальних елементів прямо залежить від контактного натискання, при збільшенні якого інтенсивність стирання струмоприймача і контактного дроту збільшується. Зменшення натискання призводить до зниження зносу, але тільки до певного значення, після якого подальше зменшення натискання веде до зростання зносу за рахунок іскроутворення і електроерозійного руйнування взаємодіючих матеріалів у зоні контакту.

Таким чином, вибір оптимального контактного натискання в контакті зводиться до вирішення двох основних завдань:

- отримання U-подібних залежностей зносу від натискання для обраної контактної пари при заданому навантажувальному струмі (рис. 2.1). Мінімум зносу на отриманій кривій буде відповідати оптимальному значенню натискання  $P_{кт\text{ опт}}$ ;

- коригування вихідного натискання з урахуванням реальних параметрів потоку струмоприймача та впливу зовнішнього середовища, так як крива натискання при русі над рухомим складом буде мати відхилення вгору і вниз аж до досягнення граничних рівнів, вихід за які призводить до динамічних ударів або до втрати натискання з появою іскріння (електричної дуги).

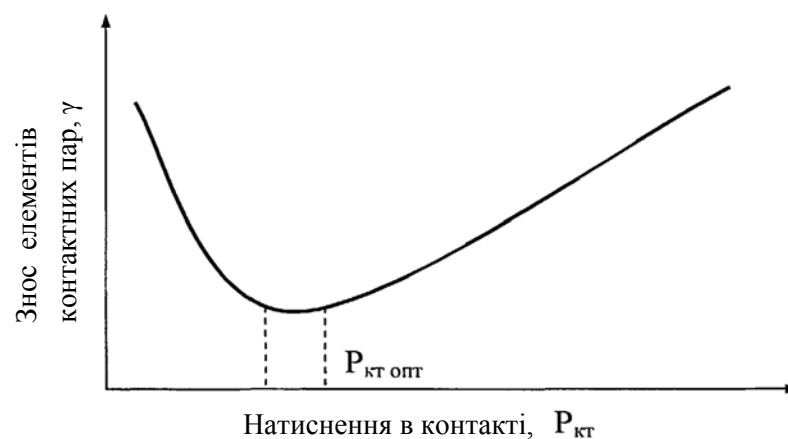


Рисунок 2.1- Залежність зносу елементів контактних пар від натискання в контакті

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазначена концепція лежить в основі методики досліджень пристроїв струмоznімання та базується на системі математичного моделювання взаємодії струмоприймачів з контактним дротом і використанні універсального експериментального комплексу, який імітує вплив всіх основних факторів, характерних для умов реальної роботи системи струмоznімання.

У зв'язку з великою вартістю випробувань на експлуатованих ділянках і необхідністю організації «вікон» у регулярному русі рухомого складу зі зниженням провізної спроможності дільниці для лінійних випробувань в даний час при проектуванні пристроїв струмоznімання перспективних транспортних засобів використовують теоретичні методи, що враховують все різноманіття діючих в реальних умовах факторів, тобто методи, які адекватно відображають фізику процесу струмоznімання і використовують математичний апарат, що забезпечує прийнятну точність і достовірність результатів досліджень.

Для отримання вихідних даних при теоретичних дослідженнях та перевірці результатів розрахунків здійснюються експериментальні дослідження з використанням лабораторних, стендових установок, які вимагають набагато менших витрат порівняно з лінійними випробуваннями.

## 2.1 Опис конструкції струмоприймача

Для розрахунку взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою при високих швидкостях руху скористаємося параметрами струмоприймача SSS87-RZD фірми Siemens, який використовувався при проведенні випробувань систем струмоznімання на швидкісних лініях.

Струмоприймач фірми Siemens (рис. 2.2) має конструкцію асиметричного полупантографа, що дозволяє знизити його приведену масу. Полози струмоприймача обладнані автоматичним механізмом аварійного опускання при зриві контактних елементів. Статичне натискання струмоприймача може регулюватися в діапазоні від 50 до 150 Н. Для струмоприймача, призначеного для

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зняття робочого струму: номінальний струм при русі - 2000 А, при стоянці - 330 А (можливий більш високий струм у разі подвійного контактного дроту). Демпфіруючі пристрої струмоприймача встановлені у верхній і нижній системі рухомих рам, що дозволяє зменшити коливання полоза при високих швидкостях руху. Аеродинамічні пристрої стабілізації контактного натискання струмоприймача компенсують вертикальні сили, що діють на полоз в процесі експлуатації.



а)



б)

Рисунок 2.2 - Струмоприймач SSS87-RZD фірми Siemens: а - конструктивне виконання: 1-контактна вставка; 2-полоз; 3- верхнє плече та вирівнюючий шток; 4-нижнє плече; 5- нижній шток; 6- повітряний циліндр; 7 – рама основи; 8 – ізолятори; б - загальний вигляд

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **2.2 Аналіз відомих методів розрахунку взаємодії струмоприймачів з контактними підвісками**

Починаючи з середини минулого століття, коли були розпочаті докладні випробування динаміки струмознімання, в науковій літературі були опубліковані теоретичні роботи, які базувалися на аналізі спрощених схем коливальних систем, які не відображали всіх особливостей реальних динамічних процесів. У всіх опублікованих теоретичних роботах використані певні припущення та спрощення.

Способи розрахунку взаємодії струмоприймачів з контактними підвісками можна класифікувати за такими критеріями: по числу ступенів свободи у струмоприймача; по способу обліку контактної підвіски (з зосередженими або розподіленими параметрами, у вигляді жорсткої кривої); по особливостям обліку факторів, які мають механічний вплив на струмоприймач і контактну підвіску.

З усіх методів розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою можуть бути застосовані узагальнені схеми, в яких струмоприймач може бути представлений одно - або двомасовою системою, а траєкторія і жорсткість підвіски - синусоїдальними та іншими функціями.

## **2.3 Фактори, що впливають на якість струмознімання**

Достовірність розрахунків при математичному моделюванні струмознімання прямо пов'язана з повнотою врахування видів впливу на рівень контактного натискання з боку струмоприймача, контактного дроту, рухомого складу і зовнішнього середовища. У розрахунках враховувалися фактори, що впливають з боку контактної дроту, зовнішнього середовища, рухомого складу і параметрів струмоприймача. Це такі фактори, як сухе та в'язке тертя, масогабаритні показники, жорсткості, коефіцієнт тертя ковзання в контакті, довжина прольоту підвіски, амплітуди і частоти коливань основи струмоприймача, аеродинамічні параметри та ін.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Обґрунтування розрахункової схеми взаємодії струмоприймача та контактної підвіски

Прийнято, що на процес струмознімання діють наступні фактори: маси і геометричні параметри рухомих частин струмоприймача, коефіцієнт тертя ковзання в контакті, траєкторія провисання і стріла провисання контактного дроту, довжина прольоту, амплітуда і частота вертикальних коливань рухомого складу, аеродинамічна підйомна сила.

### 2.4.1 Розрахунок характеристики контактного натискання з урахуванням впливу з боку контактного дроту та основи струмоприймача

Під характеристикою контактного натискання розуміється залежність максимального і мінімального контактного натискання в прольоті від швидкості руху електрорухомого складу (частоти вертикальних коливань контактного елемента струмоприймача). На розрахунковій схемі (рис. 2.3) прийняті наступні позначення:  $J_{кп}$  - жорсткість контактної підвіски в точці контакту;  $\gamma_{кс}$  - коефіцієнт в'язкого тертя в контактній підвісці;  $J_{св'язи}$  - жорсткість, яка імітує пружні зв'язки в контактній підвісці;  $m_{кс}$  - маса контактної підвіски, зосереджена над одним полозом;  $m_{кэ}$  - маса полоза струмоприймача;  $w_k$  - сила сухого тертя контактного елемента;  $J_{кэ}$  - жорсткість пружини контактного елемента;  $J_{ш}$  - жорсткість пружини штанги;  $m_{ш}$  - маса штанги каретки;  $m_k$  - маса каретки;  $w_k$  - сила сухого тертя каретки;  $J_k$  - жорсткість пружини каретки;  $m_p$  - маса системи рухомих рам;  $w_p$  - сила сухого тертя в системі рухомих рам;  $\gamma_p$  - коефіцієнт в'язкого тертя в системі рухомих рам;  $P_p$  - статичне натискання струмоприймача;  $P_{вр}$  і  $P_{вл}$  - аеродинамічна сила, що впливає на систему рухомих рам і полоз струмоприймача;  $V_{пс}$  - швидкість руху рухомого складу;  $y_{осн}$  - відхилення основи струмоприймача у вертикальному напрямку;  $Y_p$  - висотне положення рами струмоприймача;  $Y_k$  - висотне положення каретки;  $y_{кэ1}$  і  $y_{кэ2}$  - висотне положення першого і другого по

					0032.170139.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ходу руху полоза;  $y_{кc0}$  - висотне положення контактної провуду при відсутності під ним струмоприймача;  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  - кут повороту штанги першого і другого по ходу руху полоза.

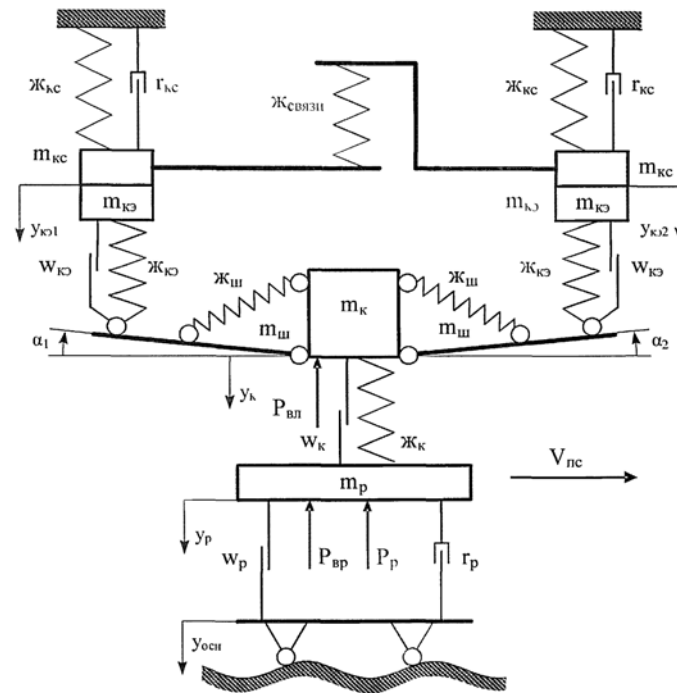


Рисунок 2.3 - Кінематична схема взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою

У розрахунках прийняті наступні допущення:

- рами і штанги струмоприймача та необресорені частини є абсолютно твердими, у зв'язку з чим відсутня необхідність врахування пружних деформацій штанг і рам струмоприймача, які мають незначну величину і слабо впливають на процес струмознімання;

- контактні елементи рухаються безперервно з контактної провуду, що не дозволяє розраховувати траєкторії руху контактної дроту та контактних елементів окремо, а також не враховувати ударний процес при зіткненні контактної елемента з контактним дротом;

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- контактна підвіска прийнята пружною і представляється дискретною моделлю;
- контактні елементи переміщуються тільки вертикально (незначне переміщення в горизонтальному напрямку приймається рівним нулю, так як воно викликається пружними деформаціями в рамах і штангах струмоприймача, які не враховуються відповідно до першого допущення).

У розрахункову схему струмоприймача введені штанги каретки (рис. 2.4), конструкція яких відрізняється від реальної, яка передбачає наявність підтримуючого натискною пружиною паралелограма.

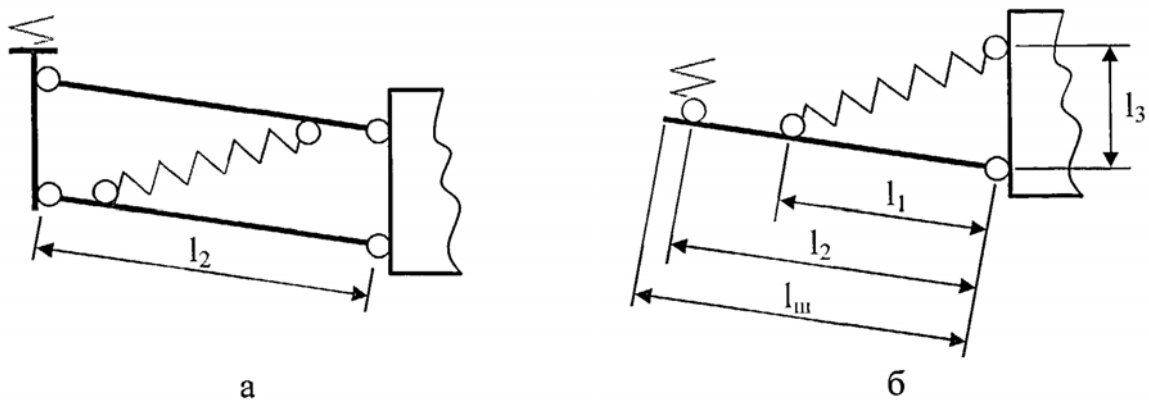


Рисунок 2.4 - Реальна (а) і розрахункова (б) схеми каретки струмоприймача

Для реальної штанги каретки експериментально отримана залежність сили натискання в точці закріплення пружини каретки від кута повороту штанги (рис. 2.5, лінія 1). У розрахунковій штанги отримана теоретична залежність (рис. 2.5, лінія 2), яка співпадає з експериментальною з коефіцієнтом кореляції 0,998. Отримані параметри штанги:  $l_1 = 0,07$  м,  $l_2 = 0,15$  м,  $l_3 = 0,05$  м,  $l_{ш0} = 0,0667$  м,  $ж_{ш} = 29$  кН/м. Тут  $l_{ш0}$  - довжина пружини штанги при відсутності зовнішніх навантажень.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

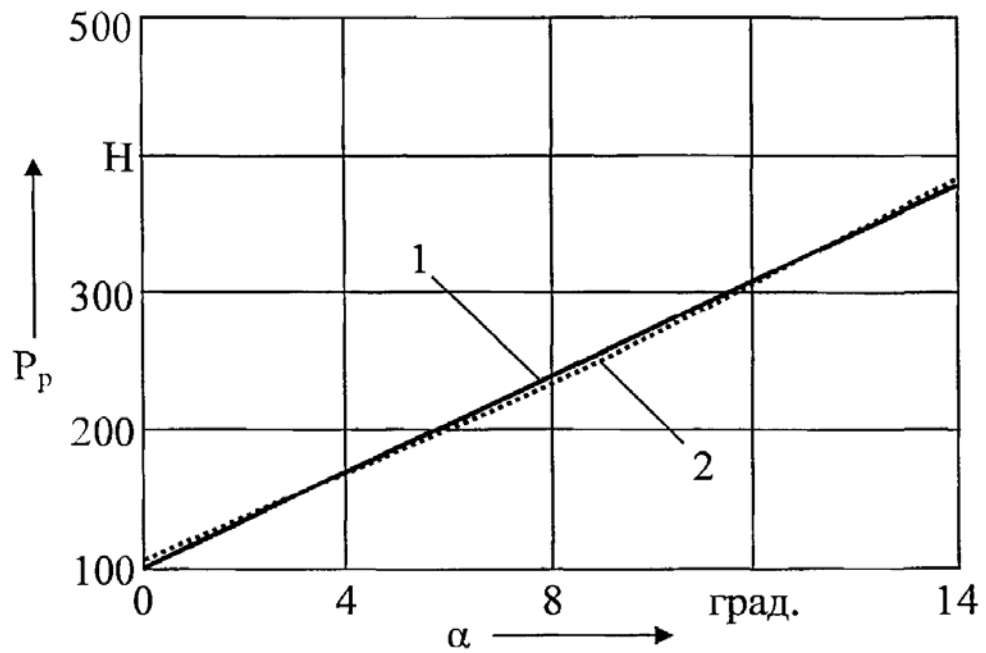


Рисунок 2.5 - Залежність сили натискання від кута повороту штанги, каретки

Вплив з боку стріли провисання контактної дроту полягає в Жорсткості, яка змінюється по довжині прольоту контактної підвіски і висотного положення контактної дроту при відсутності під ним струмоприймача. Цей вплив зростає зі збільшенням швидкості руху рухомого складу. Висотне положення контактної підвіски КС-200-06 в прольоті та її жорсткість отримані експериментально з використанням обладнання вагона-лабораторії для випробування контактної мережі (рис. 2.6). Для обліку змінної жорсткості контактної підвіски залежно від положення рухомого складу в прольоті може бути використано її розкладання в ряд Фур'є.

Отримуємо коефіцієнти:

$$a_0 = \frac{l}{l_{np}} \int_{-l_{np}}^{l_{np}} \mathcal{J}_{kc}(x) dx. \quad (2.1)$$

$$a_\lambda = \frac{l}{l_{np}} \int_{-l_{np}}^{l_{np}} \mathcal{J}_{kc}(|x|) \cos(k \cdot x) dx,$$

де  $l_{пр}$  - довжина прольоту контактної підвіски;  $k$  - номер гармонійної складової в жорсткості контактної підвіски;

$a_k$  - амплітуда косинусоїдальної складової  $k$ -ої гармоніки;

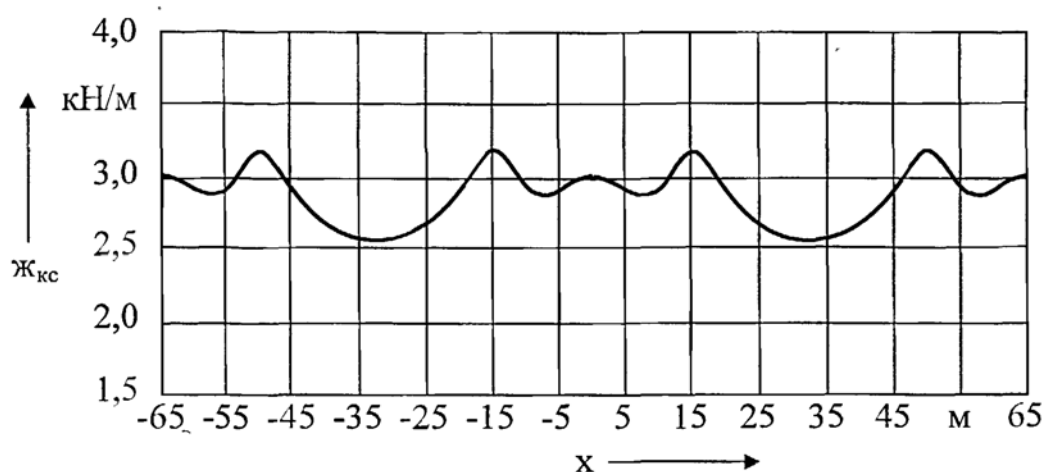


Рисунок 2.6 - Жорсткість контактної підвіски у прольоті за експериментальними даними в програмі MathCAD

Залежність жорсткості підвіски від часу, швидкості руху рухомого складу  $V_{пс}$  і відстані  $x$  можна записати в наступному вигляді:

$$\mathcal{J}_{кк} = \mathcal{J}_{кк0} \left( 1 + \sum_{k=1}^n \mu_k \cos 2\pi \frac{k \cdot x}{l_{пр}} \right), \quad (2.2)$$

де  $x = V_{пс}t$ .

У результаті розрахунку одержуємо  $\mathcal{J}_{кк0} = 2888$  Н/м, решта коефіцієнтів показані на рис. 2.7. При обліку десяти гармонійних складових ( $n=10$ ) крива жорсткості контактної підвіски у прольоті відповідає фактичній жорсткості з точністю 99% (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,99).

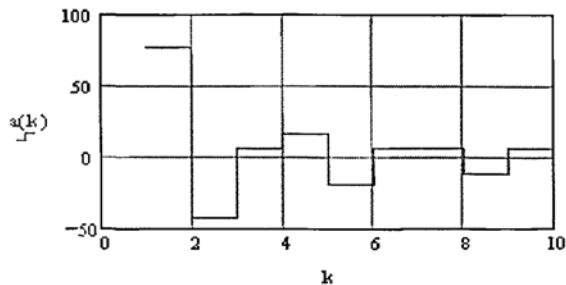
Перетворимо вираз до вигляду:

$$\mathcal{J}_{кк} = \mathcal{J}_{кк0} \left( 1 + \sum_{k=1}^n \mu_k \cos k\omega_0 t \right), \quad (2.2a)$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\omega_0$  - частота основної складової нерівно пружності підвіски.

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot V_{nc}}{l_{np}}. \quad (2.26)$$



k	$l_k = \frac{l_{np}}{k}$	$\alpha_k$	$\mu_k$
1	65	77,1	0,0267
2	32,5	-48	-0,0166
...	...	...	...
10	6,5	6,7	0,0022

Рисунок 2.7- Коефіцієнти при розкладанні в ряд Фур'є

На полози струмоприймача діє переносний рух, що виникає при зміні висотного положення полоза струмоприймача через змінну жорсткість контактної підвіски.

Крім впливів з боку контактної підвіски, на процес струмознімання впливають коливання основи струмоприймача, амплітудно-частотний спектр яких визначається множиною параметрів.

Спектральна щільність вертикальних віброприскорень електропоїзда Hyundai. в місці установки струмоприймача, отримані в ході польових випробувань, представлені на рис. 2.8, з якого видно, що розрахункові частоти підплигування і галопування кузова знаходяться в діапазоні 1,8-2,2 Гц. Складова з більш високою частотою породжується вібрацією рами візка, тягових двигунів і колісних пар. Низькі частоти відповідають власним частотам підстрибування і галопування кузова. З ростом швидкості руху максимум вертикальних віброприскорень зміщується в бік збільшення частоти коливань. Так як основна частина енергії процесу зосереджена на вузькій частині спектру, то вихідний процес є вузько смуговим випадковим процесом, який можна представити у вигляді:

$$y_{осн}(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi), \quad (2.3)$$

де  $A$  – випадкова амплітуда коливань підстави струмоприймача;

$\omega_0$  – середня частота коливань, Гц;

$\varphi$  – зсув фази коливань (теж випадковий).

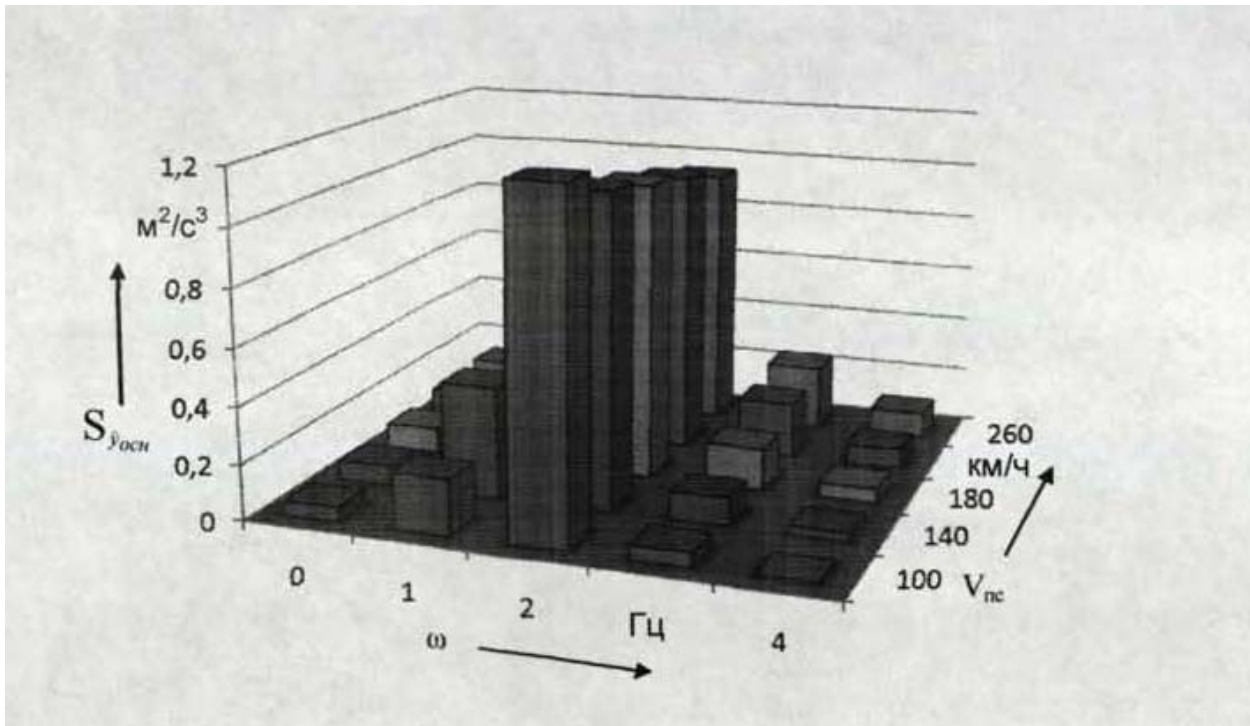


Рисунок 2.8 – Спектральна щільність вертикальних віброприскорень в місці установки струмоприймача

Умова вузькополосності описується рівнянням:

$$M_k(v) = \int_0^{\infty} \omega^k S_{xx}(\omega, v) d\omega, k \in [0, 2]. \quad (2.4)$$

В даному випадку виконується проста умова вузькополосності:

$$M_2 M_0 - M_1^2 \ll M_1^2$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середньоквадратичне значення амплітуди коливань основи струмоприймача у вертикальному напрямку в залежності від швидкості рухомого складу показані на рис. 2.9:

$$\sigma_{осн} = \sqrt{\int_{\omega_{нач}}^{\omega_{кон}} S_{yосц}(\omega, V_{пс}) d\omega}, \quad (2.5)$$

$$S_{yосц}(\omega, V_{пс}) = \frac{S_{yосц}(\omega, V_{пс})}{\omega^4}.$$

де  $\omega_{нач}$  та  $\omega_{кон}$  ~ початкова та кінцева частоти, що враховуються при розрахунку;  
 $S_{yосц}(\omega)$  амплітуда коливань підстави струмоприймача на частоті  $\omega$ .

Амплітуда коливань основи струмоприймача визначається відповідно до нормального закону розподілу випадкової величини з математичним сподіванням рівним нулю і середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{осн}$ .

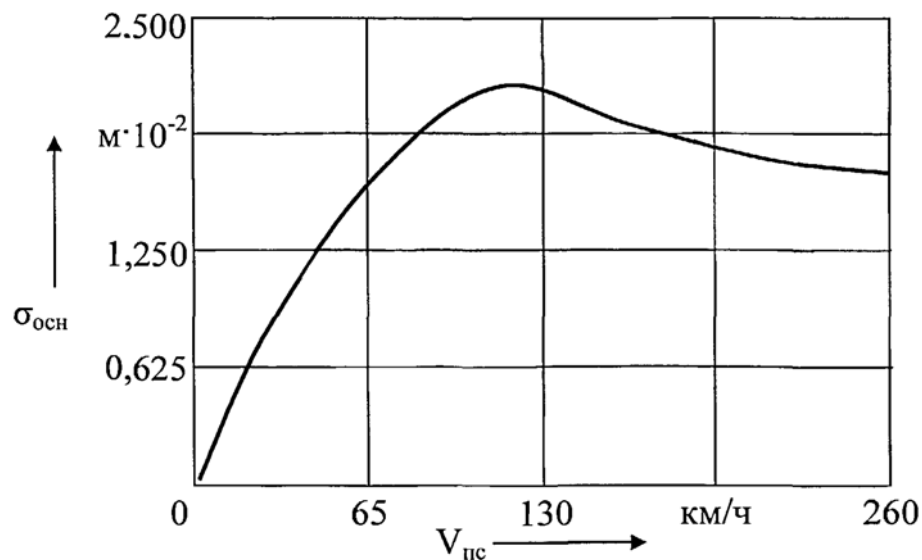


Рисунок 2.9 - Середньоквадратичне значення амплітуди коливань основи струмоприймача

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4.2 Виведення математичної моделі взаємодії струмоприймача

### з контактною мережею

Для розрахунку взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою використовувалося рівняння Лагранжа другого роду, якого повинно мати кінетичну і потенційну енергії, дисипативну функцію і узагальнену силу. Так як конструкція струмоприймача має шість ступенів свободи, то необхідно скласти шість рівнянь руху:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{db} \right) - \frac{dT}{db} + \frac{d\Pi}{db} + \frac{d\Phi}{db} = Q_b; b \in [y_p, y_k, \alpha_1, \alpha_2, y_{кэ1}, y_{кэ2}], \quad (2.6)$$

де  $T, \Pi$  - кінетична і потенційна енергія системи;

$\Phi$  - дисипативна функція;

$b$  - узагальнена координата;

$Q_b$  - узагальнена сила, відповідна силам опору по узагальненій координаті  $b$ .

У розрахунку враховується статичний прогин контактної мережі, який розраховується по наступній формулі:

$$f_{сгкк}(t) = \frac{P_p}{\mathcal{E}_{кк}} = \frac{P_p}{\mathcal{E}_{кк0} \left( l + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos 2\pi \frac{kV_{nc}t}{l_{np}} \right)} = \frac{P_p}{\mathcal{E}_{кк0}} \cdot \frac{l}{l + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t}, \quad (2.7)$$

де  $\omega_0 = \frac{2\pi V_{nc}}{l_{np}}$ .

У зв'язку з малістю  $\mu_k \ll 1$  отримуємо:

$$\frac{l}{l + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t} \approx 1 - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t + \frac{3}{8} \sum_{k=1}^{10} \mu_k^2 \cos^2 k\omega_0 t - \dots$$

					0032.170139.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті підстановки отримуємо:

$$f_{сткк}(t) = \frac{P_p}{\mathcal{H}_{кc0}} \left( 1 - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t + \dots \right).$$

Використовуємо спрощення у формулі:

$$\frac{P_p}{\mathcal{H}_{кc0}} = f_{cm0},$$

де  $f_{cm0}$  - середній статичний прогин контактної мережі.

Перша похідна отриманого статичного прогину контактної мережі

$$\dot{f}_{сткк}(t) = \frac{1}{2} f_{cm0} \omega_0 \sum_{k=1}^{10} k \mu_k \sin k\omega_0 t.$$

Друга похідна цього прогину

$$\ddot{f}_{сткк}(t) = \frac{1}{2} f_{cm0} \omega_0^2 \sum_{k=1}^{10} k^2 \mu_k \sin k\omega_0 t.$$

Кінетична енергія системи розрахована для абсолютних швидкостей мас, що входять до неї:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} m_p (y_p + y_{осн} + f_{ст.кc})^2 + \frac{1}{2} m_k (y_k + y_{осн} + f_{ст.кc})^2 + \frac{1}{2} m_{ш} (y_k + y_{осн} + f_{ст.кc} + \alpha_1 \frac{1_{ш}}{2})^2 + \\ & + \frac{1}{2} m_{ш} (y_k + y_{осн} + f_{ст.кc} + \alpha_2 \frac{1_{ш}}{2})^2 + \frac{1}{2} J_{ш} \alpha_1^2 + \frac{1}{2} J_{ш} \alpha_2^2 + \frac{1}{2} (m_{кc} + m_{кэ}) \cdot \\ & (y_{кэ1} + y_{осн} + f_{ст.кc})^2 + \frac{1}{2} (m_{кc} + m_{кэ}) (y_{кэ2} + y_{осн} + f_{ст.кc})^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $J_{ш}$  - момент інерції відносно центра мас штанги, каретки.

$$J_{ш} = \frac{1}{12} m_{ш} l_{ш}^2. \quad (2.8a)$$

Введені на рис.2.2. узагальнені координати, як прийнято в механіці, відраховуються від положення статичної рівноваги, щоб потенційна енергія в цьому положенні була нульовою, тобто мала в положенні рівноваги мінімум. У зв'язку з тим, що рухомий склад здійснює коливання, стан рівноваги переміщується разом з основою струмоприймача. Таким чином, система відліку, в якій описується рух струмоприймача, здійснює в кожен момент часу переносний рух зі швидкістю  $y_{осн.}$ . По цій причині у формулі (2.7) до кожної лінійної швидкості додана складова переносного руху.

Потенційна енергія системи дорівнює енергії, яка запасена в пружних елементах струмоприймача та контактної мережі:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} \mathcal{J}_k \Delta h_k^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{ш1} \Delta h_{ш1}^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{ш2} \Delta h_{ш2}^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{кэ1} \Delta h_{кэ1}^2 + \\ & + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{кэ2} \Delta h_{кэ2}^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{кc1} \Delta h_{кc1}^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{кc2} \Delta h_{кc2}^2 + \frac{1}{2} \mathcal{J}_{связи} \Delta h_{связи}^2, \end{aligned} \quad (2.9)$$

де  $\Delta h_k$  - стиснення пружини каретки;

$\Delta h_{ш1}, \Delta h_{ш2}$  - подовження пружин штанги;

$\Delta h_{кэ1}, \Delta h_{кэ2}$  - стиснення пружин контактних елементів;

$\Delta h_{кc1}, \Delta h_{кc2}$  - стиснення пружин, що задають жорсткість контактної підвіски;

$\Delta h_{связи}$  - стискання пружини, що імітує твердість контактного проводу.

Стискання пружини каретки розраховується, як різниця довжини пружини при відсутності зовнішніх навантажень  $l_{к0}$  і фактичної довжини:

$$\Delta h_k = l_{к0} - (y_k - y_p). \quad (2.10)$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подовження пружин штанги залежить від кутів нахилу  $\alpha_1, \alpha_2$  і довжини пружини штанги при відсутності зовнішніх навантажень  $l_{ш0}$ :

$$\begin{cases} \Delta h_{ш1} = \sqrt{(l_3 - l_1 \sin \alpha_1)^2 + l_1^2 \cos^2 \alpha_1} - l_{ш0} \\ \Delta h_{ш2} = \sqrt{(l_3 - l_1 \sin \alpha_2)^2 + l_1^2 \cos^2 \alpha_2} - l_{ш0} \end{cases} \quad (2.11)$$

Стиснення пружин каретки залежить від висотного положення каретки, полоза струмоприймача, кута повороту штанги і початкової довжини пружини каретки  $l_{кэ0}$

$$\begin{cases} \Delta h_{кэ1} = l_{кэ0} - (y_{кэ1} - l_2 \sin \alpha_1 - y_k) \\ \Delta h_{кэ2} = l_{кэ0} - (y_{кэ2} - l_2 \sin \alpha_2 - y_k) \end{cases} \quad (2.12)$$

Стиснення пружин, що задають жорсткість контактної підвіски, розраховується як різниця висотного положення полозів струмоприймача і висоти контактної підвіски в точці контакту при відсутності струмоприймача у цій точці  $y_{кс0}$ :

$$\begin{cases} \Delta h_{кс1} = y_{кэ1} - y_{кс0} \\ \Delta h_{кс2} = y_{кэ2} - y_{кс0} \end{cases} \quad (2.13)$$

Стиснення пружин, що імітує твердість контактного дроту, визначається висотним положенням двох полозів струмоприймача:

$$\Delta h_{связи} = y_{кэ1} - y_{кэ2} \quad (2.14)$$

Згідно [30], проведені великі експериментальні дослідження по обліку ряду нелінійних функцій, показали, що в невеликому розрахунковому інтервалі при наявності слабо нелінійних систем можна без істотних похибок здійснити лінеаризацію необхідних параметрів. При цьому результати розрахунків

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

динамічної системи «струмоприймач - контактна підвіска» виходять досить близькими до експериментальних даних та підтвержені досвідом експлуатації. Тому при розрахунках сухе тертя в системі рухомих рам та контактної підвіски замінюється еквівалентним в'язким, вираженим через коефіцієнт опору  $r$ .

Дисипативна функція після заміни сухого тертя еквівалентним в'язким виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{1}{2}r_p(y_p - y_{осн} + f_{ст.кc})^2 + \frac{1}{2}r_{кc}(y_{кэ1} + f_{ст.кc})^2 + \frac{1}{2}r_{кc}(y_{кэ2} + f_{ст.кc})^2 + \\ & + \frac{1}{2}r_{к}(y_{к} + f_{ст.кc} - y_p)^2 + \frac{1}{2}r_{кэ}(y_{кэ1} + f_{ст.кc} - l_2\alpha_1 - y_{к})^2 + \\ & + \frac{1}{2}r_{кэ}(y_{кэ2} + f_{ст.кc} - l_2\alpha_2 - y_{к})^2. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Розрахуємо похідні від кінетичної енергії:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial y_p} \right) &= m_p (y_p + y_{осн} + f_{ст.кc}) \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial y_{к}} \right) &= m_{к} (y_{к} + y_{осн}) + m_{ш} (2y_{к} + 2y_{осн} + f_{ст.кc} + 0,5l_{ш}(\alpha_1 + \alpha_2)) \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \alpha_1} \right) &= J_{ш} \alpha_1 + 0,5m_{ш}l_{ш} (y_{к} + y_{осн} + f_{ст.кc} + \alpha_1 \frac{l_{ш}^2}{2}) \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \alpha_2} \right) &= J_{ш} \alpha_2 + 0,5m_{ш}l_{ш} (y_{к} + y_{осн} + f_{ст.кc} + \alpha_2 \frac{l_{ш}^2}{2}) \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial y_{кэ1}} \right) &= (m_{кc} + m_{кэ})(y_{кэ1} + f_{ст.кc} + y_{осн}) \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial y_{кэ2}} \right) &= (m_{кc} + m_{кэ})(y_{кэ2} + f_{ст.кc} + y_{осн}). \end{aligned} \right. \quad (2.16)$$

Часткові похідні потенціальної енергії системи по узагальнених координатах мають наступний вигляд:

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left\{ \begin{aligned}
\frac{\partial \Pi}{\partial y_p} &= \mathcal{H}_k (y_p - y_k + l_{k0}) \\
\frac{\partial \Pi}{\partial y_k} &= \mathcal{H}_k (y_p - y_k + l_{k0}) + \\
&+ \mathcal{H}_{k\varepsilon} (2l_{k\varepsilon 0} - y_{k\varepsilon 1} - y_{k\varepsilon 2} + l_2 \sin \alpha_1 + 2y_k + l_2 \sin \alpha_2) \\
\frac{\partial \Pi}{\partial \alpha_1} &= \mathcal{H}_{u0} l_3 l_1 \cos \alpha_1 \left( \frac{l_{u0}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2} - 2 \cdot l_3 l_1 \sin \alpha_1} - 1 \right) + \\
&+ \mathcal{H}_{k\varepsilon} ((l_{k\varepsilon 0} - y_{k\varepsilon 1} + y_k) l_2 \cos \alpha_1 + l_2^2 \sin \alpha_1 \cos \alpha_2) \\
\frac{\partial \Pi}{\partial \alpha_2} &= \mathcal{H}_{u0} l_3 l_1 \cos \alpha_2 \left( \frac{l_{u0}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2} - 2 \cdot l_3 l_1 \sin \alpha_2} - 1 \right) + \\
&+ \mathcal{H}_{k\varepsilon} ((l_{k\varepsilon 0} - y_{k\varepsilon 2} + y_k) l_2 \cos \alpha_2 + l_2^2 \sin \alpha_2 \cos \alpha_2) \\
\frac{\partial \Pi}{\partial y_{k\varepsilon 1}} &= \mathcal{H}_{k\varepsilon} (y_{k\varepsilon 1} - l_{k\varepsilon 0} - l_2 \sin \alpha_1 - y_k) + \mathcal{H}_{kc} (y_{k\varepsilon 1} - y_{kc0}) + \\
&+ \mathcal{H}_{связи} (y_{k\varepsilon 1} - y_{k\varepsilon 2}) \\
\frac{\partial \Pi}{\partial y_{k\varepsilon 2}} &= \mathcal{H}_{k\varepsilon} (y_{k\varepsilon 2} - l_{k\varepsilon 0} - l_2 \sin \alpha_2 - y_k) + \mathcal{H}_{kc} (y_{k\varepsilon 2} - y_{kc0}) + \\
&+ \mathcal{H}_{связи} (y_{k\varepsilon 2} - y_{k\varepsilon 1})
\end{aligned} \right. \quad (2.17)$$

Частинні похідні дисипативної функції мають такий вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
\frac{\partial \Phi}{\partial y_p} &= r_p (y_p - y_{осн} + f_{ст.кк}) + r_k (y_k + y_p + f_{ст.кк}), \\
\frac{\partial \Phi}{\partial y_k} &= r_k (y_k - y_p + f_{ст.кк}) + r_{k\varepsilon} (2y_k - y_{k\varepsilon 1} - y_{k\varepsilon 2} + 2f_{ст.кк} + l_2 (\alpha_1 + \alpha_2)), \\
\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha_1} &= r_{k\varepsilon} (\alpha_1 l_2^2 - y_{k\varepsilon 1} l_2 + y_k l_2 + f_{ст.кк}), \\
\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha_2} &= r_{k\varepsilon} (\alpha_2 l_2^2 - y_{k\varepsilon 2} l_2 + y_k l_2 + f_{ст.кк}), \\
\frac{\partial \Phi}{\partial y_{k\varepsilon 1}} &= r_{k\varepsilon} (y_{k\varepsilon 1} - \alpha_1 l_2 - y_k + f_{ст.кк}) + r_{kc} (y_{k\varepsilon 1} + f_{ст.кк}), \\
\frac{\partial \Phi}{\partial y_{k\varepsilon 2}} &= r_{k\varepsilon} (y_{k\varepsilon 2} - \alpha_2 l_2 - y_k + f_{ст.кк}) + r_{kc} (y_{k\varepsilon 2} + f_{ст.кк}).
\end{aligned} \right. \quad (2.18)$$

Виконавши підстановку рівняння (2.16 - 2.18) в (2.6) отримуємо систему, що складається з шести звичайних диференціальних рівнянь, що описують малі коливання елементів струмоприймача при взаємодії з контактної підвіскою.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Диференціальне рівняння руху рами струмоприймача виглядає наступним чином:

$$m_p(y_p + y_{осн} + f_{см.кc}) + \mathcal{J}_к(y_p - y_к + l_{к0}) + r_p(y_p - y_{осн} + f_{см.кc}) - r_к(y_к - y_p + f_{см.кc}) = P_p \quad (2.19)$$

Рівняння руху каретки струмоприймача має вигляд:

$$m_к(y_к + y_{осн} + f_{см.кc}) + m_{ш}(2y_к + 2y_{осн} + f_{см.кc} + 0,5l_{ш}(\alpha_1 + \alpha_2)) + \mathcal{J}_к(y_к - y_p - l_{к0}) + \mathcal{J}_{кэ}(2(l_{кэ0} + y_к) - y_{кэ1} - y_{кэ2} + l_2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)) + r_к(y_к - y_p - f_{см.кc}) + r_{кэ}(2y_к - y_{кэ1} - y_{кэ2} + l_2(\alpha_1 + \alpha_2) + f_{см.кc}) = 0 \quad (2.20)$$

Диференціальні рівняння руху першого та другого по ходу руху рухомого складу полоза виглядають наступним чином:

$$\begin{cases} (m_{кc} + m_{кэ})(y_{кэ1} + y_{осн} + f_{см.кc}) + \mathcal{J}_{кэ}(y_{кэ1} - y_к - l_{кэ0} - l_2 \sin \alpha_1) + \mathcal{J}_{кc}(y_{кэ1} - y_{кc0}) + \mathcal{J}_{связи}(y_{кэ1} - y_{кэ2}) + r_{кэ}(y_{кэ1} - \alpha_1 l_2 - y_к + f_{см.кc}) + r_{кc}(y_{кэ1} + f_{см.кc}) = 0, \\ (m_{кc} + m_{кэ})(y_{кэ2} + y_{осн} + f_{см.кc}) + \mathcal{J}_{кэ}(y_{кэ2} - y_к - l_{кэ0} - l_2 \sin \alpha_2) + \mathcal{J}_{кc}(y_{кэ2} - y_{кc0}) + \mathcal{J}_{связи}(y_{кэ2} - y_{кэ1}) + r_{кэ}(y_{кэ2} - \alpha_2 l_2 - y_к + f_{см.кc}) + r_{кc}(y_{кэ2} + f_{см.кc}) = 0. \end{cases} \quad (2.21)$$

Рівняння руху штанг каретки струмоприймача мають вигляд:

$$\begin{cases} J_{ш} \alpha_1 + 0,5m_{ш}l_{ш}(y_к + y_{осн} + f_{см.кc} + \alpha_1 \frac{l_{ш}^2}{2}) + \mathcal{J}_{ш}l_3 \cos \alpha_1 (\frac{l_{ш0}}{\sqrt{l_1^2 + l_3^2 - 2l_1l_3 \sin \alpha_1}} - 1) + \mathcal{J}_{кэ}((l_{кэ0} - y_{кэ1} + y_к)l_2 \cos \alpha_1 + 0,5l_2^2 \sin 2\alpha_1) + r_{кэ}(\alpha_1 l_2^2 - y_{кэ1}l_2 + y_к l_2 - f_{см.кc}l_2) = 0 \\ J_{ш} \alpha_2 + 0,5m_{ш}l_{ш}(y_к + y_{осн} + f_{см.кc} + \alpha_2 \frac{l_{ш}^2}{2}) + \mathcal{J}_{ш}l_3 \cos \alpha_2 (\frac{l_{ш0}}{\sqrt{l_1^2 + l_3^2 - 2l_1l_3 \sin \alpha_2}} - 1) + \mathcal{J}_{кэ}((l_{кэ0} - y_{кэ1} + y_к)l_2 \cos \alpha_1 + 0,5l_2^2 \sin 2\alpha_2) + r_{кэ}(\alpha_2 l_2^2 - y_{кэ2}l_2 + y_к l_2 - f_{см.кc}l_2) = 0. \end{cases} \quad (2.22)$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рішення систем (2.19) - (2.22) виконано з допомогою універсальної математичної програми Mathcad гкфіxed, для цього система рівнянь була перетворена до виду:

$$\begin{cases}
 y_p = f(y_p, y_p, y_k, y_k, y_{осн}, y_{осн}, y_{осн}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc}) \\
 y_k = f(y_p, y_p, y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_2, \alpha_2, y_{кэ1}, y_{кэ1}, y_{кэ2}, y_{кэ2}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc}) \\
 \alpha_1 = f(y_k, y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_1, y_{кэ1}, y_{кэ1}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc}) \\
 \alpha_2 = f(y_k, y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_1, y_{кэ2}, y_{кэ2}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc}) \\
 y_{кэ1} = f(y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, y_{кэ1}, y_{кэ1}, y_{кэ1}, y_{кэ2}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc}) \\
 y_{кэ2} = f(y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_2, \alpha_2, y_{кэ1}, y_{кэ2}, y_{кэ2}, y_{кэ2}, f_{ст.кc}, f_{ст.кc})
 \end{cases} \quad (2.23)$$

Для вирішення вказаної системи рівнянь використовувалася стандартна функція програми Mathcad гкфіxed. Вона дозволяє розв'язувати диференціальні рівняння чисельним методом Рунге-Кутта четвертого порядку. В результаті рішення системи рівнянь (2.23) виходять залежності положень і швидкостей елементів струмоприймачів від часу.

Для знаходження сили натискання полозів струмоприймача на контактний дріт слід скласти рівняння квазістатичної рівноваги вузла підвіски за принципом Д'аламбера над кожним полозом (рис. 2.10).

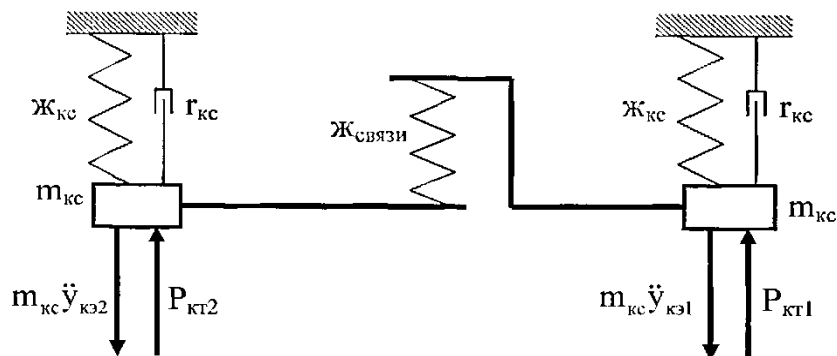


Рисунок 2.10 – Схема для визначення сили контактного натискання  $P_{кТ1}$   $P_{кТ2}$

На рисунку 2.10 показано пружний елемент  $J_{\text{связи}}$ , який враховує власну жорсткість контактних проводів. Даний параметр підвіски визначається згідно з методикою, розробленою професором В.П.Міхеєвим [1]. Сили контактного натискання визначаються за формулами:

$$\begin{cases} P_{\text{кт1}} = J_{\text{кк}} (y_{\text{кэ1}} - y_{\text{кэ0}}) + r_{\text{кк}} (y_{\text{кэ1}} + f_{\text{ст.кк}}^*) + m_{\text{кк}}^{**} y_{\text{кэ1}} + J_{\text{связи}} (y_{\text{кэ1}} - y_{\text{кэ2}}), \\ P_{\text{кт2}} = J_{\text{кк}} (y_{\text{кэ2}} - y_{\text{кэ0}}) + r_{\text{кк}} (y_{\text{кэ2}} + f_{\text{ст.кк}}^*) + m_{\text{кк}}^{**} y_{\text{кэ2}} + J_{\text{связи}} (y_{\text{кэ2}} - y_{\text{кэ1}}). \end{cases} \quad (2.24)$$

Розрахунок характеристики контактного натискання полягає у визначенні натискання в прольоті для заданого діапазону швидкостей руху рухомого складу і побудови залежності максимального і мінімального натискання в прольоті від цієї швидкості.

Початкові умови для першого розрахункового прольоту, як правило, задаються орієнтовно, тому дані щодо взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою в перших трьох – чотирьох прольотах не повинні прийматися до уваги, а при загальному числі розрахункових прольотів, рівним десяти, показники, що характеризують якість струмознімання, усереднюються за результатами розрахунків для прольотів з 6-го по 10-й.

Таким чином, розраховується контактне натискання на десяти прольотах контактної мережі для певного діапазону швидкостей. Для кожної швидкості фіксуються максимальне і мінімальне контактні натискання в останніх п'яти прольотах.

### 2.4.3 Облік сили тертя ковзання в контакті

При русі полоза струмоприймача з контактного дроту, з-за наявності реакції контактного дроту на кожен полз, виникає сила тертя ковзання. Вона направлена в сторону, протилежну руху рухомого складу, і прикладена до полозу в точці

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дотику з контактним дротом (рис. 2.11). Сила тертя ковзання прямо пропорційна цій реакції і коефіцієнту тертя ковзання для контактних матеріалів.

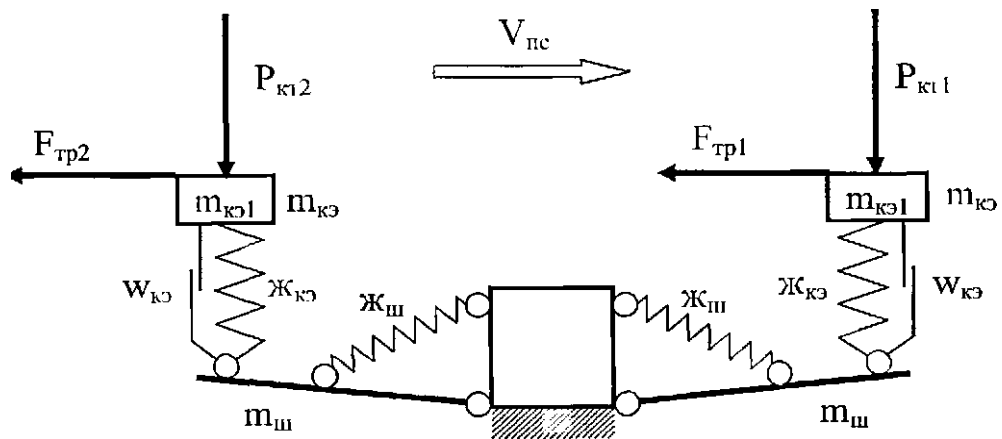


Рисунок 2.11 – Вплив тертя ковзання в контакті на процес струмознімання

Сили тертя ковзання розраховуються за формулами:

$$\begin{cases} F_{тр1} = \mu P_{к1} \\ F_{тр2} = \mu P_{к2} \end{cases} \quad (2.25)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя ковзання.

Коефіцієнт тертя ковзання визначається експериментально для заданих взаємодіючих поверхонь полоза і контактного дроту. Для першого по ходу руху полоза струмоприймача сила тертя ковзання в рівняння (2.6) увійде  $Q_{\alpha 1}$  з наступною добавкою:

$$\Delta Q_{\alpha 1} = P_{к1} \mu (y_{к1} - y_k). \quad (2.26)$$

Для другого:

$$\Delta Q_{\alpha 2} = P_{к2} \mu (y_{к2} - y_k). \quad (2.27)$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила тертя ковзання збільшує контактне натискання на першому по ходу руху полоза і зменшує на другому.

#### **2.4.4 Облік аеродинамічного впливу з боку зустрічного повітряного потоку**

На тіло, яке обтікає потоком повітря, діють:

- дотичні сили тертя між тілом і обтічним повітрям. Для кожного елемента поверхні ця сила визначається градієнтом швидкості потоку в прикордонному шарі і коефіцієнтом в'язкості; вона спрямована по дотичній до обтічному елементу поверхні;

- нормальні сили тиску, що залежать від значення тиску в потоці біля кожного елемента і спрямовані перпендикулярно до нього.

При русі струмоприймач електрорухомого складу знаходиться під впливом зустрічного потоку повітря. Аеродинамічний вплив буде визначатися швидкістю набігаючого потоку відносно струмоприймача, напрямленням потоку по відношенню до траєкторії руху, його щільністю і в'язкістю.

При відсутності вітру швидкість обтікання струмоприймача зустрічним повітряним потоком дорівнює швидкості руху рухомого складу. Кут атаки потоку, що набігає на полоз струмоприймача (нахил потоку до горизонтальній площині), залежить від форми лобової стінки локомотива і віддалення струмоприймача від неї. В зоні полоза переднього піднятого струмоприймача електропоїзда потік спрямований під кутом атаки  $2-4^\circ$ , в зоні полоза другого піднятого струмоприймача –  $0-1,5^\circ$ .

Незалежно від режиму, в результаті впливу зустрічного потоку повітря на струмоприймач створюється аеродинамічна сила, яка характеризується величиною, напрямком і точкою прикладання. Згідно з гідродинамічної теорії опір рідини, в якій рухається тіло пропорційно добутку динамічного тиску та

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

площі, на яку вона діє. Коефіцієнт пропорційності має назву аеродинамічного коефіцієнта і позначається буквою  $c$ . Результуюча сила опору

$$R = cS \frac{\rho V^2}{2}, \quad (2.28)$$

де  $S$  - площа проекції тіла на площину, перпендикулярну руху;

$\rho$  - масова густина рідини;

$V$  - швидкість руху повітряного потоку.

Умови обтікання струмоприймача повітряним потоком впливають на його роботу. Сила аеродинамічного впливу, яка виникає при обтіканні, буде залежати від швидкості набігаючого потоку, його напрямку і складу (присутності в ньому зважених частинок).

Технічними умовами на струмоприймачі введено поняття аеродинамічної характеристики струмоприймача, яка представляє залежність його аеродинамічної сили від швидкості руху поїзда. При цьому допускається збільшення квазістатичного натискання при максимальній швидкості руху і зустрічному вітрі 25 м/с не більш ніж у 1,8 рази, а зменшення до 30%. Наявність у складі повітряного потоку другої фази створює більш жорсткі умови взаємодії струмоприймача з повітряним потоком.

Опис просторового руху двофазних повітряних потоків є складною математичною задачею і на сьогоднішній день не має точного вирішення. У зв'язку з цим у розрахунку взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою аеродинамічний вплив враховується за допомогою експериментально отриманих залежностей аеродинамічної підйомної сили, що діє на струмоприймач, від швидкості зустрічного повітряного потоку для певного діапазону висотного положення точки контакту полозів струмоприймача з контактної підвіскою (рис. 2.12).

					0032.170139.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

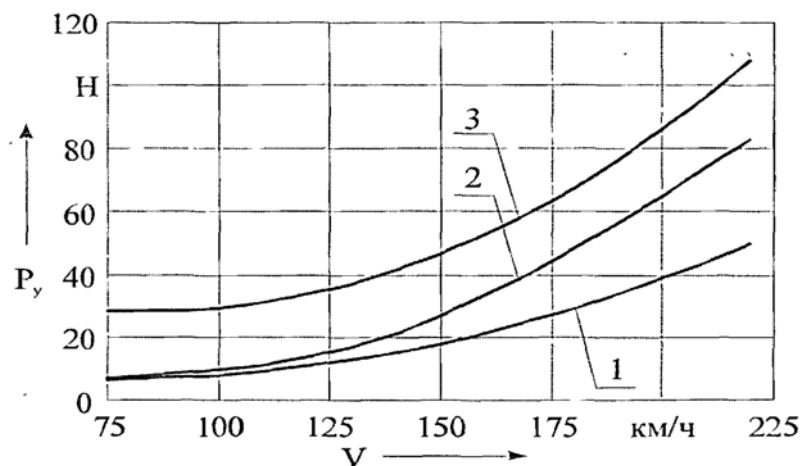


Рисунок 2.12 - Аеродинамічна підйомна сила запропонованого струмоприймача:  
лінія 1 - висота підйому струмоприймача 5,4 м; 2 - 5,6 м; 3 - 5,8 м

Аеродинамічний вплив в розрахунках взаємодії струмоприймача та контактної підвіски характеризується за допомогою сил, що діють у вертикальному напрямку на кожен елемент конструкції струмоприймача. На перерозподіл контактного натискання по двом полозам впливають горизонтальні складові аеродинамічного впливу  $P_{xк1}, P_{xк2}$  також визначаються експериментально (рис. 2.13).

Для розрахунку взаємодії струмоприймача та контактної підвіски розподіляємо загальний аеродинамічний вплив, який одержано експериментально, між елементами струмоприймача пропорційно їх площі проекції на площину, перпендикулярну руху повітряного потоку

$$S_p + S_k + S_{u1} + S_{u2} + S_{к1} + S_{к2}$$

$$\left\{ \begin{aligned} S &= S_p + S_k + S_{u1} + S_{u2} + S_{k\varepsilon1} + S_{k\varepsilon2}, \\ P_{yp} &= P_y \frac{S_k}{S}, \\ P_{yu1} &= P_y \frac{S_{u1}}{S}, \\ P_{yu2} &= P_y \frac{S_{u2}}{S}, \\ P_{yk\varepsilon1} &= P_y \frac{S_{k\varepsilon1}}{S}, \\ P_{yk\varepsilon2} &= P_y \frac{S_{k\varepsilon2}}{S}, \\ P_{xk\varepsilon1} &= P_x \frac{S_{k\varepsilon1}}{S}, \\ P_{xk\varepsilon2} &= P_x \frac{S_{k\varepsilon2}}{S}. \end{aligned} \right. \quad (2.29)$$

Для першого по ходу руху полоза струмоприймача аеродинамічна складова рівняння (2.26) увійде в силу  $Q_{a1}$  наступною добавкою:

$$\Delta Q_{a1} = P_{xk\varepsilon1} (y_{k\varepsilon1} - y_k) + P_{yu1} l_2 \cos \alpha_1. \quad (2.30)$$

Для другого

$$\Delta Q_{a2} = -P_{xk\varepsilon2} (y_{k\varepsilon2} - y_k) + P_{yu2} l_2 \cos \alpha_2. \quad (2.31)$$

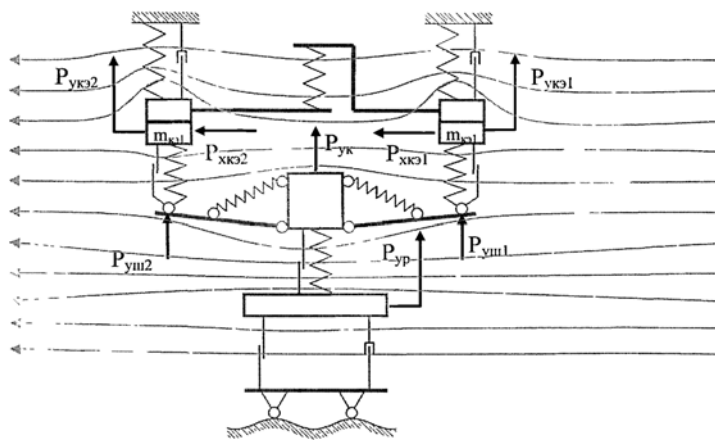


Рисунок 2.13 – Аеродинамічний зовнішній вплив на процес струмознімання

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для інших елементів струмоприймача аеродинамічний вплив враховується у відповідних узагальнених силах такими добавками:

$$\begin{cases} \Delta Q_{yp} = P_{yp}, \\ \Delta Q_{yk} = P_{yk}, \\ \Delta Q_{yk\alpha 1} = P_{yk\alpha 1}, \\ \Delta Q_{yk\alpha 2} = P_{yk\alpha 2}. \end{cases} \quad (2.32)$$

#### 2.4.5 Рівняння руху елементів струмоприймача

Для отримання остаточної моделі взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою складемо рівняння руху, яке враховують всі описані вище фактори.

Диференціальне рівняння руху рами струмоприймача виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} m_k (y_k + y_{ocn} + f_{ct.kc}) + m_{ш} (2y_k + 2(y_{ocn} + f_{ct.kc}) + 0,5l_{ш}(\alpha_1 + \alpha_2)) + \\ + \mathcal{J}_k (y_k - y_p - l_{k0}) + \mathcal{J}_k (2(l_{k\alpha 0} + y_k) - y_{k\alpha 1} - y_{k\alpha 2} + l_2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)) + \\ + r_k (y_k - y_p + f_{ct.kc}) + r_{к\alpha} (2y_k - f_{ct.kc} - y_{k\alpha 1} - y_{k\alpha 2} + l_2(\alpha_1 + \alpha_2)) = P_y \frac{S_k}{S} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Рівняння руху каретки струмоприймача має вигляд:

$$\begin{aligned} m_p (y_p + y_{ocn} + f_{ct.kc}) + \mathcal{J}_k (y_p - y_k + l_{k0}) + r_p (y_p - y_{ocn} + f_{ct.kc}) - \\ - r_k (y_k - y_p - f_{ct.kc}) = P_p + P_y \frac{S_p}{S} \end{aligned} \quad (2.34)$$

Диференціальні рівняння руху першого і другого по ходу руху рухомого складу полоза виглядають наступним чином:

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
& (m_{кк} + m_{кэ}) (y_{кэ1} + y_{очн} + f_{ст.кк}) + ж_{кэ} (y_{кэ1} - y_{к} - l_{кэ0} - l_2 \sin \alpha_1) + \\
& + ж_{кк} (y_{кэ1} - y_{кк0}) + ж_{связи} (y_{кэ1} - y_{кэ2}) + r_{кэ} (y_{кэ1} - \alpha_1 l_2 - y_{к} + f_{ст.кк}) + \\
& + r_{кк} (y_{кэ1} + f_{ст.кк}) = P \frac{S_{кэ1}}{S} - m_{кк} \frac{P_p}{ж_{кк0}} \sum_{k=1}^n a_k k_2 \varpi_0 \cos(k \varpi_0 t); \\
& (m_{кк} + m_{кэ}) (y_{кэ1} + y_{очн} + f_{ст.кк}) + ж_{кэ} (y_{кэ1} - y_{к} - l_{кэ0} - l_2 \sin \alpha_1) + \\
& + ж_{кк} (y_{кэ1} - y_{кк0}) + ж_{связи} (y_{кэ1} - y_{кэ2}) + r_{кэ} (y_{кэ1} - \alpha_1 l_2 - y_{к} + f_{ст.кк}) + \\
& + r_{кк} (y_{кэ1} + f_{ст.кк}) = P \frac{S_{кэ1}}{S} - m_{кк} \frac{P_p}{ж_{кк0}} \sum_{k=1}^n a_k k_2 \varpi_0 \cos(k \varpi_0 t);
\end{aligned} \tag{2.35}$$

Рівняння руху штанг каретки струмоприймача мають вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
& J_{ш} \alpha_1 + 0,5 m_{ш} l_{ш} (y_{к} + y_{очн} + f_{ст.кк} + \alpha_1 \frac{l_{ш}^2}{2} + \\
& + ж_{ш} l_1 l_3 \cos \alpha_1 (l_{ш0} / \sqrt{l_1^2 + l_3^2} - 2 l_1 l_3 \sin \alpha_1 - 1) + \\
& + ж_{кэ} ((l_{кэ0} - y_{кэ1} + y_{к}) l_2 \cos \alpha_1 + 0,5 l_2^2 \sin 2 \alpha_1) + \\
& + r_{кэ} (\alpha_1 l_2^2 - y_{кэ1} l_2 + y_{к} l_2 - f_{ст.кк} l_2) = P_{км1} \mu (y_{кэ1} - y_{к}) + \\
& + P_x \frac{S_{кэ1}}{S} (y_{кэ1} - y_{к}) + P_x \frac{S_{кэ1}}{S} l_2 \cos \alpha_1 \\
& J_{ш} \alpha_1 + 0,5 m_{ш} l_{ш} (y_{к} + y_{очн} + f_{ст.кк} + \alpha_1 \frac{l_{ш}^2}{2} + \\
& + ж_{ш} l_1 l_3 \cos \alpha_1 (l_{ш0} / \sqrt{l_1^2 + l_3^2} - 2 l_1 l_3 \sin \alpha_1 - 1) + \\
& + ж_{кэ} ((l_{кэ0} - y_{кэ1} + y_{к}) l_2 \cos \alpha_1 + 0,5 l_2^2 \sin 2 \alpha_1) + \\
& + r_{кэ} (\alpha_1 l_2^2 - y_{кэ1} l_2 + y_{к} l_2 - f_{ст.кк} l_2) = P_{км1} \mu (y_{кэ1} - y_{к}) + \\
& + P_x \frac{S_{кэ1}}{S} (y_{кэ1} - y_{к}) + P_x \frac{S_{кэ1}}{S} l_2 \cos \alpha_1
\end{aligned} \right. \tag{2.36}$$

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи наведену математичну модель взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою, можна розрахувати ряд відомих і нових систем струмознімання магістрального залізничного транспорту.

## 2.5 Аналіз результатів розрахунку параметрів верхнього вузла струмоприймача при його взаємодією з контактною підвіскою

Зробимо розрахунок взаємодії струмоприймача SSS87-RZD фірми Siemens з контактною підвіскою КС-200-06. Розроблена розрахункова модель взаємодії струмоприймача з контактною мережею, дозволила досягти припустимої збіжності розрахункових і експериментальних даних, отриманих в ході лінійних випробувань на ділянці Київ - П'ятихатки Придніпровської залізниці. Причому розрахункові параметри струмоприймача та контактної підвіски отримані в ході прямого експерименту за методикою, розробленою в Дніпропетровському державному університеті залізничного транспорту :

### Вихідні дані струмоприймача.

Маса полоза, кг	10,0
Маса кареток, кг	2,0
Приведена маса системи рухомих рам, кг	39,0
Статичне натискання, Н	100,0
Подвійна величина сили сухого тертя в шарнірах, Приведена до контактної поверхні полоза, Н	20,0
Жорсткість каретки, кН/м	6,0
Коефіцієнт в'язкого тертя рами струмоприймача, Н·с/м	20,0
Коефіцієнт в'язкого тертя каретки, Н·с/м	0
Сила сухого тертя каретки, Н	0
Контактна підвіска.	
Наведена маса, кг	40,0
Сила сухого тертя, Н	0

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жорсткість (рис. 2.14).

Використовуючи ці вихідні дані, розраховані залежності контактного натискання струмоприймача на контактний провід від швидкості руху електрорухомого складу (рис. 2.15 і 2.16). Змінюючи необхідні параметри елементів струмоприймача, визначався їх вплив на процес струмознімання.

За допомогою розробленої математичної моделі взаємодії отримані залежності середньоквадратичного відхилення (СКВ) контактного натискання струмоприймача від швидкості руху при різній жорсткості кареток полоза. Розрахунок СКВ контактного натискання зроблений для струмоприймача SSS87-RZD), жорсткість верхнього вузла якого дорівнює 6,0 кН/м. Отримані значення (рис. 2.17) збігаються з результатами лінійних випробувань (рис. 2.18) на ділянці Дніпро - П'ятихатки. Крім того, для даного струмоприймача визначена оптимальна жорсткість верхнього вузла, дорівнює 4,5 кН/м. З отриманих кривих видно, що на швидкості 220 км/год спостерігається резонанс, що приводить до збільшення СКВ контактного натискання струмоприймача. Зменшення впливу резонансу можна досягти зменшенням жорсткості верхнього вузла, проте надмірне зменшення жорсткості призводить до зсуву і збільшення резонансу в бік менших швидкостей.

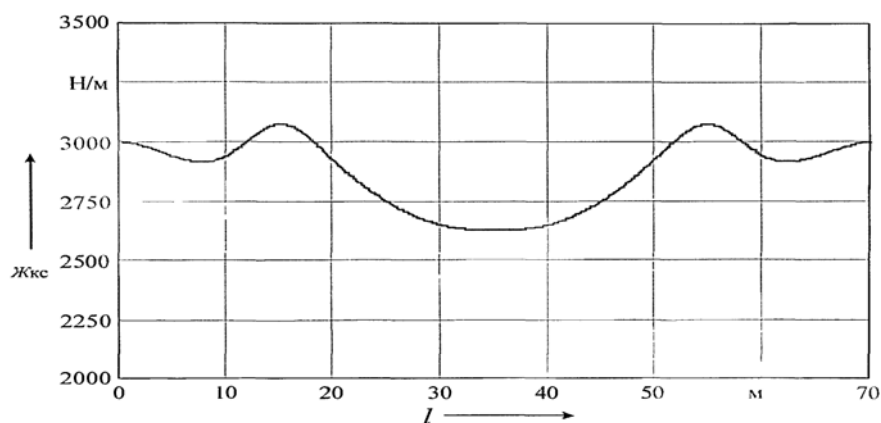


Рисунок 2.14 - Жорсткість контактної підвіски в прольоті

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

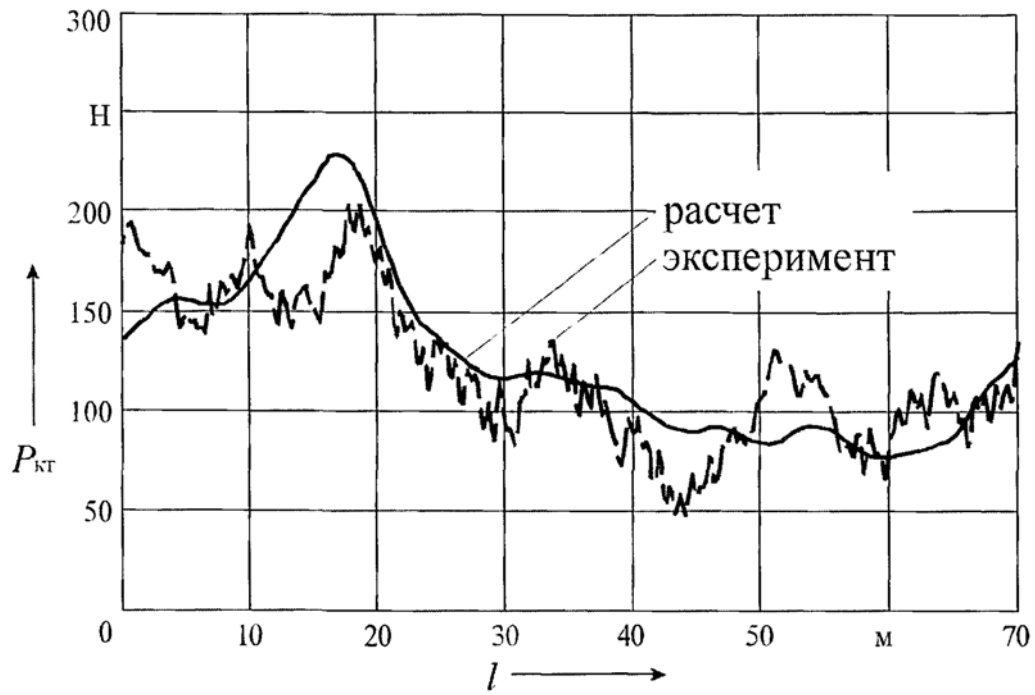


Рисунок 2.15 - Контактне натискання струмоприймача при швидкості руху електрорухомого складу 180 км/год

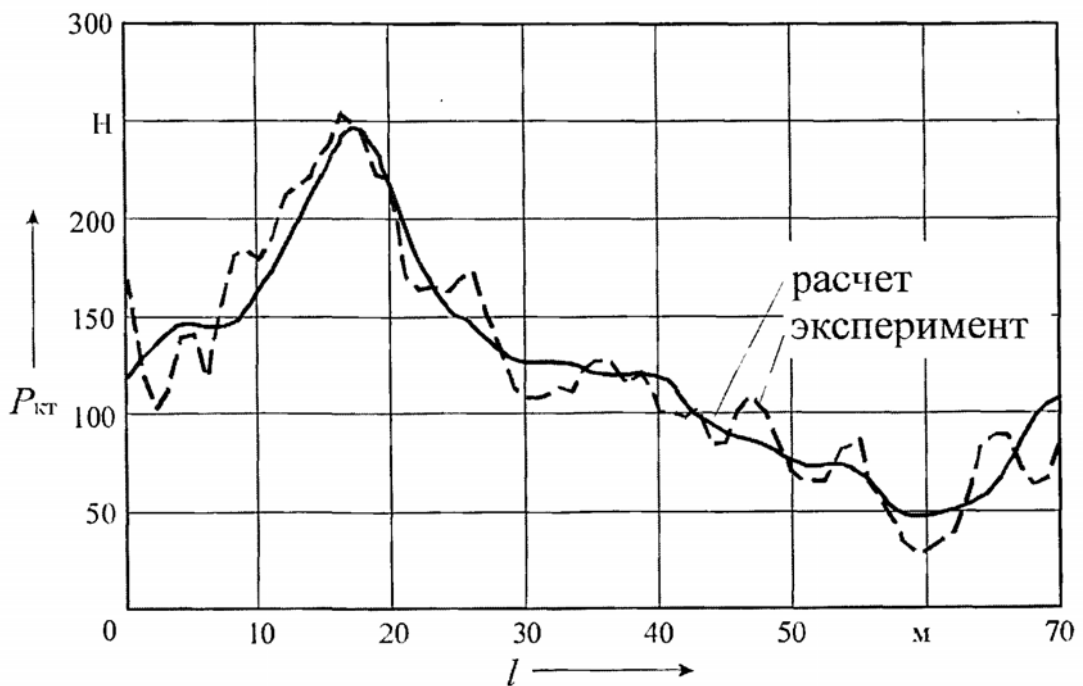


Рисунок 2.16 - Контактне натискання струмоприймача при швидкості руху електрорухомого складу 200 км/год

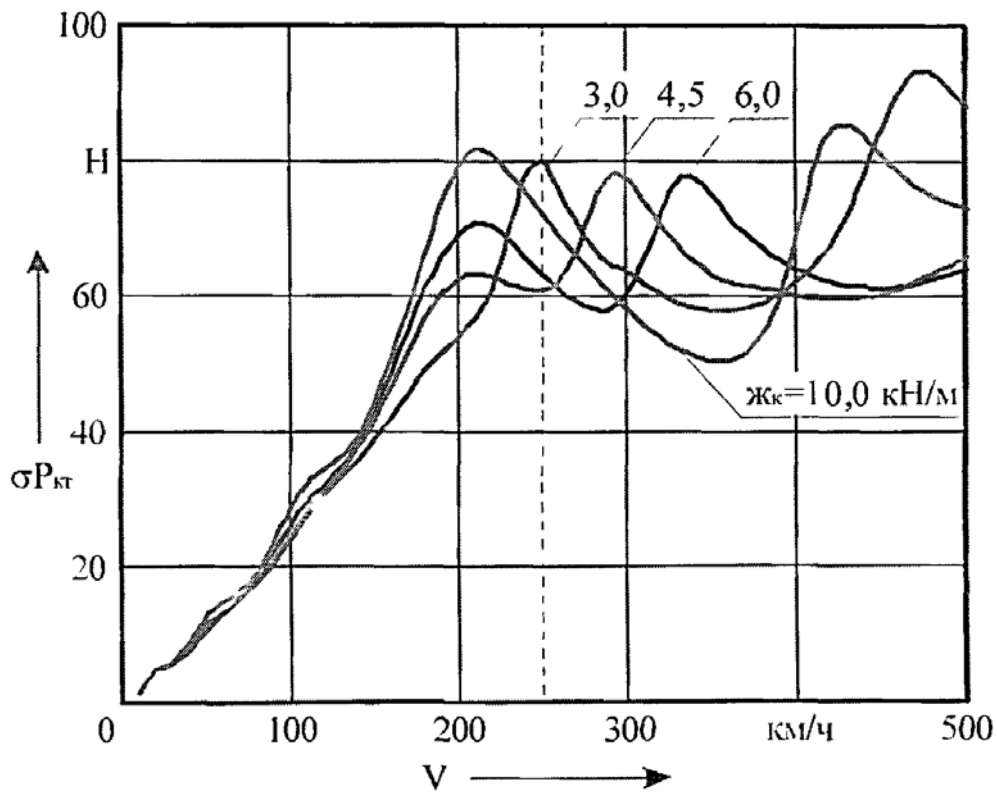


Рисунок 2.17 - Залежність СКВ контактної натискання струмоприймача від швидкості руху при різній жорсткості кареток полоза

Також для струмоприймача SSS87-RZD визначено залежності СКВ контактної натискання від швидкості при різних значеннях приведеної маси струмоприймача (рис. 2.19) та маси не підресорених контактних елементів (рис. 2.20). З кривих випливає, що зміна маси контактних елементів чинить значний вплив на СКВ контактної натискання - при швидкості руху до 300 км/год переважними є контактні елементи з мінімально можливою масою. Однак зменшення маси контактних елементів струмоприймача дозволяє здвинути зону резонансу в бік більш високих швидкостей руху електрорухомого складу. Збільшення приведеної маси струмоприймача призводить до появи резонансу на швидкості 280 км/год; зменшення приведеної маси дозволяє знизити зміну СКВ контактної натискання.

						<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

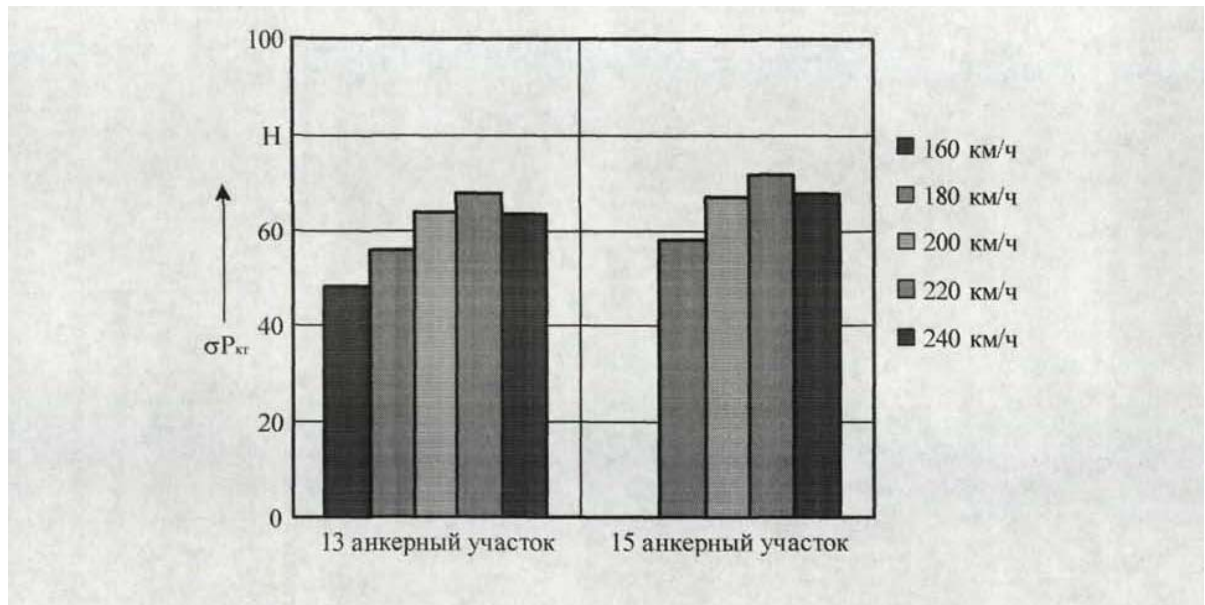


Рисунок 2.18 - Залежність СКВ контактеного натискання при різних швидкостях руху електрорухомого складу

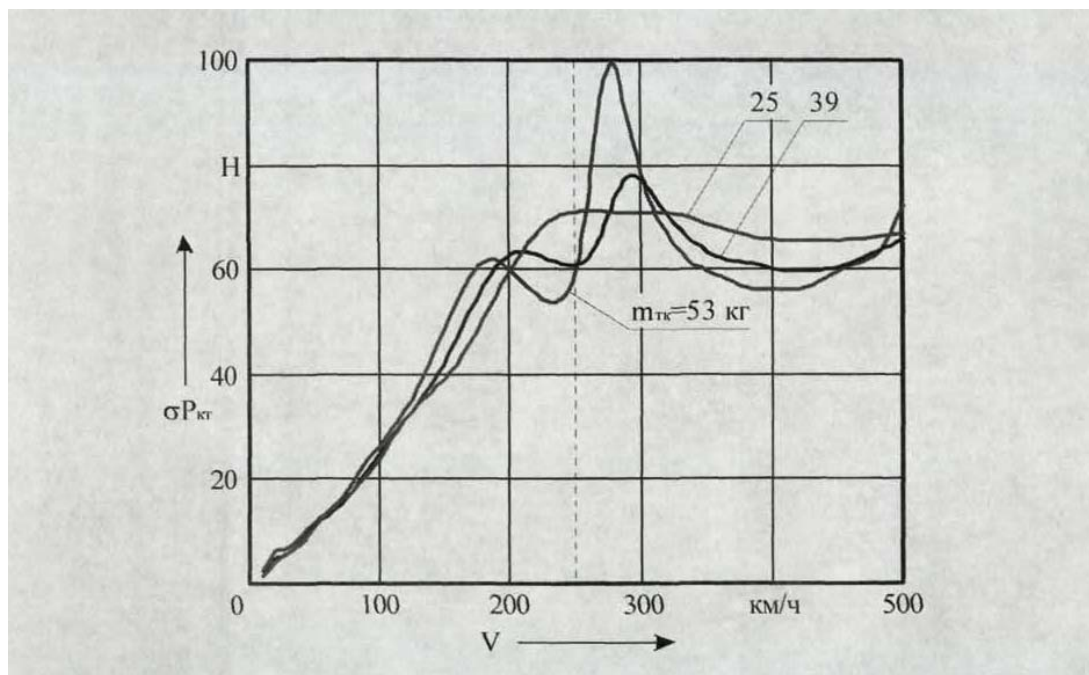


Рисунок 2.19 - Залежність СКВ контактеного натискання від швидкості руху при різних приведених масі струмоприймача

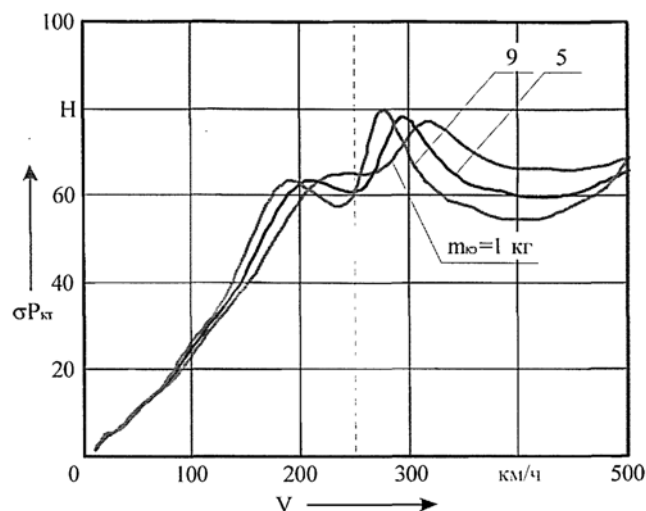


Рисунок 2.20 - Залежність СКВ контактної натискання від швидкості руху при різній масі не підресорених контактних елементів

Введення у верхній вузол струмоприймача елементів вторинного підресорювання дозволяє для швидкості до 250 км/год зменшити значення СКВ контактної натискання в два рази і практично виключити резонанс на швидкості 220 км/год (рис. 2.21). При цьому найменше СКВ контактної натискання відповідає жорсткості каретки і елементів вторинного підресорювання, яка дорівнює 3,0 і 3,0 кН/м відповідно (рис. 2.22).

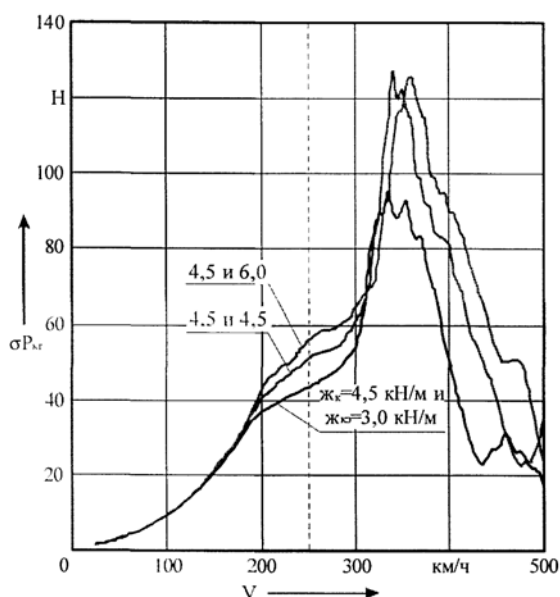


Рисунок 2.21 - Залежність СКВ контактної натискання від швидкості руху при різній жорсткості пружин підресорювання контактних елементів

Оцінка впливу ширини полоза на нерівномірність контактної натискання по пластинах полоза в залежності від швидкості руху проводилася для двох конструктивних рішень: для полоза (рис. 2.23), коли роги закріплені на рамі (математична модель В.М. Павлова і для полоза (рис. 2.24), виконаного за схемою, представленої в запропонованій математичній моделі. З результатів розрахунку видно, що збільшення ширини полоза веде до стабілізації контактної натискання по контактним елементам, причому зі збільшенням швидкості необхідна більша ширина полоза.

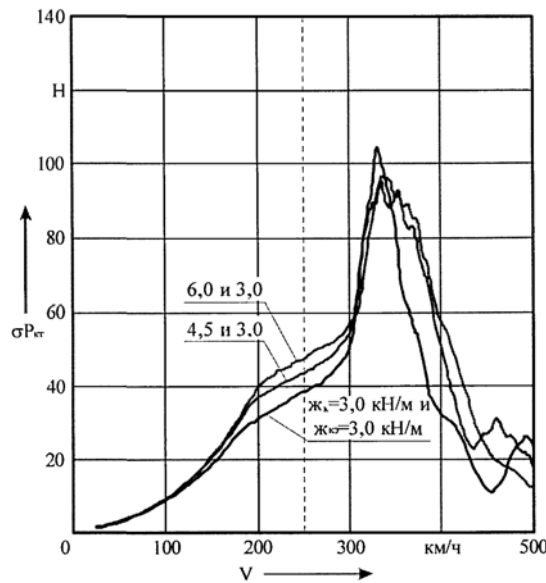


Рисунок - 2.22 - Залежність СКВ контактної натискання від швидкості руху при різній жорсткості пружин кареток

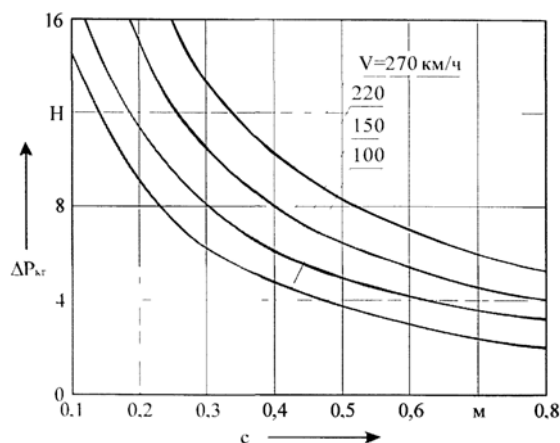


Рисунок 2.23 - Залежність нерівномірності натискання за контактними елементами від ширини полоза

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

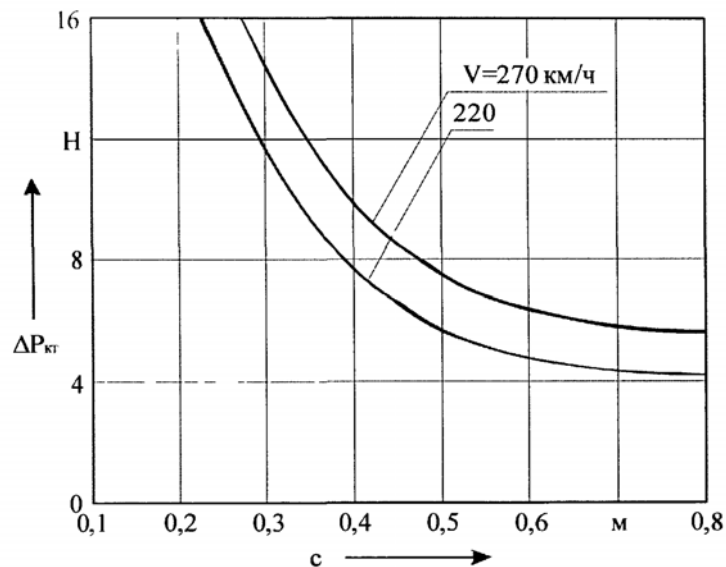


Рисунок 2.24 - Залежність нерівномірності натискання за контактним елементів від ширини полоза (математична модель)

## 2.6 Оцінка адекватності розробленої математичної моделі

Методи математичної статистики дозволяють з великою достовірністю судити про грубі досліди і адекватності моделі при будь-якому числі факторів і при використанні будь-якого плану експерименту.

Перевірку адекватності математичної моделі експерименту проведемо з допомогою критерію Фішера :

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2 \{y\}} \leq F_{табл}, \quad (2.37)$$

де  $S_{ad}^2$  - дисперсія адекватності;

$S^2 \{y\}$  - дисперсія експерименту;

$F_{табл}$  - табличне значення критерію Фішера.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисперсія адекватності визначається за виразом:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{эi} - y_{mi})^2}{f}, \quad (2.38)$$

де  $y_{эi}$  - експериментальне значення функції;

$y_{mi}$  - значення функції математичної моделі;

$f$  - число ступенів свободи, що дорівнює числу дослідів, не використаних для визначення яких-небудь характеристик:

$$f = n - 1,$$

де  $n$  - число дослідів (вимірювань).

Дисперсія експерименту обчислюється за формулою:

$$S^2 \{y\} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i S_i^2}{\sum_{i=1}^N f_i}, \quad (2.39)$$

де  $S_i^2$  дисперсія в  $i$ -тому досліді.

Перевірка однорідності дисперсій:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} \leq F_{табл}. \quad (2.40)$$

Для визначення адекватності розробленої математичної моделі розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною мережею, розраховані залежності контактного натискання струмоприймача на контактний дріт від швидкості руху електрорухомого складу (див. рис. 2.15 і 2.16), використовуючи прийняті вихідні дані струмознімальних пристроїв. Одержані залежності порівнюються з даними,

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отриманими в ході лінійних випробувань даної системи струмоznімання на ділянці Дніпро - П'ятихатки Придніпровської залізниці в 2016 р.

Для розглянутого випадку дисперсія експерименту:

$$S_1^2 = \frac{(130 - 98)^2}{1} = 1024,$$

$$S_2^2 = \frac{(100 - 80)^2}{1} = 400,$$

$$S_3^2 = \frac{(115 - 85)^2}{1} = 900,$$

$$S_4^2 = \frac{(101 - 83)^2}{1} = 324,$$

$$S_5^2 = \frac{(72 - 97)^2}{1} = 625,$$

$$S_6^2 = \frac{(126 - 108)^2}{1} = 324,$$

$$S_7^2 = \frac{(148 - 103)^2}{1} = 2025,$$

$$S_8^2 = \frac{(130 - 99)^2}{1} = 961.$$

Перевіримо однорідність дисперсій:

$$\frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{2025}{324} = 6,25 \leq 161.$$

Відношення найбільшої до найменшої дисперсії виявилось менше табличного значення критерію Фішера, отже, дисперсії однорідні. Це дає підставу обчислити дисперсію експерименту по дисперсіям у всіх восьми точках вимірювання.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S^2 \{y\} = \frac{1024 + 400 + 900 + 324 + 625 + 324 + 2025 + 961}{8} = 822,88.$$

Тоді середньоквадратичне відхилення

$$S \{y\} = \sqrt{822,88} = 28,69.$$

Оцінимо гіпотезу про те, чи є вимірювання (№7) з найбільшою дисперсією грубим. Умова перевірки виглядає наступним чином:

$$\frac{(y_{zi} - y_{mi})}{S \{y\}} < t_{\text{табл.}} \quad (2.41)$$

де  $t$  - табличне значення критерію Стюдента; в даному випадку  $t = 2,365$ .

$$\frac{(y_{zi} - y_{mi})}{S \{y\}} = \frac{(148 - 103)}{28,69} = 1,57 < 2,365.$$

Порівняння фактичного відношення відхилення функції від її середнього значення до середньоквадратичного відхилення експерименту з табличним значенням критерію Стюдента свідчить про те, що вимір №7 не є грубим. Так само інші виміри тим більше не є грубими, так як мають менші дисперсії.

Обчислимо дисперсію адекватності:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{(130 - 98)^2 + (100 - 80)^2 + \dots + (130 - 99)^2}{7} = 940,43.$$

Перевіримо адекватність математичної моделі експерименту:

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{S_{ad}^2}{S^2 \{y\}} = \frac{940,43}{822,88} = 1,14.$$

Табличне значення критерію Фішера для 5% рівня статичної значимості і чисел ступенів свободи  $f = 7$  і  $f = 8$ ,  $f = 5,11$ .

Оскільки відношення дисперсій адекватності та експерименту менше табличного значення критерію Фішера, то отриману математичну модель слід визнати адекватною експерименту.

**Висновки до розділу.** Запропонована методика розрахунку взаємодії струмоприймачів з контактною мережею з урахуванням різного виконання верхнього вузла струмоприймача, в якій система струмознімання представлена у вигляді математичної моделі з шістьма ступенями свободи і введена величина «згинальної жорсткості», що імітує пружні зв'язки в підвісці, дозволяє провести розрахунок відомих, а також деяких нових конструкцій струмоприймачів, і визначити їх параметри (приведену масу, твердість, сили тертя і т. д.) для забезпечення надійного і якісного струмознімання.

Розроблена розрахункова модель взаємодії струмоприймача з контактною мережею дозволила досягти задовільної збіжності розрахункових і експериментальних даних, отриманих в ході лінійних випробувань на ділянці Дніпро - П'ятихатки (розбіжність результатів становить не більше 6,5%).

Використовуючи запропоновану математичну модель взаємодії отримані залежності СКВ контактного натискання струмоприймача SSS87-RZD від швидкості руху при різній жорсткості кареток полоза, з яких видно, що на швидкості 220 км/год спостерігається резонанс, що приводить до збільшення СКВ контактного натискання, проте зменшення впливу резонансу можна домогтися зменшенням жорсткості верхнього вузла до 4,5 кН/м, при цьому надмірне зменшення жорсткості призведе до зрушення і збільшення резонансу в бік менших швидкостей.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Введення у верхній вузол струмоприймача SSS87-RZD елементів вторинного підресорювання контактних елементів дозволяє для швидкостей до 250 км/год зменшити значення СКВ контактного натискання в два рази і практично прибрати резонанс на швидкості 220 км/год, при цьому найменше СКВ контактного натискання відповідає жорсткості каретки і елементів вторинного підресорювання рівними 3,0 і 3,0 кН/м відповідно.

В результаті розрахунку областей динамічної нестійкості взаємодії струмоznімальних пристроїв, отримано, що швидкість, на якій буде найбільшою мірою виявлятися параметричний резонанс, становить 340 км/год, друга і третя області нестійкості набагато менше головної області та проявляються на швидкостях 150-230 км/год, що підтверджується результатами лінійних випробувань системи струмоznімання.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **3 РОЗРОБКА ВЕРХНІХ ВУЗЛІВ, ЩО ПІДВИЩУЮТЬ НАВАНТАЖУВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ СТРУМОПРИЙМАЧІВ**

Із зростанням швидкостей руху і потужності електрорухомого складу значно зростають струмові і динамічні навантаження на струмоприймач. Тому серйозна увага приділяється питанню створення струмоприймачів, здатних успішно працювати при таких навантаженнях. При цьому необхідно встановлювати параметри струмоприймача, що забезпечують найменший знос контактних матеріалів.

На основі проведеного аналізу конструкцій верхніх вузлів струмоприймачів, їх параметрів і характеристик, а також результатів розрахунку взаємодії струмознімальних пристроїв при високих швидкостях руху запропоновані такі пристрої верхнього вузла, що підвищують навантажувальну здатність струмоприймача і якість струмознімання.

#### **3.1 Полоз струмоприймача з неоднорідними по ширині контактними елементами**

До недоліків відомих полозів струмоприймачів, що експлуатуються в даний час, можна віднести їх велику приведену масу і значний перехідний опір між коробами і контактними елементами, що призводить до зниження динамічних властивостей струмоприймача та зменшення його навантажувальної здатності.

Зниження маси струмоприймача за рахунок зменшення маси рам і деталей верхнього вузла можливе за рахунок застосування дорогих матеріалів, які мають меншу питому вагу, а зниження повної маси полоза можливо тільки за рахунок зменшення маси контактних елементів. Необхідність цього пов'язана зі збільшенням швидкостей руху понад 200 км/год, при цьому зростає потужність електрорухомого складу, а число струмоприймачів з умов резонансу зменшується до двох. Тому значення струмів, які знімаються полозом виростає і для їх передачі

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потрібна велика кількість контактних вставок, а їх повна маса відповідно збільшується, що неприпустимо при високих швидкостях, тому необхідно мати контактні елементи з матеріалів, що дозволяють знімати максимальний струм при мінімальній власній масі.

Для усунення цих недоліків розроблено полоз струмоприймача електрорухомого складу (рис. 3.1), що містить контактні елементи 1, встановлені на коробах 2, з'єднаних з каркасом 3 полоза допомогою пружинних елементів 4 і фіксуючих стрижнів 5, встановлених з зазором в нижній частині пазів 6, розташованих по обох кінцях коробів 2. При цьому контактні елементи 1 виконані неоднорідними по ширині так, що ділянка, яка дорівнює величині подвійного зигзага контактного дроту, ширше іншої частини, а безпосередньо до їхніх кінців, загнутим вниз від контактуючої поверхні, через отвори 7 прикріплені струмові шунти, які при мінімальному прогині пружинних елементів 4 розташовуються нижче контактуючої поверхні.

Пропонований полоз струмоприймача працює наступним чином. При взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою відбувається відведення тягового струму з полоза безпосередньо від контактних елементів 1 за допомогою закріплених на них через отвори 7 струмових шунтів, виключаючи тим самим перехідний опір між контактними елементами 1 і коробами 2 полоза, які з'єднані з каркасом 3 допомогою пружинних елементів 4 і фіксуючих стрижнів 5, встановлених з зазором в нижній частині пазів 6, розташованих по обох кінцях коробів 2.

Контактний елемент 1, що містить бічні отвори 7 для кріплення струмових шунтів, має ширину  $d_2$  на ділянці, яка дорівнює подвійному зигзага контактного дроту, а ширина  $d_1$  приймається з розрахунку максимального робочого струму. Таким чином, неоднорідність контактного елемента по ширині дає вигоду в масі, що поліпшує динамічні характеристики полоза.

Використання запропонованого полоза струмоприймача електрорухомого складу дозволяє знімати великі тягові струми за рахунок виключення перехідного

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опору між коробом і контактними елементами, а також покращує динамічні властивості полоза за рахунок зниження маси контактних елементів

Рисунок 3.1 - Схема пропонованого полоза струмоприймача (а) та його розріз (б)

### 3.2 Полоз струмоприймача зі змінною шириною

Крім перерахованих вище недоліків до деяким полозам струмоприймачів можна також віднести їх постійну ширину, що призводить до зниження динамічних властивостей струмоприймача (контактного натискання) та зменшення його навантажувальної здатності. При експлуатації струмоприймачів з великими швидкостями за рахунок аеродинамічного впливу і сил тертя контактних елементів о контактний дріт відбувається підвищений механічний знос набігаючого краю полоза та відрив збігаючого краю від контактного дроту (підвищений електричний знос - виникнення іскріння і пропалення полоза).

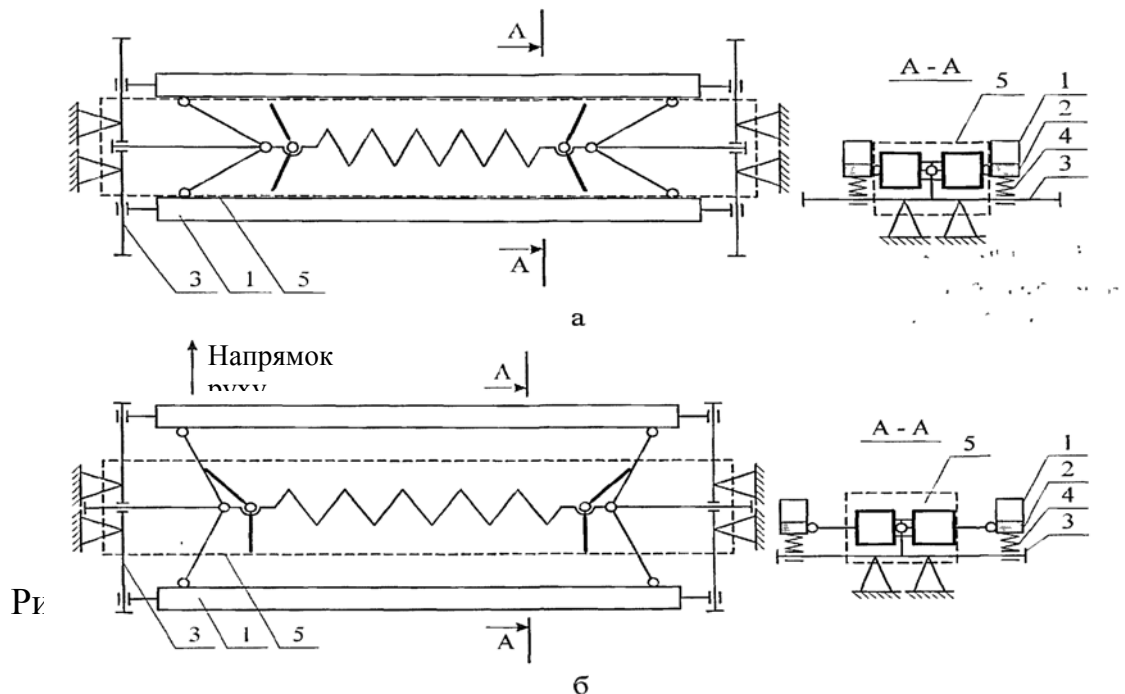
Для усунення цих недоліків [23] запропоновано полоз струмоприймача електрорухомого складу (рис. 3.2), здатний змінювати свою ширину в залежності від швидкості руху електрорухомого складу або від величини контактного натискання струмоприймача на контактний дріт. Однак надмірне збільшення ширини полоза веде до погіршення його інерційних характеристик, а, отже, і динамічних властивостей всього струмоприймача.

Полоз струмоприймача електрорухомого складу містить контактні елементи 1, встановлені на коробах 2, з'єднаних з каркасом 3 полоза допомогою пружинних елементів 4, а також блок 5 зміни ширини полоза від швидкості руху.

Запропонований полоз струмоприймача працює наступним чином. В процесі експлуатації стріли провисання контактного дроту відстежуються з допомогою пружинних елементів 4, з'єднують коробки 2, на яких розташовані контактні елементи 1 з каркасом 3.

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою на стоянці і при малих швидкостях руху за рахунок регулювання елементів блоку 5 зміни ширини полз має фіксовану стандартну ширину (400 мм), що забезпечує можливість проходження секційних ізоляторів та інших спеціальних елементів контактної мережі. При збільшенні швидкості руху електрорухомого складу понад 100 км/год контактні елементи 1, розташовані на коробах 2, починають розходитися в сторони (до 600 мм) за рахунок зустрічного повітряного потоку, який впливає на блок 5 зміни ширини полза, стабілізуючи контактне натискання на набігаючому та збігаючому краях полза. Блок 5 зміни ширини полза від швидкості руху електрорухомого складу може бути виконаний різним чином, наприклад, з використанням аеродинамічних екранів, пов'язаних з коробами 2 системою важелів. При зменшенні швидкості руху електрорухомого складу контактні елементи 1 сходяться за рахунок елементів блоку 5 зміни ширини полза (наприклад, поворотної пружини), тим самим, зменшуючи ширину полза для проходження спеціальних частин контактної підвіски.



а - на стоянці і при малих швидкостях руху; б - при швидкостях руху більше 100 км/год

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Конструктивне виконання верхнього вузла може бути різним, наприклад, він може являти собою дві важільні системи, кожна з яких складається з основи, на якій шарнірно закріплені два важеля. По направляючій, яка встановлена на тримачі контактного елемента (вставки), який підресорено пружинним елементом. Наявність підресорених полозів дозволяє збільшити допустиму швидкість руху електрорухомого складу та зменшити динамічний вплив на контактний дріт при швидкостях, що реалізуються в даний час на вітчизняних магістральних залізницях.

На основі результатів розрахунків, наведених в розділі 2, обрані технічні характеристики і параметри запропонованого верхнього вузла струмоприймача наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні параметри верхнього вузла струмоприймача

Найменування параметра	Значення
1. Маса полоза, кг	10,0
2. Маса одного контактного елемента, кг	5,0
3. Маса каретки, кг	2,0
4. Маса штанги, кг	1,0
5. Жорсткість елементів вторинного підресорювання, кН/м	3,0
6. Жорсткість каретки, кН/м	3,0
7. Сила сухого тертя каретки, Н	0,0
8. Сила сухого тертя елементів підресорювання, Н	0,0
9. Ширина полоза (змінюється в залежності від швидкості руху), м	0,40-0,60
10. Статичний натискання струмоприймача, Н	100,0

### 3.4 Технічні норми на верхній вузол струмоприймачів електрорухомого складу

Верхній вузол струмоприймача призначений для знімання робочого струму з контактної дроти та його передачі тяговим двигунам електрорухомого складу. До складу верхнього вузла входять наступні елементи: контактні елементи (пластини, вставки), полоз, каретки, струмопровідні шунти.

#### 3.4.1 Загальні вимоги

Деталі і вузли, які швидко зношуються в експлуатації або змінні (контактні елементи, гнучкі з'єднання, пружини), повинні мати конструкцію, що дозволяє проводити заміну з застосуванням спеціального інструменту. За своїми розмірами такі деталі і вузли повинні бути взаємозамінними і не вимагати підгонки.

Усі шарнірні з'єднання механізму струмоприймача, що знаходяться в ланцюгах електричного струму, повинні бути зашунтовані гнучкими електричними з'єднаннями (шунтами).

Всі різьбові з'єднання повинні бути захищені від самовідгвинчування.

#### 3.4.2 Експлуатаційні вимоги

Конструкція верхнього вузла струмоприймача повинна забезпечувати вертикальне і кутове переміщення полоза відносно осі його кріплення.

При прикладанні до центру полоза вертикальної сили, спрямованої до основи струмоприймача і рівною найбільшому пасивному статичному натисканню, хід полоза повинен бути в інтервалі 30-50% повного ходу каретки. При цьому полоз струмоприймача не повинен прогинатися.

Кут повороту полоза повинен складати 5-7° в кожен сторону щодо середнього положення. Полоз струмоприймача повинен розташовуватися строго

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



3. Гнучкі мідні з'єднання (шунти)	90
4. Контактні з'єднання мідних або латунних деталей, спаяних олов'яним припоєм	130
5. Струмopовідні деталі в місцях, які не мають контактних з'єднань	130

### *3.4.4 Методи випробувань*

#### *4.4.4.1 Загальна перевірка*

Перевірка якості збірки, захисних покриттів і зовнішньої обробки повинна проводитися візуальним контролем за ГОСТ 2933-83.

Перевірка габаритних і настановних розмірів повинна проводитися за ГОСТ 2933-83 за допомогою будь-якого вимірювального інструменту, який забезпечує точність вимірювання з заданою похибкою.

Перевірка маси полоза повинна здійснюватися з допомогою динамометра або терезів по ГОСТ 2933-83.

Перевірка кута повороту полоза навколо його осі обертання, щодо середнього положення, має здійснюватися з допомогою кутомірного інструменту.

#### *4.4.4.2 Перевірка параметрів спрацювання*

Перевірка статичної характеристики верхнього вузла, що виражає залежність переміщення полоза (щодо верхнього шарніра і рухомих рам) від прикладеного навантаження, повинна визначатися шляхом прикладання до середини полоза сили, спрямованої вниз. Прикладену до полозу силу необхідно вимірювати при різних величинах ходу полоза через кожні 5 мм.

При величині сили, рівної пасивному статичному натисканню, по побудованій характеристики, визначають величину ходу полоза.

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.4.4.3 Перевірка електричних параметрів

Найбільше значення тривалого струму, що знімається нерухомим струмоприймачем, визначають на підставі вимірювання температури незношеного дроту марки МФ-85 ГОСТ 2584 в місці контакту з полозом при зніманні постійного струму на стенді. Перед випробуваннями контактна поверхня полів повинна бути підроблена до контактного дроту. Підробітку допускається здійснювати без знімання струму з контактного дроту. Живлення контактного дроту має бути одностороннім. Числове значення струму протягом дослідження не повинно змінюватися більш ніж на  $\pm 10\%$  від прийнятого в даному досліді значення.

Визначення перевищення температури контактних вставок (пластин) над температурою навколишнього повітря (далі перегріву) при стоянці здійснювати за допомогою вимірювального пристрою, чутливість якого в діапазоні вимірюваних температур не гірше  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Вимірювання дистанційно допускається проводити через 20 хвилин після початку споживання електровозом стоянкового струму. Перегрів визначається за найбільш нагрітої частини контактного дроту над полозом струмоприймача. Під час випробувань створюються п'ять режимів навантаження струмами, рівними приблизно 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 і 1,4 значення струму, зазначеного в табл. 3.2. Тривалість кожного випробування повинно бути не менше 30 хв. Випробування може бути закінчене раніше, якщо температура дроту протягом 10 хв збільшується не більше ніж на  $2^{\circ}\text{C}$ . За результатами випробувань будують графік залежності перевищення температури контактного дроту від струму, який знімається. З цієї залежності на підставі допустимого значення перевищення температури дроту визначається номінальне значення струму, що знімається нерухомим струмоприймачем при даному матеріалі контактних пластин (вставок).

Значення найбільшого тривалого струму, що знімається рухомим струмоприймачем, визначають на підставі вимірювання перевищення

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури контактних пластин (вставок) струмоприймача. Випробуваний струмоприймач може встановлюватися або на електрорухомий склад, або на спеціально обладнаному випробувальному вагоні. Натискання струмоприймачів на провід регулюють перед випробуваннями. Випробування повинні проводитися при швидкості електрорухомого складу 40-60 км/год (швидкість обдування - 11,1 - 16,66 м/с) зі зніманням струмоприймачем струму, значення якого в різних випробуваннях повинна складати 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 годинного струму електровоза. Швидкість вітру при випробуваннях не повинна бути більше 5 м/с. При цьому тривалість одного випробування повинна бути не менше 20 хв, і за цей час має бути знято не менше чотирьох показань приладу; останнє не раніше ніж через 20 хвилин після початку режиму випробувань. Числове значення струму не повинно змінюватися у часі більш ніж на 10% від прийнятого для даного режиму випробувань. За гранично допустимої температури перегріву визначається допустиме струмове навантаження на струмоприймач або найбільший допустимий тривалий струм.

Під час теплових випробувань повинно бути проведено також випробування знімання струму, рівного 1,4 номінального протягом 1 хв. Після випробування полоз струмоприймача не повинен мати деформацій, які перешкоджають подальшому застосуванню.

Допускається проводити випробування на кільцевому стенді (з джерелом живлення не менше 12 В), що імітує струмознімання з контактного проводу, при умови, що найбільшого значення тривалого струму струмоприймача для режиму руху відрізняються від отриманих у лінійних та полігонних умовах не більше ніж на  $\pm 10\%$ .

#### 4.4.4.4 Аеродинамічні випробування

Аеродинамічну характеристику, що виражає залежність підйомної сили струмоприймача від швидкості та напрямку зустрічного повітряного потоку та

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висоти полоза струмоприймача, визначають при продувках в аеродинамічній трубі.

Аеродинамічну характеристику визначають при двох кутах атаки  $1-3^\circ$  для швидкостей обдуву від 11 до 45 м/с (тобто приблизно від 40 до 160 км/год). При цьому, значення швидкостей змінюються ступенями по 5 м/с.

Допускається випробування в аеродинамічній трубі замінювати лінійними випробуваннями або випробуваннями на спеціалізованому полігоні струмознімальних пристроїв з використанням малогабаритного рухомого складу, несучого випробовуваний струмоприймач за повномасштабної контактної мережі. Полоз струмоприймача повинно бути заклинено в горизонтальному положенні для запобігання його повороту повітряним потоком. До полозу струмоприймача прив'язують кінець пропущеного через дах вагон-лабораторії шнура, з яким пов'язаний динамометр. Нижній кінець шнура приєднують до коловороту (рис. 3.4).

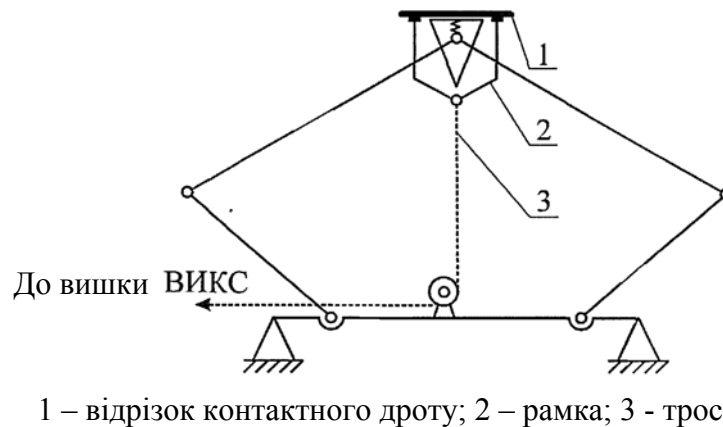


Рисунок 3.4 - Схема для визначення аеродинамічної характеристики струмоприймачів

### 3.4.5 Полози струмоприймачів

Довжина середніх рядів контактних елементів повинна бути не менше 900 мм.

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхню полозів перед установкою контактних елементів необхідно ретельно очистити від корозії за допомогою піскоструминного апарату і вирівняти у спеціальній оправці

При зборці полоза необхідно стежити, щоб внутрішні та зовнішні ряди контактних елементів були на одному рівні.

Захист від електрокорозії поверхонь здійснюється одним з наступних способів. На контактній поверхні полоза під кожним рядом контактних елементів нераз'ємно закріплюється мідна підкладка. Кінці цієї стрічки виводяться до шунтів, і робиться перемичка між сусідніми рядами контактними елементів. Або внутрішня сторона полоза покривається антикорозійною пастою.

Кріплення контактних елементів до полозу здійснюється з допомогою латунних (мідних) гвинтів з конусною головкою, що має кут конуса 60°. Головка гвинта повинна бути втоплена на 1-1,5 мм. Зазор між контактними елементами і кінцевими мідними пластинами не повинен перевищувати 1 мм. Стики необхідно запилувати так, щоб ковзання контактного дроту з ним було плавним.

При застосуванні сухої графітової змазки висота мастила не повинна перевищувати висоту контактних елементів.

Зібрані полози зберігаються в депо і пунктах технічного огляду в сухому закритому приміщенні на спеціальних стелажах.

Приміщення, в якому виконується збирання та ремонт полозів, а також заправка полозів сухим графітовим мастилом, повинно бути обладнане приточно-втяжною вентиляцією та мати денне або люмінесцентне освітлення.

Розбирання і складання полозів, очищення каркасів поверхонь від корозії і пиловку пластин здійснювати на верстаті, обладнаному знизу повітряним відсмоктуванням і пилозбірником.

Очищення полозів від корозії і обпиловку пластин найкраще робити механізованим інструментом. При виконанні таких робіт робочий повинен надіти пиловий респіратор і окуляри.

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4.6 Бракувальні норми для контактних елементів

Полоз підлягає зміні щодо граничного зносу контактних елементів.

Не допускається експлуатація полозів, мають пропалення контактних елементів глибиною більше 3 мм, відколи більше 3 см, а також у тих випадках, коли вибито один або кілька контактних елементів. Такі полози можуть використовуватися після заміни пошкоджених контактних елементів.

При хвилястому зносі контактних елементів на мідній основі, коли на гвинтах і в створі з ними контактні елементи зношуються менше, ніж у інших місцях, необхідно провести запиловку нерівностей на поверхні пластин напилком або механізованим інструментом з метою поліпшення ковзання контактного дроту.

Запиловка контактних елементів здійснюється також при наявності підпалів і підгарів на їх контактної поверхні, а також з метою видалення іржі з їх поверхні, якщо струмоприймач тривалий час перебував у неробочому положенні під дощем.

При зносі контактних елементів з одного боку полоза або в одному ряду більше, ніж в іншому, слід на пункті технічного огляду або у депо розгортати полози на 180°, що збільшить їх міжремонтний пробіг.

При ослабленні кріпильних гвинтів на пунктах технічного огляду, не знімаючи полоза, підтягнути ослаблені гвинти або замінити пошкоджені гвинти новими.

Обміднення поверхні контактних елементів тонким рівним шаром не є браковочною ознакою. Полози, які мають такі контактні елементи, можуть продовжувати роботу.

При масовій появі на поверхні контактних елементів дугових ушкоджень у вигляді про палів, підпалів, підгарів, а також переносів міді з контактного дроту, що свідчать про ненормальний струмозйом і наявності ожеледі на контактній мережі, треба негайно поставити до відома працівників енергодільниці та вжити

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заходи для боротьби з ожеледицею на контактній мережі і обмерзанням струмоприймачів.

**Висновки до розділу.** Для забезпечення якісного струмознімання при високих швидкостях руху необхідно вдосконалювати струмоприймачі електрорухомого складу, зокрема, за рахунок зниження маси верхнього вузла струмоприймача і підвищення їх навантажувальної здатності.

Для покращення взаємодії струмоприймача з контактною мережею необхідно підресорювання всіх контактних елементів полоза струмоприймача.

					0032.170139.000.01ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ РОЗРОБЛЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ВУЗЛІВ СТРУМОПРИЙМАЧІВ

Випробування елементів і вузлів струмоприймачів - це процес експериментального визначення якісних і кількісних характеристик, властивостей об'єкта та його функцій. Завданнями випробувань елементів і вузлів є: отримання експериментальних даних, необхідних при їх доведенні, прийманні в експлуатацію, в ході експлуатації; для встановлення відповідності розроблених пристроїв проектним вимогам і визначення їх граничних станів [21].

В даний час лабораторні експериментальні дослідження є найменш затратними засобами для накопичення інформації про вплив зовнішніх факторів на знос контактних елементів і контактних дротів систем струмознімання різних видів транспорту.

Існуючі типи струмознімальних матеріалів без видимого зносу працюють з номінальним навантаженням протягом 3-5 годин. Для того, щоб провести серію експериментів, плавно змінюючи той чи інший параметр, потрібно значна кількість часу, енергетичних ресурсів і увага експлуатаційного персоналу. Крім того, постійно підтримувати з високою точністю значення змінюваного параметра в ході такого тривалого часу не завжди можливо. Тому необхідно застосовувати методики експериментальних досліджень, що дозволяють інтенсифікувати цей процес без значного зниження якості одержуваних результатів.

Запропоновано два напрямки:

- проведення мікро вимірювань з використанням високоточних приладів і мікро поглиблень з нелінійною конфігурацією бічних поверхонь;
- форсування діючого досліджуваного впливу на зразки з подальшим перерахуванням результатів.

У лабораторії кафедри «Енергопостачання залізниць» ДНУЗТ розроблені стенди, що дозволяють проводити всі види зносних та навантажувальних випробувань по обох напрямках, у тому числі:

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стенд для комплексного дослідження контактних елементів струмоприймачів, який дозволяє реалізувати струмові навантаження в діапазоні від 0 до 1500 А в діапазоні швидкостей до 300 км/год, з урахуванням приведених мас рам струмоприймача і кареток;

- кільцевий стенд для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів, розрахований на протікання струмів до 3000 А в короткочасному режимі (до 10 хвилин) і до 2000 А в добовому режимі;

- розривний стенд для дослідження фізико-механічних властивостей контактних елементів та дротів.

#### **4.1 Стенд для комплексного дослідження контактних елементів струмоприймачів**

Проведення ресурсних випробувань струмознімальних матеріалів електрорухомого складу та контактних підвісок різних видів транспорту пов'язане з рядом значних труднощів, таких як тривалість, велике число факторів, що впливають, неоднозначність трактування отриманих результатів, тому в даний час вважається доцільним передувати повномасштабні експерименти дослідженнями впливу деяких експлуатаційних факторів у чистому вигляді [24, 25].

Для визначення перспектив застосування вуглеграфітових, металлокерамічних, композитних, складових та ін. типів контактних елементів, в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту проводяться порівняльні випробування їх дослідних і типових зразків. Зростання швидкостей, а, отже, споживаних струмів і рівня динамічних впливів в контакті «струмоприймач - контактна підвіска» накладає додаткові обмеження на характеристики струмознімальних матеріалів.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження взаємодії зразків контактних елементів з контактними дротами доцільно проводити у відповідності з методикою, яка включає в себе наступні види випробувань.

**Визначення допустимого струму контактного елемента** при русі з різними натисканнями і швидкостями руху проводиться на стенді для вимірювання зносу в зоні контактного натискання при протіканні змінного та постійного струму різної полярності від 0 до 1500 А при швидкості руху 50, 100, 150, 200, 250, км/год.

На *першому етапі* проводиться визначення діапазону раціональних контактні натискань, побудова графіків зміни температури від струму при різних контактних натисканнях та зносних характеристик.

На *другому етапі* уточнюються значення максимально допустимих струмів по умовами перегріву контактних елементів (виходячи з величин, які наведені в технічних умовах), а також з реєстрації підвищеного іскріння (дугоутворення) для кожного швидкісного режиму.

**Визначення залежності перевищення температури контактного елемента** від величини знімання струму проводиться для контактних рівнів натискання, визначених раніше, для швидкостей руху 50, 100, 150, 200, 250, км/год з відповідним обдувом.

**Визначення середнього зносу контактного елемента** проводиться під час ресурсних випробувань при протіканні номінального струму, швидкість руху 250 км/год, контактне натискання визначене раніше.

**Визначення питомого зносу контактного елемента і контактних проводів** на одиницю пробігу в залежності від натискань, швидкостей руху і знімання струму.

На стенді зносу встановлюється контактний провід у вигляді кільця заданого діаметра без биття. Контактний елемент закріплюється на пружній основі з контактним натисканням у визначеному раніше діапазоні. Для кожного режиму знос елементів та дротів визначається візуально за методикою. По

					0032.170139.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закінченні циклу провадиться зважування елементів та дротів. Для кожного елемента провід встановлюється знову (з однієї бухти). Порядок монтажу і випробувань контактних елементів здійснюється за нормативами, що і для серійних елементів [26, 27]. Для того, щоб провести серію експериментів плавно змінюючи той чи інший параметр потрібна значна кількість часу та енергетичних ресурсів. Крім того, постійно підтримувати з високою точністю значення змінюваного параметра в ході такого тривалого часу не завжди можливо. Тому необхідно застосовувати методики експериментальних досліджень, що дозволяють інтенсифікувати процес без значного зниження якості одержуваних результатів.

Для проведення зносних випробувань контактного дроту та вставок струмоприймачів використовують спеціальні машини [28]. В якості зразків у них використовують або реальні контактні дроти і вставки, або імітатори дроту і зразки струмознімальних матеріалів, вирізані з реальних вставок.

Швидкість руху струмознімальних елементів з контактного дроту та контактне натискання у більшості машин регульовані. В зону контакту подається постійний або змінний струм заданої величини (зазвичай не більше 300 А). Для попередження розвитку можливих іскрових розрядів в дугові напруги, джерела живлення беруть до 12- 18 В.

Однак відомі зносні машини не дозволяють імітувати такі параметри, як приведена маса, твердість, сухе і в'язке тертя системи рухомих рам і кареток струмоприймачів для забезпечення динамічної подібності експерименту.

#### ***4.1.1 Конструктивне виконання стенду***

Розроблено спеціалізований стенд для комплексного дослідження контактних елементів струмоприймачів, що дозволяє проводити всі види зношуваних випробувань.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Електродвигун 1 через муфту 2 приводить в обертання ізоляційний диск 3, на якому зигзагоподібно закріплено контактний дріт 4. При проведенні випробувань з контактним дротом 4 взаємодіє контактний елемент 5, встановлений з допомогою каретки 6 на балці 7, яка оснащена пружним 8 і демпфуючим 9 елементами і імітаторами 10 приведеної маси, імітують динамічні характеристики струмоприймача. Пружний 8 і демпфуючий 9 елементи дозволяють імітувати відповідно жорсткість і в'язке тертя системи рухомих рам струмоприймача, а імітатори 10 дозволяють змінювати значення приведеної маси.

Технічні параметри стенду для комплексного дослідження контактних елементів струмоприймачів представлені в табл. 4.1.

Відносне переміщення контактного дроту та контактного елемента з високою лінійною швидкістю призводить до виникнення коливань підпружинених елементів із-за радіальних і кутових переміщень (зигзагу і стріли провисання контактного дроту). Нерівномірність контактного натискання і відривання, що мають місце під час випробувань, імітують аналогічні процеси, що відбуваються в реальних умовах експлуатації, що підвищує достовірність вимірювань. Визначення теплових характеристик досліджуваного контактного елемента виробляється за допомогою тепловізора або пірометра.

Використання запропонованого стенду дозволяє отримувати адекватні зносні характеристики з урахуванням нерівномірності контактного натискання і відривання, призводять до підвищеного електричного зносу.

#### ***4.1.2 Методика випробувань контактних елементів струмоприймачів***

При проведенні випробувань контактних елементів струмоприймачів проводиться дослідження властивостей матеріалів для контактного дроту та елементів і вибір найбільш ефективних поєднань контактуючих елементів для конкретних умов, розробка раціональних методів експлуатації струмознімальних

						0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 4.1 - Технічні параметри стенду для комплексного дослідження контактних елементів струмоприймачів

Найменування параметра	Значення
1. Кутова швидкість обертання, об/хв	1000
2. Лінійна швидкість руху в контакті, км/год	120
3. Імітуєма швидкість руху, км/год	350
4. Діаметр колеса, м	0,65
5. Зігзаг контактних проводів, мм	±10
6. Діапазон регулювання зігзагу контактних проводів, мм	від -20 до +60
7. Натискання в контакті, Н	0-400
8. Наведена маса в точці контакту, кг	5-40
9. Тертя в рухомій системі	$W_{тр} \cdot Г_{тр}$
10. Швидкість обдування полоза, км/год	220
11. Номінальний (добовий) струм навантаження, А	500
12. Максимальний (часовий) струм навантаження, А	1000
13. Граничний (10-хвилинний) струм навантаження, А	1500

пристроїв, визначення раціональних параметрів контакту (кількість точок контакту, натискання, допустимий і оптимальний струми, використання спеціальних мастил) з метою зменшення зносу контактного дроту та вставок. Визначення допустимого струму контактного елемента при русі з різними натисканнями і швидкостями руху проводиться на стенді для комплексного

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01MP.ПЗ					

дослідження контактних елементів струмоприймачів у широкому діапазоні контактного натискання при протіканні змінного і постійного струму різної полярності від 0 до 1500 А при швидкості руху 50, 100, 150, 200, 250, 300 км/ч.

На першому етапі проводиться визначення діапазону раціональних контактні натискань і побудова графіків зміни температури від струму при різних контактних натисканнях та зносних характеристик.

На другому етапі уточнюються значення максимально допустимих струмів по умовам перегріву контактних елементів (виходячи з величин, які наведені в технічних умовах), а також з реєстрації підвищеного іскріння (дугоутворення) для кожного швидкісного режиму.

Визначення залежності перевищення температури контактного елемента від величини знімання струму проводиться для визначених раніше рівнею контактного натискання для швидкостей руху 50, 100, 150, 200, 250, 300 км/год з відповідним обдувом.

Визначення питомого зносу контактного елемента та контактних дротів на одиницю пробігу в залежності натискань, швидкостей руху і струм, який знімається, проводиться наступним чином. На стенд встановлюється контактний дріт у вигляді кільця заданого діаметра без биття. Контактний елемент закріплюється на пружній основі з раніше заданими контактним натисканням.

Для кожного нового дослідження встановлюється новий відрізок контактного проводу (з однієї бухти). Допускається проводити кілька дослідів на одному і тому ж дроті, але при цьому необхідно проводити однакову підготовку робочої поверхні дроту (наприклад, за допомогою корундового паперу).

Знос контактного проводу вимірюється за допомогою методу штучних баз. Базами є лунки, що наносяться алмазною пірамідкою в напрямку, що збігається з радіусом диска. Поточний розмір лунки, за яким визначається знос дроту, вимірюється з допомогою мікроскопа. Якщо визначення зносу контактного проводу неможливо за допомогою методу штучних баз (наприклад, із-за

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01MP.ПЗ				

затягування лунок при терті міді по міді), то можна скористатися мікрометром або спеціальними скобами.

Знос контактних елементів визначається зважуванням на початку та наприкінці досвіду з точністю до 0,01 г. За отриманими даними будуються зносні характеристики контактних елементів у залежності від питомого натискання при різних струмах навантаження, і які дозволяють визначити найкраще контактне натискання струмоприймача на контактний дріт, що забезпечує мінімальний електричний та механічний знос для досліджуваної пари тертя.

#### **4.2 Кільцевий стенд для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів**

Більшість досліджень струмознімання носять експериментальний характер, що пояснюється складністю та наближеністю методів теоретичного дослідження. Лабораторні установки дозволяють проводити більш широкі дослідження, але з деяким наближенням.

При випробуваннях на відомих стендах полоз і каретка будь-якої конструкції у процесі взаємодії струмоприймача з контактної підвіскою грають таку роль, як будь-яке тверде тіло довільної форми, що має масу, рівну масі досліджуваного полоза, підтримуване пружиною, еластичність якої відповідає характеристиці натискання кареток. Внаслідок цього, дані стенди не дають можливості досліджувати з метою виявлення оптимальних параметрів ряд конструктивних рішень, серед яких можна виділити: рамні полози різної ширини; однополозні, багатополозні та асиметричні верхні вузли струмоприймачів; каретки, що деформуються в поздовжньому напрямку. Дані вітчизняної та зарубіжної практики свідчать, що застосування подібних конструкцій верхнього вузла струмоприймачів дає суттєвий ефект. Тому з'являється необхідність встановлення оптимальних параметрів цих конструкцій в лабораторних умовах. Неможливість дослідження ролі нових конструктивних рішень на відомих

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стендах визначається тим, що вони не дозволяють імітувати горизонтальну силу, яка діє поперек полоза в напрямку руху електрорухомого складу; поворот полоза в просторі навколо своєї поздовжньої осі через положення контактного проводу з позитивними і негативними стрілами провисання із-за перегинів траєкторії точки контакту. Дія цих факторів може з'явитися причиною того, що полоз може відірватися від контактного дроту набігаючим краєм і контактувати тільки зі збігаючим краєм.

#### **4.2.1 Конструктивне виконання стенду**

Розроблено кільцевої стенд для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів [29].

Особливість кільцевого стенду для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів електрорухомого складу магістральних електричних залізниць (рис. 4.3 і 4.4) полягає в тому, що він являє собою обертове горизонтальне колесо 1 з імітатором 4 контактної підвіски, виконаним із стандартного контактного проводу, до якого знизу притискається полоз, встановлений на струмоприймачі 7, який обладнаний необхідними датчиками. За допомогою радіальних спиць 2 з вертикальними стійками 3 контактний провід розташовується в просторі в вигляді фігури, яка імітує вигини висотного положення проводу та його розташування в плані. Горизонтальні поздовжні і поперечні сили одержуються, як і в реальних умовах за рахунок тертя. Вертикальна сила статичного натискання створюється пружинами струмоприймача.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Висотне положення контактної дроти та його перегини в підпорних зонах імітуються відповідним розміщенням контактної дроти по висоті. Для кожного досліджуваного типу контактної підвіски висотне положення розраховується за відповідними формулами. На підставі цих даних вертикальні стійки 3 зі струновими затискачами повинні бути пересунуті по вертикалі відносно спиць 2 колеса 1 у відповідне положення.

Так імітується висотне положення у разі, коли контактний дріт розташовується по осі шляху. У всіх інших випадках необхідно імітувати розташування контактної дроти в плані, відповідне до типу підвіски. Швидкість руху електрорухомого складу імітується обертанням імітатора контактних підвісок, виконаного з кільця контактної дроти. Величина її визначається за умови, що кільце розгортається в два прольоти (або один). Завдяки цьому, імітована швидкість значно перевершує лінійну швидкість обертання кільця, але забезпечує еквівалентну дію на полоз і каретку струмоприймача. Число обертів в кільці стенду визначається за допомогою тахогенератора. Цим забезпечується швидкість вертикальних переміщень полоза з такою ж, як і в реальних умовах, амплітудою, яка визначається реальною стрілою провисання.

До стенду подається струм за допомогою джерела постійного струму, величина якого регулюється баластними опором, що дає можливість досліджувати вплив струму на взаємодію струмознімальних пристроїв при різних швидкостях руху та налаштуванні струмоприймача. Для створення аеродинамічного впливу при дослідженні процесу струмознімання призначено нагнітач повітря (рис. 4.5), що створює повітряний потік зі швидкістю до 220 км/год.

Привід стенду для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів представлено електродвигуном 9 постійного струму з вбудованим тахогенератором і редуктором 8 черв'ячного типу, що передає момент валу 5. На вал 5 насаджено колесо 1 з імітатором 4. Таке виконання приводу дозволяє плавно регулювати швидкість обертання колеса 1.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.5 - Аеродинамічний нагнітач

У число вимірювальної апаратури входять 12 амперметр, вольтметр, тахогенератор, шунт вимірювальний. Вимірювальна апаратура дозволяє реєструвати швидкість обертання колеса (напруга тахогенератора), струм що протікає по струмоприймачу, переміщення елементів струмоприймача і натискання в контакт. Випробуваний струмоприймач встановлюється таким чином, щоб його полоз контактував з контактним дротом. Таким чином, стенд дозволяє імітувати один або два прольоти контактної підвіски з зигзагами та стрілами провисання контактного дроту.

До переваг описаної стенду можна віднести можливість дослідження впливу на процес струмознімання різних параметрів полоза і способів його підвішування до рами. Технічні параметри кільцевого стенду для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів представлені в табл. 4.2.

Випробовуваний зразок полоза встановлюється на струмоприймач типу Л-13У. Підведення струму здійснюється безпосередньо через імітатор 4 контактної підвіски. Визначення теплових характеристик досліджуваного полоза проводиться за допомогою тепловізора та пірометра.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 - Технічні параметри кільцевого стенду для імітації елементів контактної підвіски при випробуваннях струмоприймачів

Найменування параметра	Значення
1. Кутова швидкість обертання, об/хв	100
2. Лінійна швидкість руху в контакті, км/год	55
3. Імітуєма швидкість руху, км/год	300
4. Діаметр колеса, м	4
5. Зігзаг контактних проводів, мм	±300
6. Діапазон регулювання зігзагу контактних проводів, мм	від -400 до +400
7. Висотне положення (стріла провисання) контактного проводу, мм	0-50
8. Швидкість обдування полоза, км/год	220
9. Швидкість обдування струмоприймача, км/год	100
10. Номінальний (добовий) струм навантаження, А	2000
11. Максимальний (часовий) струм навантаження, А	3000
12. Граничний (10-хвилинний) струм навантаження, А	4000
Примітка. На стенді можлива установка одного або двох контактних проводів. Довжина двох контактних проводів одного типу не менше 30 м	

#### 4.2.2 Методика випробувань полозів струмоприймачів

Визначення залежностей температури контактних елементів і перевищення температури контактного дроту від величини знімання струму при різних натисканнях проводиться для визначення максимального за умовами нагрівання струму, в тому випадку якщо при протіканні 1,4 номінального струму; не зафіксовано перегріву контактного дроту та контактних елементів.

Експеримент припиняється при досягненні контактним дротом температури 115°C.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.170139.000.01МР.ПЗ					

Дослідження взаємодії полоза струмоприймача, оснащеного дослідними зразками контактних елементів, з контактним дротом (дротами) включає в себе визначення допустимого струму полоза при русі з різними натисканнями і швидкостями руху. Випробування проводяться на кільцевому імітаторі контактної підвіски. Полоз встановлюється на випробувальному струмоприймачі. Струмоведачі шунти стенду електрично з'єднуються зі штатними місцями кріплення полоза. Шунти не повинні викликати значної зміни приведеної маси полоза.

Режими роботи стенду вибираються згідно з технічними умовами на полоз та побажаннями замовника.

Значення граничного допустимого струму фіксується при досягненні яким-небудь елементом полоза максимально допустимої температури.

### **4.3 Розривний стенд для дослідження фізико-механічних властивостей контактних елементів і проводів**

Навантажувальна здатність струмоприймача в режимі стоянки електрорухомого складу полягає в знаходженні значення струму, який довгострокового знімається з контактного дроту струмоприймачем, обладнаного контактними елементами необхідними при стоянці, при якому не допускаються порушення вимог та норм експлуатації.

#### **4.3.1 Конструктивне виконання стенду**

Розривний стенд (рис. 4.6, 4.7) дозволяє створювати умови для отжигів та пережогів контактних дротів, а також визначати номінальний струм контактних елементів на стоянці при різному статичному натисканні струмоприймача.

Вимірювання температури контактного елемента і контактного дроту здійснюється за допомогою пірометра.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



#### **4.3.2 Методика випробувань контактних елементів струмоприймачів**

Перевірка номінального струму контактних елементів на стоянці при різному статичному натисканні 60-130 Н здійснюється шляхом вимірювання температури контактних дротів і контактних елементів при протіканні по ланцюгу 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4 номінального струму, заявленого в технічних умовах на контактні елементи. Експеримент припиняється при досягненні контактним дротом температури 115°C або якщо протягом 10 хв температура контактних елементів не зросла більш ніж на 2°C.

Перевірка номінального струму полоза на стоянці при різному статичному натискання 60-130 Н здійснюється шляхом вимірювання температури контактних дротів і контактних елементів при протіканні по ланцюгу 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4 номінального струму, заявленого в технічних умовах на полоз. Нагрів припиняється при досягненні контактним проводом температури 115°C або якщо протягом 10 хв температура контактних елементів не зросла більш ніж на 2°C.

**Висновки до розділу.** Випробування струмоприймачів електрорухомого складу і їх вузлів доцільно проводити на запропонованих спеціалізованих стендах, що дозволяють інтенсифікувати процес випробувань більш ніж у чотири рази порівняно з традиційними способами.

Дослідження взаємодії зразків контактних елементів з контактними проводами, а також випробування розроблених конструкцій верхніх вузлів струмоприймачів необхідно проводити у відповідності з запропонованими методиками.

					0032.170139.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел

1. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередач. - М.: Маршрут, 2003.421 с.
2. Михеев В.П. Внедрение скоростного движения на железных дорогах России // Железнодорожный транспорт. - 2002. № 4.
3. ГОСТ 12058-72. Токоприемники электроподвижного состава магистральных железных дорог. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1972. 17 с.
4. Михеев В.П. Особенности перспективных токоприемников / Омск: Омская гос. акад. путей сообщения. 1994. - 70 с.
5. А. с. 1308511 СССР, МКИ В 60 L 5/08. Каретка токоприемника / В. Г. Капов, С. К. Коренюгин. - Оpubл. 07.05.1987//Открытия. Изобрет.-1987.-№23.- С.37.
6. Пат. 3828890 ФРГ, МКИ В 60 L 5/20. Каретка токоприемника / Э. Ленгфелдер. Оpubл. 29.08.1990//Открытия. Изобрет.-1990.-№13.- С.47.
7. Пат. 368957 Австрия, МКИ В 60 L 5/20. Каретка для токоприемника / В. Бухбергер. - Оpubл. 25.11.1982//Открытия. Изобрет.-1982.-№63.- С.39.
8. Пат. 116265 Польша, МКИ В 60 L 5/20. Каретка токоприемника транспортного средства / Т. Клепчарек. - Оpubл. 30.09.1982//Открытия. Изобрет.-1982.-№53.- С.49.
9. Пат. 3546529 ФРГ, МКИ В 60 L 5/20. Полоз токоприемника с угольными накладками / С. Бартелс, Л. Шварц. - Оpubл. 08.10.1987//Открытия. Изобрет.-1987.-№73.- С.59.
10. Пат. 3730312 США, МКИ В 60 L 5/24. Метод и средства для передачи электрической энергии высокоскоростному подвижному составу / Р.Е. Легер. - Оpubл. 01.05.1973//Открытия. Изобрет.-1973.-№63.- С.69.
11. Пат. 2001401 ФРГ, МКИ В 60 L 5/24. Устройство подрессоривания полоза токоприемника / Э.Доцлер. - Оpubл. 14.01.1970//Открытия. Изобрет.-1970.-№73.- С.79.

					<b>0032.170139.000.01MP.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





31. Методика расчета эффективности инноваций на железнодорожном транспорте. - М.: МПС, 2000.
32. Волков Б.А. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка. - М.: Транспорт, 1996. - 191 с.
33. Шкурина Л.В., Козлова С.С. Экономическая оценка эффективности инвестиций на железнодорожном транспорте. - М.: РГОТУПС, 2000. 74 с.

					0032.170139.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		