

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

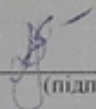
(ступінь вищої освіти)

на тему: Магнітний вплив контактної мережі на рейкові кола

за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті

зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: АТ1811



(підпис студента)

/ Ігор ДАЙЛІДЕНКО /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:



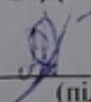
(підпис)

/ доцент Вадим ЩЕКА /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент



(підпис)

Дніпро – 2022__ рік

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

Faculty “Computer technologies and systems”

Department “Automatics and Telecommunications”

Explanatory Note
to Bachelor’s Thesis

on the topic: Magnetic influence of catenary on rail circuits

according to educational curriculum Automation and automatization in transport

in the speciality: 151 Automation and computer integrated technologies
(speciality and its code)

Done by the student _____ of the group: AT1811

/ Igor Daylidenko/
(name, surname)

Scientific Supervisor: _____ / associate professor Vadym SHCHEKA /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: КТС

Кафедра: АТ

Рівень вищої освіти: перший

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології

1 (шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту Дайліденко Ігору Сергійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Магнітний вплив контактної мережі на рейкові кола

Керівник роботи: Щека Вадим Ігорович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"18" жовтня 2022 р. №

704ст

2. Строк подання студентом роботи: 23.05.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Принципові схеми рейкових кіл, методики розрахунку впливу контактної мережі на рейкові кола, нормативна документація, довідкові дані

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

4.1 Аналітична частина: Огляд питання електромагнітного впливу контактної мережі на рейкові кола, особливості магнітного впливу.

4.2 Основна частина: Моделювання магнітного впливу контактної мережі на рейкові кола.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища:

Охорона праці при проведенні обслуговування рейкових кіл

4.4 Економічна частина: не передбачена

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Структурна схема контактної мережі, результати моделювання наведених в рейках ЕРС в залежності від відстані між коліями, результати моделювання різниці наведених в рейках ЕРС в залежності від відстані між коліями, залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від міжколійної відстані та частоти впливаючого струму, залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від висоти розташування КП та провідності землі.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	06.03.2022	
2	Основна частина	24.04.2022	
3	Охорона праці та захист навколишнього середовища	23.05.2022	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.05.2022	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Експертної комісії	23.06.2022	

Студент

_____ (підпис)

Ігор ДАЙЛІДЕНКО

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вадим ЦЕКА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:
50 сторінок, 11 рисунків, 13 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – електромагнітні процеси в системі «рейкове коло – контактна мережа».

Мета роботи – дослідження магнітного впливу контактної мережі на рейкові кола.

Методи дослідження – математичне моделювання з використанням математичного пакету Mathcad та уточненням параметрів моделі шляхом дослідження літературних джерел та нормативних документів.

В результаті проведених досліджень виявлено, що найбільш несприятливі умови для роботи рейкових кіл виникають при розташуванні суміжних колії на відстані 5,9 м. При такому розміщенні суміжних колій в рейках індують-ся по-здовжні ЕРС, різниця яких досягає найбільших значень, що при певних умовах може створювати заважаючий, або навіть небезпечний вплив на роботу рейкових кіл. Також рівень наведеної ЕРС значно зменшується при збільшенні частоти завади за рахунок зменшення струму завади на високих частотах. При невисоких підвісах КП над землею та зменшенні провідності землі рівень наведених ЕРС в суміжних колах збільшуватиметься.

Ключові слова: ЗВОРОТНИЙ ТЯГОВИЙ СТРУМ, РЕЙКОВЕ КОЛО, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ, ЗАВАДИ В РЕЙКОВИХ КОЛАХ.

Зміст

Вступ.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Аналіз електромагнітних умов роботи рейкового кола	9
1.2 Види впливу тягової мережі на рейкові кола.....	11
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Математичне моделювання магнітного впливу контактної мережі на рейкові кола	15
2.2. Визначення параметрів моделі	21
2.3 Результати дослідження	31
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	36
3.1 Вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні	36
Висновки та рекомендації	39
Перелік посилань.....	40

Вступ

Залізничний транспорт в Україні є стратегічним об'єктом і займає панівне місце по об'ємам перевезень вантажів. Більш економічно доцільними для розвитку руху та експлуатації є електрифіковані залізничні лінії, а найбільш перспективним є електротяга змінного струму, використання якої надає можливість збільшити потужність та швидкість поїздів при мінімальних затратах на кілометр тяги.

Системи інтервального регулювання рухом поїздів на залізницях України базуються на рейкових кола, що є первинними колійними датчиками. Водночас рейки пропускають не лише сигнальний струм, а й зворотній тяговий струм і є, фактично, разом з контактною мережею, частиною тягової мережі. Таким чином рейкові кола постійно знаходяться під електромагнітним впливом з боку тягової мережі, що ускладнює умови їх роботи та процес експлуатації. Між тим рейкові кола є елементом автоматики, що відповідає за безпеку руху і справність цих датчиків є необхідною умовою для руху поїздів.

Таким чином тема дипломної роботи, що присвячена питанню електромагнітного впливу контактної мережі на рейкові кола є актуальною. Дослідження питань електромагнітного впливу контактної мережі на рейкові кола дозволить оцінити ступінь небезпеки цього впливу та за необхідності розробити і впровадити методи та технічні засоби, які дозволять цей вплив зменшити, або захистити рейкові кола від нього.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Рейкові кола є основним колійним датчиком, що контролює положення поїзда (зайнятість/вільність блок-участків), цілісність рейкових ниток, а також виконують функції каналу передачі коду автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) від колійних пристроїв на локомотив. Таким чином, рейкові кола є первинним елементом, що безпосередньо визначає безпеку руху поїздів. Одночасно, рейкові лінії входять до складу тягової мережі і пропускають зворотний тяговий струм від локомотива на живлячі підстанції. Відповідно на роботу рейкових кіл впливає безліч дестабілізуючих чинників, зокрема електромагнітні перешкоди з боку системи тягового електропостачання.

1.1 Аналіз електромагнітних умов роботи рейкового кола

Відповідно до визначення Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), а також згідно з Міждержавною Радою із стандартизації, метрології і сертифікації під електромагнітною сумісністю розуміється здатність технічного засобу (електротехнічного устаткування, приладу) функціонувати із заданою якістю в заданій електромагнітній обстановці і не створювати неприпустимих електромагнітних перешкод іншим технічним засобом.[6]

Електромагнітна перешкода – електромагнітне явище, процес, які знижують або можуть понизити якість функціонування технічного засобу.[6].

До електромагнітного впливу схильні практично будь-які електричні лінії (як повітряні, так і кабельні) з меншим рівнем передачі енергії, прокладені поблизу від електричної залізниці: лінії телефонного і телеграфного зв'язку, радіомовлення, телекерування і телесигналізації, рейкові кола автоблокування, силові і освітлювальні електричні мережі, низьковольтні лінії електропередачі.

Електрифікована залізниця включає наступні впливаючі лінії, які створюють електромагнітний вплив на суміжні слабкострумові системи [5]:

- тягова мережа, повністю несиметрична за параметрами. Вона передає енергію з несинусоїдальними змінними або пульсуючими постійними струмами і напругами;

- розподільні лінії змінного струму для повздовжнього електропостачання автоблокування і не тягових споживачів з несиметричними і несинусоїдальними (із-за електричної тяги) напругами і струмами;

- а також лінії ДПР з несиметричними параметрами.

Ступінь електромагнітного впливу залежить від симетричності впливаючих і схильних до впливу ліній. Коло вважається симетричним, якщо його проводи мають однакові первинні (активний опір, індуктивність, ємність між проводами і відносно землі, провідність ізоляції) і вторинні параметри (волновий опір і коефіцієнт розповсюдження хвилі). Струми і напруги в усіх проводах такого кола однакові по величині і протилежні по фазі. В цьому випадку векторна сума струмів і напруги всіх проводів кола дорівнює нулю. Таке коло створює мінімальний вплив на суміжні. Але оскільки абсолютно однаковими параметрами проводи кола не володіють, то практично всі електричні кола є повністю або частково несиметричними.

Якщо залишкова напруга (векторна сума напруги всіх проводів) ліній дорівнює робочій напрузі і струм в землі дорівнює робочому струму, то така лінія є повністю несиметричною. До повністю несиметричних ліній можна віднести: тягову мережу електричних залізниць, лінії передачі однофазного струму з використанням землі як зворотнього проводу, лінії, які працюють за системою «два дроти – рейка» (ДПР).[4, 5]

Найбільший електромагнітний вплив створюють лінії з більшим ступенем несиметрії, оскільки напруженість електромагнітного поля біля такої лінії буде максимальною, тоді як напруженість електромагнітного поля біля симетричної лінії буде мінімальною.

Значний електромагнітний вплив створюють мережі з високим рівнем передачі електроенергії на лінії з меншим рівнем передачі, наприклад, тягова мережа електричних залізниць або високовольтні лінії електропередачі – на лінії зв'язку, рейкові кола, низьковольтні електричні мережі і ін. Зворотний вплив

ліній низького рівня передачі електроенергії на мережі з високим рівнем передачі зазвичай невеликий, і його практично можна не враховувати.[5]

Причиною появи гармонійних складових в мережі тягового струму є перетворення на тягових підстанціях або на електрорухомому складі електричної енергії змінного струму в енергію випрямленого струму і навпаки за допомогою статичних напівпровідникових перетворювачів. Це пов'язано із значним споживанням реактивної енергії перетворювальними агрегатами. Крім того, напівпровідникові перетворювачі відносяться до класу навантажень, що мають нелінійні вольт-амперні характеристики, і споживають з мережі несинусоїдальний струм, спотворюючи криву напруги живлячих електросистем.[4, 5]

Електрична тяга змінного струму є не тільки потужним споживачем реактивної енергії і несинусоїдального струму, але і потужним несиметричним однофазним навантаженням, що приводить до появи несиметрії напруги в живлячих електричних трифазних системах.

Поява гармонік в кривих струму і напруги тягової мережі приводить до утворення змінних електромагнітних полів, які створюють на суміжні лінії електричний, магнітний і гальванічний вплив. Електричний вплив виявляється в наведенні в суміжній лінії потенціалу по відношенню до землі під впливом електричного поля, яке створюється за наявності напруги в контактній мережі. [4, 5]

1.2 Види впливу тягової мережі на рейкові кола

На електрифікованих залізницях рейкові кола окрім своїх безпосередніх призначень виконують функцію каналізації зворотного тягового струму (рисунок 1.1), гармонічні складові якого можуть потрапляти у смугу сигнальних частот, створюючи цим заважаючий або небезпечний вплив. Таким чином тягова мережа створює гальванічний (або кондуктивний) вплив на рейкові кола та лінії, робочі заземлення яких знаходяться у сфері протікання блукаючих струмів, а також на заземлені споруди і комунікації.

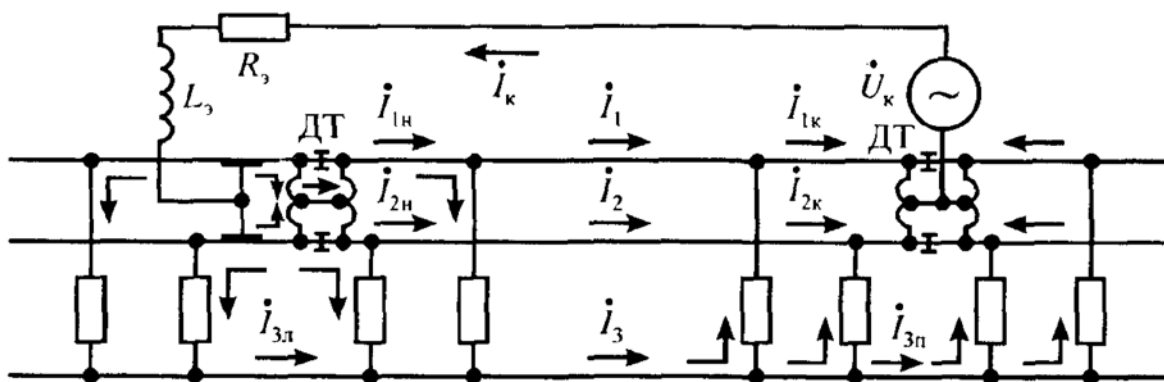


Рисунок 1.1 – Схема протікання тягового струму в рейках

Магнітний вплив системи електропостачання (рисунок 1.2) полягає у виникненні повздовжньої ЕРС в суміжній лінії, що індукується магнітним полем, яке створюється струмом контактної мережі. Повздовжня ЕРС, при розподілі уздовж лінії, створює в ній напругу відносно землі, що змінюється по довжині лінії, а також викликає в ній струм, який замикається через розподілену ємність лінії відносно землі. До того ж у двопровідних лініях повздовжні ЕРС, індуквані в кожному дроті, створюють в кінці лінії неоднакову напругу кожного дроту відносно землі унаслідок подовжньої і поперечної асиметрії ліній (наприклад: неоднакові опори рейок, викликаний обривом стикових з'єднувачів, неоднаковий опір ізоляції уздовж лінії). В результаті цього з'являється струм асиметрії. При струмі асиметрії більше 12 А перенапруження на живлячих кінцях РЦ досягають 600 В і вище. Подібні перенапруження з'являються також на приймальних кінцях РЦ, що супроводжується різким зростанням змінного струму, який тривало (іноді декілька годин) протікає по різних елементах РЦ (ДТ, колійні трансформатори, резистори, входні трансформатори фільтрів ФП та ін.). Ще до спрацьовування автоматичного вимикача АВМ-1 ці елементи перегріваються і виходять з ладу.

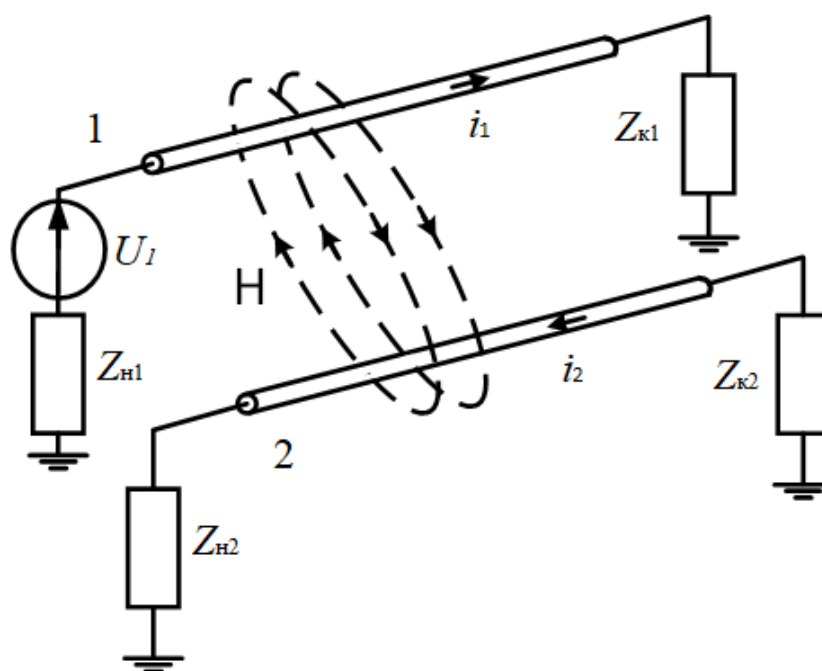


Рисунок 1.2 – Модель магнітозв'язаної двопровідної системи з загальним проводом; 1 – лінія, що є джерелом завад; 2 – лінія, що є приймачем завад

Електричний вплив обумовлено наявністю в контактній мережі змінної напруги, що створює в навколишньому просторі змінне електричне поле. Між впливаючим проводом 1 контактної підвіски (рисунок 1.3) і проводом зв'язку 2 мається ємнісний зв'язок C_{1-2} і кожен з цих проводів має певну ємність по відношенню до землі C_{1-0} і C_{2-0} . внаслідок чого виникають ємнісні струми, зокрема, струм $i_{C_{1-2-0}}$. Це викликає появу потенціалу на проводі зв'язку. Якщо знехтувати провідністю ізоляції, то величина наведеного в лінії зв'язку потенціалу може бути визначена з виразу:

$$U_{\text{з}} = U_{\text{КС}} \cdot \frac{C_{1-2}}{C_{2-0} + C_{1-2}}, \quad (1.1)$$

Зі зменшенням висоти підвісу проводу зв'язку зростає ємність C_{2-0} і зменшується наведений в проводі потенціал. До електричного впливу схильні тільки повітряні лінії зв'язку. Для ізольованого проводу, який лежить на землі, наведений у ньому потенціал дорівнює нулю. Підземні кабельні лінії та повітряні кабельні лінії з металевою заземленою оболонкою від електричного впливу захищені. [4, 5]

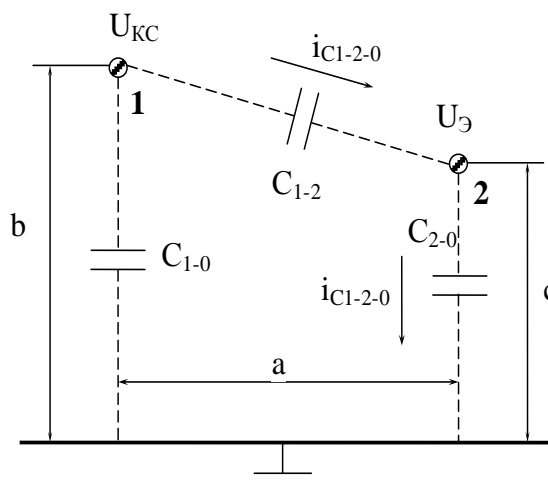


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема для визначення електричного впливу контактної мережі на лінію зв'язку

Наведені струми і напруга в схильних до впливу лініях можуть досягати величин, що представляють небезпеку для нормальної роботи і цілісності апаратури цієї лінії, а також для здоров'я і життя людей, обслуговуючих цю лінію. У такому разі впливи називають небезпечними. Якщо індуковані в колі напруги і струми приводять до спотворення корисних електричних сигналів, що передаються по ній, погіршують нормальну роботу кола, то такі впливи називають заважаючими.[1, 2, 8]

В підсумку можна зробити висновок що, при обґрунтуванні електромагнітної сумісності, необхідної при проектуванні і експлуатації тягового електропостачання, слід враховувати наступні взаємовпливаючі чинники: несиметрію і несинусоїдальність трифазної живлячої напруги, несиметрію ліній схильних до впливу, значний рівень реактивної енергії, споживаної тяговими навантаженнями з живлячої електричної системи, якість випрямленої напруги, перенапруження, рівні наведеної напруги і струмів індукції в суміжних системах.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Рейкові кола є основним колійним датчиком, що контролює положення поїзда (зайнятість/вільність блок-участків), цілісність рейкових ниток, а також виконують функції каналу передачі коду автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) від колійних пристроїв на локомотив. Таким чином, рейкові кола є первинним елементом, що безпосередньо визначає безпеку руху поїздів. Одночасно, рейкові лінії входять до складу тягової мережі і пропускають зворотний тяговий струм від локомотива на живлячі підстанції. Відповідно на роботу рейкових кіл впливає безліч дестабілізуючих чинників, зокрема електромагнітні перешкоди з боку системи тягового електропостачання.

2.1 Математичне моделювання магнітного впливу контактної мережі на рейкові кола

Якщо розглядати одноколійну ділянку залізниці, то наведені повздовжні ЕРС у рейках будуть приблизно однаковими, бо контактний провід розташований симетрично відносно рейкової лінії. Таким чином магнітний вплив від контактного проводу своєї колії буде незначним. Але при розгляданні багатоколійних ділянок (двух-, трьохколійні перегони, або станції) треба враховувати вплив контактного проводу однієї колії на рейкові лінії сусідніх колій (рисунок 2.1). В цьому випадку наведені повздовжні ЕРС матимуть різні значення, бо відстань від впливаючого контактного проводу до рейок суміжної колії буде різною.

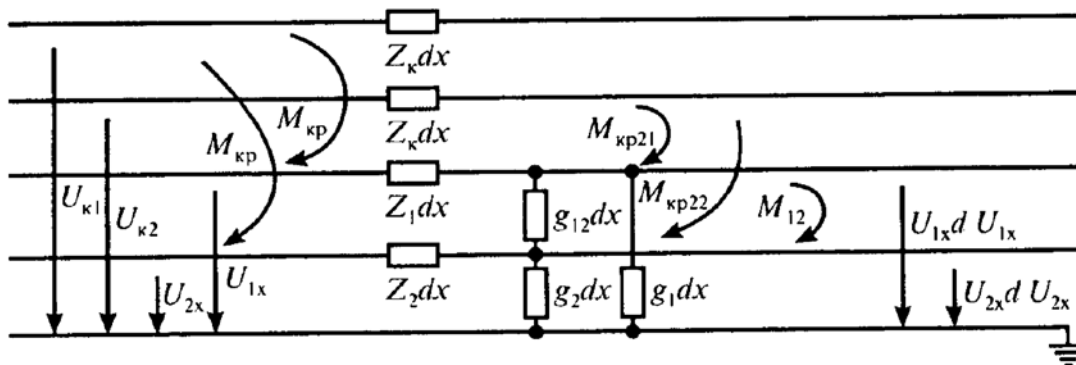


Рисунок 2.1 – Схема заміщення відрізка двоколійної ділянки довжиною dx

При дослідженні магнітного впливу треба враховувати, що рейкова лінія є лінією з розповсюдженими параметрами і процеси в них описуватимуться системою наступних диференційних рівняннями: [9, 10]

$$\begin{aligned} u_p - (u_p + du_p) &= R_p i_p dx + L_p \frac{di_p}{dt} + i_{кп} R_{кпр} dx + L_{кпр} \frac{di_{кп}}{dt} dx, \\ i_p - (i_p + di_p) &= G_p u_p dx + C_p \frac{du_p}{dt} + G_{кпр} (u_p + u_{кп}) dx + C_{кпр} \frac{d(u_p + u_{кп})}{dt} dx. \end{aligned} \quad (2.1)$$

де u_p, i_p - миттєві значення напруги та струму в рейковій лінії;

R_p, L_p, G_p, C_p - первинні параметри рейкової лінії;

$u_{кп}, i_{кп}$ - миттєві значення напруги та струму в контактному поводі;

$M_{кпр} = R_{кпр} + j\omega L_{кпр}$ - параметр магнітного зв'язку контактного

проводу з рейками;

$Y_{кпр} = G_{кпр} + j\omega C_{кпр}$ - параметр електричного зв'язку контактного

проводу з рейками;

При переході від миттєвих значень до діючих комплексних отримуємо наступну систему:

$$\begin{aligned} -\frac{d\dot{U}_p}{dx} &= R_p \dot{I}_p + L_p \frac{d\dot{I}_p}{dt} + L_{кп} \frac{d\dot{I}_{кп}}{dt} + R_{кпр} \dot{I}_{кп}, \\ -\frac{d\dot{I}_p}{dx} &= G_p \dot{U}_p + C_p \frac{d\dot{U}_p}{dt} + G_{кпр} (\dot{U}_p - \dot{U}_{кп}) + C_{кпр} \frac{d(\dot{U}_p - \dot{U}_{кп})}{dt}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Так як $\dot{U}_p = |U_p| e^{j(\omega t + \varphi)}$, $\dot{I}_p = |I_p| e^{j(\omega t + \varphi - \alpha)}$, то звідси можна записати

$\frac{d\dot{U}_p}{dt} = j\omega |U_p| e^{j(\omega t + \varphi)}$, $\frac{d\dot{I}_p}{dt} = j\omega |I_p| e^{j(\omega t + \varphi - \alpha)}$, тоді справедливі наступні ви-

рази $\frac{d\dot{U}_p}{dt} = j\omega \dot{U}_p$; $\frac{d\dot{I}_p}{dt} = j\omega \dot{I}_p$; $\frac{d\dot{I}_{кп}}{dt} = j\omega \dot{I}_{кп}$. Підставимо їх у систему

(2.2):

$$-\frac{dU_p}{dx} = (R_p + j\omega L_p)I_p + j\omega L_{кпр}I_{кп} + R_{кпр}I_{кп},$$

$$\frac{dI_p}{dx} = (G_p + j\omega C_p)U_p - (G_{кпр} - j\omega C_{кпр})(U_{кп} - U_p).$$
(2.3)

Отримали систему диференціальних рівнянь, яка за методом суперпозицій має відомі загальні рішення:

$$u_1 = C_1 e^{\gamma_p x} + C_2 e^{-\gamma_p x}$$

$$i_1 = -\frac{1}{Z_{Вр}} [C_1 e^{\gamma_p x} - C_2 e^{-\gamma_p x}]$$
(2.4)

де γ_p - постійна розповсюдження хвилі у рейковій лінії;

$Z_{Вр}$ - хвильовий опір рейкової лінії.

Для пошуку часткових рішень системи (2.3) запишемо її у вигляді:

$$U'_p + Z_p I_p + Z_{кпр} I_{кпн} e^{-\gamma_{кп} x} = 0$$

$$I'_p + Z_p U_p - Y_{кпр} U_{кпн} e^{-\gamma_{кп} x} = 0$$
(2.5)

де $\gamma_{кп}$ - постійна розповсюдження хвилі у контактному проводі.

Самі часткові рішення будемо шукати у наступній формі:

$$u_2 = A e^{-\gamma_{кп} x},$$

$$i_2 = B e^{-\gamma_{кп} x}$$
(3.6)

Тоді

$$u'_2 + Z_p i_2 + Z_{кпр} I_{кпн} e^{-\gamma_1 x} = 0$$

$$i'_2 + Z_p u_2 - Y_{кпр} U_{кпн} e^{-\gamma_1 x} = 0$$
(2.7)

Підставимо значення u_2 та i_2 з (2.6), а також їх похідні в систему (2.7):

$$-\gamma_{кп} A e^{-\gamma_{кп} x} + Z_p B e^{-\gamma_{кп} x} + Z_{кпр} I_{кпн} e^{-\gamma_{кп} x} = 0,$$

$$-\gamma_{кп} B e^{-\gamma_{кп} x} + Y_p A e^{-\gamma_{кп} x} + Y_{кпр} U_{кпн} e^{-\gamma_{кп} x} = 0$$
(2.8)

Розділимо на $e^{-\gamma_1 x}$ отримуємо:

$$-\gamma_{кп} A + Z_p B + Z_{кпр} I_{кпн} = 0,$$

$$-\gamma_{кп} B + Y_p A + Y_{кпр} U_{кпн} = 0.$$
(2.9)

Розв'яжемо цю систему відносно коефіцієнтів A та B , отримуємо:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\gamma_{\text{кп}} Z_{\text{кпр}} I_{\text{кпн}} - Z_{\text{р}} Y_{\text{кпр}} U_{\text{кпн}}}{\gamma_{\text{кп}}^2 - \gamma_{\text{р}}^2}, \\ B &= \frac{Y_{\text{р}} Z_{\text{кпр}} I_{\text{кпн}} - \gamma_{\text{кп}} Y_{\text{кпр}} U_{\text{кпн}}}{\gamma_{\text{кп}}^2 - \gamma_{\text{р}}^2}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Визначивши загальні та часткові рішення системи диференціальних рівнянь (2.3), запишемо повне рішення цієї системи як суму загального та часткового рішень [4, 5]:

$$U_{\text{р}}(x) = Ae^{-\gamma_{\text{кп}}x} + C_1 e^{\gamma_{\text{р}}x} + C_2 e^{-\gamma_{\text{р}}x} \quad (2.11)$$

$$I_{\text{р}}(x) = -\frac{1}{Z_{\text{Вр}}} [C_1 e^{\gamma_{\text{р}}x} - C_2 e^{-\gamma_{\text{р}}x}] + Be^{-\gamma_{\text{кп}}x} \quad (2.12)$$

Рейкове коло, що знаходиться під впливом є двопровідною лінією. Сучасні тональні рейкові кола використовуються у системах автоблокування без ізолюючих стиків [3]. Тоді щоб врахувати наявність рейкової лінії по кінцях конкретного рейкового кола, можна вважати, що воно замкнене на волнові опори. Отже дослідження магнітного впливу буде проводитися для двопровідних ліній замкнених на волнові опори. Двопровідну рейкову лінію розглядатимемо як дві однопровідні лінії, що знаходяться поряд на відстані 1520 мм.

При замиканні однопровідної лінії по кінцям на волнові опори напруга на початку та в кінці лінії буде:

$$U_{\text{рн}} = -I_{\text{рн}} Z_{\text{Вр}}; \quad U_{\text{рк}} = I_{\text{рк}} Z_{\text{Вр}} \quad (2.13)$$

В цьому випадку для визначення постійних інтегрування C_1 та C_2 підставимо в рівняння (2.1) значення $x = 0$, тоді рівняння матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} U_{\text{рн}} &= A + C_1 + C_2 \\ I_{\text{рн}} &= -\frac{1}{Z_{\text{Вр}}} [C_1 - C_2] + B \end{aligned} \quad (2.14)$$

Знайшовши розв'язок цих рівнянь визначимо C_1 та C_2 :

$$C_1 = \frac{U_{\text{рн}} - A - Z_{\text{Вр}}(I_{\text{рн}} - B)}{2} \quad C_2 = \frac{U_{\text{рн}} - A + Z_{\text{Вр}}(I_{\text{рн}} - B)}{2} \quad (2.15)$$

Для лінії, що ізольована по кінцях, аналогічним чином отримуємо:

Якщо виразити ступеневі функції (2.11) та (2.12) через гіперболічні та підставити в них значення коефіцієнтів C_1 та C_2 з рівняння (2.15) отримуємо наступні вирази:

$$\begin{aligned} U_p &= Ae^{-\gamma_{кп}x} + (U_{рн} - A)\text{ch}(-\gamma_p x) - Z_{Вр}(I_{рн} - B)\text{sh}(\gamma_p x), \\ I_p &= Be^{-\gamma_{кп}x} + (I_{рн} - B)\text{ch}(\gamma_p x) - \frac{U_{рн} - A}{Z_{Вр}}\text{sh}(\gamma_p x). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Помножимо друге рівняння цієї системи на $Z_{Вр}$ та прирівняємо його до першого, записаного для таких самих умов при $x = l$ отримуємо:

$$\begin{aligned} U_{рк} &= I_{рк}Z_{Вр} = \\ &= BZ_{Вр}e^{-\gamma_{кп}l} + (I_{рк} - B)Z_{Вр}\text{ch} \gamma_p l - (U_{рк} - A)\text{sh} \gamma_p l \end{aligned}$$

Але при цьому згідно першого рівняння системи (2.16) при $x = l$ маємо:

$$U_{рк} = Ae^{-\gamma_{кп}l} + (U_{рн} - A)\text{ch} \gamma_p l - Z_{Вр}(I_{рн} - B)\text{sh} \gamma_p l$$

Прирівняємо праві частини останніх рівнянь та змінимо $-I_{рн}Z_{Вр}$ на $U_{рн}$ отримуємо наступне рівняння:

$$2U_{рн}e^{\gamma_p l} - (A - Z_{Вр}B)e^{\gamma_p l} + (A - Z_{Вр}B)e^{-\gamma_{кп}l} = 0$$

Звідки:

$$U_{рн} = 0.5(A - Z_{Вр}B) \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right] \quad (2.17)$$

Підставимо в це рівняння значення коефіцієнтів A і B з рівняння (2.10), тоді отримуємо:

$$\begin{aligned} U_{рн} &= \frac{Z_{кпр}I_{кпн}(\gamma_{кп} - Z_{Вр}Y_p) + Y_{кпр}U_{кпн}Z_{Вр} \left(\gamma_{кп} - \frac{Z_p}{Z_{Вр}} \right)}{2(\gamma_{кп}^2 - \gamma_p^2)} \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right] = \\ &= \frac{Z_{кпр}I_{кпн} + Y_{кпр}U_{кпн}Z_{Вр}}{2(\gamma_{кп} - \gamma_p)} \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right] = U_{кпн}Z_{Вр} \left(Y_{кпр} + \frac{Z_{кпр}}{Z_{Вн}Z_{Вр}} \right) \frac{1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l}}{2(\gamma_{кп} - \gamma_p)}. \end{aligned}$$

Розглядаючи ситуацію на кінці лінії, по аналогії з попереднім рівнянням отримуємо:

$$U_{рк} = \frac{Z_{кпр} I_{кпн} - Y_{кпр} U_{кпн} Z_{Вр}}{2(\gamma_{кп} + \gamma_p)} \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right] e^{-\gamma_p l} =$$

$$= U_{кпн} Z_{Вр} \left(Y_{кпр} - \frac{Z_{кпр}}{Z_{Вн} Z_{Вр}} \right) \frac{1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l}}{2(\gamma_{кп} - \gamma_p)}.$$

Отримані вище вирази є загальними формулами для розрахунку напруги по кінцях рейкової лінії, що індукована від контактного проводу. В склад формул входять дві частини, перша з яких характеризує електричний вплив контактного проводу, а друга - магнітний. В дипломному проекті метою є дослідження саме магнітного впливу, бо внаслідок малої ємності між контактним проводом на рейками електричний вплив буде незначним. Запишемо вираз для індукованої напруги, що зумовлена тільки магнітним впливом [4, 5]:

$$U_{рн}^м = \frac{I_{кпн} Z_{кпр}}{2(\gamma_{кп} + \gamma_p)} \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right] = \frac{\omega I_{кпн} M_{кпр}}{2(\gamma_{кп} + \gamma_p)} \left[1 - e^{-(\gamma_{кп} + \gamma_p)l} \right]$$

Де $Z_{кпр} = \omega M_{кпр}$. При $\gamma_{кп} \approx 0$ для початку лінії маємо:

$$U_{рн}^м = \frac{\omega M_{кпр} I_{кпн}}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right)$$

Для кінця лінії:

$$U_{рк}^м = -\frac{\omega M_{кпр} I_{кпн}}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right)$$

Тоді результуюча індукована поздовжня ЕРС буде визначатися:

$$E_{Вi} = U_{рн}^м - U_{рк}^м = \frac{2\omega M_{кпр} I_{кпн}}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right) \quad (2.18)$$

Далі визначаємо параметр магнітного зв'язку контактного проводу з кожною рейкою окремо:

$$M_{k1p1}(d) := 10^{-4} \cdot \left[2 \cdot \ln \left[\frac{12.66}{\sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000} \cdot [(akp1(d))^2 + (hk - hr)^2]}} \right] + 1 - j \cdot \left[\frac{\pi}{2} + 11.87 \cdot \sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000}} \cdot e^{j \cdot \frac{3}{4} \cdot \pi} \cdot (hk + hr) \right] \right]$$

$$M_{k1p2}(d) := 10^{-4} \cdot \left[2 \cdot \ln \left[\frac{12.66}{\sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000} \cdot [(akp2(d))^2 + (hk - hr)^2]}} \right] + 1 - j \cdot \left[\frac{\pi}{2} + 11.87 \cdot \sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000}} \cdot e^{j \cdot \frac{3}{4} \cdot \pi} \cdot (hk + hr) \right] \right]$$

де $\sigma = 10^{-3}$ См · км - питома провідність землі

hk - висота підвісу контактного проводу над землею;

hr - висота рейки над землею;

$akp1, akp2$ - відстань по горизонталі від контактного проводу по першій та другій рейки суміжної колії.

Відстань від контактного проводу до кожної з рейок, а як наслідок й параметр магнітного зв'язку контактного проводу з кожною рейкою визначається як функція від міжколійної відстані. Таким чином отримана поздовжня ЕРС також буде функцією від міжколійної відстані. Підставимо значення знайдених параметрів в формулу 2.18, отримуємо:

$$E_{Bp1}(d) = \frac{2\omega M_{k1p1}(d) I_{кпн}}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right) - \text{для ближньої рейки суміжної колії}$$

$$E_{Bp2}(d) = \frac{2\omega M_{k1p2}(d) I_{кпн}}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right) - \text{для дальньої рейки.}$$

Знайдемо різницю між наведеними ЕРС:

$$E_{\Delta}(d) = E_{Bp1}(d) - E_{Bp2}(d) = \frac{2\omega I_{кпн} (M_{k1p1}(d) - M_{k1p2}(d))}{2\gamma_p} \left(1 - e^{-\gamma_p l} \right) \quad (2.19)$$

Знайшовши вирази для оцінки наведеної повздовжньої ЕРС в рейках, визначимо окремо рівень ЕРС в кожній з рейок колії. Також необхідно дослідити характер зміни різниці наведених ЕРС в рейках колії в залежності від відстані до контактному проводу.

2.2. Визначення параметрів моделі

При розрахунках необхідно врахувати первинні та вторинні параметри ліній та відстані між ними. Контактний провід для спрощення вважаємо ідеальним

(постійна поширення хвилі дорівнює нулю), а параметри рейкової лінії задамо окремо.

Умови передачі сигналів в рейковій лінії визначаються її первинними параметрами: електричним опором рейок і опором ізоляції між ними, який також називають опором баласту.

Рейкова лінія складається з окремих рейкових ланок, електрично сполучених між собою в межах одного рейкового кола. Довжина ланки 12,5 або 25 м, застосовують також ланки завдовжки 800 м. Рейки сполучають між собою стиковими з'єднувачами і стиковими накладками, що створюють паралельний коло для пропуску струму.

На основі дослідних даних встановлені наступні межі зміни питомого километричного опору рейковій лінії на постійному струмі (рейкової петлі довжиною 1 км.) в залежності від стану стиків і температури докільця: при штепсельних з'єднувачах 0,3-0,6 Ом/км, а при сталевих приварних з'єднувачах 0,1-0,2 Ом/км. Максимальні і мінімальні значення питомого опору враховують при розрахунку відповідних режимів роботи рейкових кіл.

Для проведення дослідження необхідно представлення первинних параметрів ліній (контактного проводу, рейкових ліній і так далі) залежно від конструкційних параметрів, електричних режимів системи, зовнішніх умов і ін. Контактний провід для спрощення вважаємо ідеальним (постійна поширення хвилі дорівнює нулю), а параметри рейкової лінії задамо окремо. Відомо, що активний опір рейок залежить від частоти та рівня струму, який проходить крізь них.

При протіканні змінного струму по масивному провідникові виникає явище поверхневого ефекту [5, 7]. Це явище позначається тим сильніше, чим більше частота струму, поперечний перетин провідника, чим менше його поверхня і, нарешті, чим більше магнітна проникність матеріалу, з якого виготовлений провідник. Для мідних і алюмінієвих проводів, вживаних в контактній мережі, і при тих частотах, які мають місце на електрифікованих дорогах змінного струму, явищем поверхневого ефекту можна нехтувати і вважати активний електричний опір проводів рівним електричному.

Найбільш складним є завдання визначення активного електричного опору провідників з феромагнітних матеріалів і, зокрема, рейок. Складність ця пояснюється тим, що магнітна проникність матеріалу рейок залежить від значення струму, що по ним протікає. Струм же в рейках не однаковий по їх довжині, оскільки у фідерній зоні нормально знаходиться декілька споживачів (поїздів), до того ж частина струму протікає по землі. Значення струму, що протікає по рейках, залежить від їх опору, і чим воно більше, тим менше струм в рейках, тобто тим більша частина струму відгалужується в землю. У зв'язку з цим визначення струму в рейках зводиться до важкого завдання розрахунку струморозподілу в складній мережі з нелінійними параметрами. Для спрощення практичних розрахунків приймають ряд допущень.

Розглянемо залежність активного опору рейки від струму, що протікає по ньому. Для визначення активного опору масивних сталевих проводів використовуються емпіричні формули, хоча є і теоретичні роботи з цього питання. Для розрахунків активного опору рейок зазвичай використовують емпіричні формули Циклера. Ці формули були перевірені дослідями, проведеними в лабораторіях Всесоюзного електротехнічного інституту (ВЕІ), відхилення від досвідчених даних не перевищувало 5-10% [5, 7].

Згідно цих формул маємо:

$$\begin{cases} k = 1 + 0,84 \cdot \beta^4, & \text{при } \beta < 1; \\ k = 0,758 + \sqrt{1,343 \cdot \beta^2 - 0,183} & \text{при } 1 \leq \beta \leq 3; \\ k = 0,758 + 1,159 \cdot \beta & \text{при } \beta \geq 3 \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\text{де} \quad \beta = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{S}{P} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot \mu,$$

де S – площа поперечного перетину рейок, см^2 ;

P – периметр перетину рейки, см ;

f – частота струму, Гц ;

ρ – питомий опір рейкової сталі, $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

μ – відносна магнітна проникність матеріалу рейки.

Остання величина залежить від напруженості поля H (А/см) на поверхні рейки: $H = I_p / p$, де I_p – струм, що протікає по рейці, А.

Точні результати можна було б отримати, маючи графіки залежності $\mu(H)$, побудовані для даного сорту сталі на основі спеціальних проведених дослідів. Проте при великій невизначеності інших параметрів, що беруть участь в розрахунку, можна обмежитися наявними в літературі даними. На рисунку 2.2 дані такі графіки для гарячекатаної сталі з різним змістом вуглецю.

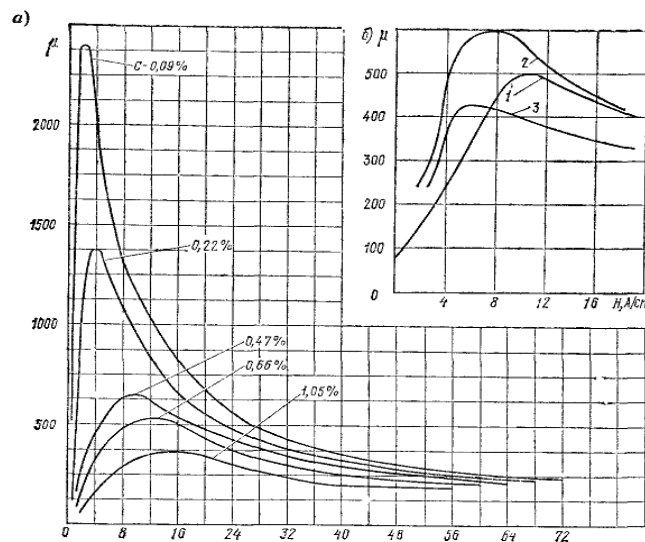


Рисунок 2.2 – Залежність відносної магнітної проникності μ від напруженості магнітного поля H для провідників із сталі з різним змістом вуглецю (а) і для залізничних рейок (б)

Як показує досвід, струм в рейках може змінюватися в широких межах (практично від нуля до декількох сот ампер), а отже в таких же широких межах може змінюватися і напруженість.

Як видно з кривих $\mu(H)$ (рис. 2.2, а), магнітна проникність збільшується при збільшенні I (а отже, і струму в рейках) в зонах малого насичення, тобто до досягнення максимуму магнітної проникності, і навпаки, за межами цього максимуму падає при збільшенні струму. Цікаво встановити, яка частина кривої $\mu(H)$ використовується для розрахунків активного опору рейок в практичних умовах. На рис. 2.2, а для рейкової сталі (зміст вуглецю близько 0,5%) крива

$\mu(H)$ має максимум для $H = 10 - 12$ А/см. Струм в рейці, відповідний цим значенням H , можна знайти для різних типів рейок, використовуючи формулу $I_p = H \cdot P$. Тоді отримаємо, що максимум μ відповідає струму в рейці від 450 до 670 А. У двох рейках одного шляху виходять значення струму від 900 до 1340 А і ще удвічі більше — для двоколіїної ділянки. Такі значення струмів в рейках значно перевищують робочі струми, спостережувані на залізницях змінного струму.

З цього можна зробити висновок, що рейки на електрифікованих ділянках однофазного струму працюють в зоні відносно слабких полів, отже із збільшенням струму в рейках їх магнітна проникність і активний опір зростають. На рис. 2.2, б дані криві, що зняті для цієї частини напруженості магнітного поля. Крива 1 побудована за даними Ленінградського інституту інженерів залізничного транспорту (ЛШЖТ), крива 2 – за даними Всесоюзного електротехнічного інституту (ВЕІ), крива 3 – за даними магнітної лабораторії Академії наук СРСР [5].

Існують також теоретичні дослідження, які присвячені визначенню активного опору феромагнітних провідників. На їх основі була отримана наступна розрахункова формула:

$$r_{pa} = \frac{0,28}{P} \cdot \sqrt{\mu \cdot \rho \cdot f} \quad (2.20)$$

де P - периметр перерізу рейки;

ρ - питомий опір рейкової сталі, $0,21 \cdot 10^{-6}$ Ом · м [7];

μ - відносна магнітна проникність;

Розрахунки за вище приведеними формулами показують, що активний опір рейок перевищує електричний опір постійному струму в 5 – 10 разів залежно від того, який по ним протікає струм.

Приблизно можна прийняти, що внутрішній індуктивний опір рейок складає 75% їх активного опору, тобто:

$$x_p = 0,75 \cdot r_{pa}$$

У розрахунки зазвичай вводять значення опору, яке відповідає середньому струму.

В загальному випадку повний опір рейкової лінії (на 1 км довжини) можна обчислити за формулою:

$$Z_{ii} = (r_i + r_c) + X_i \quad (2.21)$$

в якій R_i, X_i – відповідно, активний і реактивний опір рейкової нитки довжиною 1 км (без рейкових з'єднувачів), r_c – опір рейкових з'єднувачів на 1 км рейкової нитки. Значення активного и реактивного опору рейкової нитки для тягового і сигнального струмів залежать від значення частоти струмів. Аналітичні вирази для опорів запропоновано Л. Непманом [4, 5]:

$$R = \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad X_l = 0.6 \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad (2.22)$$

де l – довжина провідника,

u – периметр його перерізу,

ρ – питомий опір сталі,

$\omega = 2\pi f$ – кругова частота,

μ_e – магнітна проникність рейкової сталі, яка визначається експериментально за кривою намагнічення.

Якщо порівняти між собою начебто різні формули (2.1) – (2.3) то можна побачити, що у них є багато спільного. Звернемо увагу на те, що в усіх приведених формулах чітко прослідковується пропорціональна залежність активного (і реактивного теж) опору рейки від квадратного кореню з магнітна проникність рейкової сталі, тобто $R \propto \sqrt{\mu}$

При протіканні змінного струму по рейковій лінії утворюється магнітний потік, частина якого знаходиться в межах кожної рейки, а частина — між рейками. Відповідно до цього повну питому індуктивність двопровідної лінії можна представити в наступному вигляді:

$$L_r := L_e + 2 \cdot (L_i + L_{st}) \quad (2.23)$$

де L_e – зовнішня індуктивність двопровідної лінії, Гн/км;

L_i – внутрішня індуктивність цілої рейкової нитки, Гн/км;

L_{st} – індуктивність стикових з'єднувачів на один км рейкової нитки, Гн/км.

Внутрішня індуктивність, так само як і активний опір рейок, залежить від частоти електричного струму і магнітної проникності сталі[12]: $L_i=0.0955R/f$, Гн/км

Питома зовнішня індуктивність двопровідної лінії визначається суто геометричними розмірами системи [5, 7]:

$$L_e := 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{a-b}{b}\right) \quad (2.24)$$

де b - радіус еквівалентного круга з довжиною кола, що дорівнює периметру перетину рейки;

a – відстань між осями рейок;

При оцінці повної індуктивності рейкової петлі згідно експериментальним вимірам для стикового приварного з'єднувача індуктивність приймається рівною $1,27 \cdot 10^{-6}$ в Гн, а для стикового штепсельного з'єднувача $1,9 \cdot 10^{-6}$ в Гн. Активний опір приварного стику приймається рівним $300 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Опір ізоляції рейкової лінії є розподіленим параметром. Зазвичай його виражають через питомий опір, включений між рейками, віднесений до 1 км. рейкової лінії. Нормативний мінімальний питомий опір ізоляції рейкової лінії 1 Ом·км.

Найсприятливіші метеорологічні умови, при яких опір ізоляції лінії мінімальний, бувають влітку при високій температурі довкілля і вологості повітря, оскільки підвищується інтенсивність електрохімічних процесів. Засмічення баласту солями покращує умови протікання електрохімічних процесів, що призводить до істотного зниження опору ізоляції. З пониженням вологості повітря і температури довкілля знижується інтенсивність електрохімічних процесів і опір ізоляції рейкової лінії збільшується. При негативних температурах опір

ізоляції $r_u = 10 \sim 100$ Ом·км, що дозволяє в розрахунках приймати його рівним нескінченності.

Частина струму витоку, потрапляючи в баласт і землю, розтікається в них, тому при розриві рейкової нитки безперервність електричного кола не порушується, оскільки зберігаються шляхи протікання струму в подовжньому напрямі через землю. Протікання струму може бути показане на еквівалентній схемі опору ізоляції (рисунок 2.3), Опори r_{u1} і r_{u2} характеризують перехідні опори між кожною рейкою і землею, опір якої як дроти з дуже великою площею поперечного перетину приймаються рівним нулю. Опір r_{u12} характеризує частину струму витоку, який проходить як би безпосередньо з рейки в рейку по верхньому шару баласту і шпалам.

У розрахунках рейкових кіл використовується також провідність ізоляції g , яка являє собою величину, зворотну до опору ізоляції, тобто $g = 1/r_u$; аналогічно

$$g_1 = 1/r_u; \quad g_2 = 1/r_{u2}; \quad g_{12} = 1/r_{u12}.$$

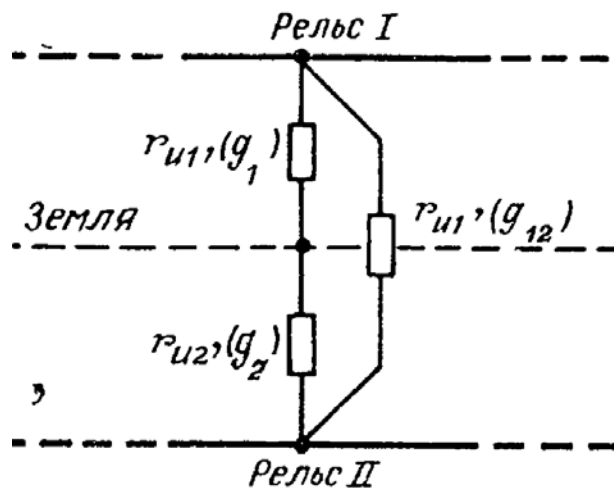


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема опору ізоляції

Нерівність провідності між кожною рейкою і землею (поперечна асиметрія рейкової лінії) обумовлена підключенням до однієї з рейок опор контактної мережі. Найбільше значення поперечна асиметрія рейкової лінії має взимку. Провідність однієї рейкової нитки по відношенню до землі g_1 і провідність між

рейками g_{12} зазвичай незначні, а інша рейкова нитка має високу провідність g_2 за рахунок опор контактної мережі, сполучених з рейками.

За відсутності сторонніх підключень до рейок, наприклад опор контактної мережі, $r_{u1} = r_{u2}$; $g_1 = g_2$, тобто рейкові лінії симетричні.

Провідність ізоляції рейкової лінії від землі можна взяти нормативну: $1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. Ємність ізоляції приймаємо рівною $1 \text{ мкФ} \cdot \text{км}$.

Виходячи з первинних параметрів рейкового кола, можна визначити вторинні параметри, які також необхідні при розрахунках:

$$\gamma_r := \sqrt{(Rr + j \cdot \omega \cdot Lr) \cdot (Gr + j \cdot \omega \cdot Cr)} \quad Z_v := \sqrt{\frac{(Rr + j \cdot \omega \cdot Lr)}{(Gr + j \cdot \omega \cdot Cr)}} \quad (2.25)$$

Для того, щоб визначити відстань від контактної лінії до рейок суміжної колії (на рис. $d_{кр3}$ та $d_{кр4}$) необхідно скористатися простими геометричними співвідношеннями. Відома відстань між рейками, вона визначається ПТЕ та становить 1520 мм [11].

Між колійна відстань на двохколіній дільниці повинна бути не менш ніж 4100 мм [11]. Висота підвіски контактної лінії також визначається нормативним документом і може знаходитися в межах від 5750 мм до 6800 мм [11].

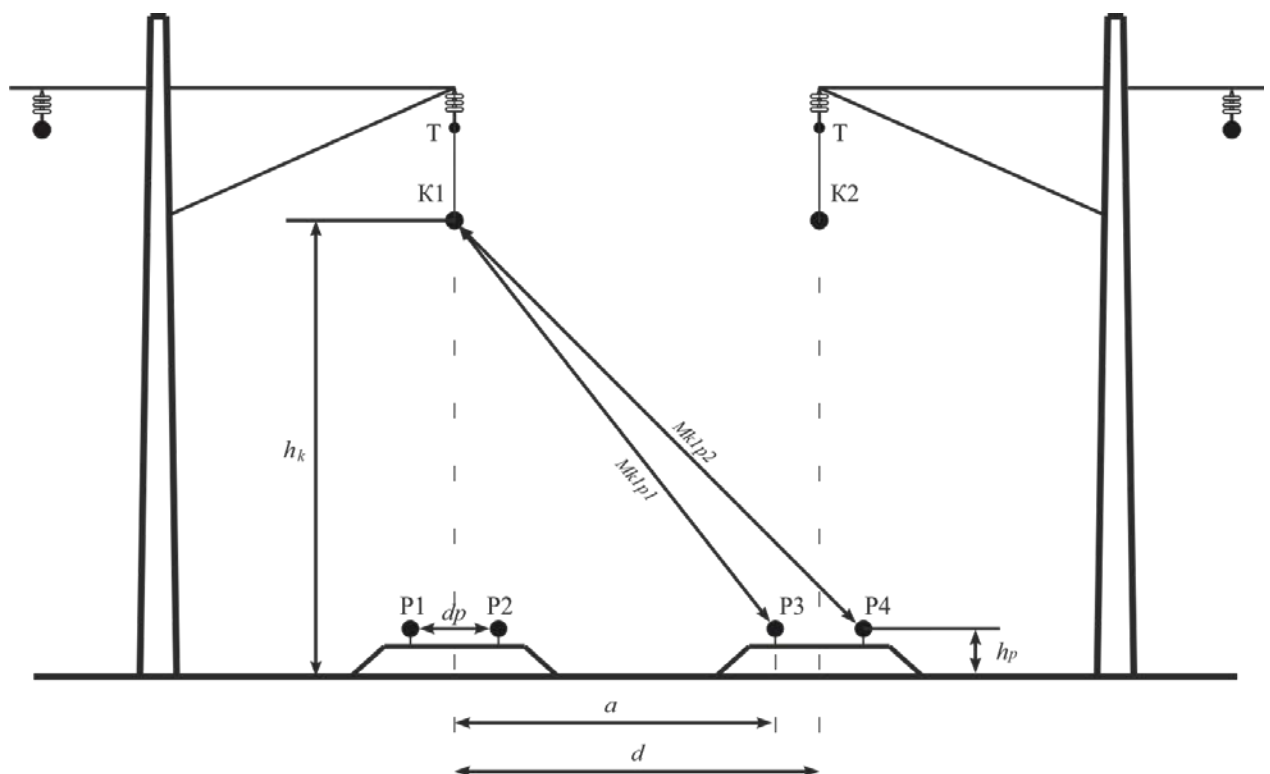


Рисунок 2.4 – Розміщення контактних проводів та рейок на двоколійній дільниці

Для дослідження задамося середнім значенням висоти підвісу контактного проводу: 6,5 метрів, що є характерним для більшості електрифікованих ділянок. Відстань між коліями - це параметр, який головним чином визначатиме відстань від контактного проводу до рейок, до того ж на різних ділянках залізниці він може змінюватися, тому у роботі цей параметр оберемо як змінну.

Дослідження будемо проводити для частоти тягового струму 50 Гц та однієї з тональних частот, яка може з'явитися у струмі, що споживає електровоз. Так як з ростом частоти амплітуда гармоніки спадає, то для дослідження оберемо найнижчу тональну частоту 420 Гц [3].

Отримані ЕРС в рейках колії є повздовжніми, тобто визначаються на одиницю довжини рейки. При проектуванні тональних рейкових кіл їх максимальна довжина досягає 1000 м, а реальна: 400-600м. Всі розрахунки будемо проводити для довжини рейки 1000 м, для отримання питомої наведеної на 1км ЕРС .

Будемо вважати, що при на момент магнітного впливу суміжна колія вільна від рухомого складу, от же тяговий струм в рейках відсутній. Струми, що наводяться в рейках, також матимуть значення, які дуже малі по відношенню до тягового струму, а напруженість магнітного поля під їх дією можна вважати близькою до нуля. Тоді відносна магнітна проникність рейок буде постійною та дорівнюватиме 90.

Запишемо всі вихідні данні для розрахунків:

$d_p = 1.52$ м , відстань між рейками;

$d = 4.1$ м , відстань між коліями;

$h = 6.5$ м , висота підвіски контактного проводу;

$\mu_e = 90$, відносна магнітна проникність рейкової сталі, яка визначається експериментально за кривою намагнічення;

$f = 50$ Гц 420 Гц , частота впливаючого струму;

$l = 1000$, довжина рейкової лінії;

За допомогою геометричних розрахунків визначаємо відстань по горизонталі від контактного проводу до кожної з рейок суміжної колії окремо:

$$akp1(d) := d - \frac{dp}{2} \quad (2.26)$$

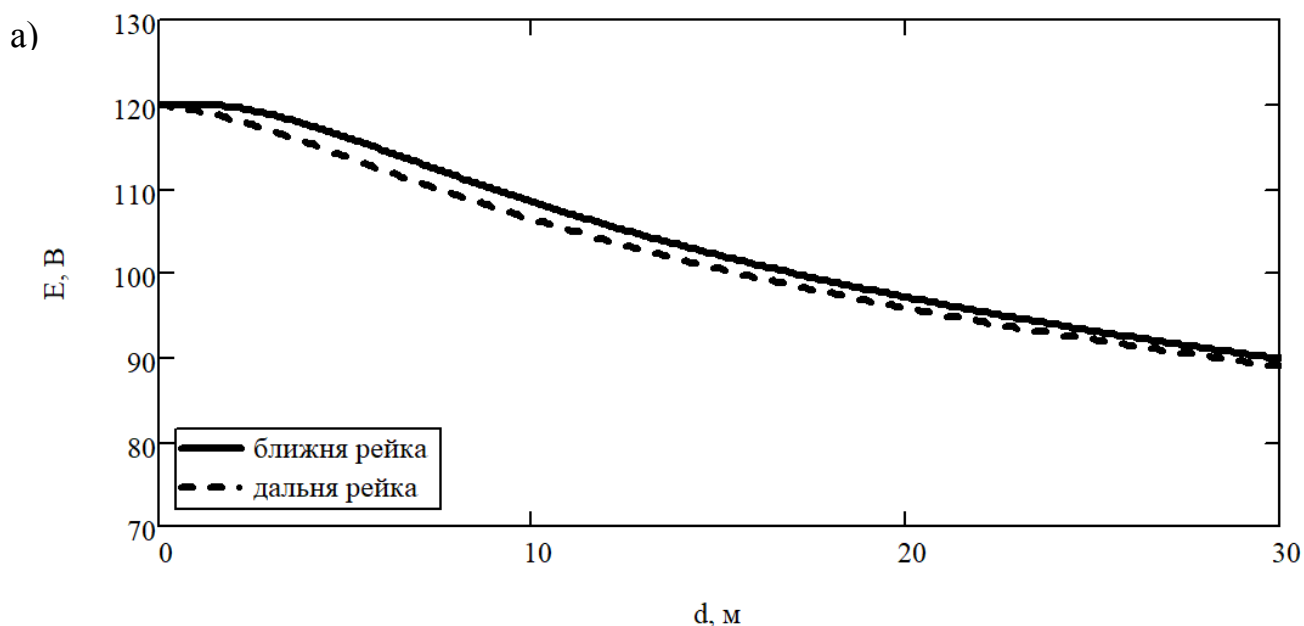
$$akp2(d) := d + \frac{dp}{2}$$

Визначивши всі необхідні параметри та задавшись певними даними, підставимо їх в формули (2.18)-(2.19) та визначимо наведені поздовжні ЕРС в кожній з рейок суміжної колії, а також різницю цих ЕРС.

2.3 Результати дослідження

Дослідження проводимо при струмі в контактному проводі 300 А для частоти 50 Гц та 1,9 А для частоти 420 Гц. В разі, якщо поїзна ситуація передбачає споживання з контактної мережі струми більші, ніж зазначені, то відповідно збільшаться й рівні наведених ЕРС та їх різниця, що в свою чергу ще більше ускладнить роботу рейкових кіл.

Нижче приведені графіки, побудовані за отриманими залежностями (2.18) для дальньої (пунктирна лінія) та ближньої (суцільна лінія) рейки із врахуванням знайдених значень необхідних параметрів:



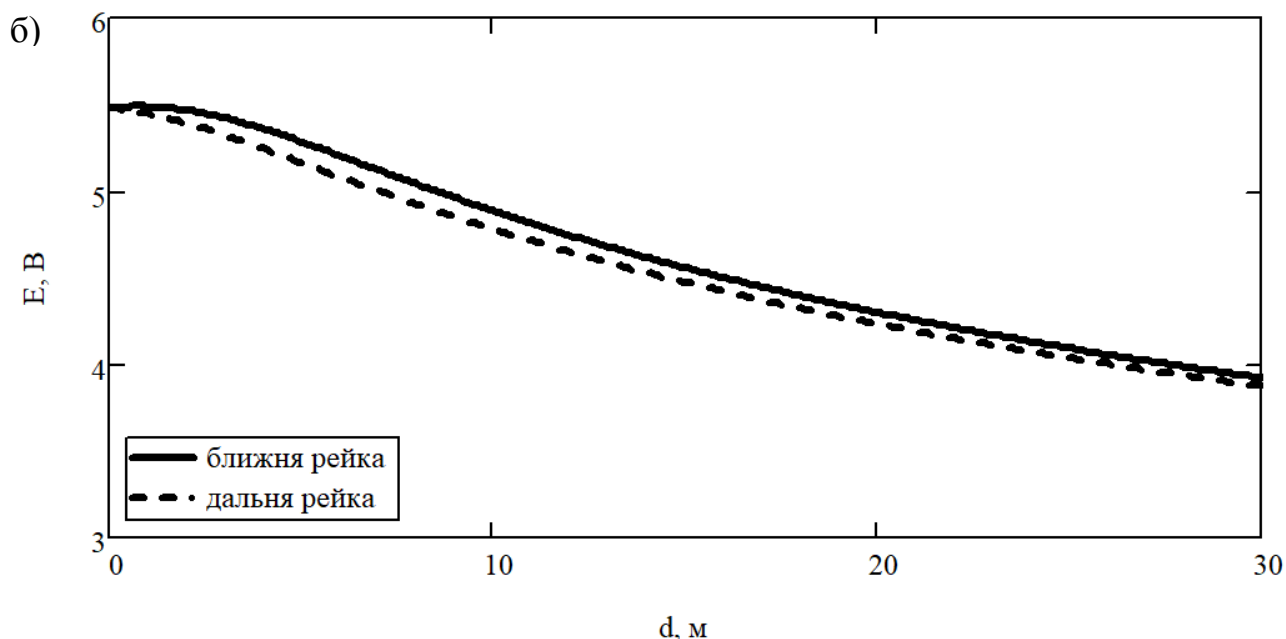
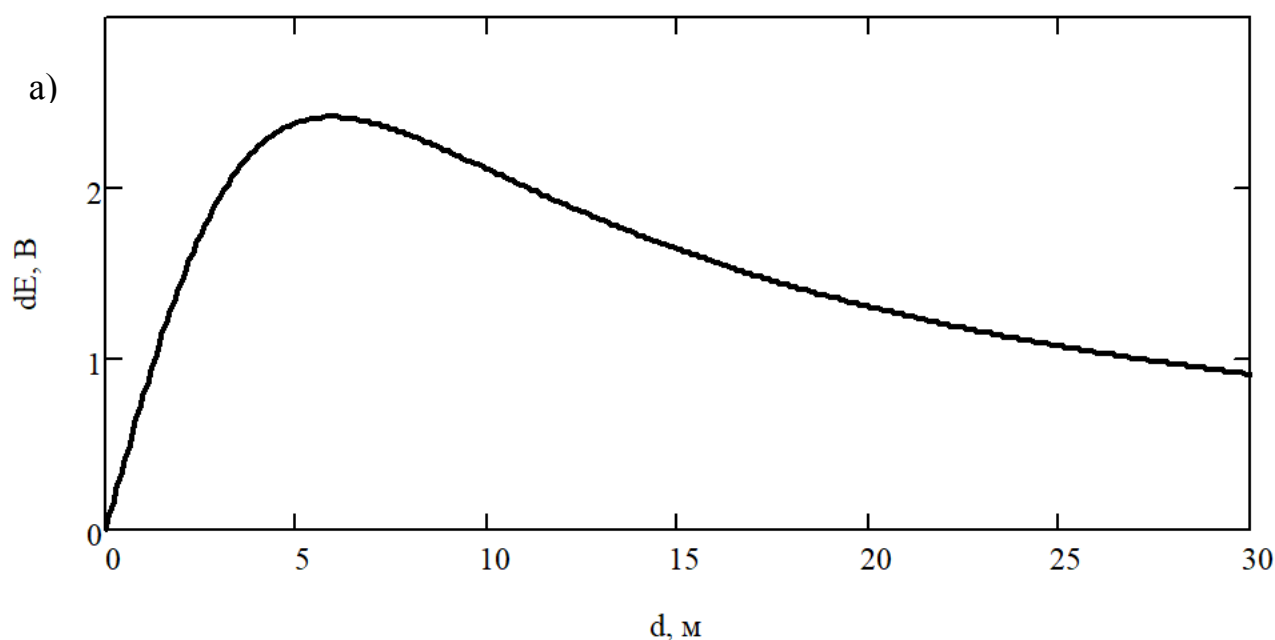


Рисунок 2.5 – Наведені в рейках ЕРС в залежності від відстані між коліями для струму частотою 50 Гц (а), та частотою 420 Гц (б)

З отриманих графіків видно, що при відстані між коліями 4,1 м в рейках суміжної колії індукується поздовжня ЕРС (на 1 км) приблизно 115 В для струму частотою 50 Гц та приблизно 5,3 В для струму 420 Гц.

Проведемо дослідження характеру зміни різниці наведених в рейках ЕРС в залежності від відстані до контактного проводу, бо саме ця різниця впливатиме на роботу рейкових кіл. Побудуємо графік за отриманою залежністю (2.19):



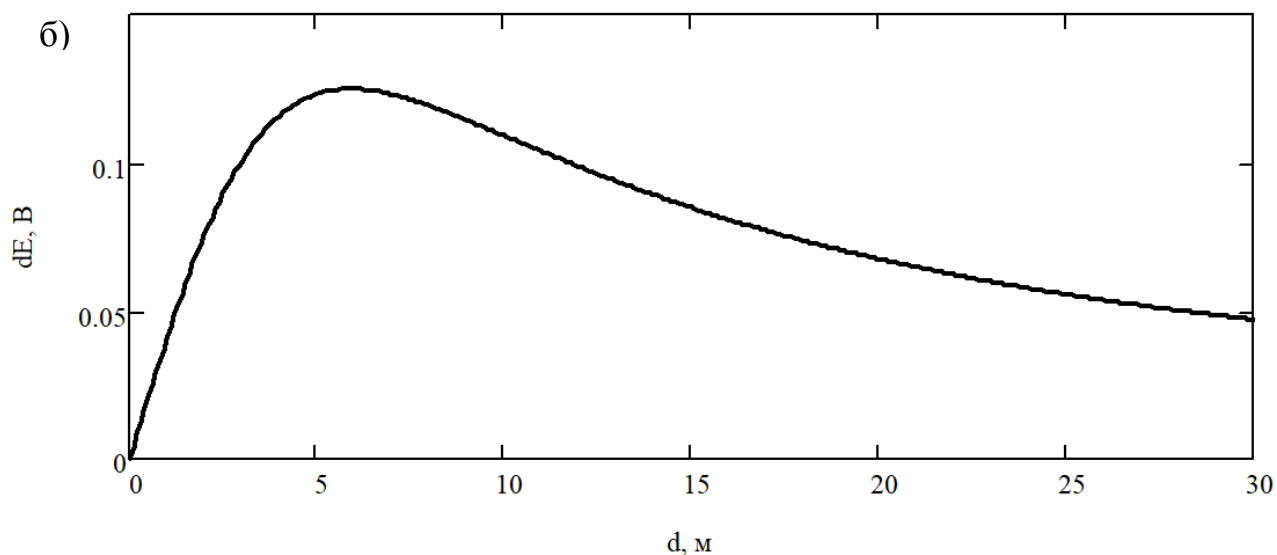


Рисунок 2.6 - Різниця наведених в рейках ЕРС в залежності від відстані між коліями для струму частотою 50 Гц (а), та частотою 420 Гц (б)

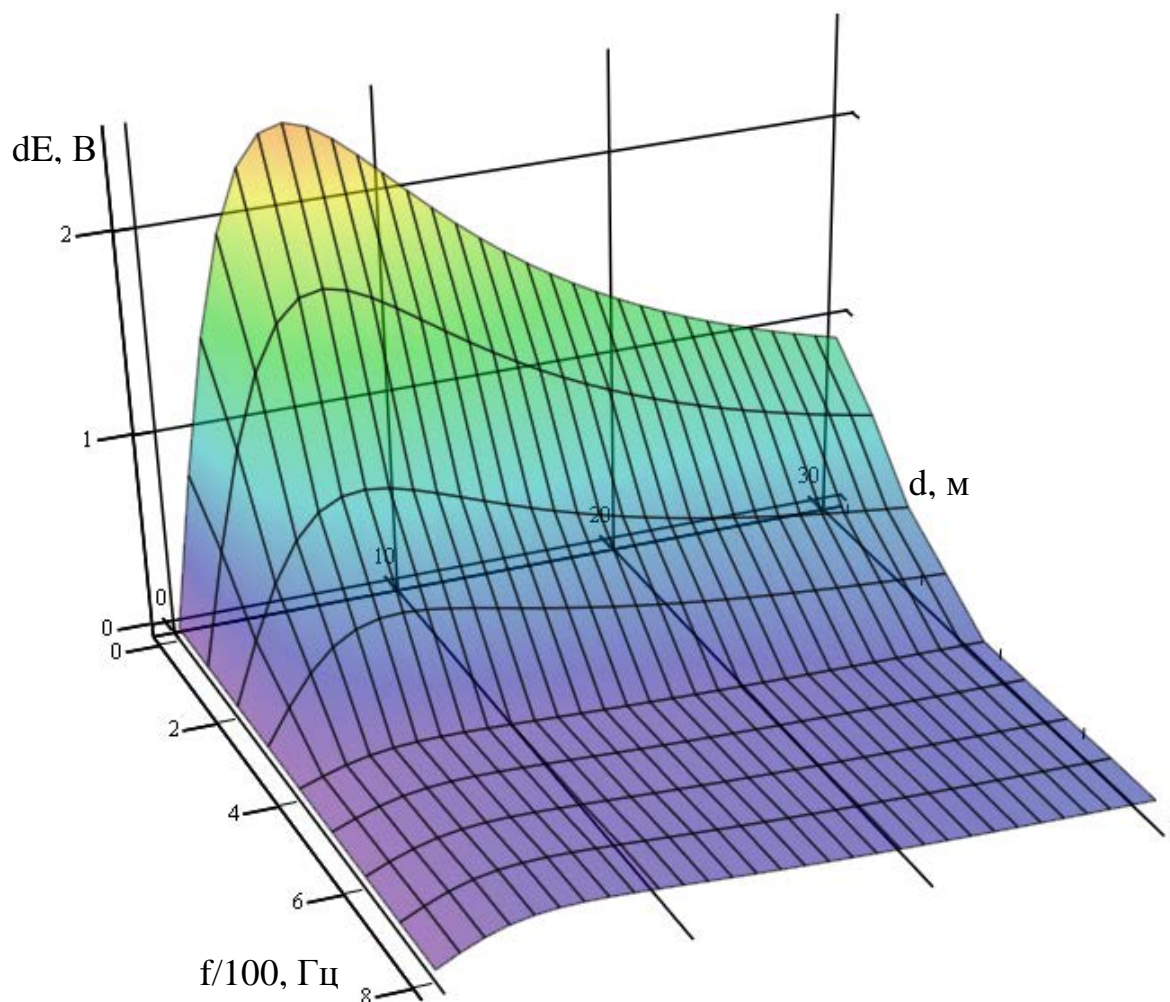


Рисунок 2.7 – залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від міжколійної відстані та частоти впливаючого струму

На рис. 2.7. приведено діаграму, що ілюструє залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від міжколійної відстані та частоти впливаючого струму (з урахуванням зміни його амплітуди).

На рис. 2.8. приведено діаграму, що ілюструє залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від висоти розташування КП та провідності землі. Із зростанням провідності землі вона починає виступати в ролі шунтуючого провідника, зменшуючи тим самим наведену ЕРС. Зменшення висоти підвісу контактного проводу (наприклад в районі штучних споруд, мостів, шляхопроводів) призводить до різкого збільшення наведеної ЕРС.

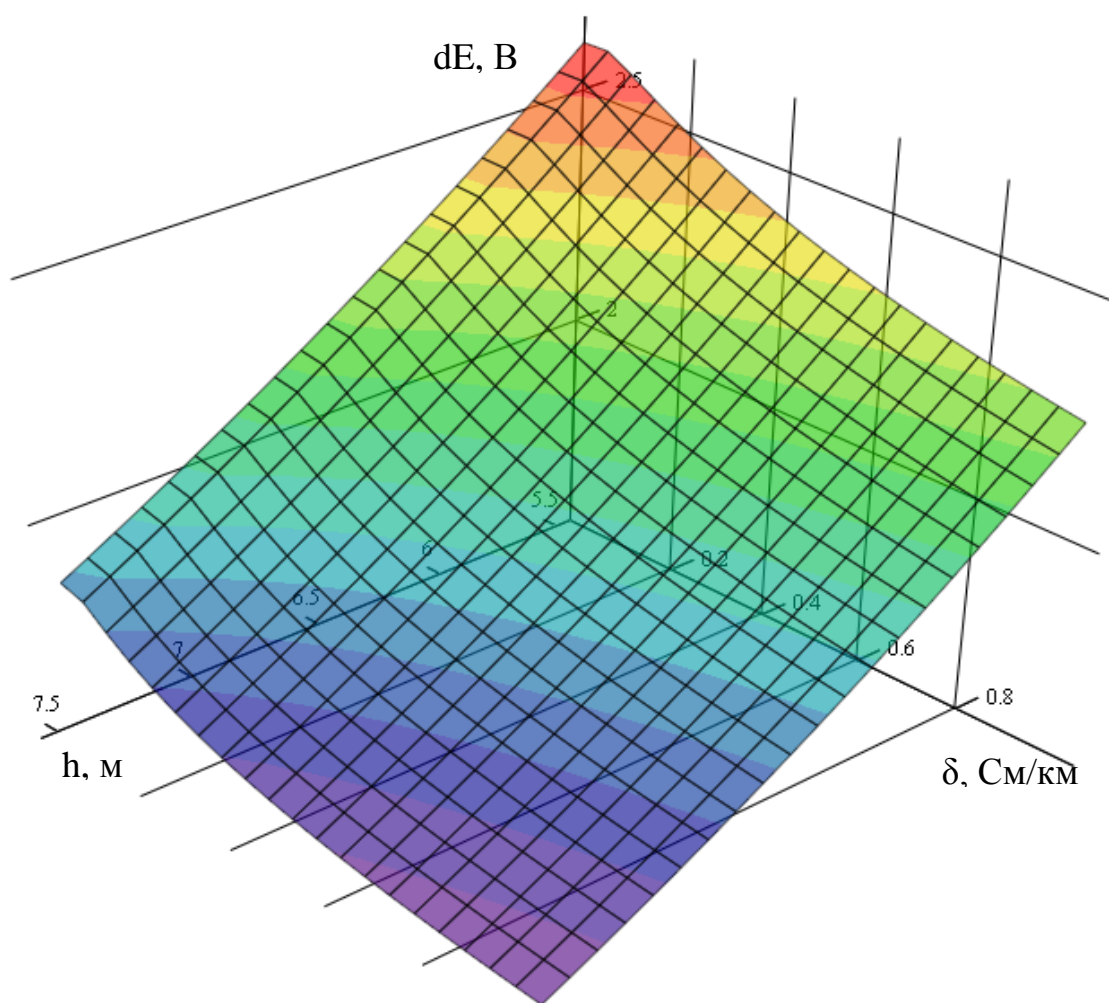


Рисунок 2.8 – залежність різниці наведених в рейках суміжної колії ЕРС від висоти розташування КП та провідності землі.

З отриманих графіків видно, що максимальна різниця між наведеними ЕРС спостерігається при відстані між коліями 5,9 м і становить для частоти 50 Гц

приблизно 2,42 В, а для частоти 420 Гц – 0,125 В на 1 км. При подальшому збільшенні відстані до контактного проводу, різниця наведених ЕРС зменшується, тобто вплив на колії, що знаходяться далі ніж перша суміжна буде зменшуватися. Також рівень наведеної ЕРС значно зменшується при збільшенні частоти завади за рахунок зменшення струму завади на високих частотах. При невисоких підвісах КП над землею та зменшенні провідності землі рівень наведених ЕРС в суміжних колах збільшуватиметься.

Багатопровідна контактна мережа станції створює складні електромагнітні умови для роботи станційних рейкових кіл при розміщенні суміжних колій на відстані 5,9 м, що є досить поширеною міжколійною відстанню. Це зумовлено тим, що наводити в рейках суміжних колій ЕРС, а отже й впливати на роботу рейкових кіл буде кожен з контактних проводів електрифікованих колій станції.

Рівень електромагнітного впливу може бути різним: від незначного до небезпечного. Тому для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті при введенні в експлуатацію нової техніки необхідно проводити випробувань для доведення її безпеки та електромагнітної сумісності з існуючими системами, що використовуються на залізницях.

Магнітний вплив, що створюється струмом контактної мережі є причиною наведених в рейках струмів завад, які можуть знизити безпеку руху.

В результаті проведених досліджень виявлено, що найбільш несприятливі умови для роботи рейкових кіл виникають при розташуванні суміжних колій на відстані 5,9 м. При такому розміщенні суміжних колій в рейках індукуються поздовжні ЕРС, різниця яких досягає найбільших значень, що при певних умовах може створювати заважаючий, або навіть небезпечний вплив на роботу рейкових кіл.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні

Перебуваючи на перегоні під час виконання робіт по обслуговуванню та ремонту пристроїв СЦБ необхідно дотримуватись особливої обережності.

На перегонах варто проходити уздовж колій за кюветом і тільки при гострій потребі можна проходити збоку від колій по узбіччю не ближче 2 метрів від крайньої рейки. При необхідності проходу по колії на двоколійних лініях варто йти на зустріч правильному напрямку руху поїздів, оглядаючись, час від часу й контролюючи цим можливе наближення також і по неправильному напрямку [12].

Ходити по шпалах між рейками допускається лише при гострій потребі, коли прохід по узбіччю неможливий. У таких випадках варто бути особливо пильним. З наближенням поїзда, дрезини тощо необхідно завчасно зійти з колій на узбіччя й перебувати від колії, по якій проходить поїзд на відстані не ближче 5 метрів. Переходити для пропуску поїзда на сусідню колію й перебувати на ній забороняється.

Особливу обережність і уважність варто дотримувати при поганій видимості, туманах, а також узимку, коли головні убори погіршують чутність сигналів і шуму від пересування рухомого складу, відчепів і локомотивів.

Там де немає пішохідних містків, тунелів, настилів переходити колії треба тільки під прямим кутом, попередньо переконавшись у тому, що на пересічних коліях немає рухомого складу, що наближається.

Не можна переходити або перебігати колії перед складом, що рухається, або локомотивом. При переході колії за хвостом поїзда, що проїхав, варто переконатися, що вслід йому не йде штовхач або дрезина, а по сусідній колії немає зустрічного поїзда.

При переході через колії не можна вступати або сідати на кришки колійних коробок, дроселів-трансформаторів, кабельних муфт, електрозамків і інших напольних пристроїв.

Під час перерви в роботі, виконуваної на коліях, необхідно зійти з колій на узбіччя на відстань не менш 2 метрів від крайньої рейки. При наближенні до місця роботи рухомого состава працюючі зобов'язані: негайно припинити всі роботи; забрати всі інструменти; матеріали й запасні частини в межі габариту; відійти в безпечне місце.

При всіх роботах забороняється: залишати на ніч і в перервах робіт незакриті ями, котловани й траншеї; класти інструмент на головки рейок і порушувати габарит наближення будівель. А також матеріали й устаткування повинні бути розміщені в міжколійї так, щоб відстань від найближчої рейки до покладених матеріалів і устаткування була не менш 1 метра при висоті до 200 мм над головою рейки; 1,2 м - при висоті 1,2 м; 1,7 м - при висоті більше 1,2 м.

Не пізніше, ніж за 10 хв до проходу швидкісного поїзда роботи повинні бути припинені, а матеріали й інструменти прибрані на відстань не менш 2 м від найближчої рейки. Не пізніше, ніж за 5 хв до проходу швидкісного поїзда необхідно відійти від колії на відстань не менш 5 м. При провадженні робіт на колії, суміжній з тією, по якій повинен проїхати швидкісний поїзд, роботи на ній також повинні бути припинені завчасно з таким розрахунком, щоб за 5 хв до проходу поїзда на колії нікого не залишалось й щоб всі працюючі перебували на відстані не менш 5 м від колії, по якій повинен проїхати швидкісний поїзд. [11]

Перевірка змонтованого устаткування під напругою повинна провадитися під керівництвом відповідального працівника, що має кваліфікацію з охорони праці не нижче IV групи. Якщо робота провадиться в кілька змін, повинен призначатися керівник у кожній зміні.

Всі працівники, що роблять перевірку змонтованого устаткування під напругою, повинні мати посвідчення про присвоєння їм кваліфікаційної групи по охороні праці.

Перед початком робіт керівник зобов'язаний перевірити в кожного праців-

ника термін дії кваліфікаційного посвідчення й при видачі завдання враховувати кваліфікаційну групу працівника.

Вся бригада, зайнята на перевірці встаткування під напругою, повинна мати монтерський інструмент з ізольованими ручками.

Всі електричні виміри повинні виконуватися тільки спеціальними приладами, що мають ізольовані відводи з наконечниками для підключення до затисків устаткування.

При випробуванні ізоляції кабелів, проводів і окремих частин пристроїв мегомметром необхідно відключити випробовуваний об'єкт від інших пристроїв.

Перевірка під напругою встаткування в колійних ящиках повинна провадитися із застосуванням відповідних ізолюючих захисних засобів. Всі працівники бригади, що роблять перевірку встаткування під напругою, повинні вивчити прийоми надання першої допомоги при нещасних випадках. [13]

Для забезпечення електробезпеки обслуговуючого персоналу й інших осіб на електрифікованих дорогах конструкції й пристрої повинні бути заземлені способом, що забезпечує режим короткого замикання. [11]

Захисному заземленню підлягають всі металеві частини конструкцій і пристроїв, доступні для дотику людини й не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку.

Матеріал, конструкція, розміри заземлювача й заземлюючих провідників, їхні контактні з'єднання повинні забезпечувати достатній ступінь стійкості до механічних, термічних і корозійних впливів.

Контури заземлення й заземлюючі провідники виконують переважно зі сталі, діаметром проводу не менш 10мм; допускається використання сталевих алюмінієвих проводів для групових заземлень і мідних проводів для робочих заземлень.

Висновки та рекомендації

Завданням даного дипломного проекту було дослідження магнітного впливу КМ на РК. Магнітний вплив, що створюється струмом контактної мережі є причиною наведених в рейках струмів завад, які можуть знизити безпеку руху. В результаті проведених досліджень виявлено, що найбільш несприятливі умови для роботи рейкових кіл виникають при розташуванні суміжних колії на відстані 5,9 м. При такому розміщенні суміжних колій в рейках індуються позовжні ЕРС, різниця яких досягає найбільших значень, що при певних умовах може створювати заважаючий, або навіть небезпечний вплив на роботу рейкових кіл. Також рівень наведеної ЕРС значно зменшується при збільшенні частоти завади за рахунок зменшення струму завади на високих частотах. При невисоких підвісах КП над землею та зменшенні провідності землі рівень наведених ЕРС в суміжних колах збільшуватиметься. Рівень електромагнітного впливу може бути різним: від незначного до небезпечного. Тому для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті при введенні в експлуатацію нової техніки необхідно проводити випробувань для доведення її безпеки та електромагнітної сумісності з існуючими системами, що використовуються на залізницях. В розділі Охорони праці були розглянуті вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні.

Перелік посилань

1. Дмитриев В.С., Минин В. Новые системы автоблокировки. – М.: Транспорт. 1992. – 182 с.
2. Федоров Н.Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: Учебное пособие.-Самара:СамГАПС,2004.
3. Кулик П.Д., Ивакин Н.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей.-2003.
4. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость / Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М: УМК МПС, 2002. – 638 с.
5. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – 4-е изд., перераб. и дополн. / Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт,1982.
6. ДСТУ ІЕС 61000. Електромагнітна сумісність. (Серія стандартів)
7. Справочник по электроснабжению железных дорог: В 2 т. / Ю.Н. Макас, В.М. Эрлих, П.М. Шилкин, Б.Е. Геронимус, И.Б. Мостинский и др.; Под ред. К.Г.Марквардта. – М.: Транспорт, 1980-1981.
8. Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
9. Тафт В.А. Электрические цепи с переменными параметрами. М.: Энергия, 1968. 327 с.
10. Каганов З. Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. - М.: Энергоатомиздат, 1990. 248 с.
11. Правила технічної експлуатації залізниць України, 2002 р.
12. «Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізницях України»
13. ЦШ 0060 «Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ)».