

Ім'я користувача:
Олена Бондаренко

ID перевірки:
1015553785

Дата перевірки:
12.06.2023 09:17:33 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
12.06.2023 09:18:13 EEST

ID користувача:
100005535

Назва документа: Mikhalchuk_Mykola_Mykolaiovych_ET20120

Кількість сторінок: 85 Кількість слів: 17823 Кількість символів: 124203 Розмір файлу: 2.18 MB ID файлу: 1015205998

15.2% Схожість

Найбільша схожість: 7.01% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1013044920)

7.01% Джерела з Інтернету

345

Сторінка 87

14.7% Джерела з Бібліотеки

206

Сторінка 89

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

499

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕРС
_____/Андрій АФАНАСОВ/
(підпис)

Дата _____

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Підвищення показників якості струмознімання електровозів змінного струму»

за освітньою програмою: «Електричний транспорт»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент

групи «ЕТ20120»

(підпис студента)

/Микола МІХАЛЬЧУК/

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/ст. викл. В`ячеслав ВАСИЛЬЄВ/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/ст. викл. В`ячеслав ВАСИЛЬЄВ/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Energy Process Control»

Department «Electric rolling stock of railways»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Increasing the quality indicators of current collection of electric locomotives alternating current»

according to educational curriculum «Electrical Transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group ET20120:

/Mykola MIKHALCHUK/

Scientific Supervisor:

/Viacheslav VASYLIEV/

Normative controller:

/Viacheslav VASYLIEV/

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра: «Електрорухомий склад залізниць»

Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: «Електричний транспорт»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту Міхальчуку Миколі Миколайовичу

1. Тема роботи: «Підвищення показників якості струмознімання електровозів змінного струму»

Керівник роботи: Васильєв В'ячеслав Євгенович, старший викладач
затверджені наказом № 28 ст від 16.01.2023

2. Строк подання студентом роботи: 20. 06. 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Параметри струмоприймачів електровозів
постійного струму ВЛ11, 2ЕЛ4 і електровозів змінного струму ВЛ80Р, 2ЕЛ5;

Аналіз виходу з ладу струмоприймачів електровозів постійного і змінного
струму по Дирекціях і Регіональних філіях Укрзалізниці за 2020-2022 роки

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Аналітичний огляд досліджень системи
струмоприймач-контактна підвіска при високих швидкостях руху.

Підвищення надійності роботи струмоприймача в експлуатації

4.2 Основна частина: Математичне дослідження взаємодії струмоприймача
з контактною підвіскою при високих швидкостях руху; Регулювання
контактного натиску за допомогою аеродинамічних елементів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень): Швидкісні ланцюгові підвіски; Конструкції верхніх вузлів
струмоприймачів; Аеродинамічні характеристики профілів; Пристрій
дистанційного виявлення дефектів контактної підвіски; Кінематична
схема взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою; Схема
встановлення аеродинамічного профілю; Висновки.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Розділ 1	ст. викл. каф. ЕРС Васильєв В.Є.		
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.03.2023	
2	1 Аналітичний огляд досліджень системи струмоприймач-контактна підвіска при високих швидкостях руху	10.03.2023	
3	2 Підвищення надійності роботи струмоприймача в експлуатації	01.04.2023	
4	3 Математичне дослідження взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою при високих швидкостях руху	13.05.2023	
5	4 Регулювання контактного натиску за допомогою аеродинамічних елементів	30.05.2023	
6	Висновки	05.06.2023	
7	Оформлення роботи	10.06.2023	
8	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.06.2023	
9	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	28.06.2023	

Студент

(підпис)

Микола МІХАЛЬЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

ст. викл. В`ячеслав ВАСИЛЬЄВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на здобуття першого рівня вищої освіти (бакалавр) на тему «Підвищення показників якості струмознімання електровозів змінного струму» виконана в обсязі 78 аркушів машинописного тексту з застосуванням засобів ЕОМ, і містить 27 ілюстрацій, 9 таблиць, перелік посилань включає в себе 11 найменувань і додатків на 8 сторінках. Загальний об'єм роботи складає 85 сторінок.

Об'єктом досліджень є підвищення надійності процесу струмознімання при високих швидкостях руху засобами тягового забезпечення. Метою роботи є розробка методики автоматичного регулювання сили контактного натиснення струмоприймача під час порушення процесу струмознімання. Галузь застосування – залізничний транспорт, підприємства по експлуатації швидкісного електричного рухомого транспорту.

В роботі розглянуто важливість, та актуальність дослідження системи струмоприймач-контактна підвіска, проведений аналіз деяких вітчизняних та закордонних конструкцій струмоприймачів, та контактних підвісок для високих швидкостей руху.

Проведено аналіз впливу аеродинамічної складової при високих швидкостях руху. Визначено основні параметри, які впливають на якість струмознімання, а також на надійність, та довговічність роботи всієї системи. Запропоновано використання пристрою дистанційного визначення дефектів контактної підвіски, і пристрою аварійного опускання струмоприймача за короткий проміжок часу, що є необхідним при високих швидкостях руху, та розраховані їх основні параметри конструкції. Наведено спосіб математичного моделювання для дослідження взаємодії системи струмоприймач-контактна підвіска.

Для досягнення хорошої якості струмознімання при високих швидкостях руху електропоїзда, для нівелювання аеродинамічного впливу запропоновано використання аеродинамічного профілю в конструкції струмоприймача, що дозволить підтримувати контактне натиснення в заданих межах при високих швидкостях. Математично доведено доцільність такої конструкції струмоприймача.

Ключові слова: струмоприймач, контактна підвіска, контактне натиснення, аеродинамічний профіль, аеродинамічна сила, регулювання контактного натиснення, струмознімання, коливання, електроімпульсна магнітномеханічна система, сила натягу контактного дроту, каретка, полоз струмоприймача.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень символів, скорочень і термінів	7
Вступ	8
1 Огляд досліджень системи струмоприймач-контактна підвіска при високих швидкостях руху	11
1.1 Аналіз вимог до струмознімання з контактної мережі	11
1.2 Аналіз конструкцій високошвидкісних контактних підвісок	14
1.3 Аналіз конструкцій струмоприймачів для високих швидкостей руху	21
1.4 Аеродинамічні сили, що діють на струмоприймач та шляхи їх зменшення	25
1.5 Підвищення надійності струмознімання при високих швидкостях	29
1.6 Висновки по розділу	31
2 Підвищення надійності роботи струмоприймача в експлуатації	32
2.1 Пристрій дистанційного виявлення дефектів контактної підвіски	32
2.2 Електроімпульсна магніто-механічна система аварійного опускання струмоприймача електровоза	38
2.3 Висновки по розділу	41
3 Математичне дослідження взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою при високих швидкостях руху	43
3.1 Основні фактори які впливають на процес струмознімання, та методи їх дослідження	43
3.2 Метод розрахунку провисання і сили натягу контактного дроту при взаємодії зі струмоприймачем	47
3.3 Математична модель взаємодії струмоприймач-контактна підвіска	52
3.4 Висновки по розділу	60
4 Регулювання контактного натиску за допомогою аеродинамічних елементів	62
4.1 Вплив аеродинамічних сил на контактний натиск	62
4.2 Використання аеродинамічного профілю ЦАГІ серії «В»	65
4.3 Розрахунок аеродинамічного профілю для симетричного струмоприймача	69
4.4 Висновок по розділу	74
Висновки	75
Перелік посилань	76
Додатки	77
Додаток А - Мультимедійні демонстраційні матеріали	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕОМ – електронно обчислювана машина;
ЕРС – електрорухомий склад;
СК - система струмоприймач-контактна підвіска;
ЕІММС - електроімпульсна магнітно-механічна система;
РС – рухомий склад.

ВСТУП

В даний час в багатьох країнах світу ведуться роботи по підвищенню швидкостей руху поїздів. Багаторічний світовий досвід показав, що при перевезеннях в денних поїздах на відстані 400 - 800 км і в спальних вагонах нічних поїздів на відстані 1700 - 2500 км по безпеці, надійності, комфортабельності і екології високошвидкісний транспорт вигідніший в порівнянні з іншими видами транспорту. Так в Японії прибуток від високошвидкісних магістралей досягав 30% при терміні окупності будівництва 5-8 років, а протяжність швидкісних магістралей становить понад 2000 км. У перспективі заплановано довести їх протяжність до 3200 км. В Європі, при довжині ліній високошвидкісних магістралей близько 2000 км, розвиток їх мережі інтенсивно продовжується. У країнах ЄС частка витрат на створення високошвидкісних магістралей становить 0,19% річного національного доходу. Рівень рентабельності проекту, без урахування екології, оцінюється в 13,7%.

Специфікою електричного транспорту є підведення енергії до електричного обладнання електровоза через ковзний контакт між струмоприймачем і контактної підвіскою. З підвищенням швидкостей руху зростає потужність електрорухомого складу, а число струмоприймачів зменшується до двох, тому значення струмів знімаємих полозом струмоприймача виростає (особливо при постійному струмі), що вимагає вдосконалення існуючих елементів та вузлів струмоприймачів. Забезпечення надійного і економічного струмознімання залишається особливо актуальною проблемою при високих швидкостях руху (200-350 км/год), як в Європі, так і в Японії.

До середини ХХ століття на більшості ділянках залізниць України максимальна швидкість не перевищувала 70 км/год. У цих умовах взаємодія струмоприймача і контактної підвіски можна було описати рівняннями статички. У 50х роках на вітчизняних залізницях почали з'явилися електровози чехословацького виробництва серій ЧС1, ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8 і електропоїзди серії ЕР1 з максимально-допустимою швидкістю 120...160 км/год. Для опису взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою при таких швидкостях руху довелося використовувати рівняння коливальної системи з одним ступенем свободи.

Подальші плани підвищення швидкостей руху до 200 км/год і вище на вітчизняних і зарубіжних залізницях вимагало розгляду хвильових коливань

контактної підвіски при взаємодії її з рухомим струмоприймачем, тобто переходу до системи з нескінченно великим числом ступенів свободи.

Проблема розвитку високошвидкісного транспорту носить загальнонаціональний характер. Її вирішення дозволило б істотно поліпшити ситуацію з організацією перевезень пасажирів на основних напрямках мережі Укрзалізниці, забезпечити збільшення пасажирообороту, скоротити потребу в рухомому складі, а в результаті підняти престиж вітчизняних залізниць і держави в міжнародному аспекті. Досягнення високих швидкостей руху (250-300 км/год) з кожним роком стає все більш актуальним завданням для української залізниці для поліпшення економічної ситуації, і її розвитку. Останнім часом цьому сприяє рух України до Євроінтеграції.

Для вирішення поставлених завдань необхідно забезпечити підвищення якості, та ефективності струмознімання з контактної мережі при високих швидкостях руху електрорухомого складу (ЕРС). Це можливо досягти перш за все модернізацією контактної підвіски, підвищенням стандартів та вимог, а також розробленням спеціальних струмоприймачів, розрахованих на високі швидкості руху. Розробкою конструкції, вимог до таких струмоприймачів повинна займатися Україна, так як саме ми найкраще знаємо особливості експлуатації на нашій залізниці, конструкцію вітчизняної контактної підвіски, умови експлуатації. Прикладом цього є досвід експлуатації швидкісного потягу зарубіжного виробництва HRCS2 на наших залізничних ділянках. На початку експлуатації були частими поломки струмоприймачів та інших вузлів саме через не підготовленість електрорухомого складу до специфіки вітчизняних умов експлуатації.

Актуальність теми обумовлена тим, що збільшення швидкості ЕРС до 200...350 км/год, як показує вітчизняний і зарубіжний досвід, значно погіршує динамічні умови взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою, крім того, знижує безпеку експлуатації ЕРС. Нестабільне натискання струмоприймача призводить до швидкого зносу полоза і контактного проводу. Зіткнення струмоприймача з дефектами підвіски ведуть, не тільки до його руйнування, а й до обриву контактного проводу, що є серйозною транспортною пригодою, і може викликають тривалий вихід з ладу цілої ділянки контактної мережі.

Забезпечення стабільного струмознімання з мінімальним числом пошкоджень контактної мережі є не тільки технічним але і актуальним економічним завданням, рішення якого дає значний економічний ефект:

- а) підвищення швидкостей електричного рухомого складу;

- б) збільшення терміну служби контактних проводів і струмоприймачів;
- в) запобігання шкоди, пов'язаної з пошкодженням контактної мережі і струмоприймачів.

Аналіз особливостей струмознімання при високих швидкостях руху показує, що підвищення надійності експлуатації електропоїздів і якості струмознімання вимагають:

а) дистанційного виявлення дефектів контактної мережі за час не менше ніж 1 сек до можливого зіткнення з ними полоза струмоприймача і екстреного опускання струмоприймачів або, в крайньому випадку, зняття їх поздовжньої жорсткості;

б) стабілізації контактного натиснення з урахуванням змінних по величині й напрямку аеродинамічних сил, що діють на струмоприймач.

Метою роботи є дослідження проблем підвищення якості і надійності струмознімання з контактної мережі при високих швидкостях ЕРС і розробка рекомендацій щодо технічних рішень виконання цього завдання, яке має на увазі:

а) підвищення безпеки та безаварійності струмознімання при високих швидкостях руху ЕРС;

б) забезпечення надійного контакту струмоприймача ЕРС з контактним проводом за рахунок стабілізації величини натиснення при високих швидкостях руху, в тому числі і в області резонансних частот.

Практична значимість роботи:

1. Запропоновано пристрій дистанційного виявлення дефектів контактної підвіски і електроімпульсна магнітно-механічна система аварійного опускання, або зняття поздовжньої жорсткості струмоприймача.

2. Запропоновано пристрій активного регулювання контактного натиснення полоза струмоприймача, виконаний у вигляді спеціального аеродинамічного профілю з відхиляючими елементами, форма якого враховує можливість руху як в прямому так і в зворотному напрямку.

В дипломному магістерському проекті використовувались аналітичні методи і математичне моделювання коливань контактної мережі, які виконувалися за допомогою комп'ютерної обчислювальної програми MathCAD.

1 ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ СТРУМОПРИЙМАЧ-КОНТАКТНА ПІДВІСКА ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ

1.1 Аналіз вимог до струмознімання з контактної мережі

Актуальність проблеми струмознімання на електрифікованому залізничному транспорті визначається наступними обставинами:

- 1) планове збільшення швидкостей руху на залізничних магістралях значно погіршує динамічні умови процесу взаємодії контактної підвіски і струмоприймача;
- 2) підвищення потужності електрорухомого складу, що призводить до збільшення сили струму, що проходить через один пантограф;
- 3) посилення екологічних норм на радіоперешкоди і продукти зносу.

Проведений аналіз наслідків погіршеної струмознімання дозволив виділити два шляхи вирішення проблеми: при збільшенні швидкостей руху електрорухомого складу до 220 км/год необхідно вдосконалити струмоприймачі, а при збільшенні швидкостей руху понад 220 км/год необхідно покращувати характеристики контактних підвісок, а також удосконалювати елементи струмоприймачів.

Велике значення для якісного струмознімання при високих швидкостях руху ЕРС має надійний контакт між пластинами полоза струмоприймача і контактним проводом, який можливий тільки при їх стійкому механічному контакті. Недостатнє контактне натиснення може спровокувати електричну дугу, при якій відбувається випалювання елементів, які контактують. Короткочасний відрив струмоприймача від контактного проводу (тривалістю - 0,01...0,10 с) є причиною посиленого електричного зношування, як пластин, так і контактного проводу. Тривалі порушення контакту (більше 0,10 с), не тільки підсилюють зношування, але і погіршують роботу тягового обладнання ЕРС.

Надмірне контактне натиснення, також веде до посилення механічного зношування, як контактного проводу, так і полоза струмоприймача, а також веде до можливості зіткнення полоза з елементами підвіски.

Тільки при стабільному механічному і електричному контакті знижується інтенсивність зношування контактного проводу та контактних пластин струмоприймача.

Однак, при русі струмоприймача контактне натиснення змінюється за величиною. Це відбувається через різницю висоти контактного проводу над рівнем головок рейок в різних точках перегону, впливу вітру на контактну підвіску, аеродинамічного впливу на пантограф та ін.

Виникає завдання втримування величини контактного натиснення в деякому допустимому інтервалі значень ΔF_k , що характеризує стійке струмознімання, але

так як цей інтервал виявляється різним для різних типів струмоприймачів і контактних підвісок, то необхідна оптимізація інтервалу ΔF_k .

Ще однією проблемою струмознімання для поїздів з високою швидкістю руху є великі значення потужності та струмів які знімаються струмоприймачем. Для перспективних швидкісних транспортних систем потужність силових установок, яка припадає на вагон - екіпаж, становить 3000 - 3200 кВт; при цьому тяговий струм, що проходить через струмоприймачі при напрузі 3 кВ, складає 1500 - 2000 А. Отже, в умовах зростання тягових навантажень проєктовані й існуючі струмоприймачі, а також тягова мережа повинні перевірятися на навантажувальну здатність, тобто для них повинно визначатися значення тривалого струму при русі і стоянці при якому буде гарантоване надійне струмознімання.

Навантажувальна здатність струмоприймача визначається граничним нагріванням його контактних і струмопровідних елементів, вище якого настає термічне руйнування струмопровідних матеріалів.

До струмопровідних елементів струмоприймачів відносять полоз з контактними елементами, каретку, систему рухомих рам, шунти між ними. Як показує досвід, найбільший нагрів отримують контактні елементи (вставки, пластини). Інші елементи нагріваються до значно меншої температури.

Характеристики електричних параметрів струмоприймачів пов'язані з тим, що необхідно враховувати розподілення струму по контактним елементам, а отже, їх нагрівання, яке досягає максимального значення в точці контакту. Для вирівнювання нагріву контактних елементів необхідно вирівняти контактне натиснення струмоприймача по всім контактним елементам. Слід зазначити, що струми всіх струмоприймачів слід визначати з умов одночасної роботи всіх електричних апаратів електрорухомого складу, як найбільш небезпечного режиму.

Виходячи з описаного вище видно, що на надійну роботу струмоприймача, його строк експлуатації впливає багато факторів, які особливо сильно проявляються зі збільшенням швидкостей руху ЕРС. Все це говорить про актуальність даного завдання - вивчення динаміки взаємодії системи струмоприймач-контактна підвіска (СК).

Так як одним з основних параметрів, який впливає на якість процесу передачі струму з контактного проводу до електричних апаратів ЕРС, є контактне натиснення. Одним із перших завдань є його стабілізація, та підтримування в певному діапазоні значень, при якому буде забезпечено надійний електричний контакт, та мінімальний рівень зношування контактуючих елементів системи СК.

Для визначення сили натиснення полоза на контактний провід

використовують два вирази :

а) при розгляді струмоприймача:

$$F_k = F_o + F_A \pm F_{\text{дин.с}} \pm F_{\text{тр.с}}; \quad (1.1)$$

б) при розгляді контактної підвіски:

$$F_k = \frac{\Delta y}{\eta} \pm F_{\text{дин.к}} \pm F_{\text{тр.к}} \quad (1.2)$$

де F_o - приведена до верхнього вузла струмоприймача сила натиснення, яка створюється підйомними пружинами, Н; F_A - повна аеродинамічна сила, що діє на струмоприймач, Н, (вона включає підйомну силу F_y , силу лобового опору F_x , і бічну силу F_z , причому остання обумовлена впливом на струмоприймач вітру); $F_{\text{дин.с}}, F_{\text{дин.к}}$ - динамічні (інерційні) сили струмоприймача і контактної підвіски відповідно, Н; $F_{\text{тр.с}}, F_{\text{тр.к}}$ - наведені до точки контакту сумарні сили тертя, струмоприймача і контактної підвіски відповідно, Н; Δy - підйом контактного проводу під дією струмоприймача, м; η - еластичність контактної підвіски (величина зворотна її жорсткості), мм/Н.

Деякі складові в (1.1) і (1.2) можуть приймати, як позитивні, так і негативні значення, при $F_k = 0$ відбувається відрив струмоприймача від контактного проводу. За відсутності вітру від швидкості руху ЕРС V будуть залежати дві сили, $F_A, F_{\text{дин.с}}$, обидві пропорційні квадрату швидкості:

$$F_A = C_y \frac{\rho V^2}{2} S \quad (1.3)$$

де C_y - безрозмірна аеродинамічний коефіцієнт, що залежить від форми обтічного тіла та кута атаки α^1 , ρ - щільність повітря кг/м³, S - площа Міделевого перерізу тіла в площині перпендикулярній вектору швидкості повітряного потоку, м²:

$$F_{\text{дин.с}} = -m_\tau \frac{4\pi V^2}{l^2} y \quad (1.4)$$

де m_τ - приведена маса струмоприймача, яка визначена нижче, кг; l - довжина прольоту, м; y - вертикальне переміщення полоза, м.

Нижче для скорочення запису символом F_y буде позначатися сума цих двох сил $F = F_A + F_{\text{дин.с}}$, саме ця сила визначає дію швидкості V на силу контактного натиснення F_k струмоприймача на контактний дріт. Основні дані струмоприймачів приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Класифікація струмоприймачів

	1-ступінчаті				2-ступінчаті			
	Рід струму	Тип струмопр.	Приведена маса, кг	F_{cm}	Рід струму	Тип струмопр.	Приведена маса, кг	F_{cm}
1-ричажні	~	АМ-11	32,5	65-75	~	АМДЕ		
	~	SBS81	19,5	90	~	ТП-250		120
2-ричажні	~	Л-13У	33,5	60-90				
4-ричажні	~	ДБS54	24,5	64-72	—	ТС-1М	24,5	80-120
	~	PS-100A	14,5	55	—	СП-6М	24,5	80-120
	—	52 FS	25	70-90				
	—	ПЗ	44,5	80-120				
	—	T5	46,0	100-130				
	—	10PP	43,0	80-120				

1.2 Аналіз конструкцій високошвидкісних контактних підвісок

Головними характеристиками системи струмоприймач-контактна підвіска є еластичність контактної підвіски η , її приведена маса m_0 , та приведена маса струмоприймача m_0 , які визначаються силами натискання ΔF_k .

Еластичність контактної підвіски η змінюється по довжині прольоту. В середині прольоту її значення η_c відрізняється від значення у опори η_0 . Якість підвіски визначають безрозмірні коефіцієнт мінливості еластичності в прольоті $v_{вл}$ і коефіцієнт зміни еластичності контактної підвіски α :

$$v_{вл} = \frac{\eta_c}{\eta_0} \quad (1.5)$$

$$\alpha = 1 - \frac{\eta_0}{\eta_c} \quad (1.6)$$

Приведена маса контактної підвіски m_0 являє собою умовну масу, зосереджену в точці контакту струмоприймача з проводом, яка переміщається

разом з струмоприймачем і має таку ж вертикальну швидкість, як і контактний провід. Кінетична енергія цієї маси дорівнює енергії реальної підвіски у всьому прольоті.

Нижче буде використана формула, рекомендована в роботі, яка в системі СІ буде

$$m_0 = 0,055 \sqrt{q_k l \left(1 - \frac{\alpha}{2,5}\right) \frac{(F_0 + F_y)}{g}} \quad (1.7)$$

де q_k - маса одного погонного метра контактної дроту, кг/м; сили F_0 та F_y вимірюються в Н; g - прискорення вільного падіння, м/с.

Якість струмознімання оцінюють по багатьом параметрам, нижче буде використовуватися коефіцієнт відриву струмоприймача k_{om} :

$$k_{om} = \frac{\Sigma t_{om}}{t} 100\% \quad (1.8)$$

де Σt_{om} – сумарна тривалість порушення механічного контакту, с; t – час проходження струмоприймачем даної ділянки контактної мережі, с. У випадку використання кращих струмоприймачів та контактних підвісок він не перевищує 1,5% для швидкостей руху 170...180 км/год, його величина не повинна збільшуватися зі збільшенням швидкості електропоїзда.

Приведена маса m_0 не постійна по прольоту, вона залежить від еластичності підвіски η , тому зазвичай використовують її середнє значення. Використовуються кілька моделей системи СК, через σ це застосовують кілька типів розрахункових формул, щоб визначити величину m_0 .

Одним з критеріїв для оцінки якості контактної щільності натиснення струмоприймача на контактний дріт розглядають швидкість розповсюдження коливань вздовж підвіски, ця швидкість називається швидкістю вертикальної хвилі u_ϕ , м/с. Розповсюдження відбувається в гнучкому проводі, який має механічну напруженість σ Н/м² і щільність матеріалу ρ_0 . Напруженість створюється силою натиснення контактної дроту $K_0 = S\sigma$, де S – площа поперечного перерізу дроту, м². При малих значеннях зміщення ψ вертикальна хвиля розглядається як біжуча, яка описується диференціальним хвильовим рівнянням :

$$\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\sigma}{\rho} \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} \quad (1.9)$$

Його загальне рішення має вигляд:

$$\psi = \int (x \pm u_{\phi} t) \quad (1.10)$$

При цьому фазова швидкість хвилі рівна:

$$U_{\phi} = \sqrt{\frac{K_0}{P_s}} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (1.11)$$

Мала амплітуда коливань підвіски, яка взаємодіє з рухомих струмоприймачем, забезпечується при коефіцієнті мінливості еластичності $u_{\text{вл}} \approx 1,0 \dots 1,3$. Еластичність підвіски визначається за натягом несучого троса - T_n і контактного проводу. Так в разі застосування сили в середині прольоту, але під струною η_c вона дорівнює:

$$\eta_c = \frac{1}{4(T+K_0)} \quad (1.12)$$

Так як $\eta_c > \eta_0$, то вирівнювання еластичності по довжині прольоту досягається шляхом зменшення η_c , для чого необхідні великі натяги контактний проводу та несучого троса. З наближенням швидкості струмоприймача V до швидкості поширення поперечної хвилі в контактному проводі u віджимання контактний проводу значно зростає. Якісне струмознімання можливий, якщо віджимання контактний проводу не перевищує граничних значень 150...200 мм.

Таким чином, збільшення натягу контактний проводу сприяє, як вирівнюванню еластичності, так і збільшення u , та конструктивної швидкості підвіски. На сучасних високошвидкісних лініях швидкість руху струмоприймача не перевищує приблизно 70% від швидкості хвилі. Відповідні дані наведені таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Швидкість руху ЕРС і швидкість розповсюдження хвилі для різних залізничних ліній

Лінії залізниць	Швидкість ЕРС V , км/год	Еластичність η мм/Н	Швидкість хвилі U_{ψ} , км/год	V/u_{ϕ}
Сінкасен	210 і 240	0,30	375	0,56 и 0,64
TGV Sud-Ost	270	0,70	412	0,655
TGV Atlantik	300	0,50	440	0,682
FS	250	0,35	380	0,658
DBAG Re250	250(280)	0,60	425	0,59(0,659)
RENFE AVE	270(300)	0,60	425	0,635(0,705)

Більш детальні характеристики підвісок, розрахованих на швидкості 200 км/год та більше, що використовуються в різних країнах світу з високошвидкісним рухом наведені в таблиці 1.3. В цій таблиці наведені такі характеристики як, натиснення несучого троса - T_n ; натиснення контактного проводу - K ; натиснення ресорного троса - T_p ; максимальна довжина прольоту - l ; стріла провисання контактного проводу в вільному стані (без дії на його струмоприймача) - f_{ce} .

Таблиця 1.3 - Характеристики високошвидкісних контактних підвісок

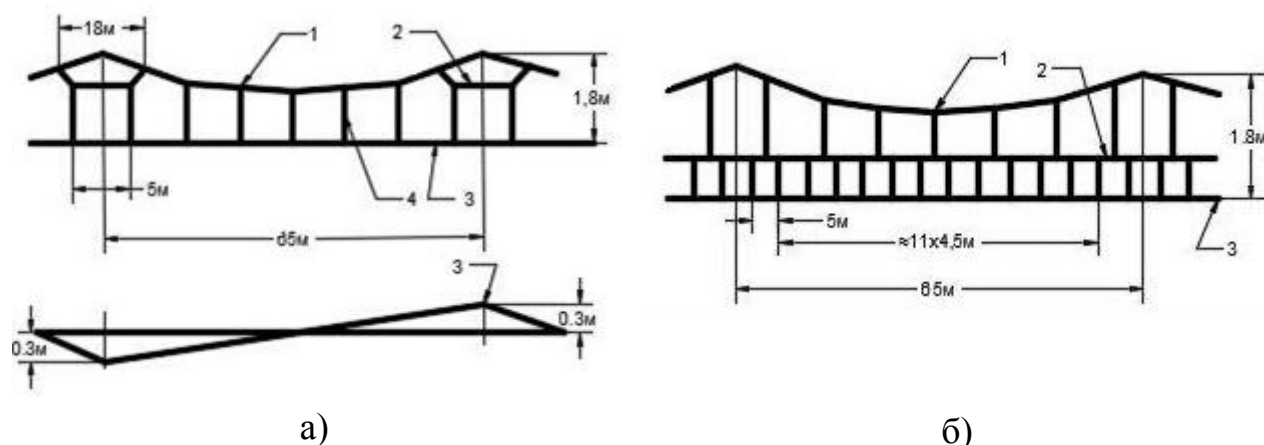
Країна	Система підвіски	η_c мм/Н	η_o мм/Н	$u_{ел}$	T_n , кН	K , кН	T_p , кН	l , м	f_{ce} мм	Рід струму
Франція	Одинарна ресорна	0,9	0,7	1,28	14	14	4	63	40	~ ~
Німеччина	Одинарна ресорна Re200	1,1	0,8	1,38	10	10	1,7 2,3	80	30-70	~
Німеччина	Одинарна ресорна Re250	0,54	0,44	1,23	19	15	3,5	65	0	~
Німеччина	Одинарна ресорна Re330-Y	0,36			21	27	3,5	65		~
Японія	Подвійна	0,33	0,22	1.5	25	15	-	50	0	~
Франція	Одинарна нересорна	0,21	0,1	2,1	25	2x20	-	54	54	—
Італія	Одинарна з пружними елементами	0,44	0,36	1,22	13,5	2x910	-	50	45	—
Польща	Одинарна з двома тросами	0,37	0,27	1,37	2x16	2x9,5	-	70	0	—
Росія	Одинарна ресорна КС-200	0,325	0,385	0,84	18	2x12	3,5	65	30-45	—

В Україні в основному застосовуються одинарні напівкомпенсована і компенсовані контактні підвіски. Найкращою серед вітчизняних підвісок є ланцюгова ресорна компенсована підвіска КС-200 (типу підвіски М-120 + 2МФ-120), розрахована на рух зі швидкістю до 200 км/год. Розташування

струмопровідних струн шахове, є прольоти з суміщеними струнами. Анкерування підвіски роздільне з барабанными компенсаторами і пристроєм гальмування при обриві проводів.

Високошвидкісні підвіски постійного струму мають два контактних проводи, що пов'язано з необхідністю підведення до електропоїзду великої (до 20 МВт) електричної потужності. Економічно, більш вигідною є передача такої потужності на лініях змінного струму.

Серед високошвидкісних підвісок змінного струму велике розповсюдження отримали німецькі підвіски серії Re. Підвіска Re250 дозволяє здійснювати рух високошвидкісного експресу ICE з одним струмоприймачем зі швидкістю 300 км/год, а з двома - 280 км/год. Для швидкостей руху понад 300 км/год фірми ABB, AEC і Siemens розробили підвіску Re330 (рисунок 1.1 а, б), яка розроблена в двох варіантах і може бути використана при швидкостях до 350 км/год.



1 - несучий трос; 2 - ресорний трос; 3 - контактний провід; 4 - струна
Рисунок 1.1 - Ланцюгова підвіска Re330: а) з ресорними струнами; б) з допоміжним несучим тросом

Підвіски Re250 і Re330 компенсовані, причому для контактного проводу та несучого тросу використані окремі компенсатори (рисунок 1.2).

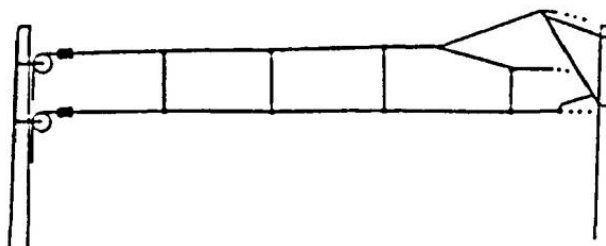


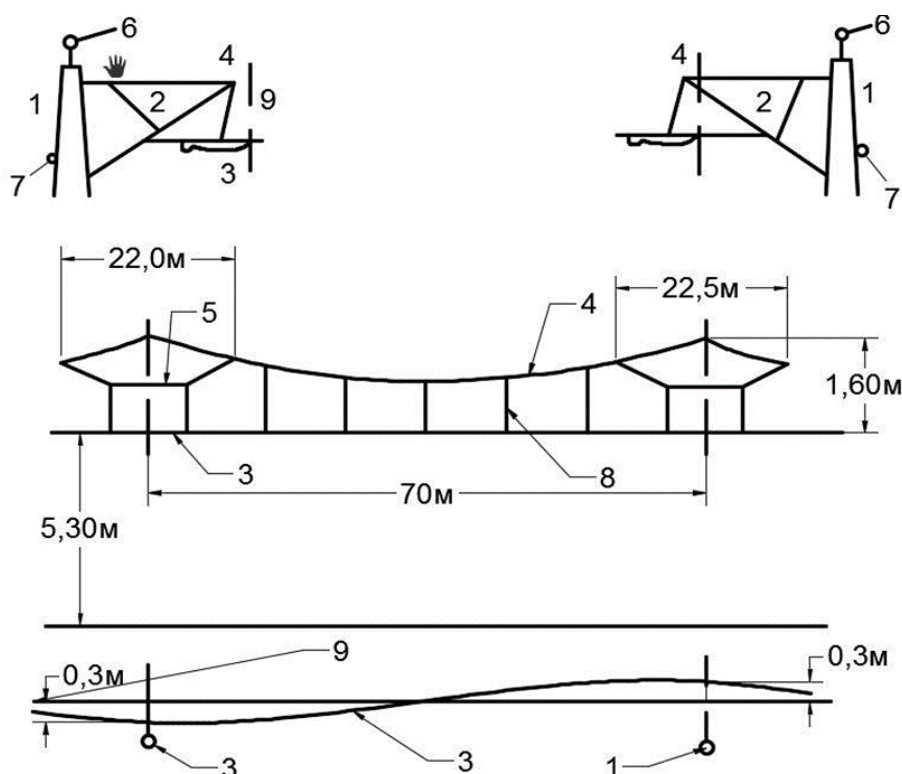
Рисунок 1.2 - Схема компенсації несучого тросу та контактного проводу контактної підвіски Re250

При формулюванні механічних вимог до даної підвіски зазначається наступне. Для Re330 діапазон сил натискання становить 50...250 Н при середньому значенні 150 Н, яке більше відповідного значення в 120 Н для Re250.

Тому для отримання однакових граничних значень віджатого контактного проводу, для підвісок Re330 і Re250 (граничні швидкості 400 км/год і 280 км/год відповідно) необхідно, щоб віджимання контактний проводу для підвіски Re330 було меншим в порівнянні з підвіскою Re250.

Моделювання роботи підвіски Re330 показало, що при швидкостях $V > 350$ км/год найменшу мінімальну еластичність і високою демпфуючу здатність має підвіска з допоміжним несучим тросом (подвійна ланцюгова підвіска). Такі підвіски застосовуються в Японії при швидкостях до 300...350 км/год, причому в декількох варіантах: з простими опорними струнами, ресорні, з демпферами в струнах та ін. Пружинно-повітряних демпфери в подвійних підвісках не тільки вирівнюють еластичності до значень $K_{ел} = 1.18$, а також значно збільшується декремент її коливань.

Підвіска SICAT (рисунок 1.3), розрахована для руху з одним струмоприймачем при швидкості поїзда до 400 км/год, є вдосконаленим варіантом підвіски Re330 і вперше була встановлена на ділянці Кельн-Франкфурт-на-Майні.



1 - залізобетонна опора; 2 - алюмінієва арматура для закріплення контактний проводу; 3 - контактний провід (мідь) перетином 120 мм², $G_k = 27$ кН; 4 - несучий трос (мідь) перетином 120 мм², $G_n = 21$ кН; 5 - ресорний трос (бронза) перетином 35 мм², $G_r = 3,5$ кН; 6 - алюмінієвий підсилюючий провід перетином 240 мм²; 7 - зворотний провід; 8 - вертикальні струни (бронза) перетином 10 мм²; 9 - вісь шляху.

Рисунок 1.3 - Підвіска SICAT

При використанні двох струмоприймачів з відстанню між ними не менше 200 м досягається максимальна швидкість поїзда в 330 км/год. На цій підвісці за

допомогою алюмінієвої арматури закріплений мідний контактний провід, несучі та ресорні троси є бронзовими. Натяг відповідно рівний 27,21 і 3,5 кН. Забезпечена сталість висоти над рівнем головок рейок 5,3м на довжині прольоту 70 м.

Високі конструкційні швидкості сучасних підвісок визначають вимоги до матеріалу, з якого виготовлений контактний провід. Для забезпечення швидкостей $V > 300$ км/год необхідні властивості мають дроти з мідно-магнієвих сплавів (марка RiM), міцність яких легко довести до 500 Н/мм^2 збільшенням вмісту Mg до 0,7%. При цьому робоча температура може досягати 385°C (гранична робоча температура мідного дроту залишається 180°C). До недоліків мідно-магнієвих сплавів відноситься їхня низька в порівнянні з міддю електропровідність ($39,5 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$). Мідно-магнієвий контактний провід використовується на високошвидкісних лініях Meditteranee (LN5, Франція), та Мадрид-Севілія (Іспанія).

Порівнявши характеристики підвісок різних типів можна зробити наступні висновки. Подвійні та складніші ланцюгові підвіски є найбільш пристосованими до високошвидкісного діапазону. Функціонування підвісок Re330 і SICAT показує, що в даний час застосування одинарних підвісок цілком виправдовує себе до швидкостей 350...400 км/год.

Основні характеристики контактних підвісок для високих швидкостей руху ЕРС наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Характеристика контактних підвісок для високих швидкостей руху ЕРС.

Контактна підвіска	V, км/год	L, м	Значення j_k , Н/м		Значення m_k , кг	
			Біля опори	В середині прольоту	Біля опори	В середині прольоту
3 одним контактним дротом		55	210	190		
		70	200	150		
3 двома контактними дротами		55	330	280		
		1Q	320	220		
3 одним контактним дротом	100	55			25...40	20...30
		70			25...35	25...30
	160	55			25...55	25...45
		70			30...45	25...35
3 двома контактними дротами	100	55			30...55	25...45
		70			30...45	30...40
	160	55			30...60	30...55
		70			40...55	30...45

1.3 Аналіз конструкцій струмоприймачів для високих швидкостей руху

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

- основа виконана у вигляді рами, яка встановлена на опорних ізоляторах;
- рухома система, що складається з легких рухливих рам, шарнірно з'єднаних між собою;
- верхній вузол, що представляє собою сукупність кареток і одного або двох полозів з контактними елементами;
- механізм підйому-опускання, що складається з системи важелів, пневматичного приводу, редукційного або електропневматичного клапана, пружин підйому і опускання.

Нормальна робота струмоприймача можлива за умови, якщо основні параметри перерахованих вище вузлів задовольняють наступним вимогам:

- висока механічна міцність, малі розміри основи корпусу, надійна ізоляція його від заземлених частин електровоза;
- мала приведена маса системи рухомих рам, достатня механічна міцність, мале тертя в шарнірних з'єднаннях рухомий системи і бічна стійкість її проти коливань і вібрацій;
- як найменша приведена маса і невелика «парусність» верхнього вузла і велика рухливість відносно верхньої петлі;
- проста конструкція механізму підйому і опускання, надійність його роботи, можливість дистанційного керування рухомою системою при будь-яких умовах роботи.

Основні вимоги, що пред'являються до конструкцій верхніх вузлів швидкісних струмоприймачів при взаємодії з контактними підвісками:

- 1) застосування контактних елементів, що забезпечують знімання значних струмів без нагріву матеріалу проводів 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 (в діапазоні робочих висот і при зміні напрямку руху електрорухомого складу) аеродинамічних підйомних сил полозів

струмоприймачів.

Конструктивно найбільш розповсюджені одно- і двоступінчасті струмоприймачі які поділяються на одноважільні (асиметричні), двоважільні і чотирьохважільні - по числу важелів на нижніх валах рухомих рам. З них високошвидкісними є двоступеневі і малогабаритні одноступінчасті струмоприймачі. Придатність до високошвидкісного діапазону визначається приведеною масою m_r таких систем, що обумовлює малу величину динамічної складової контактного натискання, сприяючи загальній стабілізації контакту. Високошвидкісні струмоприймачі відрізняються також строго визначеною аеродинамічною характеристикою, що дозволяє компенсувати негативні інерційні сили і наявністю демпферів. Найбільш часто демпфери встановлюють між підставою і нижніми рухливими рамами (як, наприклад, в італійському струмоприймачі 52FS), чим забезпечується плавність траєкторії верхньої петлі рухомих рам. Демпфери, встановлені між рухомими рамами і полозом (в німецькому струмоприймачі DBS 54) призначені для запобігання резонансних коливань в процесі струмознімання.

Високошвидкісні одноступінчасті струмоприймачі застосовуються для контактних мереж з практично постійною висотою підвісу контактного проводу. Двоступеневі струмоприймачі розроблені для електрифікованих доріг зі значним діапазоном зміни висоти підвісу контактного проводу. Приведена маса таких струмоприймачів практично залежить тільки від маси полоза і приведеної маси верхньої рухомої системи, як, наприклад, у струмоприймача ТСП-ІМ, на швидкісному поїзді ЕР-200. При формулюванні вимог до параметрів струмоприймача необхідно враховувати характеристики контактної підвіски. Приведена маса струмоприймача не повинна перевищувати 26 кг.

Струмоприймачі ТСП-ІМ і СП-6М мають дві рухливі системи. Маса верхньої рухомої системи ТСП-ІМ становить 9,5 кг, маса полоза 13,9 кг, полóz струмоприймача має значну ширину (440 мм) для його стійкості при високій швидкості руху.

В струмоприймачах які застосовуються на Японських залізницях є активне демпфування коливань за допомогою швидкодіючого гідравлічного приводу. Випробування на швидкостях до 350 км/год з номінальним натисканням 210 Н показали, що при вертикальних коливаннях з частотою 0,1...40 Гц динамічні зусилля на контакті з проводом знижені завдяки демпфуванню на 40%.

Основні параметри цих та деяких інших струмоприймачів наведені в таблиці 1.5.

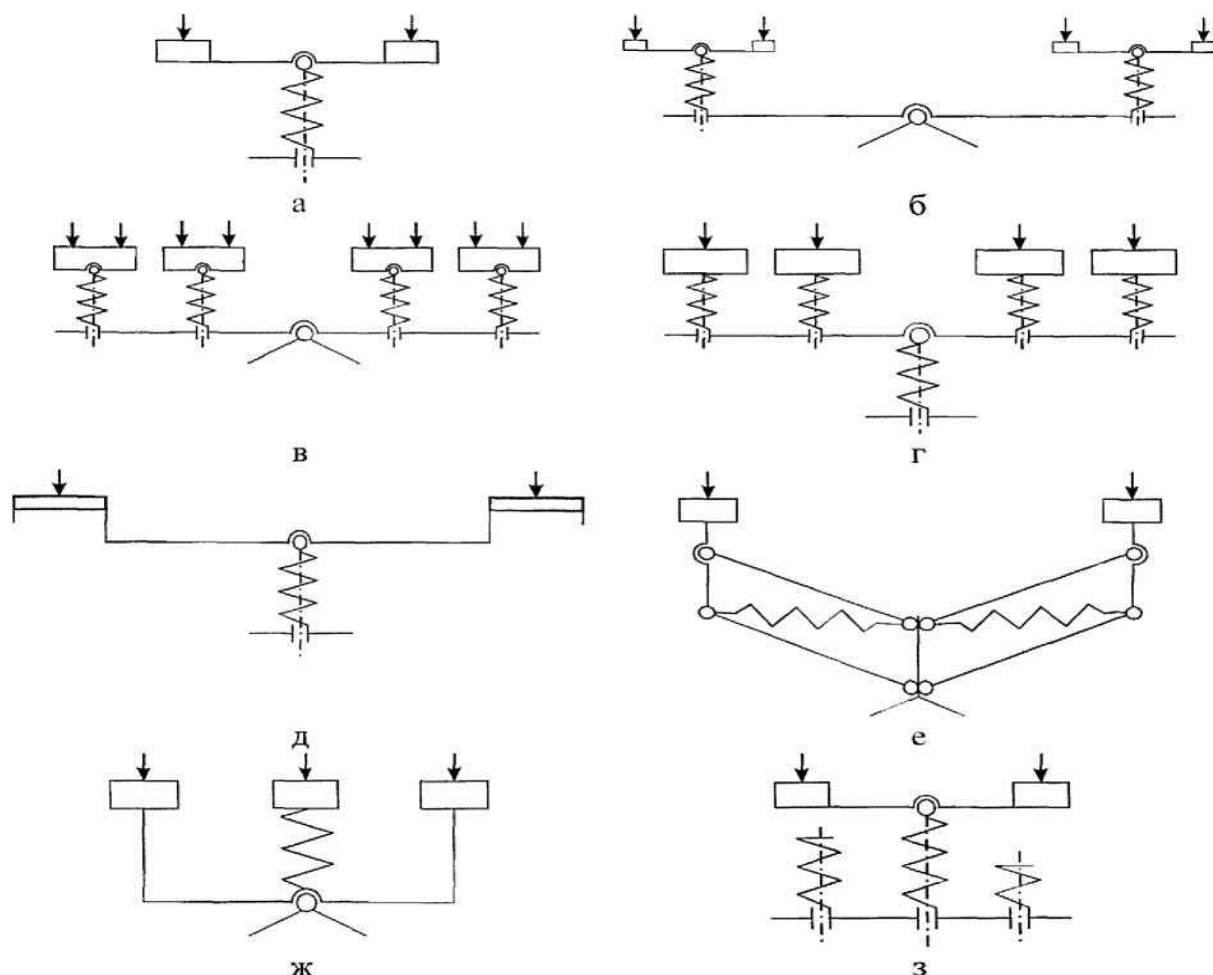
Таблиця 1.5 - Основні технічні характеристики струмоприймачів для високих швидкостей руху

Тип струмоприймача	Країна виробник	Статичне натиснення в робочому діапазоні висот полоза, Н	Подвійне тертя в шарнірах не більше, Н	Аеродинамічна підйомна сила, Н	Середня приведена маса струмоприймача, кг	Час опускання, с	Опускаюча сила, Н	Рід струму
ТСп-ІМ, СП-6М. (ЭР-200)	СССР	80...120	30	35*	24.5		210	
ЛМІ8И	Франція	50...90	4	63	32.5		180	~
АМ-ВР	Великобританія	80...90	3	20	-	-	-	—
PS-100F	Японія	55		II	14.5			—
ТІ 1-250 (Сокол)	Росія	120				2		—
DBS54	ФРГ	64...72	3.5	32*	24.5			—
10PP		80...120	25	80	43	5-7	60	—
DSA350SEK	Німеччина	100...120				1		—

*) - струмоприймач з аеродинамічним екраном.

В даний час розроблено велику кількість конструкцій верхніх вузлів струмоприймачів (рисунок 1.4), серед яких можна виділити наступні:

- мають вторинне підресорювання контактних елементів, що дозволяє вирівняти контактне натискання (розробки ОмГУПС - рисунок 1.4 б-г);
- з важільно-пружинними каретками, що дозволяють розділити роботу набігаючого і збігаючого рядів контактних елементів (розробка фірми Siemens- рисунок 1.4 е).
- з підресореним середнім рядом контактних елементів (розробка Бушевецького заводу рисунок 1.4 ж);
- з використанням кареток зі змінною жорсткістю, в яких використовуються листові пружини, що дозволяють виключити з конструкції каретки вузли тертя і спростити їх експлуатацію (розробка ВНІЖТа - рисунок 1.4 з). Такі каретки мають малу масу і нелінійну характеристику жорсткості, що має особливе значення при роботі струмоприймачів на швидкісних ділянках.



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 (ВНИЖТ)

Рисунок 1.4 - Конструкції верхніх вузлів струмоприймачів

Для розрахунку струмоприймача, що взаємодіє з контактної підвіскою часто застосовують еквівалентні схеми заміщення, що включають наведені маси полоза і рам струмоприймача, а також самої контактної підвіски, крім того вводяться узагальнені коефіцієнти жорсткості підйомних і опускають пружин і підвіски. Вводяться демпфуючі елементи і гасителі коливань. На рисунку 1.5 показані еквівалентні схеми не підресореного (рисунок. 1.5 а) і підресореного (рисунок. 1.5 б) струмоприймачів, що взаємодіють з контактною підвіскою.

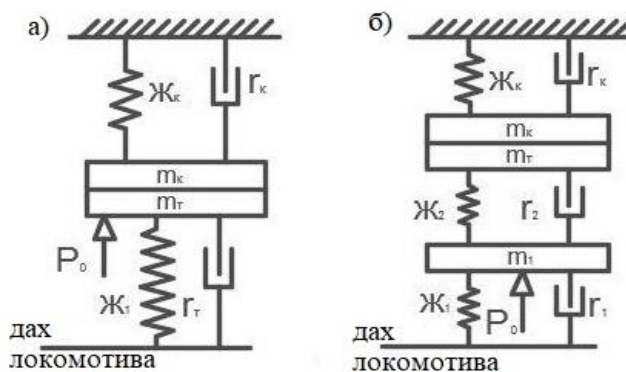


Рисунок 1.5 - Схема заміщення коливальної системи С-К: без врахування (а) та з врахуванням (б) підресореного полоза струмоприймача J_k

1.4 Аеродинамічні сили, що діють на струмоприймач та шляхи їх зменшення

Велике значення для сучасних високошвидкісних струмоприймачів має вплив аеродинамічної складової від зустрічного потоку повітря. При високих швидкостях руху ЕРС - 250 км/год зустрічний потік повітря помітно збільшує підйомну силу і силу лобового опору. При цьому змінюється за величиною і знаком контактне натискання струмоприймача і збуджує коливання контактної підвіски.

Тому при розробці високошвидкісних струмоприймачів прагнуть до усунення впливу аеродинамічного фактору.

Дослідження контактного натискання струмоприймачів ТСП-ІМ і СП-БМ показали, що для задовільного струмознімання при швидкостях 200 км/год доцільно зменшити аеродинамічну підйомну силу F_y до значень 70...80 Н при середньому статичному натисненні близько 100 Н.

Для досягнення необхідного значення F_y необхідно встановлювати спеціальний екран площею 170... 200 см² під кутом 45° до горизонталі під полозом струмоприймача, що зменшує підйомну силу на 18...25 Н.

В роботі [8] описаний струмоприймач із плоским щитком (екраном), який створює аеродинамічну силу, вирівнює натискання полоза на контактний провід. Величина сили задавалася інсталяційний кутом атаки щитка, знак сили був постійним, дія щитка пасивною. Досліди показали низьку ефективність таких щитків, що обумовлювалося багатьма причинами: через нелінійну залежність аеродинамічної сили від висоти підйому над кришою електровоза, високу турбулентність потоку над кришою електровоза, індивідуальність конструкції струмоприймача та ін.

Для компенсації аеродинамічної підйомної сили при швидкостях руху до 160 км/год і різних напрямках руху розроблено пристрій, який складається з двох плоских екранів, з'єднаних важільними зв'язками за допомогою яких екрани займають необхідне положення по відношенню до повітряного потоку. Встановлено, що для забезпечення якісного струмознімання при швидкостях 120... 180 км/год доцільно збільшення аеродинамічної підйомної сили з 20 до 60...70 Н, а при швидкостях більших 180 км/год вона повинна залишатися постійною 80...100 Н. В якості додаткового аеродинамічного пристрою рекомендовано використовувати екран зі змінною геометрією. Для регулювання сили контактного натискання рекомендується використовувати аеродинамічний козирок з можливістю регулювання кута установки, але такий пристрій так і не був реалізований на практиці.

Повна аеродинамічна сила F_A позначається в (1.1) розкладається на складові

в швидкісній системі координат: підйомну силу F_y , силу лобового опору F_x , бокову силу F_z .

$$F_x = C_x \frac{\rho V_\infty^2}{2} S_x \quad (1.13)$$

$$F_y = C_y \frac{\rho V_\infty^2}{2} S_y \quad (1.14)$$

$$F_z = C_z \frac{\rho V_\infty^2}{2} S_z \quad (1.15)$$

де S_x, S_y, S_z - площа Міддевого перетину обтічного тіла (полоза і рам струмоприймача), перпендикулярні координатним осях m^2 ; C_x, C_y, C_z - аеродинамічні коефіцієнти (безрозмірні), величина і знак яких залежить від форм тіла і кута атаки; ρ - щільність повітря, kg/m^3 .

Визначення складових аеродинамічної сили зводиться до знаходження коефіцієнтів C_x, C_y, C_z , які через складність форми конструкції струмоприймача знаходяться експериментально.

Велике зростання швидкостей руху сучасних ЕРС привело до необхідності удосконалення аеродинамічних характеристик струмоприймачів з метою стабілізації контактного натискання і скорочення витрат електроенергії за рахунок зниження потужності на подолання лобового опору даної конструкції.

Аналіз численних експериментів, проведених за кордоном показав, що напрямок потоку повітря в зоні струмоприймача залежить від його відстані до лобової стінки локомотива.

Силу аеродинамічного впливу на струмоприймач F_A складають сили, що діють на полоз і на рухомі рами, причому перша дорівнює $0,8 F_A$, а друга $0,2 F_A$.

Результати випробувань залежності аеродинамічних коефіцієнтів C_x і C_y полозів різних струмоприймачів від кута атаки а графічно представлені на рисунку 1.6, 1.7. З представлених кривих видно, що полоз струмоприймача є погано обтічним тілом (про що свідчать великі значення C_x, C_y крім струмоприймачів старих конструкцій ДЖ-5 і П-1), а аеродинамічні сили у великій мірі залежать від кута атаки α , який не є постійною величиною.

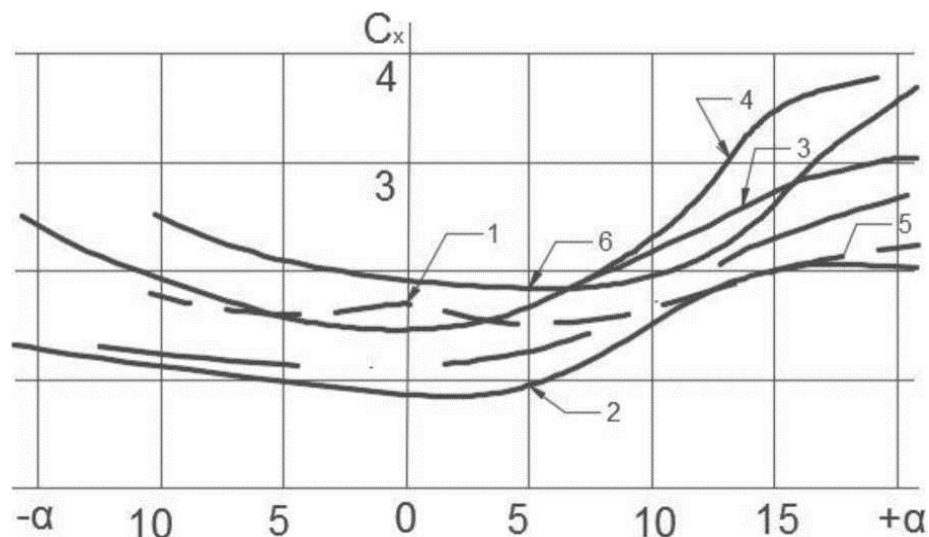


Рисунок 1.6- Залежності коефіцієнта лобового опору C_x від кута атаки α для струмоприймачів: 1 - ДЖ-5, 2 - П-1; 3 - П-3Т; 4 - 9РР; 5 - М-7; 6 - П-80

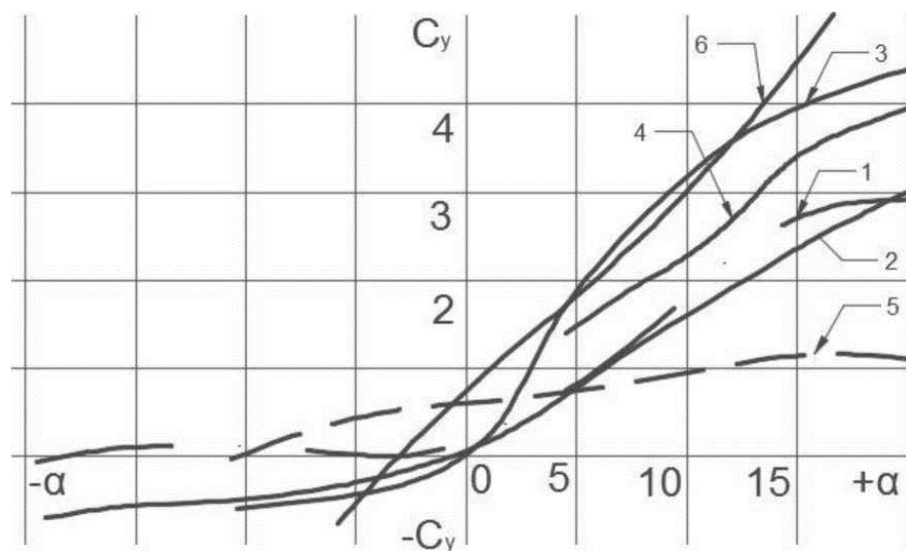


Рисунок 1.7 - Залежності коефіцієнта підйомної сили C_y від кута атаки α для струмоприймачів: 1 - ДЖ-5, 2 - П-1; 3 - П-3Т; 4 - 9РР; 5 - М-7; 6 - П-80

Зміна кута атаки α пов'язано зі зміною напрямку вітру, коливанням кареток та ін. Таким чином при великих швидкостях руху $P > 50$ м/с аеродинамічні сили F_x , F_y , залишаючись непостійними за величиною і по знаку, та можуть змінюватися в дуже широких межах. В літературі відзначається, що аеродинамічний вплив на робочий струмоприймач зустрічного повітряного потоку при максимальній швидкості руху не повинно викликати збільшення контактного натиснення в порівняння з середнім статичним більш ніж в 1,8 рази і що необхідно, щоб аеродинамічний коефіцієнт підйомної сили C_y положів при малих кутах атаки α не перевищував 0,2 для струмоприймача з одним положом та 0,5 - для струмоприймача з двома положами.

Контактне натискання при швидкостях 120, 140, 160 км/год зі збільшенням аеродинамічної вертикальної сили від 20 до 100 Н зростає в 2 і більше разів в

порівнянні зі статичним. При швидкості 160 км/год в середній частині прольоту воно коливається від 0 до 180 Н, при аеродинамічній силі, що становить 20 Н. Збільшення підйомної сили до 60 Н усуває відрив і створює мінімальне натиснення 40 Н. На початку і кінці прольоту контактне натискання збільшується до 300...350 Н. Експериментальні дані, показали, що при швидкості до 200 км/год аеродинамічна підйомна сила повинна знаходитися в межах 5...10 кг.

На ЕРС України в основному застосовуються струмоприймачі з коробчастим полоз. Аеродинамічні характеристики такого струмоприймача далекі від тих вимог, які необхідні для експлуатації на високих швидкостях руху. Такий струмоприймач може успішно функціонувати при малих швидкостях руху, але перехід до високих швидкостей вимагає вдосконалення аеродинамічних характеристик всіх його елементів: полоза, рухливих рам, а також поліпшення аеродинамічних форм даху електровоза в зоні струмоприймача.

У практичній аеродинаміці розроблені профілі, для крил і оперення літаків, що характеризуються великими значеннями C_y і малими C_x , які забезпечують більшу підйомну силу при малій силі лобового опору. Також розроблено і застосовується «розрізне крило», що включає рухливі елементи: предкрилок, закрилок, елерон, щиток та ін., які суттєво змінюють геометрію профілю і тим самим величину, і напрямок підйомної сили.

Доцільно розглядати аеродинамічний профіль струмоприймача для високих швидкостей руху з елементами які відхиляються для забезпечення активного регулювання контактного натискання.

Профіль з елементами що відхиляються здатний, на відміну від згаданих вище екранів і щитків, активно впливати на струмоприймач, забезпечуючи практично постійне контактне натискання F_K при змінних складових, що фігурують у натуральному вираженні (1.1).

Для струмоприймача, в конструкцію якого включено аеродинамічний профіль рівняння (1.1) має вигляд:

$$F_k = F_0 + F_A \pm P_A - F_{\text{дин.с}} \pm F_{\text{тр.с}} \quad (1.16)$$

де F_A - повна аеродинамічна сила, яка діє на полоз і підйомні рами струмоприймача, Н; P_A - аеродинамічна сила, що діє на профіль, Н. Інші величини мають те ж саме значення що й і в виразі (1.1).

Якщо величина F_A має для даного типу струмоприймача постійне по знаку значення, то величина P_A може бути як з позитивним так і з негативним знаком попереду.

Основні аеродинамічні характеристики профілів з предкрилком і закрилком

приведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Аеродинамічні характеристики механізованих профілів з предкрилком та закрилком

Тип механізації	Профіль	опт	$C_{y\max}$	$C_{x\max}$
Немеханізоване крило				
Звичайна закрилка		40...50°	0...0,8	0,10...0,12
Однощільний закрилок		35...40°	0,8...1,1	0,10...0,13
Двощільний закрилок		30...55°	1,3...1,5	0,20...0,25
Висувний щільний закрилок		30°	1,5...1,7	0,1
Висувний щільний закрилок		15 і 30°	2,0...2,2	0,15...0,16
Предкрилок		25.30°	0,6...0,9	0

В таблиці: опт-оптимальні кути відхилення механізації; $C_{y\max}$ - приріст коефіцієнта максимальної підйомної сили; $C_{x\max}$ - приріст коефіцієнта опору від механізації при опт.

1.5 Підвищення надійності струмознімання при високих швидкостях

Збереження контактуючих елементів системи струмоприймач-контактна підвіска є важливим завданням для високих швидкостей руху поїздів. Слід зазначити досить велику частоту випадків зіткнення струмоприймача з дефектами контактної підвіски. До таких дефектів можна віднести висячу струну, фіксатор, або сторонній предмет, який висить на контактному проводі та ін. До найбільш важких наслідків призводять зіткнення полоза струмоприймача електровоза, який рухається з великою швидкістю з висячим на контактному проводі фіксатором, що мають значну масу. При таких зіткненнях відбувається спершу поломка струмоприймача, яка потім може увійти в зачеплення з контактним проводом і викликати руйнування великої ділянки контактної

підвіски. Така ситуація є серйозною транспортною пригодою, яка може викликати затримку в русі поїздів на значний час.

Виникає завдання автоматичного виявлення дефекту контактної мережі за час не менший ніж за 1 с до зіткнення з струмоприймачем. При високих швидкостях руху ЕРС виявити такий дефект необхідно за 60... 70 м.

З огляду на швидке загасання акустичних і ультразвукових хвиль в повітрі застосування ультразвукових локаторів є неможливим. Застосування локаторів, що використовують, електромагнітні хвилі УКХ діапазону дуже ускладнено тим, що поблизу залізничного полотна є велика кількість металевих предметів, які володіють високою відбиваючою властивістю електромагнітних хвиль. До них відносяться елементи контактної мережі (контактний провід, опори, консолі та ін.), а також сторонні предмети (зустрічні потяги, мости, шляхопроводи та ін.).

Сигнали, відбиті від всіх цих предметів слід розглядати як «шум», на тлі яких необхідно виділити сигнал відбитий від дефекту контактної підвіски. Прийом такого відбитого сигналу від дефекту контактної підвіски повинен задіяти виконавчий механізм, який забезпечить опускання струмоприймачів ЕРС, а в екстрених ситуаціях зняття повздовжньої жорсткості з першого робочого струмоприймача, а також сигналізувати про це машиністові. Спрацьовування виконавчого механізму повинно бути за час не більший ніж 1 с.

В даний час при розробці високошвидкісних струмоприймачів велика увага приділяється питанням надійності. Розробляються запобіжні пристрої, призначені для запобігання серйозних поломок струмоприймачів, контактної мережі при ударі полоза по деталям підвіски, що знаходяться поза габаритом. Так, в німецькому струмоприймачі RBS-58 використовується спеціальна синхронізуюча тяга - антипаралелограм, яка руйнується при ударі полоза об перешкоду і струмоприймач опускається.

Іншим шляхом рішення проблеми є закріплення стрижнів нижніх рухомих рам на головних валах штифтами-запобіжниками (струмоприймач 2SLS-1). При ударі штифти зрізаються і рами відкидаються в напрямку, протилежному руху струмоприймача, складаючись під дією власної ваги. Струмоприймач DSA350SEK обладнаний пневматичним пристроєм аварійного опускання, що діє при надходженні сигналу з датчику тиску повітря, який змонтований у каналі вугільної вставки полоза. Описаний пристрій аварійного опускання струмоприймача не володіє достатньою швидкістю, що ускладнює його використання при високих швидкостях руху.

Разом з тим, ряд поширених на українських залізницях струмоприймачів, таких як 10PP і 17PP не мають навіть таких запобіжних пристроїв, що унеможлиблює експлуатації таких моделей струмоприймачів на високошвидкісному рухомому складі.

1.6 Висновки по розділу

Провівши аналіз робіт з модернізації, та підготовки струмоприймачів до експлуатації з високими швидкостями руху було визначено основні вимоги до струмознімання. Основною вимогою до струмоприймача є забезпечення стабільного контактного натиску у всьому діапазоні швидкостей по всій довжині прольоту контактної мережі, а також забезпечення високої навантажувальної здатності, та надійності роботи.

Основним фактором який впливає на контактне натиснення при високих швидкостях руху є аеродинамічна сила, яка створює лобовий опір та збільшує статичне натиснення струмоприймача на контактний дріт. Ця сила повинна бути в межах 70...80 Н при середньому значенні статичного натиснення 100 Н. Допускається збільшення контактного натиску в 1,8 рази але не більше.

Для вирішення цієї проблеми розробляються спеціальні конструкції струмоприймачів, спеціальні щити та ін., але вони є мало ефективними, тому що аеродинамічний вплив є не постійним за інтенсивністю і знаком дії, а змінюється з часом. Тому потрібно розробити таку конструкцію яка б відслідковувала зміну аеродинамічної складової і нівелювала її, підтримуючи статичний натиск струмоприймача в заданому допустимому діапазоні значень.

Проаналізувавши основні характеристики контактних підвісок можна зробити висновок, що головними параметрами є її еластичність та приведена маса. Одним з факторів оцінки якості струмознімання є швидкість розповсюдження хвилі в контактному дроті. Зазвичай швидкість потяга складає 70% від швидкості хвилі, якщо швидкості будуть співпадати то зросте величина віджимання контактного дроту.

Вимоги також висуваються до конструкції контактної мережі, яких є велика кількість і всі вони розроблені для підтримання рівня провисання дроту на одному рівні, зменшенні коливань, що передаються від рухомого складу через полоз струмоприймача. Зі збільшенням швидкості руху контактний дріт повинен володіти доволі великою міцністю, зносостійкістю, та температурою плавлення (для передачі великих тягових потужностей). Для цього використовують мідно-магнієві дроти, але вони мають низьку електропровідність, або армовані дроти з мідною зовнішньою оболонкою (німецька контактна підвіска SICAT).

Сучасними підвісками, які використовуються в Європі для швидкостей руху 250-330 км/год є Re250, Re330, SICAT, та ін. Найкращою вітчизняною підвіскою є КС-200, розрахована для руху зі швидкістю до 200 км/год. В Україні конструкція контактних підвісок та струмоприймачів зовсім не придатна до високошвидкісного руху і потребую, або розроблення нових моделей, або модернізації існуючих.

2. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СТРУМОПРИЙМАЧА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Пристрій дистанційного виявлення дефектів контактної підвіски

Для надійної та безпечної експлуатації високошвидкісного електрорухомого складу важливим завданням є забезпечення безпечної експлуатації струмоприймача, прийняття заходів для зменшення ризику виходу з ладу цього важливого вузла ЕРС. Найважчим для струмоприймача є його зіткнення з дефектом контактної підвіски. Така ситуація є аварійною. Щоб запобігти злому струмоприймача в таких ситуаціях, а також для збереження в робочому стані, як контактної підвіски, так і обладнання швидкісного електропоїзда, необхідно виявляти такі дефекти і прийняти заходи для уникнення зіткнення з ними полоза струмоприймача (аварійно, швидко опустити струмоприймач). При високих швидкостях руху ЕРС ця проблема є особливо важливою, так як зіткнення навіть з невеликими дефектами може призвести до серйозних руйнувань струмоприймача і контактної мережі, що може спричинити значні затримки руху поїздів по перегону. Дефектом можна вважати будь-який предмет, що викликає ударну дію на струмоприймач, наприклад, обірваний фіксатор, який висить на контактному проводі.

Складність дистанційного виявлення дефекту контактної підвіски полягає в тому, що він повинен бути виявлений серед великої кількості предметів, які володіють високою відбивною здатністю короткохвильових електромагнітних хвиль. До них відносяться: опори і несучі конструкції контактної мережі, контактний провід та ін. Локатор не повинен реагувати на об'єкти, що знаходяться не на колії (наприклад, на поїзди які знаходяться на сусідніх коліях, або на зустрічні поїзди в кривих та ін.).

Далі для розгляду буде прийнято, що швидкість руху ЕРС становить $V = 210 \dots 250$ км/год ($60 \dots 70$ м/с), а дефект має характерний розмір не менше $d \sim 3$ см і повинен бути автоматично зареєстрований за час не менший ніж $t = 1$ с до зіткнення зі струмоприймачем. За цей час виконавчий механізм повинен негайно роз'єднати елементи конструкції, що створюють поздовжню жорсткість першого робочого струмоприймача і забезпечити його аварійне опускання, а також здійснити опускання інших струмоприймачів та сигналізувати про це машиністу.

Менша швидкість руху ЕРС, велика відбивна поверхня дефекту та інші сприятливі фактори будуть ставитися в «запас» у порівнянні з наведеними розрахунковими параметрами пристрою, що розглядається як базовий варіант.

Для дистанційної реєстрації дефектів контактної підвіски пропонується використовувати радіолокатор ультракоротких хвиль діапазону з робочою частотою $\nu \sim 10^{10}$ Гц при яких довжина електромагнітних хвиль становить $\lambda \sim$

10-3 м, цей діапазон міліметрових хвиль добре освоєний радіолокаційною технікою. Хвилі таких частот збуджуються малогабаритними випромінювачами і мають малий коефіцієнт поглинання в повітрі, що дозволяє застосовувати локатор на відстані в 100...150 м. Зі зменшенням довжини хвилі, зростає ефективність відбиття хвиль від невеликих предметів. Якщо між розмірами дефекту d і довжиною хвилі λ виконується співвідношення $d / \lambda \sim 10^1 \dots 10^2$, то для радіо променю виконуються закони геометричної оптики.

В даному локаторі приймач відбитого сигналу пропонує виконати за схемою інтерферометра Брауна-Твісса, що застосовується в радіоастрономії, так як цей пристрій стійкий до шумів Його принцип заснований на порівнянні різниці фаз низько-частотних варіацій інтенсивності сигналів вимірюваних двома рознесеними на відстані L приймачами.

Нехай два приймача P_1 та P_2 розташовані симетрично відносно осі x на відстані один від одного L , як показано на рисунку 2.1.

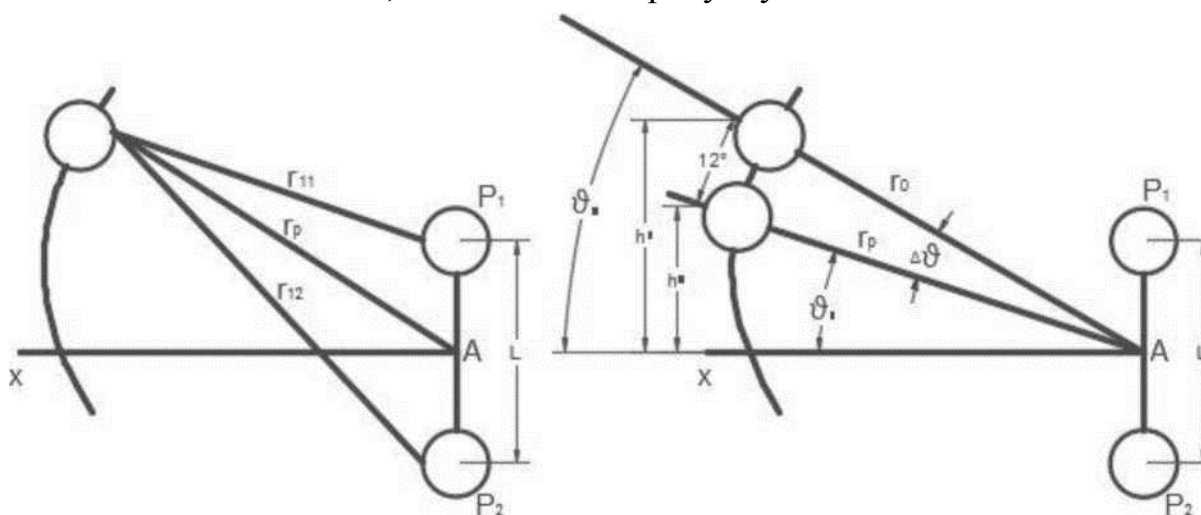


Рисунок 2.1 - Для розрахунку пристрою дистанційного виявлення дефекту контактної підвіски

На відстані r_0 від точки A знаходиться джерело хвиль з амплітудою сигналу ξ_0 , яка дає випромінювання з частотою ω_1 та довжиною хвилі $\lambda_1 = 2\pi c / \omega_1$. Рівняння плоскої хвилі має вигляд:

$$\xi(t) = \xi_0 \cos(\omega_0 t - k_1 r) = \xi_0 \cos \omega_1 \left(t - \frac{r}{c}\right) \quad (2.1)$$

де r - відстань, яку проходить хвиля, м; $k = 2\pi / \lambda_1$ - хвильове число м^{-1} , $c = 3 \cdot 10^8$ м/с² - швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі.

Хвиля реєструється обома приймачами. Сумарний сигнал, при складанні двох сигналів від приймачів, що знаходять відповідно на відстані r_{11} та r_{12} від точкового джерела S_1 , має вигляд:

$$\begin{aligned}\xi_1 &= \xi_0 \cos \omega_1 \left(t - \frac{r_{11}}{c} \right) + \xi_0 \cos \omega_1 \left(t - \frac{r_{12}}{c} \right) = \\ &= 2\xi_0 \cos \left[\omega_1 \frac{r_{12}-r_{11}}{2c} \right] \cdot \cos \left[\omega_1 \frac{r_{12}+r_{11}}{2c} \right]\end{aligned}\quad (2.2)$$

З рисунку 2.1 видно, що при $r_0 \ll L$:

$$r_{11} = r_0 - \frac{L}{2} \sin \sigma_1, r_{12} = r_0 + \frac{L}{2} \sin \sigma_1 \quad (2.3)$$

Підставивши рівняння (2.1.2) в (2.1.1) та враховуючи, що $\lambda_1 v_1 = c$ і $\omega_1 = 2\pi v_1$ отримаємо:

$$\xi_1 = 2\xi_0 \cos \left[\frac{\pi L}{\lambda_1} \cdot \sin \sigma_1 \right] \cdot \cos \omega_1 \left(t - \frac{r_0}{c} \right) \quad (2.4)$$

Цей сигнал зображено на рисунку 2.2 як функцію $\sin \sigma_1$. Сигнал буде максимальним $\xi_1 = 2\xi_0$ при $\sin \sigma_1 = \lambda_1 n / L$ ($n=1,2,3,\dots$ - ціле число).

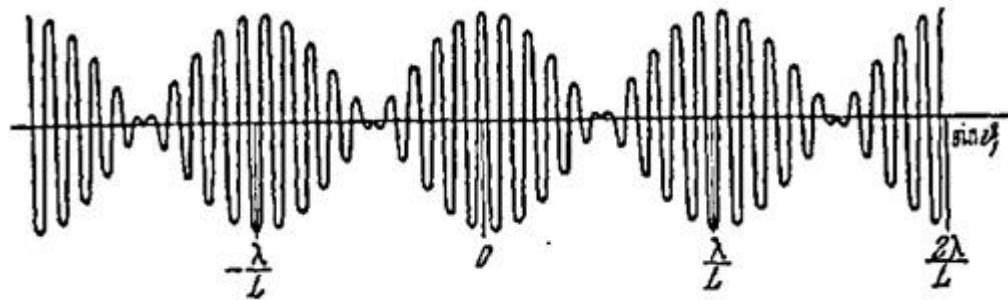


Рисунок 2.2 – Результуючий сигнал від точкового джерела електромагнітних хвиль, який реєструється двома рознесеними на відстані L приймачами

Нехай на малій відстані L від джерела S_1 знаходиться інше джерело хвиль S_2 з тою самою амплітудою ξ_0 але з іншою частотою $\omega_2 \neq \omega_1$ випромінювання. Рівняння другої хвилі має вигляд:

$$\xi(t) = \xi_0 \cos(\omega_2 t - k_2 r) = \xi_0 \cos \omega_2 \left(t - \frac{r}{c} \right)$$

Джерело S_2 знаходиться на тій же самій відстані r_0 від точки A , но пряма $S_2 A$ створює кут σ_2 з віссю x , як показано на рисунку 2.1 б.

Складаючи сигнали приймачів P_1 та P_2 , які реєструють друге джерело, отримуємо рівняння, аналогічне (2.3):

$$\xi_1 = 2\xi_0 \cos \left[\frac{\pi L}{\lambda_1} \cdot \sin \sigma_1 \right] \cdot \cos \omega_2 \left(t - \frac{r_0}{c} \right) \quad (2.4)$$

Так як в нашому випадку одночасно випромінюють хвилі обидва джерела то їх випромінювання реєструються двома приймачами. Сума сигналів що приймаються рівна:

$$\xi_1 = 2\xi_2 \cos \left\{ \left(\frac{\pi L}{\lambda_1} \cdot \sin \sigma_1 \right) \cdot \cos \omega_1 \left(t - \frac{r_0}{c} \right) + \left(\frac{\pi L}{\lambda_2} \cdot \sin \sigma_2 \right) \cdot \cos \omega_2 \left(t - \frac{r_0}{c} \right) \right\} \quad (2.5)$$

Припустимо, що частоти ω_1 і ω_2 є близькими за значенням але такі що їх пів різниця набагато менша пів суми:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}; \quad \omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}; \quad (2.6)$$

Запишемо також півсуму і піврізницю кутів і середню довжину хвилі:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}; \quad \Delta\sigma = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad \lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \approx \frac{2\pi c}{\omega} \quad (2.7)$$

При цьому: $\omega_1 = \omega + \Delta\omega$; $\omega_2 = \omega - \Delta\omega$; $\sigma_1 = \sigma + \Delta\sigma$; $\sigma_2 = \sigma - \Delta\sigma$;

Тоді (2.5) можна записати у вигляді:

$$\xi_1 = 2\xi_0 \left\{ \cos \left[\frac{\pi L}{\lambda} \cdot \sin(\sigma + \Delta\sigma) \right] \cdot \cos \left[(\omega + \Delta\omega) \left(t - \frac{r_0}{c} \right) \right] + \cos \left[\frac{\pi L}{\lambda} \cdot \sin(-\Delta\sigma) \right] \cdot \cos \left[(\omega - \Delta\omega) \left(t - \frac{r_0}{c} \right) \right] \right\} \quad (2.8)$$

$$\sin \sigma_1 - \sin \sigma_2 = \Delta\sigma \cos \sigma \quad (2.9)$$

Провівши тригонометричні перетворення з рівнянням (2.8) виконуючи відношення (2.9) отримаємо вирази які описують сигнал, який реєструється приймачами P_1 та P_2 при дії двох джерел радіохвиль S_1 та S_2 :

$$\xi_1 = \xi_0 \cos \left(\omega t - \frac{2\pi r_0}{\lambda} \right) \cos \left(\frac{\Delta\omega t}{2} - \frac{\pi L}{4\lambda} \cdot \Delta\sigma \cos \sigma \right), \quad (2.10)$$

$$\xi_2 = \xi_0 \cos \left(\omega_1 t - \frac{2\pi r_0}{\lambda} \right) \cos \left(\frac{\Delta\omega t}{2} - \frac{\pi L}{4\lambda} \cdot \Delta\sigma \cos \sigma \right), \quad (2.11)$$

Якщо буде виконуватись умова:

$$\Delta\sigma = \frac{\lambda}{L \cos \sigma} \quad (2.12)$$

то рівняння (2.10) та (2.11) приймуть вид

$$\xi_1 = \xi_0 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r_0}{\lambda}\right) \cos\left(\frac{\Delta\omega t}{2} - \frac{\pi}{4}\right), \quad (2.13)$$

$$\xi_2 = \xi_0 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r_0}{\lambda}\right) \cos\left(\frac{\Delta\omega t}{2} - \frac{\pi}{4}\right), \quad (2.14)$$

тобто фазовий зсув між сигналами буде $\pi/2$. За умови (2.12) сигнали від приймачів будуть мати зсув по фазі $\pi/2$.

Локаатор-інтерферометр з'єднується з контролером, який входить у склад бортової комп'ютерної системи електровоза, яка має пристрій логічного порівняння сигналів для реєстрації зсуву по фазі між ними. Контролер виконує запуск виконавчого пристрою аварійного опускання струмоприймача показаного на рисунку 2.2.1.

Для виявлення дефекту контактної підвіски пропонується встановити на електровозі два пристрої для посилення електромагнітних хвиль з двома парами параболічних антен A_1, B_1 та A_2, B_2 і два приймача P_1 та P_2 . Антени мають малий діаметр 8...10 см і повинні бути направлені під різними зустрічними кутами у до вісі x , яка співпадає по напрямку з колією: для антени A_1 і A_2 $y=2^\circ$, для антени B_1 та B_2 $y=6^\circ$.

При швидкості руху 200 км/год випромінювання відбувається через антени A_1 і A_2 , а при швидкостях менше 80 км/год через антени B_1 та B_2 . Приймач P_1 знаходиться під випромінювачем A_1 а приймач A_2 під випромінювачем B_2 як показано на рисунку 2.3. Відстань між блоками приймач-випромінювач складає $L=3$ м, і визначається габаритами електровоза.

Встановлення випромінюючих антен під зустрічними кутами y веде до утворення зони перекриття радіохвиль показаної на рисунку 2.3, її можна характеризувати двома розмірами D_1 і D_2 .

Ця зона повинна бути локалізована саме над полотном дороги, по якій рухається електровоз і мати певний розмір $D_1 \sim 2,5...3,5$ м, що визначається розміром залізничі шляху.

Випромінювач A_1 створює електромагнітні хвилі з частотою ω_1 , а випромінювач A_2 - з частотою ω_2 . Хвилі одночасно відбиваються від дефекту контактної підвіски тільки коли він є в зоні перекриття променів, що і реєструється локатором. Таким чином, здійснюється захист від сигналів, відбитих сторонніми предметами, які не є дефектами контактної підвіски. В області зони перекриття променів залишається контактний провід, сигнал, відбитий від нього також повинен бути виключений.

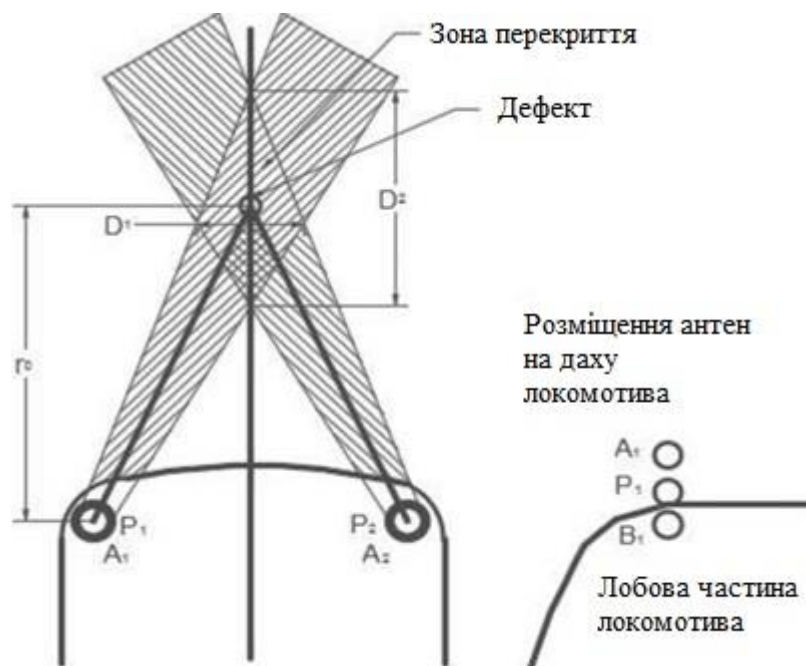
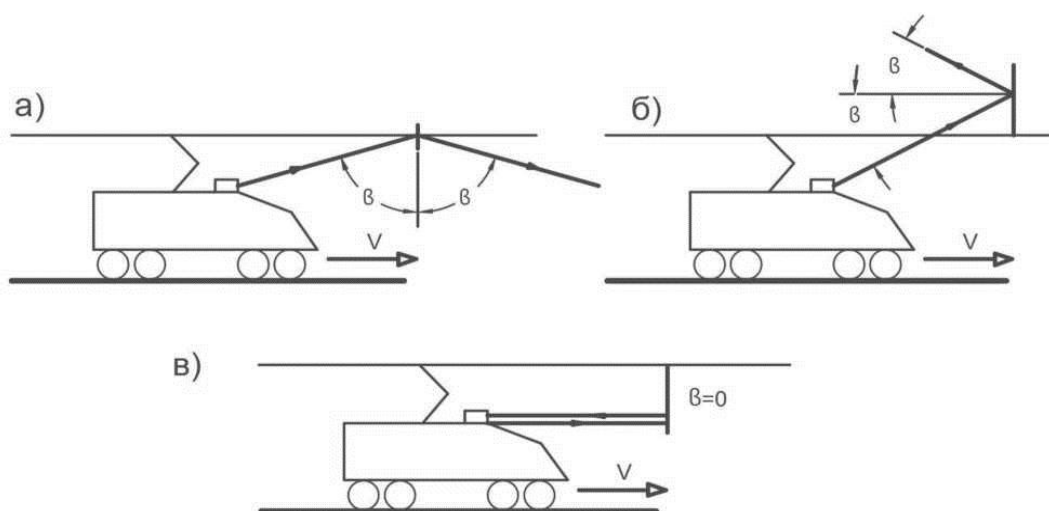


Рисунок 2.3 - Пристрій дистанційного виявлення дефектів контактної підвіски

На рисунку 2.4 а, б зображено хід променів падаючих на контактний провід, фіксатор в робочому стані і дефект контактної підвіски: фіксатор висячий на контактному проводі. Також зображено хід відбитих променів від цих об'єктів, який побудований на основі законів геометричної оптики.



а) від контактного дроту; б) від фіксатора в робочому положенні; в) від дефекту контактної підвіски (відірваного фіксатора)

Рисунок 2.4 - Схема відбиття променів від елементів контактної підвіски

З рисунку 2.4 а видно, що кут падіння променя на контактний провід близький до $\beta = 90^\circ$ і відбитий промінь на приймачі не потрапляють. Промінь, відбитий від фіксатора в робочому положенні рисунку 2.4б відбивається вгору, але може потрапити на приймачі, але при цьому його інтенсивність мала, так як фіксатор в більшій своїй частині знаходиться поза зоною перекриття променів.

Кут падіння променя на фіксатор, що висить на контактному проводі

рисунку 2.4 в близький до $\beta = 0^\circ$. Відбитий промінь падає на приймачі і має найбільшу інтенсивність.

Коли дефект контактної підвіски потрапляє в зону перекриття променів, виконує роль двох джерел випромінювання S_1 і S_2 , розглянутих вище. Використовуючи формули (2.12) легко отримати, що при 10^{-3} м $\Delta\sigma = 0,003...0,0003$. Під такими кутами розбіжності дефект виявляється на відстані $r_0 = 70...100$ м.

При швидкості $V = 210...250$ км/год (59...70 м/с) зона перекриття променів утворюється на відстані $r_0 = 70...100$ м від електровоза. При швидкості $V < 80$ км/год (22 м/с) випромінювання проводиться через антени B_1 і B_2 розташованих нижче антен A_1 і A_2 . В цьому випадку зона перекриття променів формується на відстані $r_0 = 40$ м від електровоза.

Як видно з таблиці дефект знаходиться в зоні перекриття радіо променів протягом $\tau = 0,25...0,7$ с, чого є достатньо (менше 1 с) для вмикання виконавчого механізму аварійного опускання струмоприймача.

Таблиця 2.1 - До розрахунку радіолокатора для виявлення дефектів контактної підвіски розміром 0,03 м

Кут розходження в діаграмі направленості	$D_{1, м}$	$D_{2, м}$	Відстань до дефекту, r_0 м	$\tau_1 = \frac{D_2}{V}, с$	$\tau_2 = \frac{r_0}{V}, с$
$\Omega=2$	1,6	18	40	0,25	0,55
	2,5	38	70	0,52	0,97
	2,8	52	100	0,72	1,38

2.2 Електроімпульсна магнітно-механічна система аварійного опускання струмоприймача електровоза

У випадку якщо не можна уникнути зіткнення струмоприймача з перешкодою на контактному проводі то потрібно хоча б зменшити наслідки - зберегти в робочому стані контактну підвіску і можливість відновити роботу струмоприймача. Для цього необхідно щоб в момент зіткнення струмоприймач не мав поздовжньої жорсткості.

Екстрене аварійне опускання або усунення поздовжньої жорсткості струмоприймачів може бути здійснено за допомогою електроімпульсної

магнітно-механічної системи (ЕІММС), яка застосовуються в авіації для усунення льоду з крил літаків.

ЕІММС може бути реалізована двома способами, заснованими на магнітній взаємодії потужних (сотні ампер) імпульсних струмів. При першому способі струми протікають по двом коротким соленоїдам, що знаходяться на малій відстані один від одного. При другому - струм протікає тільки через один соленоїд, розташований поруч з рухомим металевим штирем, що забезпечує з'єднання елементів конструкції струмоприймача. Імпульс струму в соленоїді створює магнітне поле, яке наводить у штирі вихрові струми, які взаємодіють з струмом в соленоїді, що викликає переміщення штиря. ЕІММС може виконувати від'єднання підйомних пружин від нижніх рам струмоприймача, відкриття запірного вентиля пневматичного циліндра та ін.

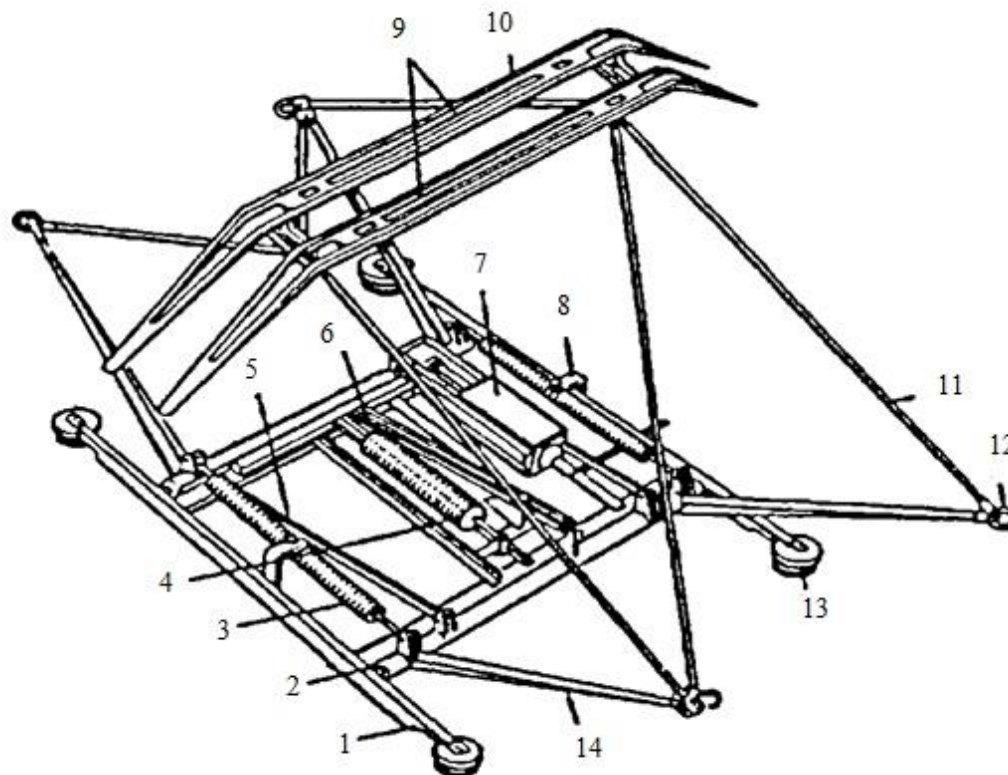
Соленоїди, за якими пропускається імпульс струму, називається індукторами, а рухливі штирі, в яких наводяться вихрові струми - інденторами.

Індуктори ЕІММС повинні мати малу масу, габарити і електричний опір, що забезпечується невеликим числом витків ($N - 100$) ізольованого проводу. Витки жорстко зафіксовані або залиті в поліетилен. Індуктори встановлюються в необхідній кількості на різних елементах струмоприймача без істотної зміни його наведеної маси.

Можливість застосування ЕІММС для підвищення безпеки експлуатації ЕРС розглянемо на прикладі струмоприймача типу 17РР, схема якого показана на рисунку 2.5.

Як відомо струмоприймач 17РР виконаний за схемою симетричного пантографа, його механізм підйому і опускання складається з труби нижньої рами 2, синхронізуючої тяги 5, підйомних пружин 3 та опускальних пружини 4, показаних на рисунку 2.5. Один кінець опускальної пружини 4 системою важелів пов'язаний зі штоком поршня пневматичного циліндра 7. При подачі в циліндр стисненого повітря важіль - штовхач 6, з'єднаний з поршнем циліндра 7 компенсує дію опускальної пружини 4, а пружини 3 повертають головні вали нижньої рами 2, піднімаючи вгору всю рухливу систему.

Отже, для екстреного опускання струмоприймача потрібно випустити повітря з циліндра 7 і одночасно від'єднати підйомну пружину 3. В цьому випадку опускатиме струмоприймач дві сили - сила від власної ваги та сила створена опускальною пружиною. Можна ще додатково збільшити швидкість опускання струмоприймача, додавши ще третю силу яка буде його опускати вниз - аеродинамічну силу від зустрічного повітряного потоку. Для цього потрібно встановити полози струмоприймача 9 під негативним кутом атаки відносно напрямку повітряного потоку. Наприклад, при куті атаки -15° і швидкості руху електровоза 75м/с додаткова аеродинамічна сила опускання буде рівна 400 Н.

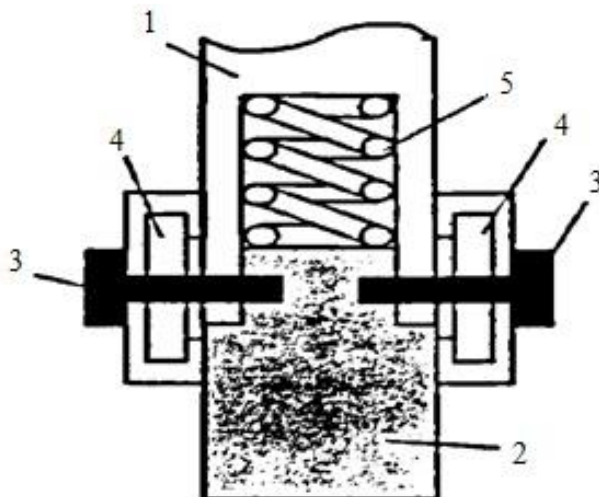


1 - основа; 2 - вал нижньої рами (головний вал); 3 - підйомна пружина; 4 - опускальна пружина; 5 - синхронізуюча тяга; 6 - важіль-штовхач; 7 - пневматичний циліндр; 8 - амортизатор; 9 - полози; 10 - контактна пластина; 11 - труба верхньої рами; 12 - шунт; 13 - ізолятор; 14 - труба нижньої рами; 15 - елементи ЕІММС

Рисунок 2.5 - До схеми встановлення елементів ЕІММС для аварійного опускання і зняття повздовжньої жорсткості струмоприймача 17РР

Труба нижньої рами 14 складається з двох частин 1 і 2 з'єднаних один з одним. Жорсткість з'єднання, забезпечується штирями-інденторами 3. Індентори проходять через індуктори 4, жорстко фіксовані на трубах нижніх рам. При одночасній подачі імпульсу струму на індуктори штирі-індентори 3 викидаються назовні і жорсткість з'єднання між елементами 1 і 2 труби нижньої рами порушується. Пружина 5 забезпечує швидке роз'єднання цих елементів, завдяки чому струмоприймач втрачає подовжню жорсткість перед зіткненням з дефектом контактної підвіски. Разом з тим конструкція струмоприймача легко відновлюється установкою штирів-інденторів 3 в їх гнізда. Можливі місця розташування індукторів ЕІММС відзначені на рисунку 2.5 поз.15.

Аварійне опускання струмоприймача повинно бути виконано за час 0,75... 1с. Також необхідно щоб перший від голови електровоза струмоприймач втратив повздовжню жорсткість до зіткнення. Для цього труби нижньої рами 14 пропонується виготовляти збірними, які з'єднуються один з одним штирями-інденторами. Варіант такого з'єднання зображено на рисунку 2.6.



1,2 - елементи нижніх рам; 3 - індентори; 4 - індуктори; 5 - роз'єднуюча пружина

Рисунок 2.6 - Схема електроімпульсного пристрою аварійного опускання струмоприймача електровоза

2.3 Висновки по розділу

В результаті проведеного аналізу вище, було визначено що при високих швидкостях руху потяга, особлива увага приділяється безпеці руху і надійності роботи всіх систем. Одною з основних систем, робота якої впливає на роботу всього обладнання швидкісного електропоїзда є струмоприймач. В експлуатації є вірогідність аварійних ситуацій. До таких ситуацій можна віднести зіткнення струмоприймача з перешкодою: висячий фіксатор, струнка, провислий, або обірваний контактний дріт. На високій швидкості це особливо небезпечно, так як так ситуація може призвести не тільки до поломки самого струмоприймача а й до обриву ділянки контактного дроту, що призводить до серйозних наслідків і дорогого ремонту.

Для уникнення таких ситуацій було визначено необхідність створення системи реагування на такі перешкоди яка буде встановлена на борту електропоїзда. До системи входить два пристрої: пристрій детектування перешкоди, та пристрій реагування, який повинен за час менше 1 с опустити струмоприймач в аварійному режимі до зіткнення.

Пристрій детектування пропонується виконати на основі радіохвиль діапазону УКХ з двома парами тарілок випромінювачів, які будуть випромінювати хвилі міліметрової довжини, що мають малий коефіцієнт затухання в повітрі, та генерується малогабаритними випромінювачами, та двома тарілками-локаторами. Щоб система не реагувала на сторонні предмети, яких є багато навколо залізничного полотна, тарілки встановлюються відповідним чином, так що би в зону перекриття попадали тільки можливі дефекти на відстані 100-150 м (до 250 км/год). При меншій швидкості руху, або

в кривих система працює на двох інших тарілках налаштованих на зону перекриття на відстані 40 м від носової частини електропоїзда.

Пристрій реагування будується за принципом електроімпульсної магнітно-механічної системи. Для швидкого опускання струмоприймача потрібно випустити тиск повітря, щоб пружини опустили його, а також зняти поперечну жорсткість рами. Для цього рама робиться з збірних труб, жорсткість яким надають штирі. Ці штирі є якорями, навколо них намотана котушка. При подачі сильного електромагнітного імпульсу штирі витягуються і рама розбирається. Такий самий електромагнітний пристрій змонтований в резервуарі з повітрям, і при подачі імпульсу випускає повітря через клапан, опускаючи струмоприймач.

Після такої аварійної ситуації, струмоприймач залишиться цілим, і буде можливо відновити його роботу після проходження аварійної ділянки.

3 МАТИМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СТРУМОПРИЙМАЧА З КОНТАКТНОЮ ПІДВІСКОЮ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ

3.1 Основні фактори які впливають на процес струмознімання, та методи їх дослідження

Як згадувалось раніше процес струмознімання буде вважатися надійним та економічним лише за умови високої надійності контактної мережі і струмоприймача, та забезпечення тривалого терміну служби контактуючих елементів цієї системи. Підвищення надійності роботи струмоприймача в різних аварійних ситуаціях було розглянуто в попередньому розділі вище. Другим важливим завданням цієї роботи є розроблення методів для збільшення терміну служби контактуючих елементів струмоприймача.

Відомо, що термін служби контактного проводу залежить від безлічі факторів. Це такі фактори, як сухе, та в'язке тертя, масо габаритні показники, показники жорсткості, коефіцієнт тертя-ковзання в контакті, довжина прольоту підвіски, амплітуда і частота коливань основи струмоприймача, аеродинамічні параметри та ін. Більшість з цих показників визначають лише середнє значення зношування дроту. Лише характер змін натискання в контакті істотно впливає на нерівномірність зносу контактного проводу: при великій різниці контактного натискання на контактному проводі з'являються окремі зони з більшим рівнем зношуваності. Саме ця обставина і обумовлює одне з головних завдань дослідження процесу механічної взаємодії струмоприймача і контактного проводу - визначення умов стабілізації і оптимізації контактного натискання.

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

Основним критерієм надійності і економічності є контактне натискання для конкретних матеріалів контактних пар, при зменшенні якого зростає ймовірність відривів. Це приводить до збільшення частоти випадків іскріння. А при надмірному збільшенні контактного натиску виникає небезпека пошкодження контактуючих елементів (струмоприймача і контактного проводу) за рахунок значних динамічних сил, особливо при високих швидкостях руху. Зменшення натиснення призводить до зниження зносу, але тільки до певного значення, після якого подальше зменшення натиснення веде до зростання зносу за рахунок

іскроутворення і електроерозійного руйнування матеріалів в зоні контакту.

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

- отримання U-подібної залежності інтенсивності зношування від сили натискання для обраної контактної пари і при заданому струмі (рисунок 3.1). Мінімальне значення зношування на отриманій кривій буде відповідати оптимальному значенню натискання $P_{\text{кт.опт}}$;

- коректування початкового натиснення з урахуванням реальних параметрів струмоприймача і впливу зовнішнього середовища, так як крива натиснення при русі ЕРС буде мати відхилення вгору і вниз аж до досягнення граничних рівнів, вихід за які призведе до динамічних ударів або до втрати натиснення з появою іскріння (електричної дуги).



Рисунок 3.1 - Залежність рівня зношування контактних пар від сили натиснення в зоні контакту

У зв'язку з великою вартістю випробувань на ділянках що експлуатуються, і необхідністю організації «вікон» в регулярному русі рухомого для лінійних випробувань при проектуванні пристроїв струмознімання перспективних транспортних засобів необхідні теоретичні методи, що враховують всі чинники, які діють в реальних умовах. Тобто необхідно розробити такі методи, які б адекватно відображали фізику процесу струмознімання з використання математичного апарату, що забезпечує прийнятну точність і достовірність результатів досліджень.

Для отримання деяких вихідних даних при теоретичних дослідженнях і перевірці результатів розрахунків здійснюються експериментальні дослідження з використанням лабораторних стендових установок, що вимагають набагато менших витрат в порівнянні з лінійними випробуваннями.

Способи розрахунку взаємодії струмоприймачів з контактними підвісками можна класифікувати за наступними критеріями:

- за кількістю ступенів свободи у струмоприймачі;
- за способом врахування контактної підвіски (з зосередженими або розподіленими параметрами);
- за особливостями врахування факторів, які чинять механічну дію на струмоприймач і контактну підвіску.

Для розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою будуть застосовані узагальнені схеми, в яких струмоприймач представлений одно- або дво-масовою системою, а траєкторія і жорсткість підвіски - синусоїдальними, або іншими функціями.

Достовірність розрахунків при математичному моделюванні струмознімання прямо пов'язана з повнотою врахованих чинників які впливають на рівень контактного натиску з боку струмоприймача, контактного проводу, рухомого складу і зовнішнього середовища. У таких розрахунках враховують фактори, що впливають з боку контактного проводу, зовнішнього середовища, рухомого складу і параметрів струмоприймача.

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

Під характеристикою контактного натиснення розуміють залежність максимального і мінімального контактного натиснення в прольоті від швидкості руху електрорухомого складу (частоти вертикальних коливань контактного елемента струмоприймача). На розрахунковій схемі (рисунк 3.2) прийняті наступні позначення: $j_{\text{км}}$ - жорсткість контактної підвіски в точці контакту; $\gamma_{\text{км}}$ - коефіцієнт в'язкого тертя в контактній підвісці; $j_{\text{зв'яз}}$ - жорсткість, що імітує пружні зв'язки в контактній підвісці; $m_{\text{км}}$ - маса контактної підвіски, зосереджена над одним полозом; $m_{\text{ке}}$ - маса полоза струмоприймача; $w_{\text{км}}$ - сила сухого тертя контактного елемента; $j_{\text{ке}}$ - жорсткість пружини контактного елемента; $j_{\text{ш}}$ - жорсткість пружини штанги; $m_{\text{ш}}$ - маса штанги каретки; $m_{\text{к}}$ - маса каретки; $w_{\text{к}}$ - сила сухого тертя каретки; $j_{\text{к}}$ - жорсткість пружини каретки; $m_{\text{р}}$ - маса системи рухомих рам; $w_{\text{р}}$ - сила сухого тертя в системі рухомих рам; $\gamma_{\text{р}}$ - коефіцієнт в'язкого тертя в системі рухомих рам; $P_{\text{р}}$ - статичне натискання струмоприймача; $P_{\text{пр}}$ і $P_{\text{вл}}$ - аеродинамічна сила, що впливає на систему рухомих рам і полоз струмоприймача; $V_{\text{рс}}$ - швидкість руху рухомого складу; $y_{\text{осн}}$ - відхилення основи струмоприймача у вертикальному напрямку; $y_{\text{р}}$ - висотне положення рами струмоприймача; $y_{\text{к}}$ - висотне положення каретки; $y_{\text{ке1}}$ та $y_{\text{ке2}}$ - висотне

- 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 згідно до першого допущення).

Вплив на систему контактна підвіска - струмоприймач зі сторони стріли провисання контактного проводу полягає в зміні жорсткості по довжині прольоту контактної підвіски і положення контактного проводу по висоті при відсутності під ним струмоприймача. Цей вплив зростає зі збільшенням швидкості руху рухомого складу, а отже особливо важливим є при високих швидкостях руху. Положення контактної підвіски по висоті по довжині прольоту і її жорсткість отримують експериментально з використанням обладнання вагона-лабораторії для випробування контактної мережі.

На положення струмоприймача впливає переносний рух, що виникає при зміні положення полоза струмоприймача по висоті через змінну жорсткості контактної підвіски.

Крім впливів з боку контактної підвіски, на процес струмознімання також впливають коливання основи струмоприймача, амплітудно-частотний спектр яких визначається безліччю параметрів. Висока частотою коливань викликана 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. Вертикальні віброприскорення електровоза отримують експериментальним шляхом, під час польових випробувань.

3.2 Метод розрахунку провисання і сили натягу контактного дроту при взаємодії зі струмоприймачем

Як зазначалося вище в контактне натиснення робочих струмоприймачів рухомого електровоза збуджує в підвісці вертикальні хвилі, які суттєво погіршують якість струмознімання, особливо при резонансі.

Складність спектра вертикальних хвиль пояснюється численними ефектами їх відбиття і заломлення на неоднорідних елементах контактної підвіски. Однак при детальному розгляді взаємодії струмоприймача з контактним проводом модель тонкої рівномірно натягнутою нитки не годиться для розгляду. Нехай, наприклад, до точки А на середній ділянці струни довжиною l закріпленої на кінцях, як показано на рисунку 3.3 миттєво прикладена сила F , яка викликає зсув ділянки на величину h . З трикутника сил видно, що сила натягу нитки дорівнює $K = F/2\sin\alpha$. При кутах $\alpha \rightarrow 0$, величина, $K \rightarrow \infty$ навіть при малих значеннях сили F . В контактних підвісках сила натягу контактного проводу зазвичай складає

$K=12...18$ кН, при відстані між опорами $l = 65$ м стріла провисання h становить $h=0,1...0,15$ м, так що $\sin\alpha = 0,0030...0,0045$. Сила $F = 100$ Н, прикладена зверху в точці А викликає миттєву зміну натягу проводу на величину $\Delta K = 16,6$ кН. Струмоприймач впливає на контактний провід знизу, також викликає локальну зміну натягу контактного дроту. При високих ($V>200$ км/год) швидкостях руху електрорухомого складу точка А контакту полоза струмоприймача з проводом проходить ділянку від опори до середини прольоту за час $t=0,58$ с. При цьому інертність компенсованої анкеровки контактного проводу не забезпечує сталість натягу. Як видно з (1.2.3) при змінній величині K швидкість поширення хвилі по контактному дроті стає змінною $u \neq const$.

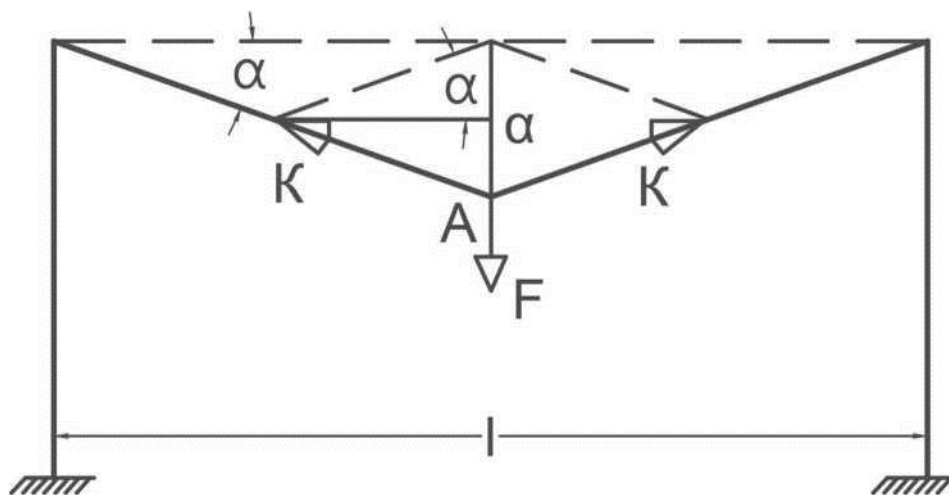


Рисунок 3.3 - Зміна сили натягу нитки під дією сили прикладеної ззовні

Таким чином, модель невагомої пружної нитки, з якої виводиться рівняння (1.2.1) не задовольняє реаліям контактної підвіски за декількома параметрами. Відзначимо два з них:

- 1 Контактний провід і несучий трос мають масу, що створює провисання підвіски. Невагома пружна нитка за визначенням провисання не має.
- 2 Контактне натиснення P полоза, викликає локальну зміну натягу дроту поблизу струмоприймача. Позначимо цю величину через $K_{к.н}$ (натяг при контактному натисненні). Підставимо $K_{к.н}$ замість K_0 в (1.2.3). Тепер бачимо, що швидкість хвилі u стає змінною. Оцінімо вплив контактного натиснення струмоприймача на стрілу провисання контактного проводу f , силу натягу проводу $K_{к.н}$, швидкість розповсюдження вертикальних хвиль u_ϕ в ньому, з урахуванням маси дроту.

Для дослідження цих питань спочатку потрібно визначити:

- 1 Форму дроту при впливі на його струмоприймача;
- 2 Зміну натягу дроту в будь-якій точці його довжини.

Приймаємо, що струни не заважають підйому контактного дроту струмоприймачем.

В літературі описана форма кривих, які приймають несучий трос і контактний дріт підвіски в стані рівноваги. Обидва елементи можна розглядати як нитки, що володіють власними масами, які створюють навантаження Q рівномірний розподіл якої $q=Q/l$, відбувається за допомогою вертикальних струн, так як це показано на рисунку 3.4.

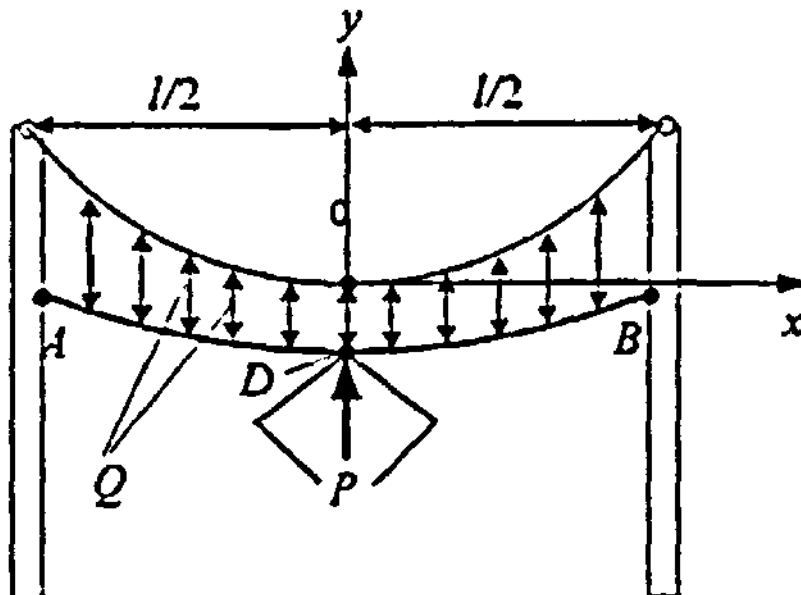


Рисунок 3.4 - Схема провисання контактної підвіски

Несучий трос та контактний дріт мають форму параболи з вершиною в точці максимального провисання. Рівняння кривої $y(x)$, величину провисання $f_{\text{пр}}$, і довжину нитки з провисанням S визначають відповідно по наступним формулам:

$$y(x) = \frac{qx^2}{2K_0} \quad (3.1)$$

$$f_{\text{пр}} = \frac{ql^2}{8K_0} \quad (3.2)$$

$$S = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_{\text{пр}}}{l} \right) \right] = l \left[1 + \frac{q^2 l^2}{24K_0^2} \right] \quad (3.3)$$

де l – відстань між опорами, м.

Визначимо величину провисання f та силу горизонтального натягу, коли до нитки знизу прикладена зосереджена сила P . Приймаємо, що ця сила прикладена в середині прольоту, в точці D , так як зображено на рисунку 3.5.

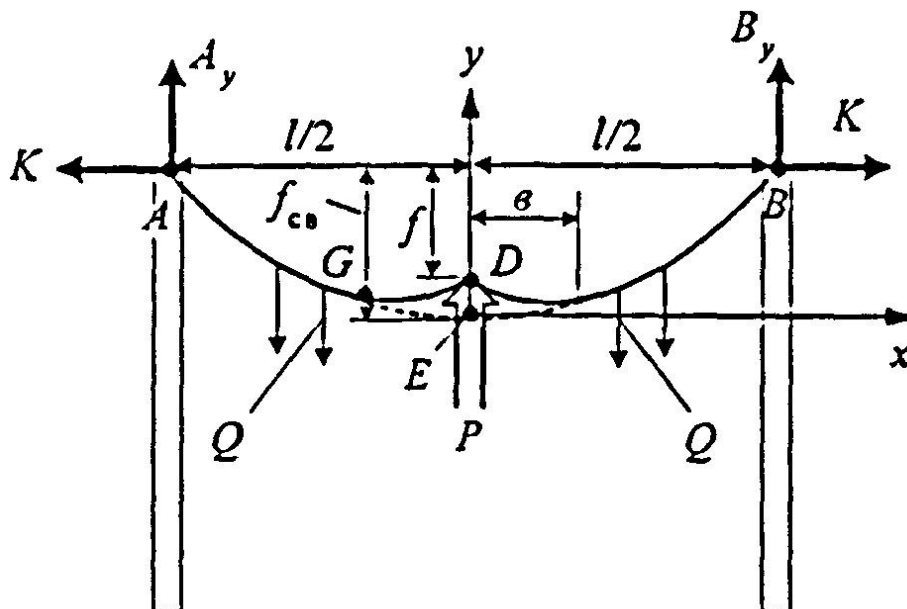


Рисунок 3.5 – Схема сил, які діють на нитку

Утворена ниткою крива при одночасній дії двох навантажень q та P складається з двох симетричних віток параболи AD і BD , які перетинаються в точці D . Спроектувавши всі сили, які діють на нитку вздовж вертикальної осі y , врахувавши симетрію $A_y = B_y$ отримуємо:

$$A_y = \frac{1}{2}(ql - P) = \frac{ql}{2}(1 - v) \quad (3.4)$$

$$\text{де } v = \frac{P}{ql} = \frac{P}{Q}.$$

Якщо уявно розрізати нитку в точці D і складемо суму моментів всіх сил відносно цієї точки то отримаємо наступне рівняння:

$$A_y \cdot \frac{1}{2} - q \frac{l^2}{8} - Kf = 0 \quad (3.5)$$

Отримуємо рівняння для визначення величини провисання умовної нитки коли до неї прикладена сила P :

$$f = \frac{ql^2}{8K} [1 - 2v] = \frac{ql}{8K_0} \left[1 - \frac{2P}{Q} \right] \quad (3.6)$$

З виразу бачимо, що величина провисання важкої нитки зменшується зі збільшенням сили контактного натиску P від полозу струмоприймача і натягу нитки K_0 . За умовами вказаними вище, нитка не розтягується, тому довжина дуг GE і GD , що зображені на рисунку 3.5 рівні. Довжина дуги AE визначається виразом:

$$AE = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_{\text{пр}}}{l} \right)^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{q^2 l^2}{24 K_0^2} \right] \quad (3.7)$$

Довжина дуги AG рівна:

$$AG = \left(\frac{1}{2} - b \right) \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f_{\text{пр}}}{b^2} \right) \quad (3.8)$$

Якщо від AE відняти AG то отримаємо довжину дуги GE, яка дорівнює довжині шуканої нами дуги GD:

$$GE = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f_{\text{пр}}}{b^2} \right) - \left(\frac{1}{2} - b \right) \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f}{b^2} \right) = GD \quad (3.9)$$

Відстань b на якій змінюється локальна сила натягу $K_{\text{к.н}}$ можна знайти, прирівнявши вертикальні складові сил в точці D. Фіктивне вертикальне навантаження на ділянці GD дорівнює qb та врівноважує $P/2$:

$$qb = \frac{P}{2}$$

звідси:

$$b = \frac{P}{2q} = \frac{lv}{2} \quad (3.10)$$

Сила P врівноважує вагу нитки на $P = 2 qGD$. Підставивши сюди вираз (3.9) отримуємо вираз для знаходження сили P :

$$P = ql \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f_{\text{пр}}}{b^2} \right) - \left(\frac{1}{2} - b \right) \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f}{b^2} \right) \quad (3.11)$$

$$K_{\text{к.н}} = \frac{K_0}{\sqrt{1+3v+3v^2}} \quad (3.12)$$

$$f = f_{\text{пр}} \frac{1-2v}{\sqrt{1+3v+3v^2}} \quad (3.13)$$

За допомогою двох останніх формул можна визначити зміну горизонтального натягу і величини провисання важкої нитки, яка моделює поведінку контактного дроту відповідно при прикладенні до неї сили P зі сторони полоза струмоприймача. У випадку не симетричного положення точки прикладання

сили P величини $K_{к.н}$ і f визначаються аналогічно.

Виходячи з даних вказаних в роботі, а також даних представлених в таблиці 1.3 було виконано розрахунок величин $K_{к.н}$ і f для контактної дроти підвіски КС-200 при контактному натиску силою $P_1=100..200$ Н, при натягу контактної дроти $K_0=12$ кН при вільному провисанні $f_{пр}=30$ мм. Дані розрахунків приведені в таблиці 3.1. В цій таблиці також представлені зміни фазової швидкості вертикальних хвиль $u_{к.н}/u$ в районі прикладення зосередженого навантаження, а також ширина цієї області $2b$.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків сили натягу і стріли провисання контактної дроти підвіски КС-200 при двох різних силах контактної натиснення

№	Формула	$P=100$ Н	$P=200$ Н
1	$V = P / gl$	0,160	0,320
2	$K_{к.м} = \frac{K_0}{\sqrt{1 + 3v + 3v^2}}$	9,836 кН	8,255 кН
3	$f = f_{пр} \frac{1 - 2v}{\sqrt{1 + 3v + 3v^2}}$	16,72 мм	8,748 мм
4	$\Delta f = f_{пр} \sim f$	13,28 мм	21,252 мм
5	$\frac{u_{к.н}}{u} = \sqrt{\frac{K_{к.н}}{K_0}}$	0,9053	0,8294
6	$2b$	12 м	24 м

3.3 Математична модель взаємодії струмоприймач-контактна підвіска

Для того, щоб мати змогу вдосконалювати та розробляти нові конструкції струмоприймачів та контактних підвісок для високошвидкісного транспорту, що в нинішній час збільшення швидкостей руху є актуальним завданням, необхідно дослідити систему струмоприймач-контактна підвіска. Головним завданням таких досліджень є отримання залежностей фізичних характеристик елементів цієї системи від параметрів струмознімання. Тобто, в результаті досліджень нам потрібно отримати залежність фізичних властивостей елементів конструкції, таких як, жорсткість, маса контактної підвіски, пружин контактної елементу, кареток струмоприймача, статичний натиск струмоприймача, аеродинамічні сили які впливають на систему рухомих рам і полоз, та ін. від швидкості руху.

Після чого проаналізувати отримані залежності і зробити висновок, як потрібно змінювати ці параметри конструкції, щоб добитися оптимальних значень контактного натиску для заданої швидкості руху ЕРС.

Як згадувалося вище, контактне натиснення є одним з найголовніших параметрів від якого залежить якість струмознімання і довговічність служби контактуючих елементів системи СК. Зі збільшенням швидкості руху збільшується частота коливань системи, що вимагає підібрати такі параметри маси та жорсткості елементів конструкції щоб уникнути відриву струмоприймача від контактного дроту, а також ударів. Зі збільшенням швидкості виростає аеродинамічна складова яка може або зменшувати силу натиснення або збільшує її, що призводить до ненадійної роботи системи в цілому і поганого струмознімання.

Для того щоб знати як саме змінювати конструкцію струмоприймача, потрібно як які елементи і їх параметри змінюються з ростом швидкості. Так як проводити лінійні випробування на рухомому складі (РС) є дорого, складно, так як це вимагає виведення РС з лінії, планування спеціальних вікон в графіку руху поїздів, встановлення спеціального телеметричного обладнання використовують різні методи моделювання.

Використовують різні математичні моделі які достовірно описують всю фізику процесів які відбуваються в системі СК, враховують всі важливі фактори і забезпечують високу точність отриманих результатів. В світовій практиці існує багато різних математичних моделей та різних математичних рівнянь для опису фізичних процесів, які обчислюються на комп'ютерних програмах Mathcad, Ansis, та ін.

Наприклад, для моделювання коливальних процесів в контактному дроті використовують рівняння Клейна-Гордона в якому врахована як маса контактного дроту, так і низькочастотна дисперсія вертикальних хвиль. Для наочного зображення моделі контактного дроту, що коливається, використовують систему зв'язаних між собою маятників. Жорсткість зв'язків між маятниками J настільки велика що їх коливання відбуваються з малими амплітудами і малим зсувом по фазі. А для врахування того явища, що коливання контактного дроту в середині прольоту і біля опор відбуваються з різною власною частотою в моделі маятники в центрі і ближче до опор підвішені на нитках різної довжини.

Для розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою можна застосовувати узагальнені схеми, в яких струмоприймач представлений як одно- або двомасова система. Жорсткість та траєкторія коливань контактної підвіски – синусоїдними, або іншими функціями.

Для розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою будемо використовувати рівняння Лагранжа другого роду. Будемо враховувати кінетичну та потенційну енергію струмоприймача, дисипативну функцію та узагальнені сили.

Так як конструкція струмоприймача має шість ступенів свободи, необхідно скласти шість рівнянь руху:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{b}} \right) - \frac{\partial T}{\partial b} + \frac{\partial \Pi}{\partial b} + \frac{\partial \Phi}{\partial b} = Q_b; b \in [y_p, y_k \alpha_1 \alpha_2 y_{ke1} y_{ke2}], \quad (3.14)$$

де T , Π - кінетична та потенційна енергія системи відповідно; Φ - дисипативна функція; b - узагальнена координата; Q_b - узагальнена сила, що відповідає силам опору по узагальненій координаті b .

В розрахунках математичної моделі потрібно врахувати статичне провисання контактної мережі, яке розраховують за наступною формулою:

$$f_{cm.км}(t) = \frac{P_p}{\mathcal{J}_{км}} = \frac{P_p}{\mathcal{J}_{км0} \left(1 + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos 2\pi \frac{kV_{pc}t}{l_{пп}} \right)} = \frac{P_p}{\mathcal{J}_{км0}} \cdot \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t} \quad (3.15)$$

де $\omega_0 = \frac{2\pi V_{pc}}{l_{пп}}$; $l_{пп}$ - довжина прольоту контактної мережі; k - номер гармонічної складової в жорсткості контактної підвіски; V_{pc} - швидкість рухомого складу; P_p - статичний натиск струмоприймача на КМ.

Враховуючи те, що $\mu_k = 1$, отримуємо:

$$\frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t} \approx 1 - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t + \frac{3}{8} \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t - \dots \quad (3.16)$$

Зробивши підстановку отримуємо:

$$f_{cm.км}(t) = \frac{P_p}{\mathcal{J}_{км0}} \left(1 - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} \mu_k \cos k\omega_0 t \dots \right). \quad (3.17)$$

Запишемо, що $\frac{P_p}{\mathcal{J}_{км0}} = f_{cm0}$ і перепишемо вираз (3.17) по новому знайшовши першу похідну статичного прогину контактної мережі:

$$f_{ст.км}(t) = \frac{1}{2} f_{ст0} \omega_0 \sum_{k=1}^{10} k \mu_k \sin k\omega_0 t. \quad (3.18)$$

Друга похідна статичного прогину контактної мережі матиме вигляд:

$$f_{\text{ст.км}}(t) = \frac{1}{2} f_{\text{ст0}} \omega_0^2 \sum_{k=1}^{10} k^2 \mu_k \sin k \omega_0 t. \quad (3.19)$$

Кінетична енергія системи СК розрахована для абсолютних швидкостей мас, які входять до неї розраховується за виразом:

$$T = \frac{1}{2} m_p (y_p + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}})^2 + \frac{1}{2} m_k (y_k + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}})^2 + \frac{1}{2} m_{\text{ш}} (y_p + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_1 \frac{l_{\text{ш}}}{2})^2 + \frac{1}{2} m_{\text{ш}} (y_p + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_2 \frac{l_{\text{ш}}}{2})^2 + \frac{1}{2} J_{\text{ш}} \alpha_1^2 + \frac{1}{2} J_{\text{ш}} \alpha_2^2 + \frac{1}{2} (m_{\text{км}} + m_{\text{ке}}) (y_p + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}})^2 + \frac{1}{2} (m_{\text{км}} + m_{\text{ке}}) (y_p + y_{\text{осн}} + f_{\text{ст.км}})^2, \quad (3.20)$$

де $J_{\text{ш}}$ – момент інерції відносно центра мас штанги каретки, що розраховується за формулою:

$$J_{\text{ш}} = \frac{1}{12} m_{\text{ш}} l_{\text{ш}}^2 \quad (3.21)$$

Введені на рисунку 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 робить коливання, положення рівноваги переміщується разом з основою струмоприймача. Таким чином, система відліку, в якій описується рух струмоприймача, здійснює в кожен момент часу переносний рух зі швидкістю $y_{\text{осн}}$. Через це у формулі (3.15) до кожної лінійної швидкості додана складова переносного руху.

Потенційна енергія системи СК буде рівною енергії, яка запасена в пружних елементах струмоприймача та контактної мережі і розраховується за виразом:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} j_k \Delta h_k^2 + \frac{1}{2} j_{\text{ш}} \Delta h_{\text{ш1}}^2 + \frac{1}{2} j_{\text{ш}} \Delta h_{\text{ш2}}^2 + \frac{1}{2} j_{\text{ке}} \Delta h_{\text{ке1}}^2 + \frac{1}{2} j_{\text{ке}} \Delta h_{\text{ке2}}^2 + \\ & + \frac{1}{2} j_{\text{кс}} \Delta h_{\text{кс1}}^2 + \frac{1}{2} j_{\text{кс}} \Delta h_{\text{кс2}}^2 + \frac{1}{2} j_{\text{зв'яз}} \Delta h_{\text{зв'яз}}^2 \end{aligned} \quad (3.22)$$

де Δh_k – величина стиснення пружини каретки; $\Delta h_{\text{ш1}}$, $\Delta h_{\text{ш2}}$ – величина розтягнення пружини штанги; $\Delta h_{\text{ке1}}$, $\Delta h_{\text{ке2}}$ – величина стиснення пружин контактних елементів; $\Delta h_{\text{кс1}}$, $\Delta h_{\text{кс2}}$ – величина стиснення пружин, які задають жорсткість контактної підвіски; $\Delta h_{\text{зв'яз}}$ – величина стиснення пружини, яка імітує жорсткість контактної дроту.

Величину стиснення пружини каретки визначають як різницю довжини пружини без навантаження ззовні і фактичної довжини:

$$\Delta h_k = l_{k0} - (y_k - y_p). \quad (3.33)$$

Величина розтягнення пружини штанги залежить від кутів нахилу і довжини пружини штанги за відсутності зовнішніх навантажень:

$$\begin{cases} \Delta h_{ш1} = \sqrt{(l_3 - l_1 \sin \alpha_1)^2 + l_1^2 \cos^2 \alpha_1} - l_{ш0}, \\ \Delta h_{ш2} = \sqrt{(l_3 - l_1 \sin \alpha_2)^2 + l_1^2 \cos^2 \alpha_2} - l_{ш0}. \end{cases} \quad (3.34)$$

Величина стиснення пружин каретки залежить від висотного положення каретки, полоза струмоприймача, кута повороту штанги і початкової довжини пружини каретки:

$$\begin{cases} \Delta h_{ke1} = l_{ke0} - (y_{ke1} - l_2 \sin \alpha_1 - y_k), \\ \Delta h_{ke2} = l_{ke0} - (y_{ke2} - l_2 \sin \alpha_2 - y_k). \end{cases} \quad (3.35)$$

Величина стиснення пружин, які задають жорсткість контактної підвіски, розраховується як різниця висотного положення полоза струмоприймача і висоти контактної підвіски в точці контакту при відсутності струмоприймача в цій точці:

$$\begin{cases} \Delta h_{км1} = y_{ke1} - y_{км0}, \\ \Delta h_{км2} = y_{ke2} - y_{км0}. \end{cases} \quad (3.36)$$

Величина стиснення пружини, що імітує жорсткість контактного дроту, визначається висотним положенням двох полозів струмоприймачів:

$$\Delta h_{зв'язк} = y_{ke1} - y_{ke2}. \quad (3.37)$$

Провівши експериментальні дослідження (з 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 динамічної системи СК є досить близькими до експериментальних даних і підтверджені досвідом експлуатації. Тому при розрахунках сухе тертя в системі рухомих рам і в контактній підвісці замінюється еквівалентним в'язким, вираженим через коефіцієнт опору r .

Дисипативна функція після заміни сухого тертя еквівалентним в'язким буде мати наступний вигляд:

$$\Phi = \frac{1}{2}r_p(y_p + y_{\text{оч}} + y_{\text{см.км}}) + \frac{1}{2}r_{\text{км}}(y_{\text{ке1}} + f_{\text{см.км}})^2 + \frac{1}{2}r_{\text{км}}(y_{\text{ке2}} + f_{\text{см.км}})^2 + \frac{1}{2}r_{\text{ке}}(y_{\text{ке1}} + f_{\text{см.км}} + l_2\alpha_1 - y_k)^2 + \frac{1}{2}r_{\text{ке}}(y_{\text{ке2}} + f_{\text{см.км}} + l_2\alpha_2 - y_k)^2. \quad (3.38)$$

Тепер розрахуємо похідні кінетичної енергії:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial y_p} \right) = m_p(y_p + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial y_p} \right) = m_k(y_k + y_{\text{оч}}) + m_{\text{ш}}(2y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + 0,5l_{\text{ш}}(\alpha_1 + \alpha_2)), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha_1} \right) = j_{\text{ш}}\alpha_1 + 0,5m_{\text{ш}}l_{\text{ш}} \left(y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_1 \frac{l_{\text{ш}}^2}{2} \right), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha_2} \right) = j_{\text{ш}}\alpha_2 + 0,5m_{\text{ш}}l_{\text{ш}} \left(y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_2 \frac{l_{\text{ш}}^2}{2} \right), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial y_{\text{ке1}}} \right) = (m_{\text{км}} + m_{\text{ке}})(y_{\text{ке1}} + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial y_{\text{ке2}}} \right) = (m_{\text{км}} + m_{\text{ке}})(y_{\text{ке2}} + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}). \end{array} \right. \quad (3.39)$$

Часткові похідні потенційної енергії системи СК по узагальненим координатам мають наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Pi}{\partial y_p} = \mathcal{K}_k(y_p - y_k + l_{k0}), \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y_p} = \mathcal{K}_k(y_k - y_p + l_{k0}) + \\ + \mathcal{K}_{\text{ке}}(2l_{\text{ке0}} - y_{\text{ке1}} - f_{\text{ке2}} + l_2\sin\alpha_1 + 2y_k + l_2\sin\alpha_2), \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha_1} = \mathcal{K}_{\text{ш}}l_3l_1\cos\alpha_1 \left(\frac{l_{\text{ш0}}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2 - 2l_3l_1\sin\alpha_1}} - 1 \right) + \\ + \mathcal{K}_{\text{ке}}((l_{\text{ке0}} - y_{\text{ке1}} + y_k)l_2\cos\alpha_1 + l_2^2\sin\alpha_1\cos\alpha_1), \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha_1} = \mathcal{K}_{\text{ш}}l_3l_1\cos\alpha_1 \left(\frac{l_{\text{ш0}}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2 - 2l_3l_1\sin\alpha_1}} - 1 \right) + \\ + \mathcal{K}_{\text{ке}}((l_{\text{ке0}} - y_{\text{ке1}} + y_k)l_2\cos\alpha_1 + l_2^2\sin\alpha_1\cos\alpha_1) \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y_{\text{ке2}}} = \mathcal{K}_{\text{ке}}(y_{\text{ке1}} - l_{\text{ке0}} - l_2 - \sin\alpha_1 - y_k) + \mathcal{K}_{\text{ке}}(y_{\text{ке1}} - y_{\text{ке0}}) + \\ + \mathcal{K}_{\text{зв'яз}}(y_{\text{ке1}} - y_{\text{ке2}}), \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y_{\text{ке2}}} = \mathcal{K}_{\text{ке}}(y_{\text{ке2}} - l_{\text{ке0}} - l_2 - \sin\alpha_2 - y_k) + \mathcal{K}_{\text{ке}}(y_{\text{ке2}} - y_{\text{ке0}}) + \\ + \mathcal{K}_{\text{зв'яз}}(y_{\text{ке2}} - y_{\text{ке1}}). \end{array} \right. \quad (3.40)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial y_p} = r_p(y_p - y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}) - r_k(y_k - y_p + f_{\text{ст.км}}), \\ \frac{\partial T}{\partial y_k} = r_k(y_k - y_p + f_{\text{ст.км}}) - \\ - r_{ke}(2y_k - y_{ke1} - y_{ke2} + 2f_{\text{ст.км}} + l_2(\alpha_1 + \alpha_2)) \\ \frac{\partial T}{\partial \alpha_1} = r_{ke}(\alpha_1 l_2^2 - y_{ke2} l_2 + y_k l_2 + f_{\text{ст.км}}), \\ \frac{\partial T}{\partial \alpha_2} = r_{ke}(\alpha_2 l_2^2 - y_{ke2} l_2 + y_k l_2 + f_{\text{ст.км}}) \\ \frac{\partial T}{\partial y_{ke1}} = r_{ke}(y_{ke1} - \alpha_2 l_2 + y_k + f_{\text{ст.км}}) + r_{км}(y_{ke1} - + f_{\text{ст.км}}), \\ \frac{\partial T}{\partial \alpha_2} = r_{ke}(y_{ke2} - \alpha_2 l_2 + y_k + f_{\text{ст.км}}) + r_{км}(y_{ke2} - + f_{\text{ст.км}}). \end{array} \right. \quad (3,41)$$

Диференційне рівняння руху рами струмоприймача має наступний вигляд:

$$m_p(y_p + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}) + ж_k(y_p + y_k + l_{k0}) + r_p(y_p + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}) + r_k(y_k + y_p + f_{\text{ст.км}}) = P_p \quad (3,42)$$

Рівняння руху каретки струмоприймача має наступний вигляд:

$$m_k(y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}}) + m_{ш}(2y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + 0.5l_{ш}(\alpha_1 + \alpha_2)) + ж_k(y_k - y_p - l_{k0}) + ж_{ke}(2l_{ke0} - y_{ke1} - f_{ke2} + l_2 \sin \alpha_1 + 2y_k + l_2 \sin \alpha_2) + r_k(y_k - y_p + f_{\text{ст.км}}) + r_{ke}(2y_k - y_{ke1} - y_{ke2} + f_{\text{ст.км}} + l_2(\alpha_1 + \alpha_2)) = 0 \quad (3.43)$$

Рівняння руху штанг каретки струмоприймача мають наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} j_{ш} \alpha_1 + 0.5m_{ш}l_{ш} \left(y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_1 \frac{l_{ш}^2}{2} \right) + ж_{ш}l_3l_1 \cos \alpha_1 \\ \left(\frac{l_{ш0}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2 - 2l_3l_1 \sin \alpha_1}} - 1 \right) + ж_{ke}((l_{ke0} - y_{ke1} + y_k)l_2 \cos \alpha_1 + \\ + 0.5 \cdot l_2^2 \sin 2\alpha_1) + r_{ke}(\alpha_1 l_2^2 - y_{ke1} l_2 + y_k l_2 - f_{\text{ст.км}} l_2) = 0 \\ j_{ш} \alpha_2 + 0.5m_{ш}l_{ш} \left(y_k + y_{\text{оч}} + f_{\text{ст.км}} + \alpha_2 \frac{l_{ш}^2}{2} \right) + ж_{ш}l_3l_1 \cos \alpha_2 \\ \left(\frac{l_{ш0}}{\sqrt{l_3^2 + l_1^2 - 2l_3l_1 \sin \alpha_2}} - 1 \right) + ж_{ke}((l_{ke0} - y_{ke1} + y_k)l_2 \cos \alpha_2 + \\ + 0.5 \cdot l_2^2 \sin 2\alpha_2) + r_{ke}(\alpha_2 l_2^2 - y_{ke1} l_2 + y_k l_2 - f_{\text{ст.км}} l_2) = 0 \end{array} \right. \quad (3.44)$$

Рішення цих систем (3.42-3.44) виконаємо за допомогою комп'ютерної програми для математичних розрахунків MathCAD. Для цього перетворимо систему рівнянь до наступного виду :

$$\begin{cases} y_p = f(y_p, y_p, y_k, y_k, y_{осн}, y_{осн}, y_{осн}, y_{ст.км}, y_{ст.км}, \\ y_k = f\left(y_p, y_p, y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_2, \alpha_2, y_{ке1}, y_{ке1}, y_{ке2}\right) \\ \quad y_{ке2} y_{ст.км} y_{ст.км} \\ \alpha_1 = f(y_k, y_k, y_k, y_k, \alpha_1, \alpha_1, \alpha_1, y_{ке1}, y_{ке1}, y_{ст.км}, y_{ст.км}), \\ \alpha_2 = f(y_k, y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_2, \alpha_2, \alpha_2, y_{ке2}, y_{ке2}, y_{ст.км}, y_{ст.км}), \\ y_{ке1} = f(y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_1, \alpha_1, y_{ке1}, y_{ке1}, y_{ке1}, y_{ке2}, y_{ст.км}, y_{ст.км}), \\ y_{ке2} = f(y_k, y_k, y_{осн}, \alpha_2, \alpha_2, y_{ке1}, y_{ке2}, y_{ке2}, y_{ст.км}, y_{ст.км}). \end{cases} \quad (3,45)$$

Для вирішення цієї системи рівнянь використовуємо стандартну функцію програми MathCAD - rkfixed. Вона дозволяє вирішувати диференціальні рівняння чисельним методом Рунге-Кутта четвертого порядку. В результаті рішення системи рівнянь (3.45) отримуємо залежності положень і швидкостей елементів струмоприймачів від часу.

Для знаходження сили натискання полізів струмоприймача на контактний провід слід скласти рівняння квазістатичної рівноваги вузла підвіски за принципом Даламбера над кожним полозом (рисунок 3.6).

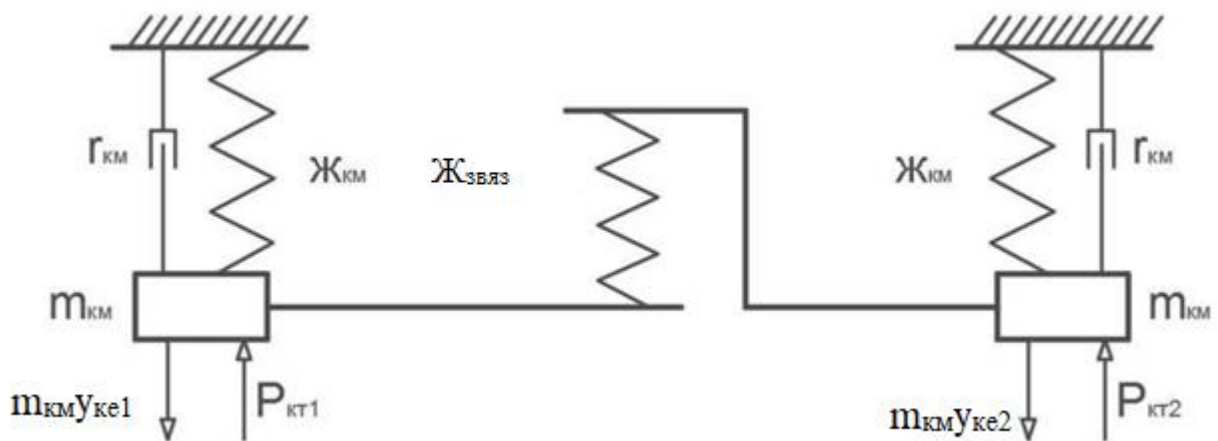


Рисунок 3.6 – Схема для визначення сили контактного натиску

На рисунку показаний пружний елемент $Ж_{зв'яз}$, який враховує власну жорсткість контактних проводів. Даний параметр підвіски визначається відповідно до методики, розробленої професором В. П. Міхєєвим.

Сили контактного натиснення визначаються за формулою:

$$\begin{cases} P_{кт1} = Ж_{км}(y_{ке1} - y_{км0}) + r_{км}(y_{ке1} + f_{ст.км})m_{км}y_{ке1} + Ж_{зв'яз}(y_{ке1} - y_{ке2}); \\ P_{кт2} = Ж_{км}(y_{ке2} - y_{км0}) + r_{км}(y_{ке2} + f_{ст.км})m_{км}y_{ке2} + Ж_{зв'яз}(y_{ке2} - y_{ке1}); \end{cases}$$

Розрахунок характеристики контактної натиснення полягає у визначенні натиснення в прольоті для заданого діапазону швидкостей руху рухомого складу і побудові залежності максимального і мінімального натиснення в прольоті від цієї швидкості.

Початкові умови для першого розрахункового прольоту, як правило, задаються орієнтовно, тому дані по взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою в перших трьох - чотирьох прольотах не повинні прийматися до уваги, а при загальній кількості розрахункових прольотів, рівному десяти, показники, що характеризують якість струмознімання, усереднюють 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 максимальна і мінімальна контактні натиснення в останніх п'яти прольотах.

3.4 Висновок по розділу

Як згадувалося вище, одним із головних параметрів який відображає якість струмознімання є контактне натиснення. Саме цей параметр визначає економічність експлуатації електропоїзда. При малому контактному натиску буде відбуватися іскріння і підвищене зношування контактуючих елементів. При надмірному натиску теж буде відбуватися надмірне зношування контактуючих елементів, але в цей раз викликане великою силою тертя. Тому головною задачею дослідження системи струмоприймач-контактна підвіска є знаходження такого оптимального значення натиску при якому буде забезпечуватися надійне, і безперебійне струмознімання, без підвищення зношуваності контактних елементів системи.

Щоб знайти таке значення використовують різні математичні моделі системи струмоприймач-контактна підвіска з можливістю застосування різних комп'ютерних обчислювальних програм наведених вище. Моделювання є доцільним, так як лінійні випробування на реальній одиниці рухомого складу вимагає великих економічних затрат, виділення вікна в графіку руху, обладнання та ін.

Існують багато різних моделей які відрізняються складністю обчислення, рівнем точності отриманих результатів, повнотою всіх сил які діють на досліджувану систему зі сторони контактної підвіски, навколишнього середовища, рухомого складу та ін. Було визначено, що на процес струмознімання діють такі фактори, як маса і геометричні параметри рухомих частин струмоприймача, коефіцієнт тертя ковзання в контакті, траєкторія

провисання і стріла провисання контактного проводу, довжина прольоту, амплітуда і частота вертикальних коливань рухомого складу, аеродинамічна підйомна сила.

Для знаходження математичної моделі було використано рівняння Лагранжа другого роду з врахуванням кінетичної, потенційної енергії, дисипативної функції та ін. Система струмоприймача мала шість ступенів свободи. Для рішення системи рівнянь і розрахунку моделі запропоновано використовувати комп'ютерну програму MathCAD, яка повністю задовольняє всім вимогам.

4 РЕГУЛЮВАННЯ КОНТАКТНОГО НАТИСКУ ЗА ДОПОМОГОЮ АЕРОДИНАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

4.1 Вплив аеродинамічних сил на контактний натиск

На тіло, яке обтікає потік повітря, діють наступні сили:

- дотичні сили тертя між тілом і повітрям яке його обтікає. Для кожного елемента поверхні тіла ця сила визначається градієнтом швидкості потоку в пограничному шарі і коефіцієнтом в'язкості; вона направлена по дотичній до обтічного елемента поверхні;
- нормальні сили тиску, що залежать від значення тиску в потоці біля кожного елемента і спрямовані перпендикулярно до нього.

При русі електрорухомого складу струмоприймач перебуває під впливом зустрічного потоку повітря. Аеродинамічний вплив буде визначатися швидкістю повітряного потоку, що набігає на елементи струмоприймача, напрямом потоку по відношенню до траєкторії руху, його густиною та 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 горизонтальної площини), залежить від форми лобової стінки локомотива і видалення струмоприймача від неї. У зоні полоза переднього піднятого струмоприймача електровоза потік спрямований під кутом атаки 2-4°, в зоні полоза другого піднятого струмоприймача - 0-1,5 °.

В результаті впливу зустрічного потоку повітря на струмоприймач, незалежно від режиму, створюється аеродинамічна сила, яка характеризується величиною, напрямком і точкою прикладання цієї сили.

Аеродинамічний коефіцієнт - це коефіцієнт пропорційності динамічного тиску, який створює повітря на об'єкт, що рухається в ньому до площі об'єкта на яку діє це повітря. Позначається аеродинамічний коефіцієнт буквою c .

Для знаходження результуючої сили опору повітря використовують наступну формулу:

$$R = cS \frac{\rho V^2}{2} \quad (4.1)$$

де S - площа проекції тіла на площину, перпендикулярну руху; V - швидкість руху; ρ - масова щільність рідини.

Від умов обтікання струмоприймача повітряним потоком залежить якість його роботи. При обтіканні струмоприймача повітряним потоком буде

створюватись сила аеродинамічного впливу, яка буде залежати від швидкості потоку, що набігає, його напрямки та складу (присутності в ньому зважених часток).

Технічними умовами на струмоприймачі введено поняття аеродинамічної характеристики струмоприймача, яка являє собою залежність його аеродинамічної сили від швидкості руху поїзда. При цьому допускається збільшення квазістатичного натиснення при максимальній швидкості руху і зустрічному вітрові 25 м/с не більше ніж в 1,8 рази, а зменшення до 30%.

Опис просторового руху двофазних повітряних потоків є складною математичною задачею і на сьогоднішній день не має точного рішення. У зв'язку з цим в розрахунку взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою аеродинамічний вплив враховується за допомогою експериментально отриманих залежностей аеродинамічній підйомної сили, що діють на струмоприймач, від швидкості зустрічного повітряного потоку для певного діапазону висотного положення точки контакту полозів струмоприймача з контактною підвіскою (рисунок 4.1).

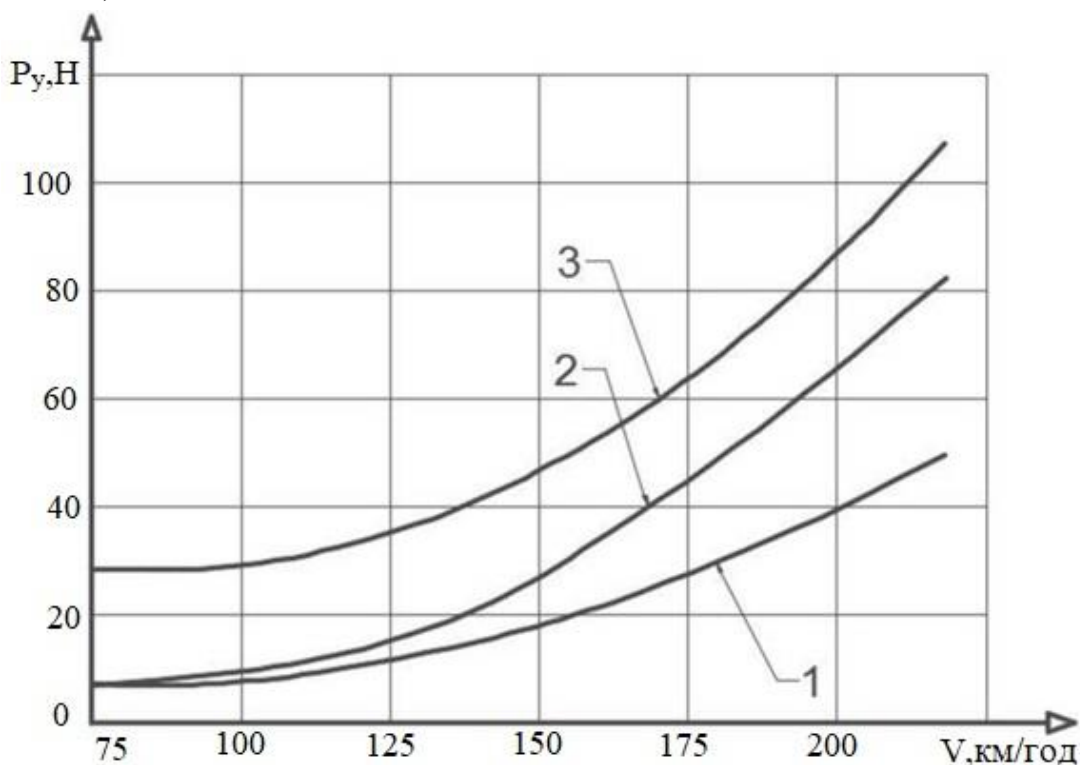


Рисунок 4.1 – Аеродинамічна підйомна сила струмоприймача при різних висоті підйому полоза (1 – 5,4 м; 2 – 5,6 м; 3 – 5,8 м)

Для розрахунків взаємодії струмоприймача і контактної підвіски аеродинамічний вплив характеризується за допомогою сил, що діють у вертикальному напрямку на кожен елемент конструкції струмоприймача.

На перерозподіл контактного натиснення по двом полозам впливають горизонтальні складові аеродинамічного впливу $P_{\text{хке}1}$ і $P_{\text{хке}2}$, які також визначаються експериментально (рисунок 4.2).

Для першого по ходу руху струмоприймача аеродинамічна складова увійде в силу наступною добавкою:

$$\Delta Q_{\alpha 1} = P_{\text{хке1}}(y_{\text{ке1}} - y_{\text{к}}) + P_{\text{уш1}} l_2 \cos \alpha_1 \quad (4.3)$$

Для другого струмоприймача:

$$\Delta Q_{\alpha 1} = P_{\text{хке2}}(y_{\text{ке2}} - y_{\text{к}}) + P_{\text{уш2}} l_2 \cos \alpha_2 \quad (4.4)$$

Для інших елементів струмоприймача аеродинамічна дія враховується за допомогою наступних добавок:

$$\begin{cases} \Delta Q_{\text{ур}} = P_{\text{ур}}, \\ \Delta Q_{\text{ук}} = P_{\text{ук}}, \\ \Delta Q_{\text{уке1}} = P_{\text{уке1}}, \\ \Delta Q_{\text{уке2}} = P_{\text{уке2}}. \end{cases} \quad (4.5)$$

4.2 Використання аеродинамічного профілю ЦАГІ серії «В»

В якості стандартного профілю, для монтажу в конструкцію несиметричного струмоприймача ЕРС, розглянемо випукло-увігнуті профілі ЦАГІ серії «В».

Профілі ЦАГІ серії «В» були розроблені в 30-ті роки і використовуються досі. Вони застосовувалися в якості конструкцій крил і оперення літаків другої світової війни, що мали крейсерську швидкість 400...500 км/год, у яких гвинт (пропелер) був розміщений перед крилом, завдяки чому його обтікав сильним турбулентним потоком повітря. Струмоприймач швидкісного потяга також обтікає турбулентний потік повітря при високих швидкостях руху. Кінематична схема управління, елеронами і закрилком у цих крил відрізнялися простотою виготовлення і низькою вартістю. Профіль ЦАГІ має тільки простий закрилок.

Цей профіль описується наступним рівнянням:

$$\bar{y} = 0,01\bar{c}[0,25(-\bar{x} + 7\bar{x}^2 - 6\bar{x}^3) \pm \bar{X}^{-0,87}(1 - \bar{x}^2)^{0,56}] \quad (4.6)$$

де $\bar{x}$, $\bar{y}$ - координати точок профіля, які виражені в долях хорди (початок координат розташований в хвості профіля).

Контури тонкого і середнього профілів показані на рисунку 4.3. Відносна товщина профілю $\bar{c}$ визначається відношенням максимальної товщини $\bar{c} = c / b$ (в міделевому перетині) до довжини хорди b , так як показано на рисунку 4.3.

Тонкі профілі мають відносну товщину $\bar{c} < 8\%$, середні $c < 15\%$.

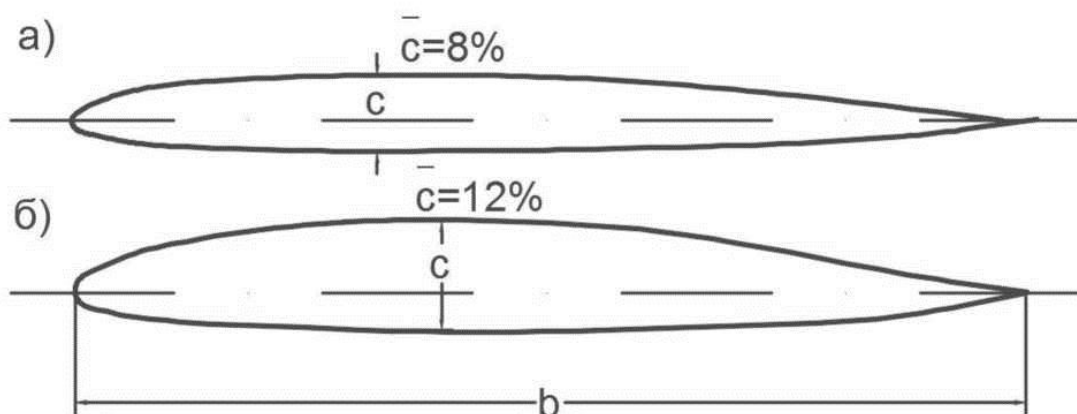


Рисунок 4.3 - Варіанти профілів ЦАГІ для пантографа: а) тонкий профіль;
б) середній профіль

На рисунку 4.4 показані криві залежності аеродинамічного коефіцієнту підйомної сили C_y від кута атаки α для тонкого і середнього профілів ЦАГІ, на рисунку.4.5 залежності коефіцієнта моменту C_m від коефіцієнта підйомної сили C_y . За допомогою цих графіків можна оцінити величину підйомної сили P_y діючу на профіль заданої площі.

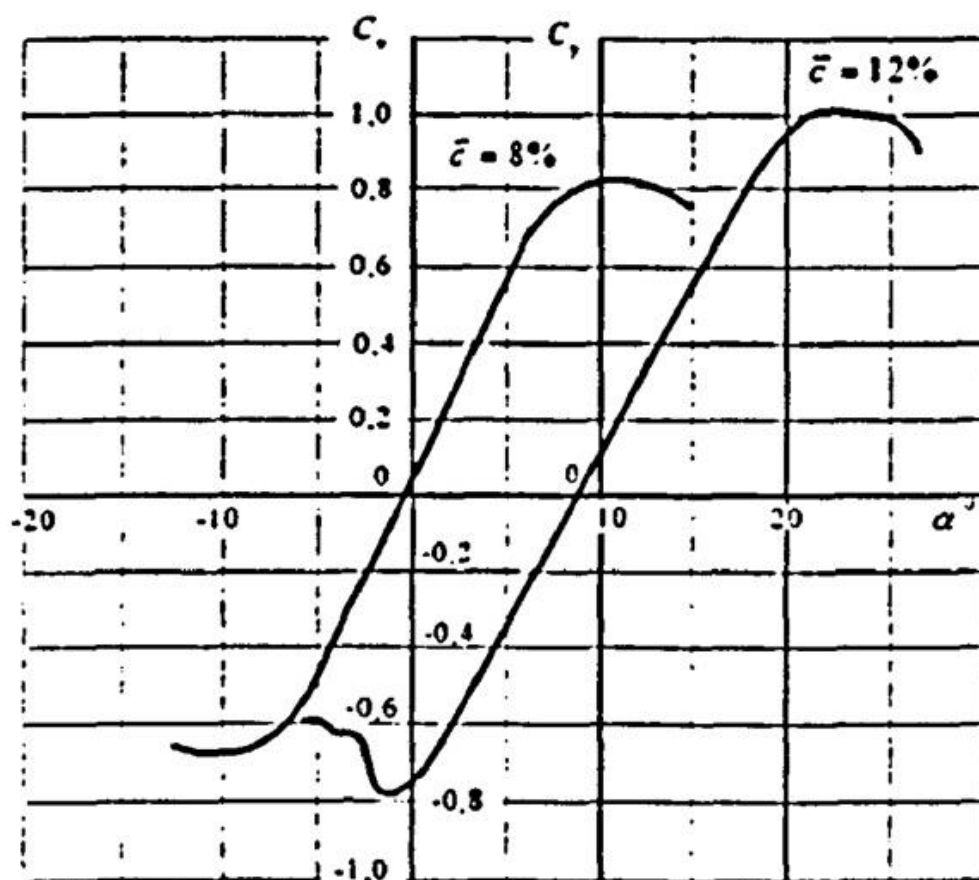


Рисунок 4.4 – Криві залежності $C_y = f(\alpha)$ для профілів ЦАГІ серії «В»

З рисунка 4.4 бачимо, що коефіцієнт C_y пропорційний куту атаки α , як додатному, так і від'ємному. Це характерно для тонких профілів ЦАГІ.

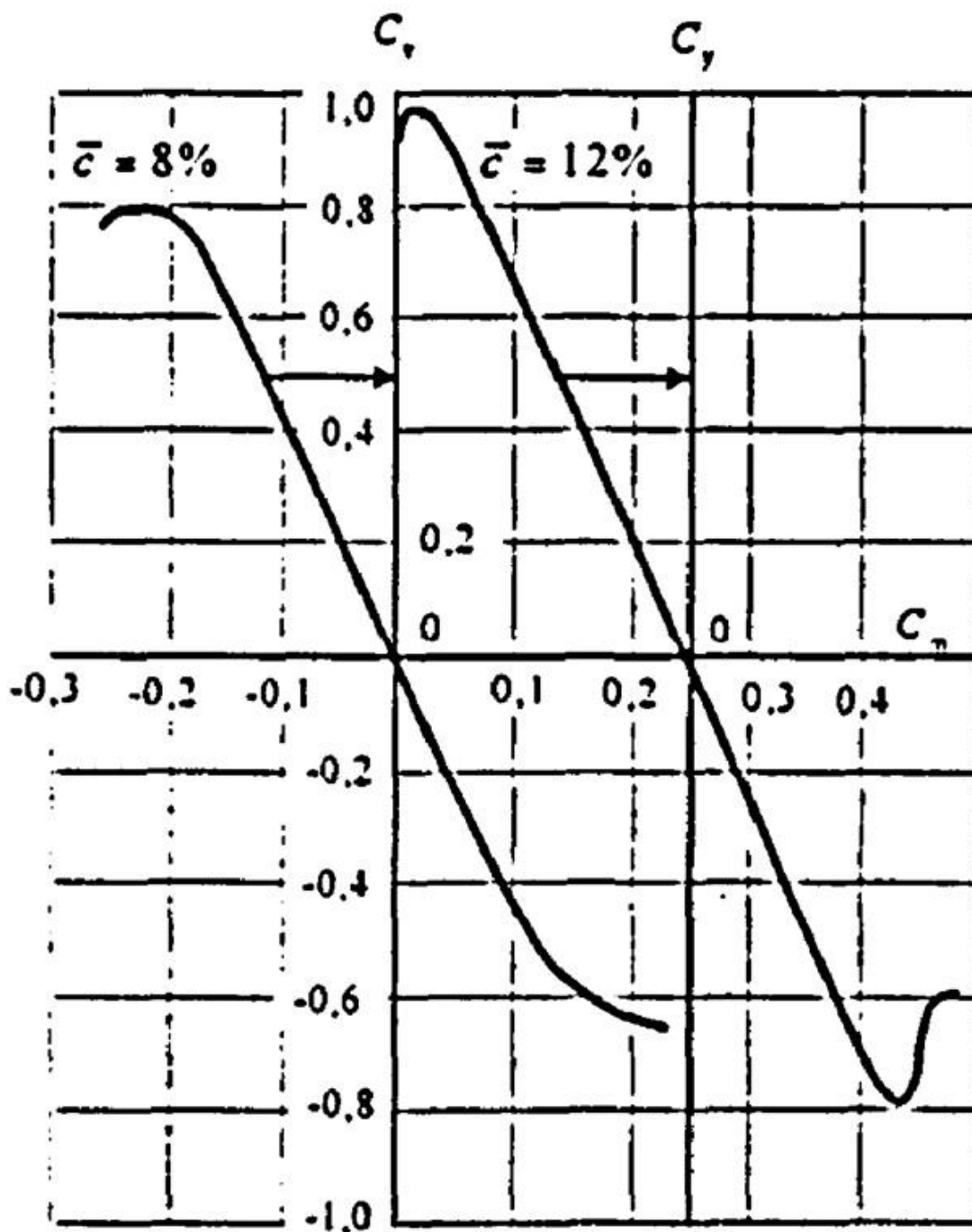


Рисунок 4.5 – Криві залежності $C_m = \int(C_y)$ для профілю ЦАГІ серії «В»

Провівши аналіз даних наведених в роботі можна зробити висновок, що тонкий та середній профілі практично однаково компенсують аеродинамічну підйомну силу, яка діє на полз стрмоприймача при високих швидкостях руху. Але тонкий профіль створює меншу силу лобового опору.

Отже тонкий профіль $\bar{c} = 8\%$ та середній $\bar{c} = 12\%$ несиметричного профілю ЦАГІ серії «В» з відносною товщиною, вказаними розмірами по хорді та розмаху є оптимальним для включення в конструкцію стрмоприймача електрорухомого складу.

В роботі відзначається, що необхідно, щоб аеродинамічний вплив на робочий струмоприймач зустрічного повітряного потоку при максимальній швидкості руху не викликав збільшення натиснення в порівнянні із середнім статичним більш ніж в 1,8 рази. Бачимо, що профіль ЦАГІ серії «В» забезпечує виконання цієї умови повністю до швидкостей електровоза $V = 110$ м/с (369 км/год).

Однак, вплив аеродинамічної сили на полож струмоприймача може бути зведено практично до нуля. Для цього потрібно використовувати закрилки на аеродинамічному профілі.

На рисунку 4.6 показана експериментальна залежність аеродинамічного коефіцієнта підйомної сили C_y від кута відхилення θ закрилки на профілі ЦАГІ серії «В», яка була отримана в модельних дослідках в аеродинамічній трубі та опубліковані в роботі.

З рисунку 4.6 видно, що при кутах атаки $\alpha < 10^\circ$ відхилення закрилки викликають зміну коефіцієнта підйомної сили C_y пропорційно куту відхилення θ по величині і знаку. Так при $\alpha = 0^\circ$ відхилення закрилки на кут $\theta = +10^\circ$ збільшує коефіцієнт підйомної сили від $C_y = 0,2$ до $C_y = 0,35$, а при відхиленні закрилки в іншу сторону зменшує цей коефіцієнт від $C_y = 0,2$ до $C_y = 0$. Відповідно при швидкості $V = 100$ м/с змінюється і підйомна сила профілю від $P_y = 740$ Н до $P_y = 0$.

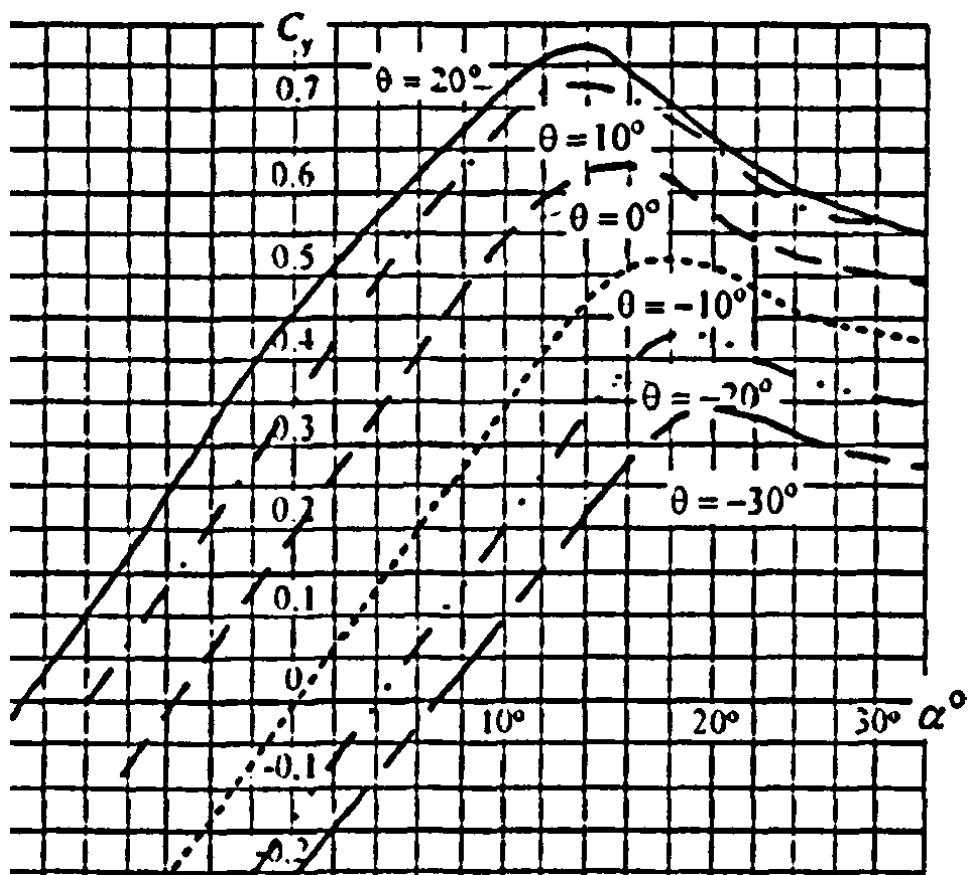


Рисунок 4.6 - Залежність аеродинамічного коефіцієнта підйомної сили C_y від кута відхилення закрилки на профілі ЦАГІ серії «В»

Таким чином, рух закрилка може відслідковувати зміну контактного натиснення, забезпечуючи його стабільність. Видно, що з ростом відносної товщини профілю залежність коефіцієнта C_y від кута атаки знижується. Саме цим обумовлюються переваги більш тонкого профілю, якщо стоїть завдання зменшення приведеної маси струмоприймача.

Кут атаки α може бути заданий спочатку, як інсталяційний, фіксований для даного інтервалу швидкостей. Якщо кут атаки є незмінним, близьким до нуля, то кращим варіантом є більш товстий профіль.

4.3 Розрахунок аеродинамічного профілю для симетричного струмоприймача

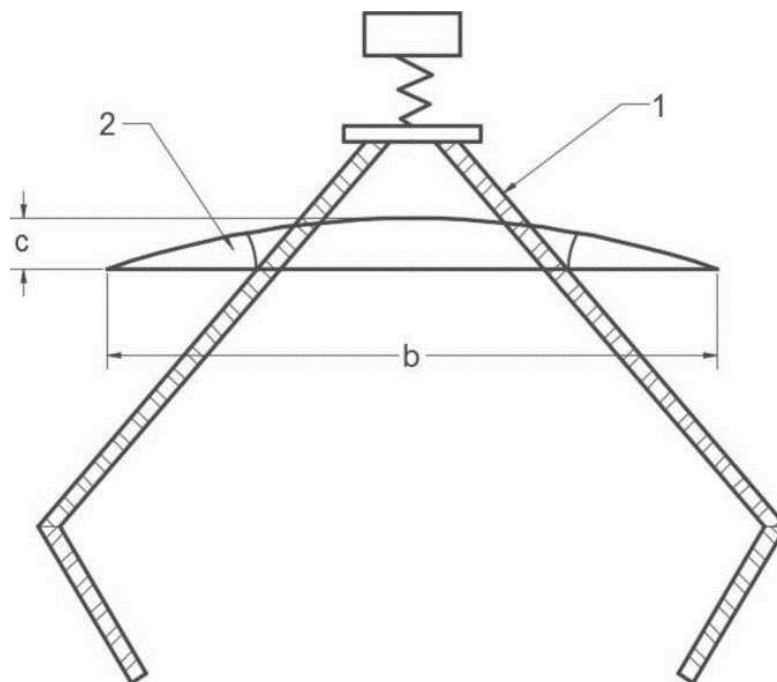
Для того щоб математично дослідити доцільність та ефективність використання аеродинамічного профілю ЦАГІ серії «В» в конструкції струмоприймачів проведемо деякі розрахунки аеродинамічних характеристик такого профілю.

Для розрахунку показників аеродинамічного профілю будемо застосовувати наближену теорію тонкого профілю, яка широко застосовується в практичній і теоретичній аеродинаміці. Ось ця теорія особливо зручна при обчисленні характеристик аеродинамічних профілів, що мають елементи які відхиляються (предкрилки, закрилки та ін.). Теорія дозволяє легко розрахувати не тільки підйомну силу профілю, а й величину шарнірних моментів елементів, що відхиляються.

В рамках даної теорії замість профілю розглядається його середня лінія, яка мало відрізняється від прямої (профіль мало-увігнутий) і всі аеродинамічні властивості середньої лінії приписуються профілю.

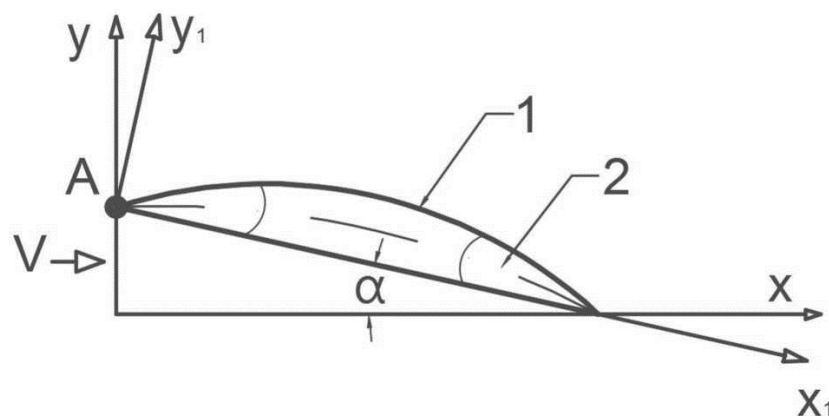
На рисунку.4.7 показаний аеродинамічний профіль, який монтується на симетричному струмоприймачеві, розробка якого і є одним з головних завдань цієї роботи.

Профіль має симетричну плоско-випуклу форму. Симетрична форма профілю обумовлена тим, що струмоприймач може переміщатися як у прямому, так і в зворотному напрямку в залежності від напрямку руху поїзда. Профіль має гострі передню і задню кромки. Це пов'язано з тим, що робота предкрилка і закрилка при зміні напрямку руху струмоприймача функціонально змінюється, а закрилок завжди повинен мати тонкий схід для забезпечення безвідривного обтікання повітряним потоком. Гострий носок профілю не є оптимальним в аеродинаміці, але все ж є допустимим для дозвукових швидкостей руху ($V = 330$ км/год).



1 - рама симетричного струмоприймача; 2 - аеродинамічний профіль
Рисунок 4.7 - Схема встановлення аеродинамічного профілю

Також профіль може бути встановлений під деяким кутом атаки α , як показано на рисунку 4.8. Швидкість потоку далеко від профілю - V_∞ , м/с, довжина хорди профілю в розмах - l_π м. Початок зв'язаної системи координат (x_1, y_1) знаходиться на кінці носка профілю, так як зображено на рисунку 4.8.



1 – верхня поверхня профілю; 2 – середня лінія
Рисунок 4.8 – Тонкий симетричний профіль

Приймаємо, що в системі координат x_1, y_1 , верхня сторона профілю є параболою і описується наступним рівнянням:

$$y_{1в} = \hat{a}x_1 \left(1 - \frac{x_1}{b}\right) \quad (4.7)$$

Нижня сторона профілю є плоскою і описується рівнянням:

$$y_{1н} = 0 \quad (4.8)$$

де $\hat{\alpha}$ - безрозмірний коефіцієнт, який визначає товщину профілю в середньому перерізі СС (рисунок 4.8). $y_1 = \frac{\hat{\alpha}b}{4}$. Для тонких профілів $\hat{\alpha} \approx 0,2 \dots 0,3$.

В теоретичній аеродинаміці аеродинамічні коефіцієнти C_y , C_m визначаються наступними виразами:

$$C_y = 2\pi(\alpha + \Phi_1), \quad (4.9)$$

$$C_m = 2\left(\Phi_2 - \frac{\pi}{4}\Phi_1\right) - \frac{C_y}{4}, \quad (4.10)$$

де Φ_1 , Φ_2 – інтеграли, що мають вигляд:

$$\Phi_1 = \frac{-1}{4} \int_0^\pi \frac{dy_1}{dx} (1 - \cos\theta) d\theta, \quad (4.11)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{4} \int_0^\pi \frac{dy_1}{dx} (1 - \cos\theta) d\theta, \quad (4.12)$$

де θ – змінна величина, яка зв'язана з координатою x відношенням:

$$x_1 = \frac{b}{2} (1 - \cos\theta) \quad (4.13)$$

З (4.13) видно, що при зміні x від $x = 0$ до $x = b$ величина θ змінюється від нуля до π . Це визначає інтервали інтегрування в (4.11) та (4.12).

Виходячи з (4.7), (4.8) знаходимо рівняння для знаходження середньої лінії даного профілю:

$$y_1 = \frac{1}{2}(y_{1в} + y_{1н}) = \frac{\hat{\alpha}}{2} x_1 \left(1 - \frac{x_1}{b}\right) \quad (4.14)$$

Похідна цієї функції буде мати наступний вигляд:

$$\frac{dy_1}{dx} = \frac{\hat{\alpha}}{2} \left(1 - \frac{2x_1}{b}\right) \quad (4.15)$$

Використовуючи значення x_1 з виразу (2.12), отримаємо:

$$\frac{dy_1}{dx} = \frac{\hat{\alpha}}{2} \cos\theta \quad (4.16)$$

Підставимо (4.16) в (4.11), (4.12) і виконуємо інтегрування:

$$\Phi_1 = \frac{-1}{\pi} \int_0^x \frac{\hat{\alpha}}{2} \cos\theta (1 - \cos\theta) d\theta = \frac{\hat{\alpha}}{4} \quad (4.17)$$

$$\Phi_2 = -\frac{1}{4} \int_0^x \frac{\hat{\alpha}}{2} \cos\theta (1 - \cos\theta) d\theta = 0 \quad (4.18)$$

З виразів (4.9) та (4.17) виводимо вираз для знаходження підйомної сили:

$$C_y = 2\pi \left(\alpha + \frac{\hat{\alpha}}{4} \right) \quad (4.19)$$

З виразів (4.8), (4.17), (4.18), (4.19) отримаємо коефіцієнт моменту:

$$C_m = \frac{\pi}{2} \left(\alpha + \frac{\hat{\alpha}}{4} \right) \quad (4.20)$$

З останніх двох виразів можемо визначити коефіцієнт центру тиску:

$$C_{ц.м} = \frac{-C_m}{C_y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\alpha} + 2\alpha}{\hat{\alpha} + 4\alpha} \right) \quad (4.21)$$

А координата центру тиску буде рівною:

$$x_{ц.м} = b C_{ц.м} = \frac{b}{2} \left(\frac{\hat{\alpha} + 2\alpha}{\hat{\alpha} + 4\alpha} \right) \quad (4.22)$$

Визначаємо підйомну силу F_y та аеродинамічний момент M відносно точки А (див. рисунок 4.8) з отриманих виразів (4.19), (4.20). Підйомна сила буде визначатися за наступним виразом:

$$F_y = C_y \frac{\rho V_\infty^2}{2} b \cdot l \quad (4.23)$$

А аеродинамічний момент визначається:

$$M = -C_m \frac{\rho V_\infty^2}{2} b^2 \quad (4.24)$$

Для того, щоб уникнути великих сил лобового опору, як відзначалося вище, аеродинамічний профіль повинен бути тонким або середнім, а кути атаки встановлення малими. Для тонких профілів постійна має значення $\hat{\alpha} = 0,2...0,3$.

Було проведено розрахунки аеродинамічних коефіцієнтів C_y , C_m , $C_{ц.м}$, а

також підйомної аеродинамічної сили F_y , та аеродинамічного моменту M для аеродинамічного симетричного профіля з наступними вхідними параметрами:

- довжина хорди $b = 0,8\text{м}$;
- кути атаки $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 2,87^\circ$, $\alpha = 5,7^\circ$;
- постійна $\hat{\alpha} = 0,2$, $\hat{\alpha} = 0,28$;

Швидкість руху повітряного потоку прийнята $V_\infty = 50\text{м/с}$.

Дані розрахунків представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунку аеродинамічних характеристик симетричного плоско-випуклого профілю для струмоприймача

Кут атаки α град/рад	$\hat{\alpha}$, м	b , м	C_y	C_m	$C_{y.m}$	F_y , Н	M , Н
0/0	0,2	0,3	0.314	0,157	0,500	113,04	21.195
	0,28	-	0.44	0,22	0,500	158,26	29.673
2,75/0,05	0,2	0.3	0,628	0.235	0,375	226.1	31,79
	0,28	-	0.754	0,298	0,395	271,4	40.27
5,7/0,1	0,2	0.3	0,942	0,314	0.200	339,12	42,39
	0,28	-	1.068	0.377	0,353	384,34	50.87

З таблиці 4.1 бачимо що при нульовому куті атаки при швидкості повітряного потоку 50 м/с, що близько швидкості руху ЕРС 180 км/год, аеродинамічний профіль створює підйомну силу 113-158 Н, що близько до контактного натиснення полоза струмоприймача на контактний дріт. Зі збільшенням кута атаки до 5.7 градусів підйомна сила збільшується в 3 рази до 339384 Н. Аеродинамічний момент зі збільшенням кута атаки також збільшується але лише в два рази.

Порівнявши отримані дані в таблиці 4.1 для симетричного плоско- випуклого профіля і порівнявши криві зображені вище на рисунку для стандартно профіля ЦАГІ серії «В» бачимо, що при швидкостях ЕРС 180 км/год вони забезпечують майже однакові значення підйомної сили.

Можна зробити висновок, що симетричний по хорді плоско-випуклий аеродинамічний профіль є доцільним для використання в конструкції струмоприймачів, щоб стабілізувати рівень контактного натиснення зі збільшенням швидкості руху.

4.4 Висновок по розділу

Зі збільшенням швидкості росте аеродинамічна складова яка впливає на силу контактного натиску. Вплив цієї складової залежить від обтічної форми носової частини електропоїзда, від форми полоза струмоприймача, його кута атаки. Аеродинамічна складова також чинить свій вплив і на раму струмоприймача але в менший мірі і не є важливою. Нормами для струмоприймачів затвердженими ГОСТ 12058-72 вказано, що аеродинамічна складова може збільшувати контактне натиснення не більше ніж в 1,8 рази, а зменшувати не більше ніж на 30%.

Для того, щоб регулювати контактне натиснення запропоновано використовувати в конструкції струмоприймача аеродинамічний профіль, на прикладі профілю ЦАГІ серії «В». Цей профіль застосовується в конструкції літаків і підходить для включення в конструкцію швидкісного струмоприймача. Основними параметрами є кут атаки, та відносна товщина. Доцільним є використання тонкого та середнього за товщиною профіля. У випадку коли кут атаки є постійним для профіля краще вибрати середній за товщиною.

Для монтажу в конструкцію симетричного струмоприймача типу 17PP запропоновано використовувати профіль симетричної плоско-опуклої форми, що дозволяє йому однаково працювати в обох напрямках руху без зміни положення. Така конструкція в аеродинаміці не є оптимальною, але для швидкостей до 330 км/год є допустимою.

Проведені розрахунки показали що при куті атаки 0° , швидкості руху 180 км/год профіль створює підйомну силу в межах 100-150 Н що є подібною до сили статичного натиску. Порівняння отриманих розрахунків для даного профілю з даними для профілів ЦАГІ показали подібність результатів, що означає що даний профіль є доцільним для використання в конструкції струмоприймачів розрахованих для високих швидкостей руху.

ВИСНОВКИ

1 Зі збільшенням швидкості росте аеродинамічна складова яка впливає на силу контактного натиску. Вплив цієї складової залежить від обтічної форми носової частини електропоїзда, від форми полоза струмоприймача, його кута атаки.

2 Аеродинамічна складова також чинить свій вплив і на раму струмоприймача але в меншій мірі і не є важливою. Нормами для струмоприймачів затвердженими ГОСТ 12058-72 вказано, що аеродинамічна складова може збільшувати контактне натиснення не більше ніж в 1,8 рази, а зменшувати не більше ніж на 30%. Для того, щоб регулювати контактне натиснення запропоновано використовувати в конструкції струмоприймача аеродинамічний профіль, на прикладі профілю ЦАГІ серії «В». Цей профіль застосовується в конструкції літаків і підходить для включення в конструкцію швидкісного струмоприймача.

3 Основними параметрами є кут атаки, та відносна товщина. Доцільним є використання тонкого та середнього за товщиною профіля. Якщо кут атаки змінний від швидкості руху електропоїзда то краще використовувати тонкий профіль для зменшення приведеної маси струмоприймача. У випадку коли кут атаки є постійним для профіля краще вибрати середній за товщиною.

4 Для монтажу в конструкцію симетричного струмоприймача типу 17РР запропоновано використовувати профіль симетричної плоско-опуклої форми, що дозволяє йому однаково працювати в обох напрямках руху без зміни положення. Така конструкція в аеродинаміці не є оптимальною, але для швидкостей до 330 км/год є допустимою.

5 Проведені розрахунки показали що при куті атаки 0° , швидкості руху 180 км/год профіль створює підйомну силу в межах 100-150 Н що є подібною до сили статичного натиску. Порівняння отриманих розрахунків для даного профілю з даними для профілів ЦАГІ показали подібність результатів, що означає що даний профіль є доцільним для використання в конструкції струмоприймачів розрахованих для високих швидкостей руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Иванов В., Кудряшев В., Саенко Н. Контактная сеть КС-200 постоянного тока, технические характеристики, конструкция и монтаж // Инженер путей и сообщения. - 1998. - №2.
2. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередач. - М.: Маршрут, 2003. - 421 с.
3. Беляев И.А. Взаимодействие токоприёмника и контактной сети при высоких скоростях движения. - М.: Транспорт, 1968 - 159 с.
4. Вологин В.А. Взаимодействие токоприёмников и контактной сети. - М.: Интекст, 2006 - 256 с.
5. Контактная подвеска типа Re330 // Железные дороги мира. - 1996. - №6. - С. 27-32.
6. Контактная сеть на высокоскоростных линиях // Железные дороги мира. - 1993. - №3. - С. 25-26.
7. Токоприёмник с низким уровнем аэродинамического шума // Железные дороги мира. - 1995. - №2. - С. 63.
8. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика. - М.: Машиностроение, 1972. - 448 с.
9. ГОСТ 12058-72. Токоприёмники электроподвижного состава магистральных железных дорог. Общие технические условия.
10. Беляев И.А. Бердзенишвили Б.Г. и др. Токоприемники электроподвижного состава. М.: Транспорт, 1970. - 191 с.
11. Портис А. Берклеевский курс физики. Физическая лаборатория. М.: Наука, 1972. - 319 с.

ДОДАТКИ

Додаток А - Мультимедійні демонстраційні матеріали



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СТРУМОЗНИМАННЯ ЕЛЕКТРОВІЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

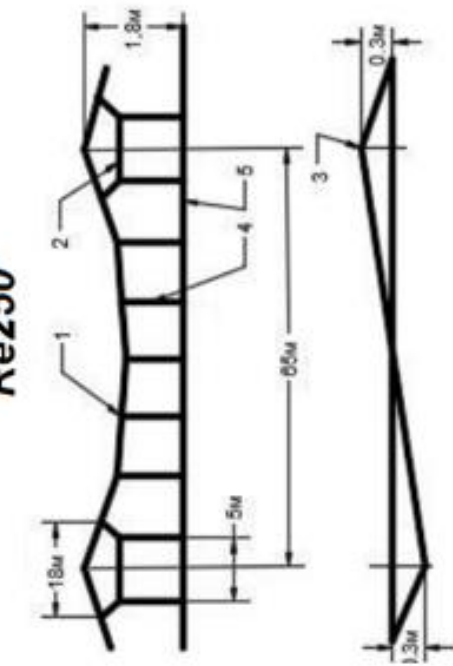
Виконав: Міхальчук М.М., гр. ЕТ20120

Керівник: Васильєв В.Є.

ШВИДКІСНІ ЛАНЦЮГОВІ ПІДВІСКИ

1

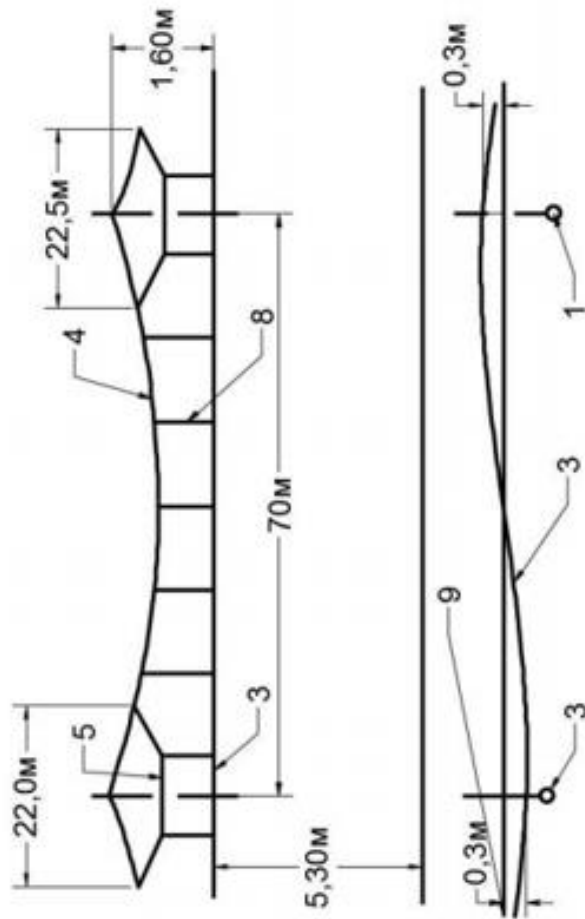
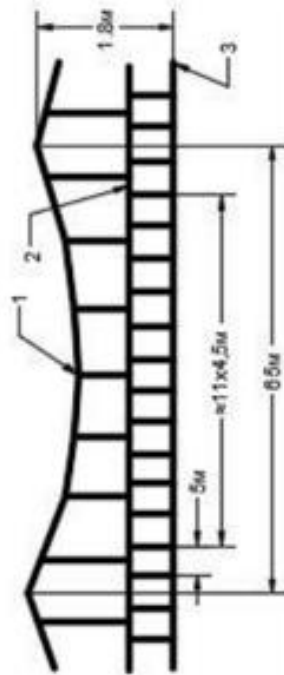
Re250



SICAT



Re330

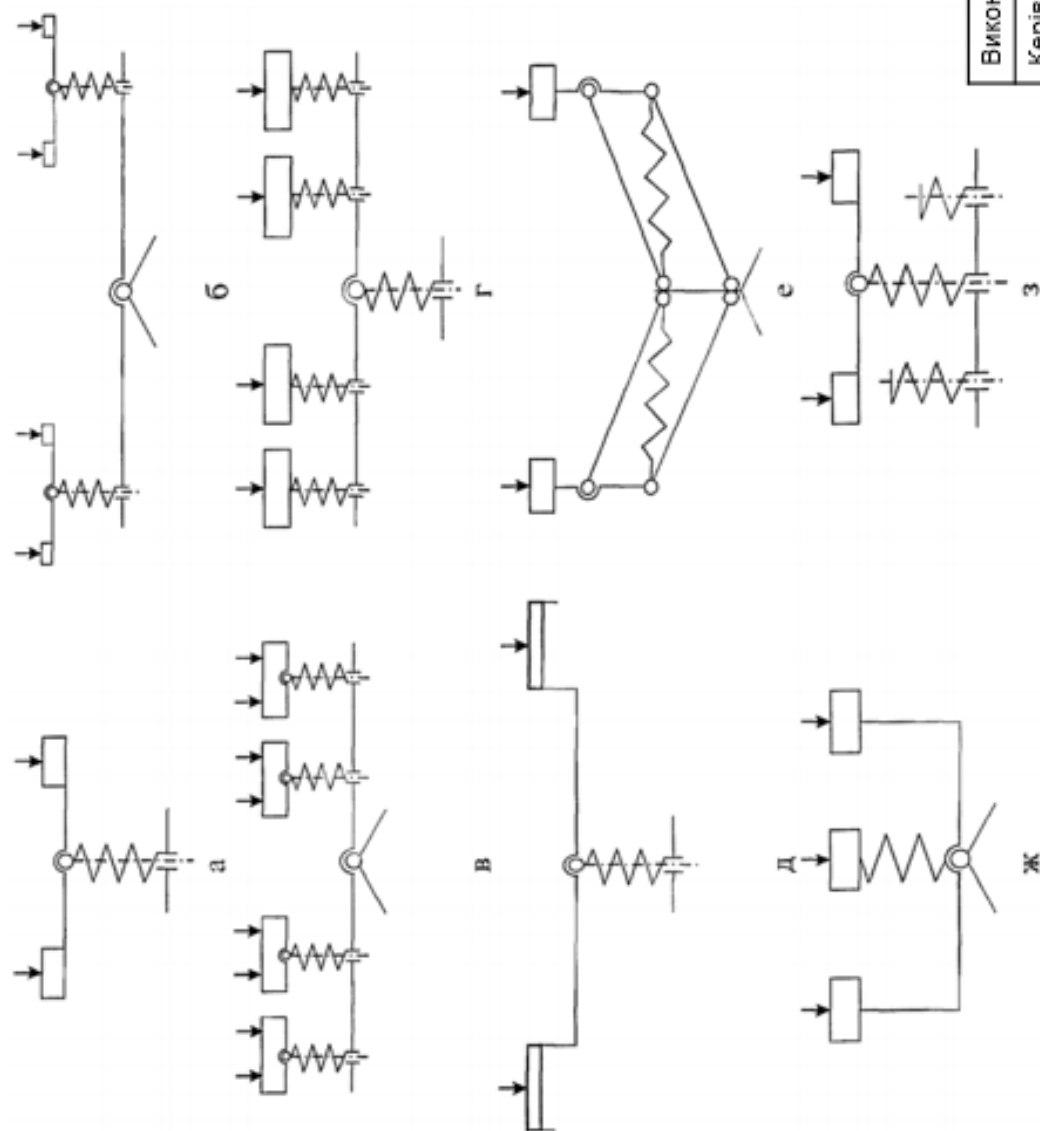


Виконав Міхальчук М.М..

Керівник Васильєв В.Є.

КОНСТРУКЦІЇ ВЕРХНІХ ВУЗЛІВ СТРУМОПРИЙМАЧІВ

2



Виконав Міхальчук М.М.

Керівник Васильєв В.Є.

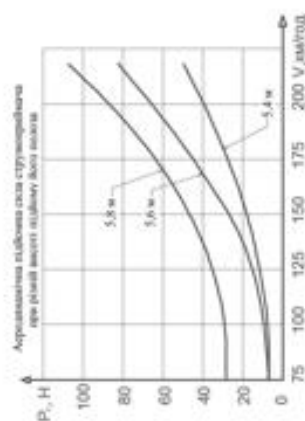
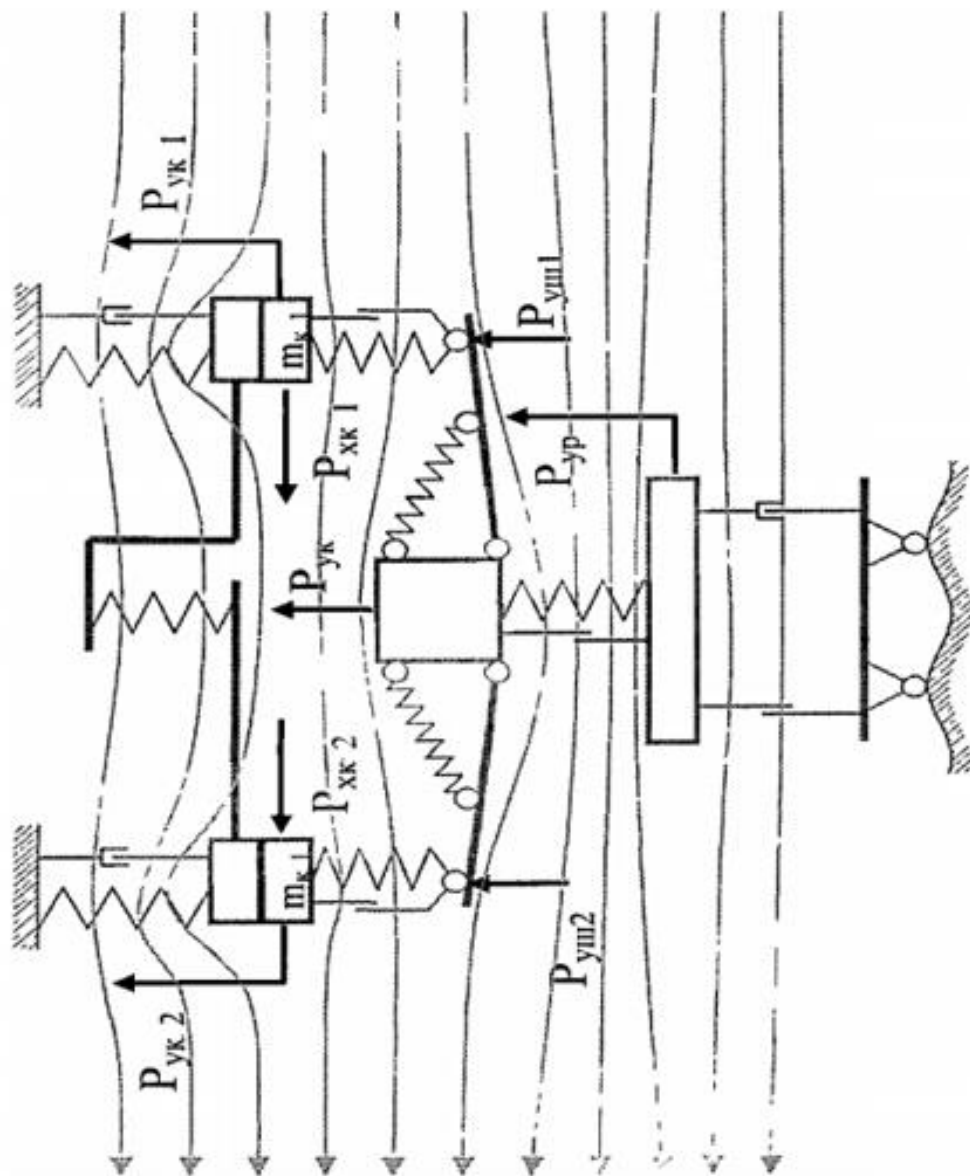
АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОФІЛІВ 3

Тип механізації	Профіль	опт	C_{ymax}	C_{xmax}
Немеханізоване крило				
Звичайна закрилка		40...50°	0...0,8	0,10...0,12
Однощільний закрилок		35...40°	0,8...1,1	0,10...0,13
Двощільний закрилок		30...55°	1,3...1,5	0,20...0,25
Висувний щільний закрилок		30°	1,5...1,7	0,1
Висувний щільний закрилок		15 і 30°	2,0...2,2	0,15...0,16
Предкрилок		25.30°	0,6...0,9	0

Виконав Міхальчук М.М.

Керівник Васильєв В.Є.

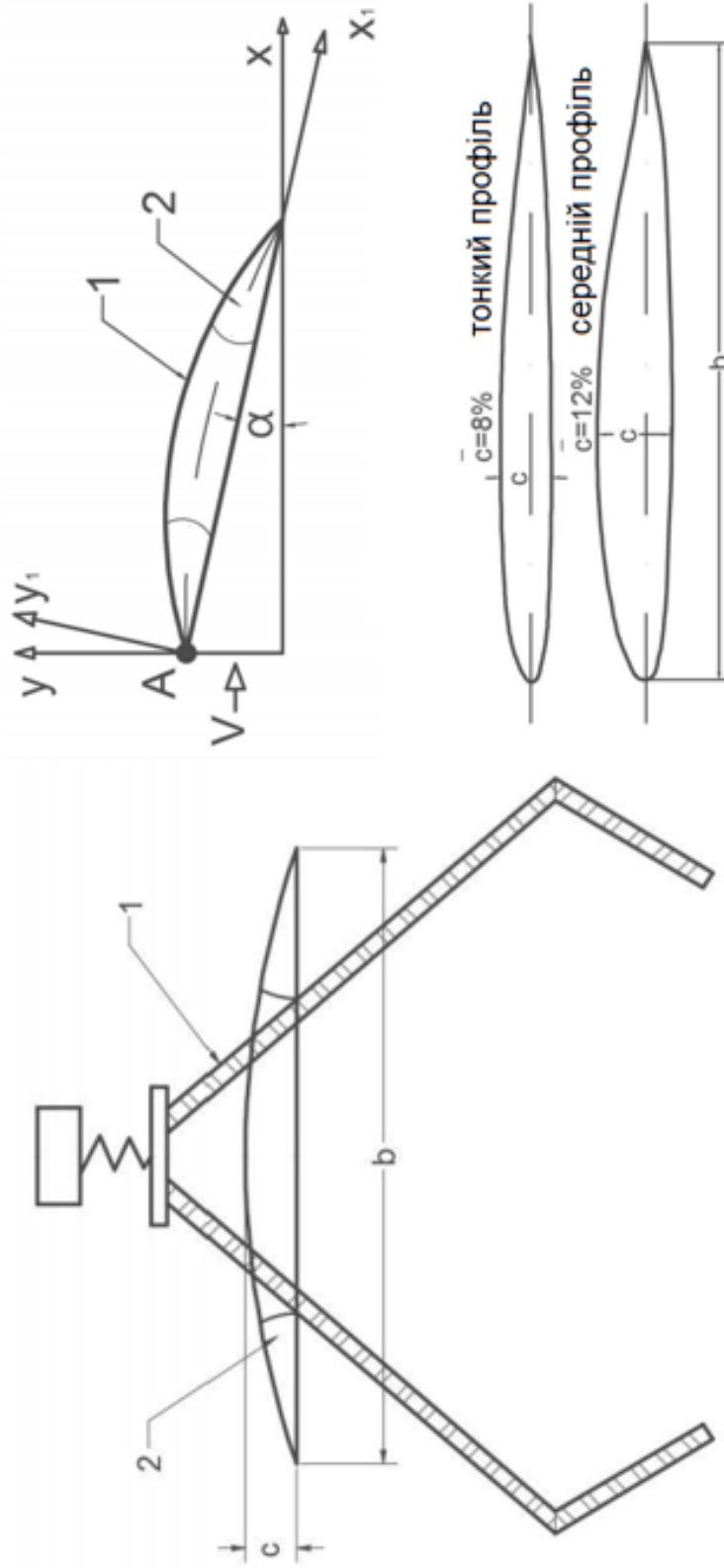
5 КІНЕМАТИЧНА СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ СТРУМОПРИЙМАЧА З КОНТАКТНОЮ ПІДВІСКОЮ



Виконав	Міхальчук М.М.
Керівник	Васильєв В.Є.

СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ПРОФІЛЮ

6



Виконав Міхальчук М.М..

Керівник Васильєв В.Є.

ВИСНОВКИ

7

- 1 Зі збільшенням швидкості росте аеродинамічна складова яка впливає на силу контактного натиску. Аеродинамічна складова може збільшувати контактне натиснення не більше ніж в 1,8 рази, а зменшувати не більше ніж на 30%.
- 2 Для того, щоб регулювати контактне натиснення запропоновано використовувати в конструкції струмоприймача аеродинамічний профіль. Основними параметрами є кут атаки, та відносна товщина.
- 3 Для монтажу в конструкцію симетричного струмоприймача пропонується використовувати профіль симетричної плоско-опуклої форми, що дозволяє однаково працювати в обох напрямках руху без зміни положення.
- 4 Проведені розрахунки показали що при куті атаки 0° , швидкості руху 180 км/год профіль створює підйомну силу в межах 100-150 Н що є подібною до сили статичного натиску.

Виконав	Міхальчук М.М.
Керівник	Васильєв В.Є.