

**ДОВІДКА**

**про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі**

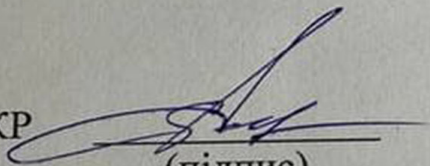
За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР) здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

Павленко Роман Аркадійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів (комплексна)

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР

  
(підпис)

Гаврилюк В.І  
(прізвище, ім'я, по батькові)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Український державний університет науки та  
технологій

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»  
Завідувач кафедри



Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

20 21 р. грудня « 16 »

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

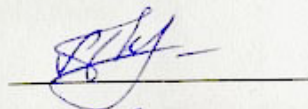
Спеціалізація «Системи керування рухом поїздів»

**Тема:** Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів (комплексна)

**Theme:** Increasing the accuracy of spectral analysis of traction current during operational tests of new types of electric trains

Керівник дипломної роботи  проф. Володимир ГАВРИЛЮК

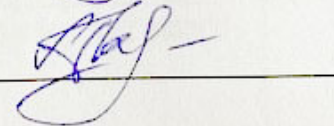
Студент групи СК2021 (969М)



Роман ПАВЛЕНКО

Student

СК2021 (969М)



Roman PAVLENKO

Дніпро  
2021

## РЕФЕРАТ

**Відомості про об'єм пояснювальної записки:** 88 сторінок, 4 таблиць, 14 рисунок, 32 джерел літератури.

**Ключові слова:** розрядники, рейкові кола, спектральний аналіз, психофотометричний струм, нові типи рухомого складу.

**Об'єкт проектування:** лінії зв'язку.

**Мета магістерської роботи:** Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів.

У першому розділі було розглянуто електромагнітну сумісність рухомого складу с пристроями зв'язку, класифікація впливів тягової мережі на кабельні лінії зв'язку та міжнародні норми на електромагнітну сумісність рухомого складу із системами сигналізації та зв'язку.

У другому розділі виділені основні параметри та характеристики методів захисту ліній зв'язку від завад.

В третьому розділі було розглянуто методику вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу.

У четвертому розділі отримали результат дослідження і розрахунок впливу тягового електропостачання на лінії зв'язку.

**Галузь застосування:** Автоматика та автоматизація на залізничному транспорті.

**Висновок.** В роботі розглянуто методи захисту ліній зв'язку та вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу.

## ЗМІСТ:

ВСТУП.....	4
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	8
1.1. Електромагнітна сумісність рухомого складу с пристроями зв'язку...8	
1.2. Класифікація впливів тягової мережі на кабельні лінії зв'язку.....	20
1.3. Міжнародні норми на електромагнітну сумісність рухомого складу із системами сигналізації та зв'язку.....	25
1.4. Висновки за розділом.....	31
2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ. МЕТОДИ ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ ВІД ЗАВАД .....	33
2.1. Класифікація ліній зв'язку.....	33
2.2. Методи захисту ліній зв'язку від завад.....	50
2.3. Висновки за розділом.....	59
3. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ.....	60
3.1. Методи вимірювання.....	60
3.2. Визначення психофотричного струму.....	65
3.3. Нормативні значення завад в повітряних та кабельних лініях зв'язку.....	67
3.4. Висновки за розділом.....	69
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК. ВПЛИВУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ.....	70

4.1.	Розрахунок	небезпечних
впливів.....		70
4.2.		
Розрахунок.....		76
4.3. Висновки за розділом.....		78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		81
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....		84

## ВСТУП

Нові типи двосистемних електропоїздів з асинхронним тяговим приводом, що почали впроваджуватися в Україні в останнє десятиріччя, є джерелом потужних електромагнітних завад в широкому діапазоні частот, які можуть викликати збої в роботі рейкових кіл (РК) і автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) і, відповідно, приводити до небезпечних для руху поїздів ситуацій. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл в умовах впровадження і експлуатації нових типів рухомого складу шляхом забезпечення їх електромагнітної сумісності з рейковими колами є актуальним завданням.

У відповідності до визначення Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) під електромагнітною сумісністю (ЕМС) розуміється здатність електротехнічного обладнання (пристрою, апарата, приладу) задовільно працювати із заданою якістю в заданому електромагнітному середовищі і не утворювати неприпустимого електромагнітного впливу на оточуюче середовище, а також на інше технічне обладнання.

В Україні технічний регламенту з електромагнітної сумісності обладнання затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29.08.2009, № 785. Електрифіковані залізниці є потужним просторово розподіленим джерелом електромагнітних завад. В цілому, джерела

електромагнітних завад на залізничному транспорті можна поділити на внутрішні і зовнішні. До основних зовнішніх джерел електромагнітних завад відносять системи зовнішнього електропостачання до тягових підстанцій, високовольтні лінії електропередачі, системи радіозв'язку, а також джерела природного походження (електричні розряди, блискавка) та ін. До внутрішніх джерел відносять електро- та радіотехнічне обладнання залізниць, але найбільш потужними джерелом завад на електрифікованих залізницях є системи і пристрої тягового електропостачання, а саме: тягові підстанції, тягова мережа а також електрорухомий склад.

Поняття електромагнітно сумісності як у загальному сенсі, так і зокрема для залізничного транспорту, є достатньо широким. При аналізі ЕМС для залізничного транспорту розглядається такі види впливу:

- електромагнітний вплив через радіо завади на частотах технологічного радіозв'язку і передачі даних в діапазоні частот від 30 кГц до 1 ГГц;

- індуктивний вплив на повітряні та кабельні лінії зв'язку (в діапазоні частот від 50 до 3450 Гц);

- кондуктивний вплив на рейкові кола (в діапазоні частот від 0 до 104 Гц) та на металеві оболонки кабелю, трубопроводи і інші металеві конструкції, що з'єднані з рейками безпосередньо або через провідність землі;

- електростатичний вплив.

Слід зауважити, що всі ці різновиди впливів є проявом дії електромагнітного поля.

Дослідження впливу електричних завад від тягових підстанцій і електричного рухомого складу на рейкові кола та методи захисту рейкових кіл від завад описані в багатьох фундаментальних роботах. Існуючі публікації з електромагнітної сумісності системи тягового електропостачання з рейковими колами розглядають майже всі аспекти цієї проблеми.

Історично проблема електромагнітної сумісності тягового електропостачання з лініями сигналізації та зв'язку виникла на початку електрифікації залізниць на постійному і, особливо суттєві проблеми винили при електрифікації на змінному струмі. Проблема забезпечення електромагнітної сумісності на залізничному транспорті була в цілому успішно вирішена в процесі розробки і проектування систем тягового електропостачання. Висока функціональна безпека рейкових кіл при цьому була досягнута як за рахунок технічних рішень, так і внаслідок впровадження організаційних методів та засобів, що включають планово-попереджувальне обслуговування рейкових кіл, порядок проведення яких регламентовано галузевими інструкціями.

Технічні рішення стосуються забезпеченням високої завадостійкості колійних приймачів рейкових кіл шляхом використання захисних фільтрів на вході колійних приймачів, що запобігають проходженню на вхід колійного приймача гармонійних завад з частотами, які відрізняються від частот сигнального струму, а також високою селективністю колійних приймачів, в яких вихідний сигнал, що характеризує стан рейкового кола, формується за двома селективними признаками а саме: за несучою частотою сигналу і частотою його модуляції, або за частотою і фазою сигналу, або за частотою сигналу і кодovими комбінаціями. При відповідності селективних ознак вимогам, рішення про стан рейкового кола формується в колійному приймачі за третім параметром. а саме, за рівнем сигнального струму на вході приймача.

Для тяги змінного струму частоту сигнального струму рейкових кіл вибирають відмінною від частоти 50 Гц та частот кратних 50 Гц, а саме  $(50 \cdot n)$  Гц, де  $n = 6, 12$ , що здатні виникнути в тяговій мережі постійного струму внаслідок роботи випрямлячів на тягових підстанціях і не недостатньої фільтрації випрямленого струму.

Організаційні засоби регламентовані галузевими інструкціями, що передбачають обов'язкове випробування нових систем сигналізації та зв'язку і нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність перед вводом їх в експлуатацію, а також періодичним планово-попереджувальним обслуговуванням систем сигналізації, централізації, блокування.

Таким чином, для традиційних систем СЦБ і електрорухомого складу проблема впливу гармонік тягового струму на рейкові кола і автоматичну сигналізацію були успішно вирішені в процесі експлуатації залізниць, про що свідчать статистичні данні з яких видно, що збої пристроїв СЦБ під впливом ЕМ завад за кількістю є незначними.

Збої АЛСН від ЕМЗ виникають, головним чином, внаслідок застарілої або неправильно відрегульованої апаратури, намагніченістю рейок, внаслідок намагнічення дросель-трансформаторів тяговим струмом.

Нова хвиля інтересу до проблеми ЕМС з боку науковців, конструкторів і експлуатаційного персоналу виникла у зв'язку із вводом в експлуатацію нових типів високошвидкісних поїздів з асинхронним тяговим приводом і електронними перетворювачами електричної енергії, які генерують потужні електромагнітні завади в широкому діапазоні частот. В Україні були введені в експлуатацію напочатку 2000-х років локомотиви з асинхронним тяговим приводом типу ДС-3. Особливо проблема електромагнітної сумісності нових типів ЕРС з рейковими колами набула актуальності у 2012 році у зв'язку з впровадженням нових типів двосистемних електропоїздів подвійного електроживлення типу "Хюндай" і "Шкода".

Слід зауважити що на час випробувань локомотивів ДС-3 в Україні не було затверджених галузевих норм, що визначають допустимі рівні електромагнітних завад в рейкових колах від рухомого складу, а також методики випробування.

# **1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ**

## **1.1. Електромагнітна сумісність рухомого складу с пристроями зв'язку**

Вимоги до електромагнітної сумісності останнім часом значно зросли через широке використання на залізничному транспорті досягнень науково-технічного прогресу. Застосування схем управління, пристроїв регулювання тяги та гальмування, побудованих на мікропроцесорній базі, а також інформаційних шин, що охоплюють усі системи рухомого складу, ставить особливо високі вимоги до стійкості цих компонентів до сторонніх електромагнітних полів [2].

Заважаючий потенціал тягового обладнання та допоміжних пристроїв значно зріс у зв'язку з використанням сучасної перетворювальної техніки, що

характеризується високою напругою та комутацією значних потужностей з високою тактовою частотою та струмовими імпульсами великої крутості.

На залізничному транспорті додаткові складності викликані високою щільністю компонування обладнання на рухомому складі, де силові пристрої та системи управління розташовуються поруч, рухом тягового рухомого складу поблизу пристроїв зв'язку та сигналізації, а також трасуванням ліній зв'язку та СЦБ паралельно до контактної мережі. Усі ці фактори зумовили прийняття на залізницях особливо жорстких норм, правил та технічних вимог до обладнання.

Крім внутрішньогалузевих вимог до електромагнітної сумісності, зумовлених умовами експлуатації рухомого складу та його компонентів, у Німеччині з січня 1996 р. діють федеральний закон EMVG, що нормує рівень заважають впливів усіх електротехнічних пристроїв, та європейський стандарт ENV 50121, розділи 3-1 та 3-2 якого відносяться до електромагнітної сумісності.

Для виконання всіх існуючих вимог розроблено концепцію електромагнітної сумісності на рухомому складі, яка базується на дослідженнях, аналізі їх результатів та багаторічному досвіді вивчення цієї проблеми. Розроблена концепція передбачає спеціальні заходи щодо зниження рівня впливів проводів і струмопровідних частин обладнання, що заважають, а також підвищенню стійкості до сторонніх впливів компонентів рухомого складу. До них відносяться заземлення пристроїв, екранування, встановлення фільтрів, прокладання силових проводів та ліній для систем керування та регулювання у вигляді кабелів різних категорій. Передбачено спеціальні вимірювання для перевірки відповідності параметрів вимогам норм та інструкцій, підтвердження ефективності заходів, що вживаються, щодо забезпечення електромагнітної сумісності та визначення ступеня заважає впливу тяги на пристрої СЦБ та зв'язку.

Визначення електромагнітної сумісності.

Електромагнітну сумісність можна визначити як здатність електротехнічних або електронних пристроїв надійно функціонувати в навколишньому середовищі, в той же час, не впливаючи на неї. Це стосується установки в цілому по відношенню до середовища (зовнішня сумісність), до окремих пристроїв або компонентів по відношенню один до одного (внутрішня сумісність) і до взаємного впливу деталей, що утворюють вузол або блок (внутрішньосхемна сумісність). При цьому повинні бути зведені до мінімуму як сприйнятливість до зовнішніх впливів, що заважають, так і здатність надавати на середу такі впливи. Для забезпечення електромагнітної сумісності необхідно знати можливі джерела впливів, що заважають, види цих впливів і шляхи їх передачі до сприймаючого об'єкта. Якщо така інформація є, можна вжити відповідних захисних заходів. Вони можуть бути реалізовані як на джерелі завади, так і на об'єкті, що сприймає. Можливе також блокування шляху передачі.

#### Шляхи передачі.

Знання шляхів передачі заважаючих впливів є вирішальним у забезпеченні електромагнітної сумісності пристроїв, так як дає можливість ізолювати джерела завад, підвищувати стійкість пристрою до зовнішніх впливів, що заважають, і пригнічувати завади на шляху від їх джерела до приймача. Існує чотири шляхи передачі, що з'єднують джерело завад із приймачем. Це індуктивний, ємнісний та гальванічний зв'язок, а також передача випромінюванням. Ємнісний зв'язок є шлях, створений електричним полем. Вона діє на невеликій відстані і небезпечна лише за паралельної прокладки проводів або кабелів. У цьому випадку ємність між кабелями, а отже, і можливими джерелами та приймачами завад особливо велика. Індуктивний зв'язок реалізується за допомогою магнітних полів. Струм, що протікає у дроті, створює магнітне поле, яке, у свою чергу, наводить струм та напругу в сусідніх дротах. Гальванічний зв'язок здійснюється через будь-які гальванічні, тобто струмопровідні, з'єднання між джерелом завад та приймачем. Тут слід також враховувати захисні з'єднувачі,

що заземлюють і вирівнюють потенціал. Електромагнітний зв'язок відомий тим, що на його принципі працює радіо. Для її реалізації використовуються електромагнітні поля.

Види та категорії заважаючих впливів.

Електричні впливи, що заважають, можуть бути класифіковані за видами різних фізичних процесів, в результаті яких генеруються ці впливи. Всі норми та інструкції щодо виконання контрольних вимірювань створюються для визначення величини впливів, що заважають. При перевірці стійкості обладнання до впливів, що заважають, застосовують джерела, які генерують строго певні заважають величини.

У разі перевірки пристроїв на наявність випромінюваних ними впливів, що заважають, крім їх виду, слід враховувати також характер можливого впливу на приймач.

Крім інших способів класифікації види впливів, що заважають ділять на дві категорії. В рамках однієї з них оцінюється стійкість обладнання до впливів, що заважають, в рамках другої перевіряється здатність пристроїв випромінювати завади.

Стійкість до впливів, що заважають. Одним з найважливіших впливів цієї категорії є електрична дуга. Вона виникає при розриві механічного контакту двох провідників, що знаходяться під високою напругою. При цьому виникає короткий імпульс перехідного процесу, що заважає. На контактах головного вимикача рухомого тягового складу цей ефект виникає також і при їх замиканні.

Індуктивність навантаження і струмопідведення такого вимикача обумовлює виникнення крутого імпульсу напруги на контактах при їх механічному розмиканні, який призводить до пробію повітряного проміжку, що виникає між контактами з утворенням дуги. При наступному різкому зниженні напруги, коли контакти розійдуться певну відстань, дуга гасне. За

цей короткий інтервал часу процеси гасіння та виникнення дуги повторюються кілька сотень чи тисяч разів.

Виникаючі імпульси напруги за допомогою ємнісного зв'язку можуть впливати на сусідні покладені або підвішені паралельно дроти та кабелі. На контактах амплітуда імпульсів може досягати 4 кВ, причому у паралельних проводах можуть наводитися імпульси напругою до 1 кВ. Потужність цих імпульсів дуже мала. При крутості переднього фронту, що відповідає збільшенню напруги від нуля до амплітудного значення за 5 нс, частота імпульсів становить 100 МГц. За наявності небезпеки впливів таких імпульсів на цифрові системи захист їх внутрішньосхемними засобами зазвичай проблематична.

Велике значення для оцінки стійкості обладнання до впливів, що заважають, має його реакція на потужні імпульси струму і напруги, які зазвичай виникають при розриві великих струмів. Коли швидко розривається ланцюг великого струму, наприклад при спрацьовуванні запобіжника, індуктивність підводів зумовлює виникнення імпульсу струму та напруги. Потужність їх досить велика, тому можливі навіть руйнування деяких елементів пристрою. Амплітуда напруги може досягати 4 кВ, а струму - 2 кА. Час наростання імпульсу дорівнює 1 - 2 мкс, тривалість 20 - 50 мкс. Таким чином, частота імпульсів може досягати 100 кГц. Такі імпульси через гальванічну зв'язок можуть поширюватися лінії електропостачання.

Важливим фактором, що заважає, є статична електрика. Залежно від обставин та погодних умов кожна людина може накопичити статичний заряд напругою до 8 кВ та протягом короткого інтервалу часу розрядитись при зіткненні з струмопровідним предметом. Струм протягом менш ніж 1 нс може зрости до 15 А. Спектр імпульсу містить частоти до 100 МГц, його потужність мала.

Електромагнітні поля значної сили генеруються радіо- та телепередавальними пристроями, переносними радіостанціями і мобільними телефонами. Їхні частоти лежать у діапазоні від 100 кГц до 1,8 ГГц. Сила цих

полів великою мірою залежить від відстані до передавача. У доступних для населення місцях знаходження стаціонарних передавальних пристроїв і на відстані понад 20 см від переносних максимальна напруженість поля може досягати 20 В/см.

Випромінювання завад.

При дослідженні завадо-випромінюючої здатності тягового рухомого складу слід насамперед назвати такий фактор, як інтенсивність полів, що заважають радіоприйому. Електричні та електронні компоненти рухомого складу можуть генерувати електромагнітні поля, які створюють завади для мобільних телефонів, радіоприймачів, переносних радіостанцій поїзного або виробничого зв'язку, радіостанцій, що носяться, персоналу служб безпеки. Частоти цих завад лежать у діапазоні від 100 кГц до 2 ГГц, але можуть поширюватися і більш високі діапазони.

Статичні тягові і допоміжні перетворювачі збуджують в мережі, що їх живить, заважають струми, які через рейки і контактну мережу передаються на тягову підстанцію. Ці завади містять частоти від кількох герц до 10 кГц. Вони здатні впливати на роботу пристроїв СЦБ і зв'язку, розташованих в зоні рейок, особливо на рейкові ланцюги, пристрої АЛСН і прилади системи автоматичного управління рухом поїздів (АТО). Ці завади переважно не виходять за межі залізничних пристроїв, за винятком телефонних ліній.

Великі навантаження в системі електропостачання вагонів, тягові та гальмівні струми з тактовим регулюванням, а також ємнісні струми, що відгалужуються від ланцюгів перетворювачів у системи заземлення, ведуть до утворення магнітних полів у рейках і підкузовній зоні рухомого складу. Ці поля можуть значною мірою ускладнювати нормальне функціонування пристроїв СЦБ та зв'язку, що працюють на індуктивному принципі, наприклад точкових та шлейфових систем АЛС, лічильників осей, шляхових приймачів та ін.

Електромагнітна сумісність на рухомому складі.

В останні роки роль електромагнітної сумісності значно зросла у зв'язку з використанням на рухомому складі комп'ютерних систем управління і статичних перетворювачів великої потужності.

Способи забезпечення внутрішньої сумісності на рухомому складі та зовнішньої на перший погляд можуть бути такими ж, як на промислових підприємствах. Багато компонентів обладнання тягового рухомого складу можна порівняти з застосовуваними у промислових пристроях приводу та системах автоматизації виробничих процесів. Багато в чому подібні та екологічні вимоги.

Проте забезпечення електромагнітної сумісності на рухомому складі має суттєві особливості, які значною мірою визначають її концепцію.

Особливості сумісності на рухомому складі.

Вимоги до рівня електромагнітної сумісності на сучасному рухомому складі містять ряд визначальних положень, яким більшості промислових підприємств надається значно менше значення.

Головна відмінність у вимогах визначається тим, що одиниця рухомого складу, що розглядається з точки зору сумісності, є зазвичай об'єктом, що рухається через міста і в природних ландшафтах на великі відстані. При цьому рухомий склад не повинен надавати шкідливого впливу на навколишнє середовище та не піддаватися стороннім впливам, що заважають. Оскільки весь простір, прилеглий до залізничних ліній, ніколи не може бути повністю досліджений з точки зору електромагнітної сумісності та до того ж умови в ньому можуть постійно змінюватися, рухомий склад на відміну від стаціонарних промислових установок повинен виконуватися в розрахунку на експлуатацію в навколишньому навколишньому середовищі.

Прагнення зробити рухомий склад залізниць загальнодоступним також веде до виникнення змінних і заздалегідь точно не визначених умов. Особливо це стосується проїзду пасажирів, які користуються портативними радіостанціями і мобільними телефонами. Тут особливо повинні бути

дотримані вимоги захищеності пристроїв рухомого складу від впливів, що заважають. У разі промислових підприємств ця небезпека, зазвичай, усувається з допомогою організаційних заходів.

Якщо розглядати проблему з точки зору впливів, що заважають, випромінюваних рухомим складом, у цьому випадку вимоги повинні бути також надзвичайно високими. Так, для забезпечення безпечного проїзду в поїздах пасажирів із електростимуляторами серцевої діяльності необхідні жорсткі норми на рівень статичних і низькочастотних магнітних полів. Це досягається шляхом значних витрат, оскільки у вагонах сучасних електропоїздів відстань від пасажирів до джерел таких полів невеликі.

Ще однією особливістю рухомого складу щодо електромагнітної сумісності є близьке розташування елементів силової електроніки від пристроїв СЦБ та зв'язку, що працюють на індуктивному принципі. Крутизна фронту імпульсів напруги в тягових перетворювачах, що працюють на тиристорах, що замикаються, становить 0,5 - 1 кВ/мкс, а на біполярних транзисторах з ізольованим затвором - від 3 до 10 кВ/мкс. Крутизна імпульсів струму становить відповідно 3 – 300 та 30 – 600 А/мкс. У проміжному ланці таких перетворювачів напруга постійного струму може підтримуватися лише на рівні від 600 до 2,8 кВ. У безпосередній близькості від перетворювачів та підключених до них тягових двигунів, трансформаторів, гальмівних резисторів та силових кабелів повинні надійно працювати пристрої систем СЦБ, робочий рівень сигналів яких залежно від частоти лежить між декількома амперами та міліамперами.

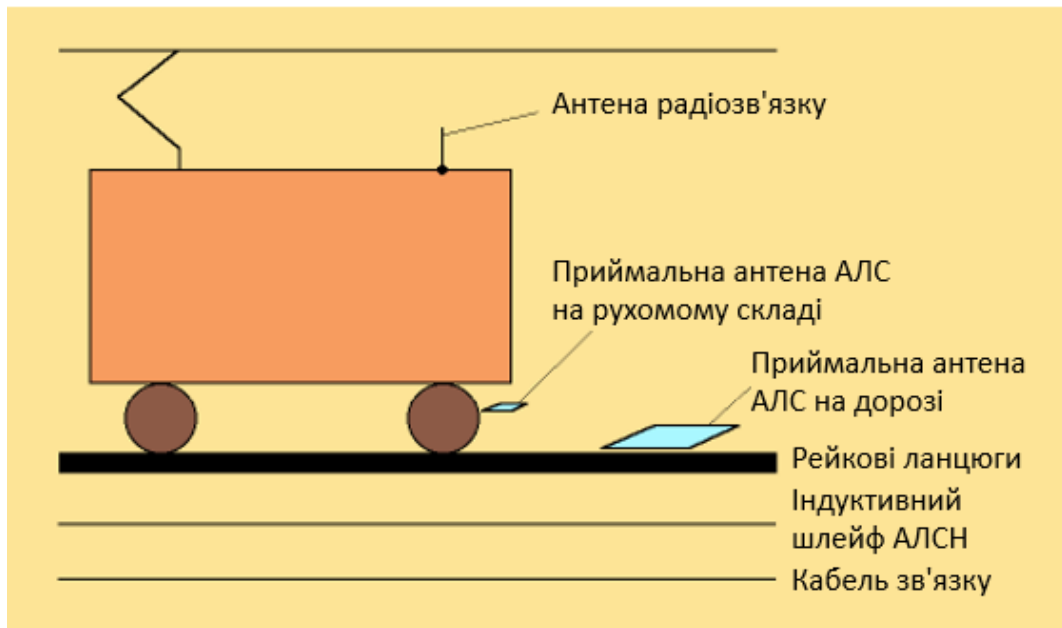


Рис. 1. Пристрої СЦБ та зв'язку в дорозі та на рухомому складі

Для того, щоб забезпечувався надійний прийом у системах локомотивного радіозв'язку (рис. 1), рівень завад на антенах локомотивів не повинен перевищувати 0,3 мкВ. Максимальна відстань між антенами і компонентами силової схеми з комутуючими пристроями на тяговому рухомому складі не перевищує 3 – 5 м, у деяких випадках вона може бути меншою за 1 м. Цим пояснюються екстремально жорсткі вимоги до завади випромінювання силового обладнання в деяких частотних діапазонах. Нерідко ці вимоги значно вищі, ніж у промислових нормах чи європейському залізничному стандарті EN 50121-3-1.

Концепція електромагнітної сумісності на рухомому складі.

Концепція електромагнітної сумісності рухомого складу визначає загальні для будь-якого проекту правила технічної та дизайнерської розробки, а також заходи, виконання яких є обов'язковим при розробці окремих компонентів та одиниці рухомого складу в цілому. Концепція передбачає виконання таких вимог:

-виконання вимог законодавства щодо завади рухомого складу та його сприйнятливості до завад;

-обов'язкове виконання спеціальних вимог експлуатуючих рухомих склад компаній щодо електромагнітної сумісності;

-відсутність завад за нормального функціонування всіх компонентів устаткування;

-виключення можливості виникнення завад при взаємодії рухомого складу з розташованими поблизу залізничних та інших пристроїв;

-безумовне забезпечення безпеки людей.

На базі багаторічного досвіду експлуатації систем автоматизації та з урахуванням спеціальних вимог залізниць розроблено основну концепцію забезпечення електромагнітної сумісності, яка поширюється майже на всі елементи рухомого складу:

-Електричні фільтри;

-Системи передачі;

-Приладові шафи та окремі прилади;

-Елементи екранування;

-пристрої заземлення та з'єднання з корпусом;

-кабельні розведення.

Для систем керування та регулювання основними способами забезпечення електромагнітної сумісності є з'єднання пристроїв із корпусом та екранування. Для силового обладнання переважно використовується екранування. Колишні способи з'єднання з корпусом та екранування пристроїв вже не можуть використовуватися, так як, з одного боку, статичні перетворювачі, що широко поширилися, являють собою принципово новий вид джерел завад, а з іншого боку, змінилися способи зниження завади випромінювання, засновані на використанні мікропроцесорних і цифрових пристроїв.

Сучасна концепція забезпечення електромагнітної сумісності дозволяє за допомогою екранування надійно захищати системи і пристрої від низькочастотних магнітних полів, а також високочастотних електричних та

електромагнітних. Одночасно зі з'єднанням приладів систем управління з корпусом забезпечується поділ потенціалів живильної батареї і цих приладів, а також взаємний поділ потенціалів всіх приладів системи для того, щоб електронні блоки мали такий же потенціал, як усі сусідні пристрої і елементи екранування. Завдяки цьому істотно знижується вплив зовнішніх джерел, що заважає.

На рис. 2 схематично показані захисні заходи рухомому складі. Усі струмопровідні компоненти механічної частини вагона або локомотива пов'язані між собою струмопровідними сполуками. Вони утворюють так званий корпус, що має вихідний потенціал, стосовно якого ведуться виміри. До нього приєднуються корпуси всіх приладів та компонентів. Необхідно прагнути до того, щоб сполуки були низькоімпедансними, тобто мали мінімальні значення індуктивності та активного опору. Усі екрани з'єднуються з струмопровідним корпусом приладу або вагона щонайменше з двох кінців. Ці сполуки також мають бути низькоімпедансними.

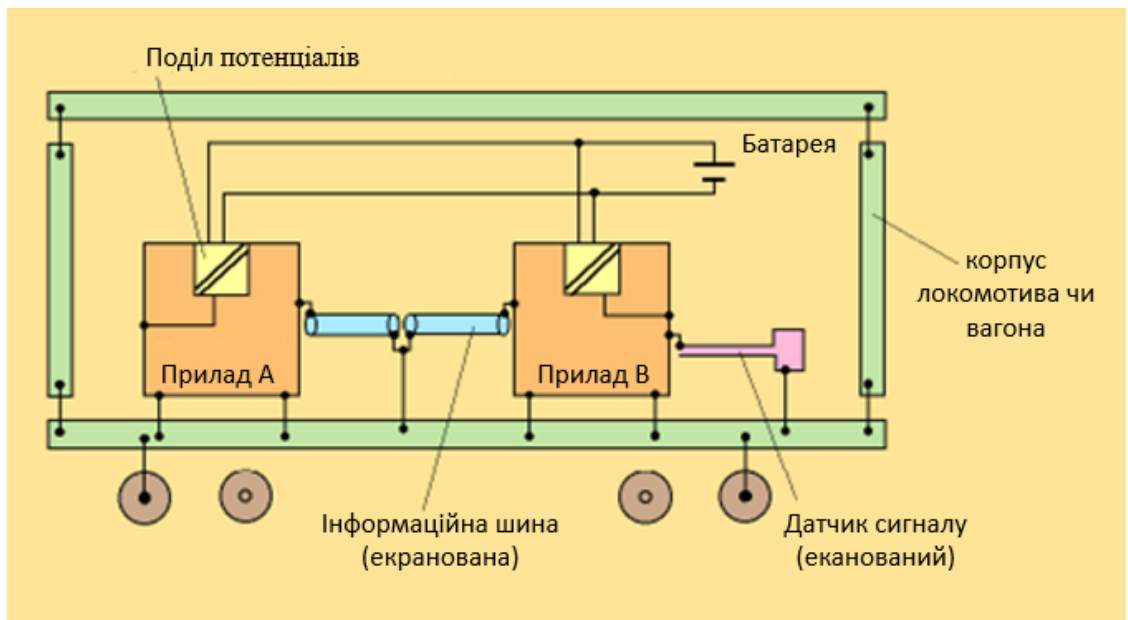


Рис. 2. Схематичне відображення концепції заземлення та екранування

Електронні компоненти приладів керування отримують живлення через перетворювачі постійного струму, що реалізують поділ потенціалів.

Корпуси окремих електронних блоків з'єднуються з корпусом приладу, який виконує роль екрану, низькоімпедансними провідниками. Якщо пристрій потребує екранування, воно має бути повним. Всі елементи, що екранують, слід з'єднувати низькоімпедансними провідниками між собою та з корпусом приладу або вагона.

Будь-які провідні з'єднання між приладами системи керування виконуються з поділом потенціалів. Це саме стосується і дротів двійкових схем, які вимагають поділу з потенціалом батареї. Цілями цього заходу є мінімізація різниці потенціалів між електронними схемами та елементами екранування, створення замкнутої оболонки. Це необхідно для підвищення захищеності від сторонніх впливів, що заважають, та зниження завад випромінювання в навколишнє середовище.

Концепція забезпечення електромагнітної сумісності передбачає оснащення всіх приладів системи керування високочастотними мережевими фільтрами живлення. Ці фільтри забезпечують придушення завад у смузі частот від 20 кГц до 100 МГц. Корпус фільтра також з'єднують із корпусом приладу з дотриманням зазначених вимог. Лінії передачі даних і сигналів часто не можна захищати фільтрами, оскільки частотні діапазони корисної інформації і завад можуть взаємно перекриватися. До котушок всіх реле, контакторів, магнітних пускачів та інших подібних елементів електросхем підключають варистори, які обмежують піки напруги, що виникають при розмиканні їх ланцюгів механічними контактами. Таким чином, метою застосування фільтрів є підвищення стійкості до зовнішніх впливів, що заважають, що приходять по проводах, та обмеження передачі цим же шляхом завад в інші пристрої.

Усі інформаційні шини, призначені для передачі великих обсягів інформації з високою швидкістю, виконують безпотенційними та симетричними за величиною імпедансу щодо корпусу вагона. Завдяки цьому значно знижується чутливість до синфазних завад. На рис. 3 наведено схему, в якій реалізовані захисні заходи для приладу системи управління.

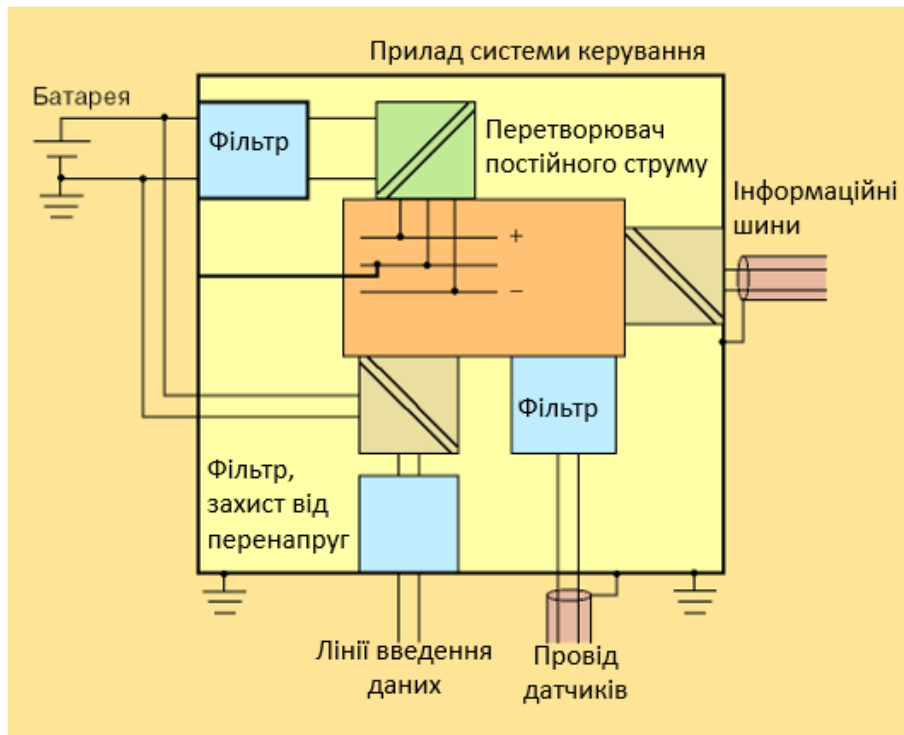


Рис. 3. Заходи, що забезпечують електромагнітну сумісність приладів системи керування

Важливим пунктом сучасної концепції забезпечення електромагнітної сумісності є майже повністю завершений перехід на цифрові методи обробки та передачі даних.

Швидкість обробки аналогових даних не повинна бути вищою, ніж потрібно за умовами роботи приладу. Це означає, що частота аналогових сигналів обмежена смугою, ширина якої визначена вказаними умовами. Цифрова обробка сигналів, зазвичай, виробляється синхронно, у своїй час реакції узгоджується з фізичними вимогами. Цими способами можуть враховуватися температурні константи часу великих компонентів, максимальні значення швидкості зміни рівня рідин, електричні константи часу для заряджання та розряджання конденсаторів та ін.

Такі заходи можуть значно знизити кількість помилкових спрацьовувань елементів контролю та помилкових повідомлень діагностичної системи про відмову. Застосування протоколів інформаційних шин має стати природним та обов'язковим заходом. Задаючи певний час

повернення і забезпечуючи повторну ініціалізацію у разі відмови, можна значно скоротити час простою багатьох пристроїв та приладів.

## **1.2. Класифікація впливів тягової мережі на кабельні лінії зв'язку**

При плануванні заходів щодо забезпечення електромагнітної сумісності особлива увага приділяється прокладанню проводів, оскільки між ними можуть виникати небажані взаємодії. Найбільш важливою є проблема ємнісного індуктивного зв'язку. Через дефіцит вільного простору на рухомому складі важко витримати безпечні мінімальні відстані між проводами. У зв'язку з цим усі проводи об'єднують у кабелі трьох категорій: А, В та С.

До категорії А належать дві погрупи - А1 та А2. У підгрупу А1 входять:

- Збірна шина поїздного електропостачання;
- Мережові провідники.

Підгрупа А2 об'єднує:

- проводи гальмівних резисторів, до яких пред'являються спеціальні вимоги, оскільки можуть випромінювати завади значного рівня;
- Підведення до тягових двигунів;
- кабелі живлення допоміжних пристроїв напругою 400 та 230 В;
- Лінії підключення мережевих фільтрів з боку перетворювачів.

Кабелі категорії В:

- Контрольні кабелі, ланцюги управління;
- Підведення та висновки акумуляторної батареї.

Кабелі категорії С:

- Проводи датчиків;

- Інформаційні шини;
- розведення мережі гучномовців;
- кабелі антен.

Для забезпечення розв'язки кабелі різних категорій укладають із дотриманням певних мінімальних відстаней, наведених у таблиці.

Категори я кабеля	Расстояние, м			
	A1	A2	B	C
A1	–	0,1	0,1	0,2
A2	0,1	–	0,1	0,2
B	0,1	0,1	–	0,1
C	0,2	0,2	0,1	–

Рис. 4 Мінімальні відстані між кабелями різних категорій.

Класифікація кабелів за категоріями переважно відповідає європейському стандарту EN50343. Поділ категорії А на підгрупи А1 і А2 був потрібний для того, щоб уникнути виникнення взаємного впливу між струмовими ланцюгами рухомого складу і контактною мережею, а в кінцевому рахунку - між ланцюгом струмоприймача і лінією зворотного струму.

Правильне розкладання кабелів не тільки дозволяє забезпечити електромагнітну сумісність, але й дає можливість надалі експлуатувати кабелі без витрат на технічне обслуговування.

Кабельні розведення на рухомому складі та його окремих великих агрегатах виконуються з урахуванням таких вимог:

- роздільне укладання кабелів різних категорій з дотриманням допустимих мінімальних відстаней;
- застосування для прокладання кабелів пов'язаних з корпусом сталевих труб, каналів і кожухів з листового металу, що виконують роль

додаткових екранів, якщо не можуть бути витримані мінімальні відстані між кабелями різних категорій, особливо стосовно кабелів категорії С;

- спільне укладання силових проводів, що підводять і відводять;
- укладання проводів та кабелів ближче до елементів металевого корпусу, у тому числі в кабельних каналах та сталевих трубах. Останні слід з'єднувати з корпусом локомотива чи вагона. Завдяки так званому дзеркальному ефекту провідних поверхонь значно послаблюються такі фактори, як випромінювання проводів, що заважають, і синфазні завади.

При перетині кабелів різних категорій без дотримання мінімальних відстаней як виняток допускається спільне укладання на довжині не більше 1 м кабелів А і В або В і С, але не А і С. При цьому слід застосовувати обплетення, що екранують, рукави і сталеві труби, які як мінімум з одного кінця мають бути з'єднані з корпусом локомотива чи вагона.

У зв'язку з нестачею вільного простору в зонах клемних з'єднань, перетинів або на вводах кабелів у шафи для приладів вимоги про поділ кабелів за категоріями часто не вдається виконати повністю. У цих випадках також діють зазначені винятки.

Іншим важливим засобом забезпечення електромагнітної сумісності на рухомому складі є екранування дротів, приладів і компонентів. При оцінці ефективності екранування слід розрізняти засоби захисту електричних та магнітних полів.

Електричне поле створює на еквіпотенційну поверхню, що ідеально проводить екрануючої оболонці, завдяки чому всередині оболонки електричне поле відсутнє. Однак у зв'язку з тим, що екран має кінцевий опір, який до того ж залежить від частоти ідеального екранування досягти важко. Зі збільшенням частоти електричного поля ефективність екранування падає.

Магнітне змінне поле індукує в замкнутій електропровідній оболонці вихрові струми, завдяки чому магнітне поле під оболонкою не виникає. Екрануючий ефект по відношенню до магнітної підлозі зростає зі

збільшенням частоти, так як при цьому вихрові струми, що індукуються, зростають.

Для забезпечення оптимального екранування проти магнітних і електричних полів екран повинен забезпечувати безперешкодне протікання струмів. Звідси випливає, що не замкнута повністю екрануюча оболонка, наприклад з'єднана з корпусом з одного кінця, захищає тільки від статичних та низькочастотних електричних полів, а для захисту від електричних, магнітних та електромагнітних полів екрануюча оболонка повинна бути замкнута з усіх боків і з'єднана з корпусом з обох кінців. Виняток становлять дроти від датчиків частоти обертання, які закріплені на осі колісних пар, що проводять зворотний тяговий струм, а також кабельні розведення аудіо- та відеосистем. Їхнє обплітання слід з'єднувати з корпусом тільки з одного кінця.

При екрануванні провідників слід дотримуватися таких умов:

- використання нульової жили кабелю замість корпусу для приєднання екрануючої оболонки не допускається;

- екрануюча оболонка кабелів і обплітання проводів повинні бути надійно з'єднані з корпусом приладу або приладового блоку, що також є екраном.

- з'єднання має бути низькоомним і, насамперед, низькоіндуктивним;

- екрануючу оболонку кабелю слід з'єднувати з корпусом приладу на його вході, щоб струми, що заважають, з оболонки не потрапили в схему.

Екранування великих компонентів електроустаткування

Для забезпечення оптимального екранування корпусу тягового та допоміжного перетворювачів виготовляють металевими з додатковим ущільненням, що екранує, кришок і люків. Вони заземлюються на корпус локомотива чи вагона щонайменше ніж у чотирьох (тяговий перетворювач) чи двох (допоміжний) місцях. У разі місця заземлення розташовують по діагоналі корпусу.

Гальмівний резистор закритий кожухом із перфорованого металевого листа. Отвори мають розмір 20x20 мм та розташовуються з кроком не менше 2 мм. Кожух заземляється не менш як у двох місцях.

Шафи з електронними приладами виготовляють із металевого листа з екрануючим ущільненням дверей та люків і з'єднують із корпусом не менш ніж у чотирьох місцях. Прилади та блоки, що не ізолюються від корпусу шафи, з'єднують із нею заземлювачами, що відповідають вимогам електромагнітної сумісності.

#### Вимоги до заземлювачів

Для заземлення (з'єднання з корпусом рухомого складу) таких великих компонентів електрообладнання, як тягові та допоміжні перетворювачі або шафи для приладів, використовується пруток круглого перерізу, площа якого вибирається відповідно до спеціальної таблиці. Довжина заземлювача має бути не більше 300 – 350 мм, у виняткових випадках дозволяється довжина до 500 мм. Якщо за місцевими умовами потрібний заземлювач більшої довжини, використовують мідну стрічку, наприклад, перерізом 40x6,5 мм з напресованим наконечником. Довжина стрічки, як і прутка, має бути мінімальною.

Екрануючі шини та корпуси електронних приладів, до яких приєднуються екрани інформаційних шин MVB, що вводяться, слід з'єднувати з корпусом локомотива або вагона в декількох точках. Якщо для цього немає можливості, використовують плоскі з'єднувачі завдовжки менше 200 мм, що підключаються у двох місцях. Екрануючі шини великої довжини можуть з'єднуватися з корпусом заземлювачами довжиною до 300 мм.

Усі компоненти електрообладнання для забезпечення електромагнітної сумісності при монтажі з'єднують з корпусом за допомогою кріплення їх до елементів рами або металевій підлозі кузова. Якщо деякі з них не кріпляться безпосередньо до кузова, наприклад у разі пружного підвішування, застосовують окремі заземлювачі.

Першим завданням заземлення є захист персоналу та пасажирів. Крім цього, вони забезпечують ефективність оболонки кабелів та приладових корпусів, що екранують, а також встановлених завододавлюючих фільтрів. Щоб ці функції виконувались, заземлювачі повинні відповідати зазначеним раніше вимогам

### **1.3. Міжнародні норми на електромагнітну сумісність рухомого складу із системами сигналізації та зв'язку**

Основою розробки федерального закону про електромагнітної сумісності приладів у Німеччині (EMVG) послужила інструкція 89/336/EWG, прийнята у травні 1989 р. Європейським співтовариством (ЄС) [1]. Вона не містить технічних деталей, проте висвітлює основні вимоги до захисних заходів та засобів. На підставі цієї інструкції держави-члени ЄС створювали національне законодавство в галузі електромагнітної сумісності.

Одночасно з інструкцією до міжнародної інспекції стандартів CENELEC були направлені основні матеріали для підготовки міжнародних технічних стандартів. На їх основі розроблялися національні стандарти.

У грудні 1992 р. законодавцям Німеччини було передано інструкції ЄС у галузі електромагнітної сумісності розробки федерального закону. Він був прийнятий у січні 1996 р., а нині діє його нова редакція, запроваджена у вересні 1998 р. На залізничний рухомий поширюються § 1 – 4 нового закону. Вони визначають сферу застосування, терміни, правила введення в роботу та експлуатації рухомого складу, а також вимоги до виконання захисних заходів.

Відповідно до § 1 електрорухомий склад розглядається як об'єкт впливу впливів, що заважають, і як їх джерело. Закон поширюється на весь рухомий склад та електричні компоненти, прийняті в експлуатацію на мережі залізниць країн ЄС з 1 січня 1996 р., тобто з дня набрання чинності законом.

Для рухомого складу всіх типів, що експлуатується, виконання захисних вимог має бути підтверджено документально.

Для залізниць у галузі електромагнітної сумісності розроблено європейський стандарт EN 50121, частини 1 – 5. При цьому на одиницю рухомого складу загалом поширюється розділ 3-1, а на змонтовану на ньому апаратуру – 3-2.

Вимоги магнітної сумісності, крім обов'язкових вимірювань, наказують також необхідні коригувальні та профілактичні заходи. У зв'язку з цим, крім витрат часу, слід враховувати й значний фінансовий чинник. Для того, щоб новий рухомий склад після передачі в експлуатацію відповідав вимогам електромагнітної сумісності, виробник, згідно із законом EMVG, повинен надати:

- рекомендації щодо монтажу приладів або компонентів, якщо це потрібно за умовами електромагнітної сумісності;

- рекомендації щодо необхідних обмежень та захисних заходів, якщо прилад не повною мірою забезпечує сумісність з електромагнітною ситуацією в певних умовах;

- інструкції з експлуатації всіх пристроїв;

- інструкції, що визначають обсяг та строки виконання робіт з технічного обслуговування, що забезпечують електромагнітну сумісність.

### Вимірювання

Закон EMVG передбачає контроль виконання вимог електромагнітної сумісності на стадіях розробки, виготовлення та введення в експлуатацію рухомого складу. Вимірювання впливів, що заважають, на окремих електричних компонентах обладнання служать для перевірки відповідності їх заявленим паспортним характеристикам у плані електромагнітної сумісності. Якщо виміри виконуються стосовно одиниці рухомого складу в цілому, вони відносяться до розряду типових і повинні підтвердити, що всі вимоги до

проектування та розробки дизайну щодо електромагнітної сумісності виконані і що локомотив або вагон сумісний з навколишнім середовищем.

Вимірювання призначені для визначення сприйнятливості до впливів, що заважають, і завадовипромінюючої здатності. Остання перевіряється шляхом вимірювання магнітного поля, зворотного впливу рухомого тягового складу на мережу і інтенсивності завад радіоприйому. Методи вимірювань магнітного поля ще перебувають у стадії розробки. Щодо зворотного на мережу загальноєвропейські норми не встановлено. Вони повинні розроблятися окремо для кожного проекту.

При виконанні вимірювань на електричних компонентах обладнання слід керуватися встановленими нормами завади:

-допоміжні пристрої потужністю до 50 кВ·А не повинні випромінювати завад вище 40 дБ·мкВ/м у діапазоні частот 30 Гц – 230 МГц та 47 дБ·мкВ/м у діапазоні 230 МГц – 1 ГГц;

-для входів та виходів силових ланцюгів тягового обладнання, а також для більшості входів та виходів допоміжних пристроїв рівень завад не нормується;

-рівень завад на виходах усіх приладів системи керування не повинен перевищувати граничних значень, встановлених стандартом EN 55011;

-на виходах всіх пристроїв, що мають батареjne живлення, відповідно до європейського стандарту EN 55011 рівень завад у діапазоні радіочастот не повинен перевищувати 20 дБ;

-на тяговому інверторі та допоміжних пристроях потужністю понад 50 кВ·А вимірювання не виробляються, тому що їх завади враховується в результаті, отриманому для локомотива або вагона в цілому при вимірюваннях, що виконуються згідно з розділом 3-1 європейського стандарту EN 50121.

Визначення сприйнятливості обладнання до завад передбачає використання встановлених стандартом норм для завад, що передаються

проводів і поширюються як поля. Ці випробування як типові проводяться в лабораторних умовах. Перевірці підлягають усі електронні прилади керування, пристрої електропостачання, СЦБ та зв'язку, дисплеї, системи інформування пасажирів. При вимірах створюються умови, що відповідають експлуатаційним. Критерії оцінки містяться у стандарті EN 50121-3-2.

Європейський стандарт EN 50121 встановлює гранично допустимий рівень завад, які радіоприймає одиниця рухомого складу в цілому. Вимірювання цього рівня відповідно до розділу 3-1 стандарту EN 50121 проводять одноразово в рамках типових випробувань за допомогою спеціальних антен у діапазоні частот 9 кГц – 1 ГГц на відстані 10 м від рейок під час стоянки поїзда, а також під час руху зі швидкістю 20 км./год для приміських поїздів та 60 км/год для поїздів далекого сполучення.

Поряд з цим проводять вимірювання завад, які рухомий склад надає роботі технологічного радіозв'язку, зокрема маневровому. Нерідко вони виявляються значно вищими від граничних значень, встановлених євростандартом [6]. Для вимірювання рівня випромінюваних завад досліджуваній локомотив або вагон встановлюють на ділянці шляху, розташованому в зоні, віддаленій від промислових підприємств та можливих джерел додаткових завад. Це дозволяє більш точно вимірювати рівні завад, у тому числі їх нижню межу, що лежить у діапазоні 5 – 10 дБмкВ. На рис. 5 наведено схему вимірювань.

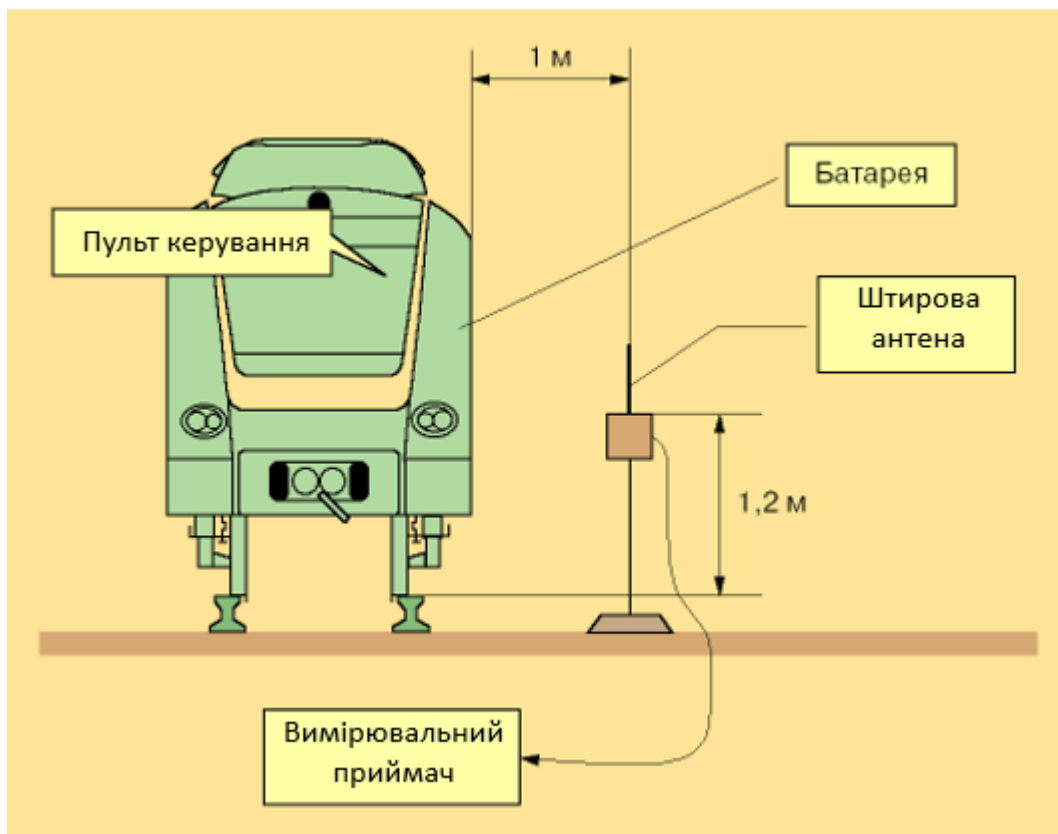


Рис. 5. Вимірювання завад радіоприйому

Відповідно до розділу 3-1 стандарту EN 50121, допустимий рівень зворотного впливу струмів вищих гармонік рухомого складу на контактну мережу встановлюють за згодою з клієнтурою. Для рухомого складу, допущеного, наприклад, до експлуатації на мережі DBAG, діють норми зворотного впливу, встановлені саме на цій мережі. Подібні допустимі значення містяться у міжнародних стандартах МСЗ для діапазону частот 1 – 10 кГц. Для вищих частот міжнародних норм немає. Більшість державних та приватних залізниць, як правило, встановлюють свої норми. У зв'язку з цим різні також методи та умови проведення вимірювань.

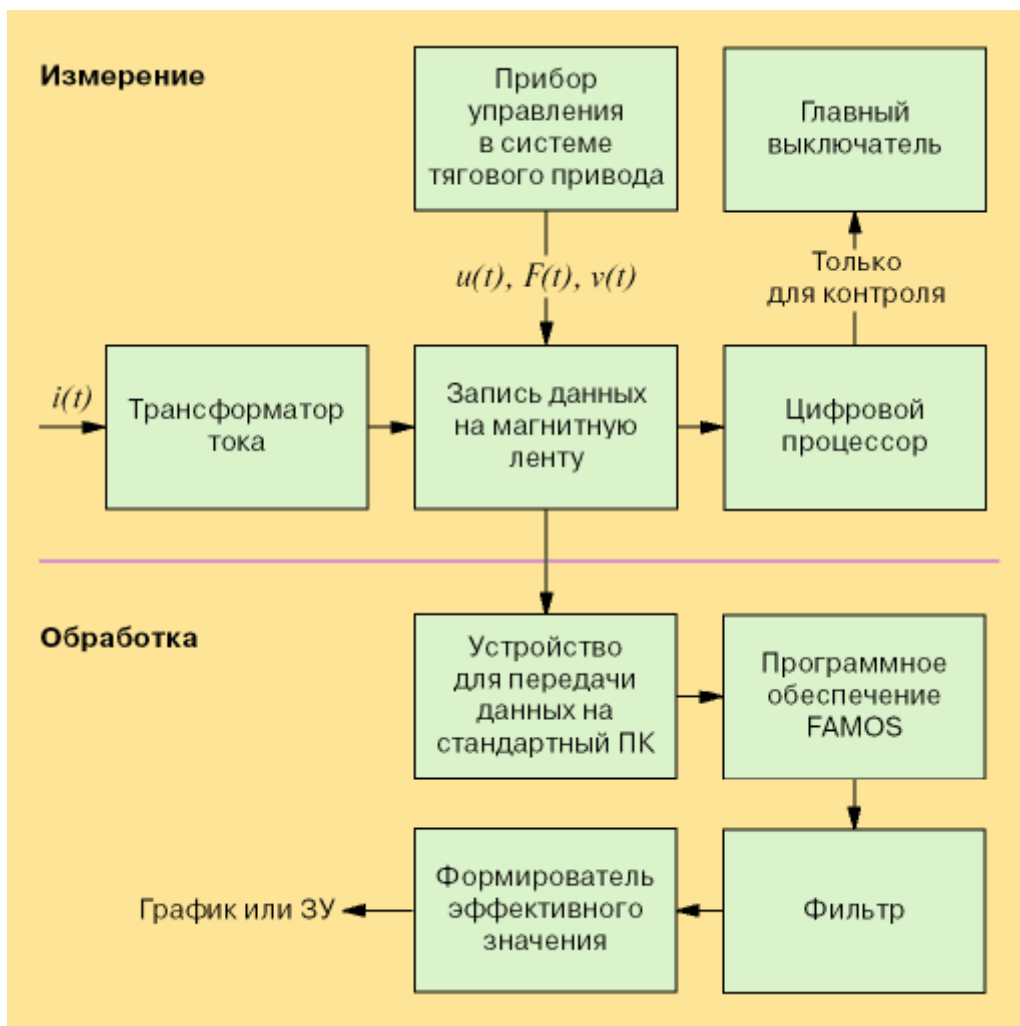


Рис. 6. Блок-схема вимірювань та обробки даних при визначенні зворотного впливу електричного складу на мережу

Зазвичай за допомогою одного або декількох трансформаторів струму однієї тягової одиниці або всього поїзда вимірюють струм, що споживається з контактної мережі, і оцінюють його якісні показники [4]. Для цього можуть бути використані аналізатори гармоніки, фільтри, цифрові процесори сигналів або персональні комп'ютери. Найбільш поширеним є метод, заснований на застосуванні вузькосмугових фільтрів з безперервним формуванням ефективних значень завади та швидким розкладанням її спектра до лав Фур'є. На рис. 6 наведена блок-схема сучасного методу визначення зворотного впливу на контактну мережу, яка вільно програмується і може бути використана як для лабораторної обробки даних,

так і для вимірювання в режимі реального часу струмів, що заважають, випромінюваних рухомим складом.

#### **1.4. Висновки за розділом**

Для підвищення спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів повністю усунути електромагнітний вплив контактної мережі електричних залізниць практично неможливо. Тому доцільніше допускати вплив в межах встановлених норм, який суттєво не порушує нормальну роботу суміжних ліній та не є небезпечним для ізоляції та обслуговуючого персоналу. Усі заходи щодо зменшення впливу поділяються на активні та пасивні. До першої групи відносяться заходи, що застосовуються у джерелах впливів, наприклад, у пристроях електричних залізниць. Ці заходи зменшують впливом геть усі суміжні об'єкти. Заходи, що стосуються другої групи, що застосовуються у суміжних лініях, називаються пасивними, оскільки зменшують вплив лише у лініях, у яких встановлені. До активних заходів захисту на дорогах постійного струму відносяться фільтруючі пристрої, що встановлюються на тягових підстанціях. Деяке зниження магнітних впливів можна досягти застосуванням схеми двостороннього живлення контактної мережі, при якій струми на фідерній зоні течуть у різних напрямках, тому електрорушійні сили, наведені в суміжній лінії цими струмами, мають різні знаки, завдяки чому сумарні наведені потенціали будуть меншими, ніж при односторонньому живленні.

Метою роботи є підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів. Оскільки об'єктом досліджень є кабельні лінії, на роботу яких також може впливати гармоніки тягового струму, у наступних розділах буде розглянуто основні параметри та характеристики методів захисту ліній зв'язку від завад;

методику вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу;  
проведення дослідження і розрахунок впливу тягового електропостачання на лінії зв'язку.

## **2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ. МЕТОДИ ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ ВІД ЗАВАД**

### **2.1.Класифікація ліній зв'язку**

Невід’ємною й однією з найскладніших і витратних складових телекомунікаційних систем є лінії зв’язку (ЛЗ), якими передаються інформаційні сигнали від одного абонента (станції, передавача, регенератора) іншому (станції, приймачу, регенератору) та у зворотному напрямку. Зважаючи на середовище поширення сигналів, лінії зв’язку можна поділити на 3 групи: радіолінії, провідові й оптичні. У радіолініях сигнали передаються у вільному просторі, в провідових лініях — металевими кабелями, хвилеводами, в оптичних лініях — волоконними світловодами або у вільному просторі. Класифікацію цих ЛЗ наведено на рис. 4.2.1.

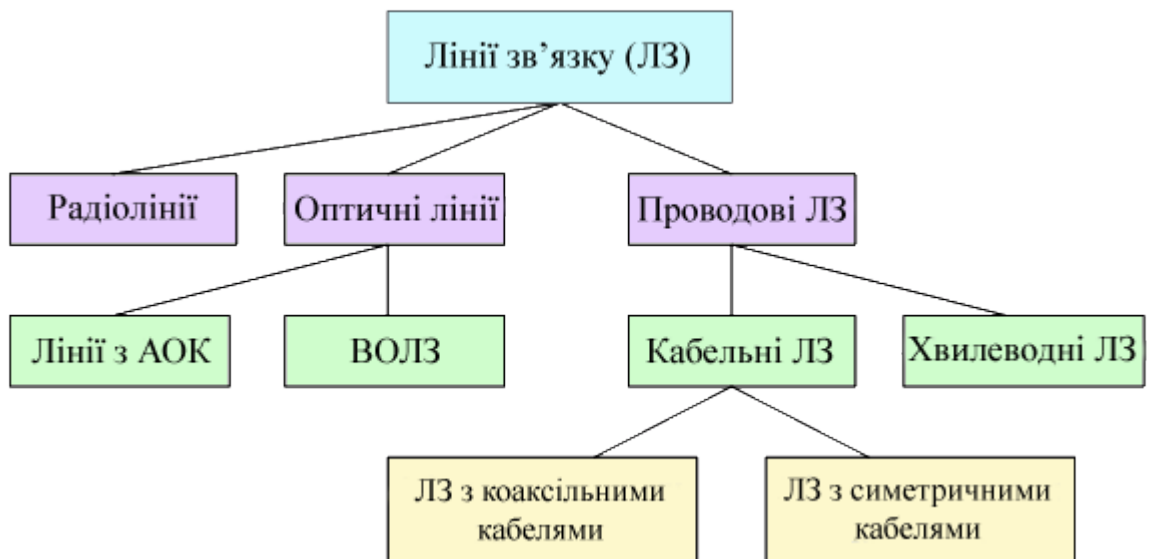


Рис. 4.2.1. Класифікація ліній зв’язку

АОК — атмосферний оптичний канал; ВОЛЗ — волоконно-оптична лінія зв’язку

До ліній зв’язку висувають такі вимоги:

- захищеність від механічних пошкоджень і температурних коливань;
- захищеність лінії від взаємних і зовнішніх електромагнітних впливів;
- стабільність електричних параметрів у часі;
- велика інформаційна ємність (пропускна здатність);

-мале загасання, завдяки чому забезпечується більша відстань одного інтервалу зв'язку;

-мінімальні витрати під час будівництва й експлуатації лінії.

За масштабом застосування лінії зв'язку поділяють на магістральні, зонові та місцеві. Магістральні лінії з'єднують обласні центри між собою; зонові (внутрішньозонові) з'єднують обласні центри з районними центрами та районні центри між собою. До ліній місцевого зв'язку належать лінії міського та сільського зв'язку, зокрема лінії міської телефонної мережі (МТМ). Лінії міського зв'язку в свою чергу поділяють на абонентські та з'єднувальні. Абонентські лінії поєднують станційні прилади з абонентським обладнанням. З'єднувальні лінії поєднують комутаційні системи міської телекомунікаційної мережі, базові станції мобільного зв'язку тощо. В цифровій ієрархії мережі поділяються на локальні (LAN), міські (MAN) і глобальні (WAN).

Лінія зв'язку — кабельна (проводова чи оптоволоконна) або радіолінія — є безперервною за довжиною, спрямовує електромагнітну енергію сигналів у заданому напрямку, тобто має каналізаційні властивості. Ці властивості забезпечуються наявністю межі розподілу середовищ з різними електричними параметрами. В провідних лініях зв'язку електромагнітна енергія спрямовується вздовж провідників, розділених діелектриком, наприклад повітрям, або вздовж лінії розподілу двох діелектриків. У радіолініях і відкритих оптичних лініях енергія сигналів спрямовується радіально від випромінювача (антени передавача) до приймача. Через відкритість сигнали в радіолініях і оптичних лініях визначаються властивостями антен і параметрами середовища. Розглянемо окремо кабельні лінії зв'язку та відкриті радіо- й оптичні лінії.

Кабелем називається конструкція, що складається із скручених разом ізольованих провідників (сердечник), укладених у загальну вологозахисну оболонку та броньові покриття.

Кабелі зв'язку класифікуються за такими ознаками:

-за умовами прокладання – на підземні, підводні, підвісні та кабелі для протягування у телефонній каналізації;

-за спектром переданих частот - на низькочастотні НЧ (тональні до 10кГц) та високочастотні ВЧ (понад 10кГц);

-по області застосування – на магістральну зонові (внутріобластні, сільські, міські, для з'єднувальних ліній та вставок, а також радіогоктовні кабелі);

-по конструкції – на симетричні та коаксіальні. Симетричний ланцюг складається з двох абсолютно однакових у конструктивному та електричному відношенні ізольованих провідників (рис 1.1 а).

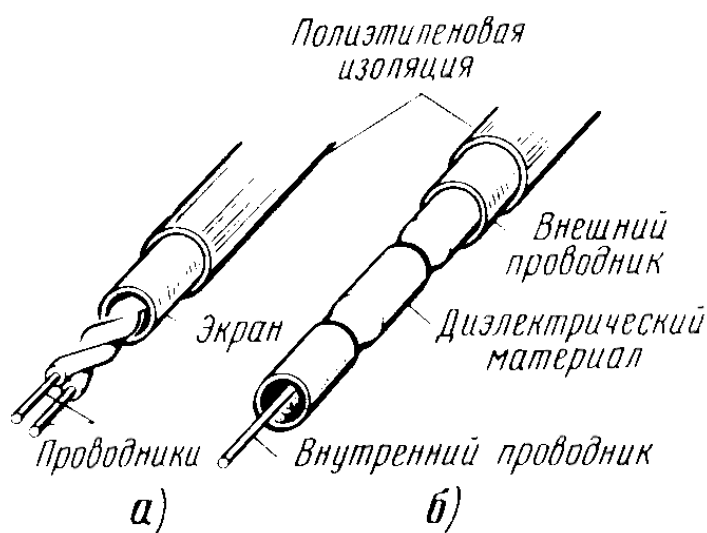


Рис. 1.1. Кабелі зв'язку.

Крім того розрізняють кабелі:

-за родом захисних оболонок - на кабелі з металевими, пластмасовими та металопластмасовими оболонками;

-за способом скручування жив - на парну і зоряну скручування;

-за способом побудови сердечника - з пучковою та повивною скруткою;

-за типом бронепокровів – на голі (безброньові) та броньовані сталевими стрічками або плоскими або круглими дротиками.

Конструктивні елементи кабелів зв'язку.

Струмопровідні жили кабелів зв'язку повинні мати високу електричну провідність, гнучкість і достатню механічну міцність. Дріт для кабельних жил має бути на всьому протязі гладкою, без тріщин, спайки та мати однаковий діаметр. Струмопровідні жили виготовляються в основному з міді та алюмінію.

Для кабелів міських телефонних мереж зазвичай використовують мідний дріт діаметром 0.32; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7 мм для міжміських кабелів діаметром 0.8; 0.9; 1.2; 1.4 мм. Найбільш широко застосовуються на міських мережах кабелі з жилами діаметром 0.5 мм, для міжміського зв'язку кабелі з жилами діаметром 1.2 мм.

Алюмінієві жили – використовуються у виробництві кабелів зв'язку, мають діаметр 1.15; 1.55; 1.8 мм. Ці жили аналогічні електричної провідності мідним з діаметрами 0.9; 1.2; 1.4 мм відповідно. Застосування алюмінієвих жил замість мідних викликає збільшення діаметра кабелю в 1.28 рази, а отже, і збільшення витрати дорогого свинцю на виготовлення захисної оболонки. Тому застосування алюмінієвих жил найбільш рентабельне у кабелях без свинцевої оболонки.

Кабельні провідники мають переважно суцільну циліндричну конструкцію. Крім того використовують провідники та більш складної конструкції. У тих кабелях, де потрібна підвищена гнучкість і механічна міцність, струмопровідна жила скручується в лицю з кількох дротів, частіше 7,12,19. Виготовляють кабелі також із біметалевими провідниками конструкції алюміній – мідь, сталь – мідь.

У підводних кабелях застосовується багатодротяна жила, що складається з дротів різного перерізу. У центрі такої жили розміщується товстий провідник, повівши складається з тонких дротів.

У коаксіальних кабелях внутрішній провідник суцільний, а зовнішній є порожнистим циліндром, що виготовляється з міді або алюмінію.

В електричному відношенні найкращою формою зовнішнього провідника коаксіального кабелю є однорідна по всій довжині трубка. Однак виготовити такий провідник дуже важко. Промислове застосування знайшли різновиди гнучких зовнішніх провідників коаксіального кабелю.

Найбільш широко в коаксіальних кабелях магістрального зв'язку використовується перша конструкція зовнішнього провідника (мідний циліндр зі швом блискавка) як технологічніша і забезпечує необхідну електричну однорідність по довжині.

#### Ізоляція

В електричному відношенні властивості ізоляції характеризуються такими чотирма параметрами:

-діелектричної проникності, що характеризує ступінь зміщення (поляризації) зарядів у діелектриці при впливі на нього електричного поля;

-електричною міцністю  $U$ , при якій відбувається пробій ізоляції;

питомим електричним опором, що характеризує величину струму витоку в діелектриці;

-тангенсом кута діелектричних втрат  $\text{tg}$  (або величиною діелектричних втрат), що характеризує втрати високочастотної енергії в діелектриці.

Найкращим діелектриком є повітря, яке має  $1$ ,  $\text{tg } 0$ .

Однак створити ізоляцію лише з повітря практично неможливо.

Тому кабельна ізоляція є комбінованою та містить як повітря так і твердий діелектрик, причому кількість твердого діелектрика має бути мінімальною та визначається вимогами стійкості ізоляції та жорсткості її конструкції. Ізоляція повинна оберігати струмопровідні жили від зіткнення між собою та суворо фіксувати взаємне розташування жил у групі по всій довжині кабелю.

Для ізоляції жил кабелів поряд з папером застосовуються сучасні полімери типу поліетилен, стирофлекс (полістирол), фторопласт, полівінілхлорид та ін.

Відомі такі типи ізоляції кабелів зв'язку:

Трубчаста виконується з паперової або пластмасової стрічки, накладеної у вигляді трубки (рис 1.2а);

Кордельна складається з нитки корделя, розташованого відкритою спіраллю на провіднику, і стрічки, яка накладається поверх корделя (рис 1.2б);

Суцільна, виконується із суцільного шару пластмаси (рис 1.2в);

Пориста, утворюється із шару пінопласту (рис 1.2г);

Балонна, являє собою тонкостінну пластмасову трубку, всередині якої вільно розташовується провідник. Трубка періодично в точках або спіралі обтискається і надійно утримує жилу в центрі ізоляції (рис 1.2д,е);

Шайбова, виконується у вигляді шайб завтовшки 1.5–2.5 мм із твердого діелектрика, що насаджуються на провідник через певні проміжки 20–30 мм (рис 1.2ж);

Спіральна, є рівномірно розподіленою по довжині провідника пластмасову спіраль, що має прямокутний переріз (рис 1.2з);

Ковпачкова, виконується з циліндричних, пластмасових або керамічних ковпачків, насаджених на провідник впритул (рис 1.2.1);

Втулкова, виконується з поліетиленових втулок довжиною 12мм, що розтягуються на провіднику з інтервалом 6мм (рис 1.2.5і);

Стрічкова, виконується з поздовжньо розташованої поліетиленової стрічки товщиною 0,4мм, на якій є чотири виступи висотою 1,2мм з інтервалом 12мм;

Кордельно-трубчаста, складається з поліетиленового корделя діаметром 06-08 мм і поліетиленової трубки товщиною 02-03 мм.

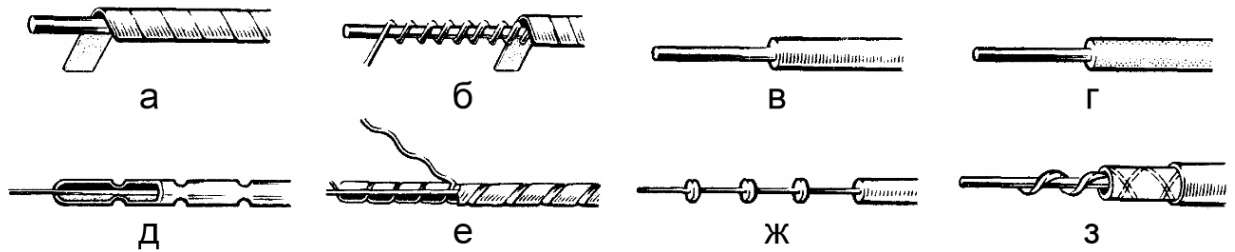


Рис. 1.2.



Рис. 1.2.1.

Найбільшого застосування в даний час отримали:

-для коаксіальних кабелів шайбова, балонна, спіральна та пориста. У всіх випадках діелектриком є поліетилен;

-для симетричних кабелів міжміського зв'язку кордельно-полістирольна, балонна, кордельно-трубчаста або пориста з поліетилену;

-для кабелів міського та сільського зв'язку трубчаста, суцільна поліетиленова, пориста паперова або поліетиленова;

-для підводних коаксіальних кабелів суцільна поліетиленова ізоляція. У симетричних кабелях застосовується кілька способів скручування ізольованих провідників групи (рис 1.3).

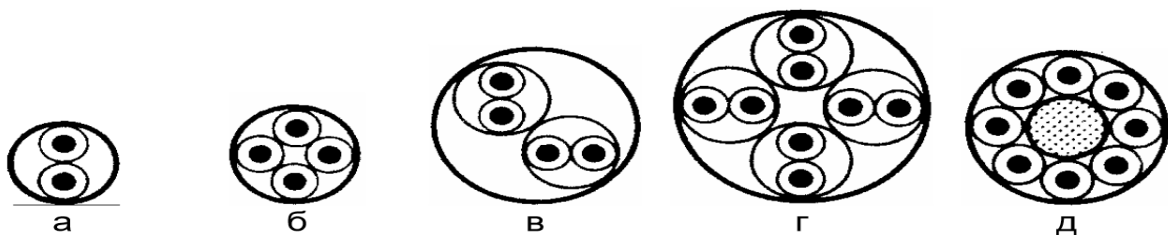


Рис. 1.3 Скрутка кабельних ланцюгів

Парне скручування (П) – дві ізольовані жили скручуються в пару з кроком скручування не більше 300мм (рис 1.3а).

Скручування четвіркове або зіркове (З) - чотири ізольовані жили розташовані по кутах квадрата, скручуються з кроком скручування 150 - 300 мм (рис 1.3б). розмовні пари (ланцюги) у цьому скручуванні утворюються з діагональних жил. Так, жили а і б утворюють одну пару, а жили сид іншу.

Скрутка подвійна пара (ДП) – дві попередньо покручені пари скручуються між собою в четвірку (рис 1.3в). Кроки скручування пар повинні бути відмінними як один від одного так і від кроку скручування самої четвірки. Крок скручування пар приймається в межах 400 - 800 мм, а крок скручування четвірки 150 - 300 мм.

Скрутка подвійною зіркою (ДЗ) – чотири попередньо покручені пари знову скручують разом за способом зірки, утворюючи вісімку (рис 1.3г). Кроки скручування пар, що становлять вісімку, роблять різними і беруть у межах 150 – 250 мм, а крок скручування вісімки 200 – 400 мм. Напрямок скручування пар і скручування вісімки повинні бути протилежними.

Вісімкова скручування (В) – вісім жил групи розташовуються концентрично навколо сердечника з ізольованого матеріалу, наприклад стиролексного поліетиленового корделя (рис 1.3д).

Найбільш економічним, що забезпечує кращу стабільність за електричними параметрами, є зіркове скручування. Ця скручування отримала переважне застосування в міжміських кабелях зв'язку.

Групи (пари, четвірки тощо) скручуються в загальний кабельний сердечник. Розрізняють дві системи скручування в сердечник: пучкову та повивну. При пучковому скручуванні групи спочатку скручуються в пучки (по 50 або 100 груп), після чого пучки скручуються в сердечник.

При повивному скручуванні групи розташовуються послідовними концентричними верствами навколо центрального повиву, що складається з однієї - п'яти груп.

При повивному скручуванні число груп у кожному наступному повиві  $n_x$  збільшується на шість порівняно з попереднім  $n$ :

$$n_x = n + 6$$






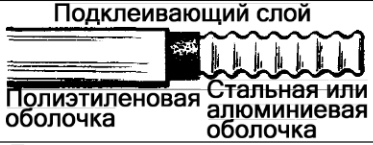






Винятком із цього правила є другий повив у тому випадку, коли в першому (центральному) повив є лише одна група. Тоді у другому повиві збільшення буде не на шість, а на п'ять груп.

Захисні оболонки та покрити

Сердечник кабелю, що складається зі скручених за певною системою груп, покривають поясною ізоляцією і укладають у герметичну оболонку, що оберігає кабель від вологи та можливих механічних впливів, які можуть виникнути в процесі транспортування, прокладання та експлуатації кабелю.

У кабельній промисловості застосовують такі кабельні оболонки: металеві, пластмасові та металопластмасові.

До металевих оболонок відносяться, головним чином, свинцеві, алюмінієві та сталеві. Свинцеві оболонки накладають на кабель шляхом опресування в гарячому вигляді. Щоб свинцева оболонка мала велику твердість та вібростійкість, її виготовляють із легованого свинцю з присадкою 0,4 – 0,8 % сурми. Товщина свинцевих оболонок залежно від діаметра кабелю наведено у табл. 2.12.

Тип	Конструкция	Тип	Конструкция
Г	 Свинцовая оболочка	БпГ	 Стальные ленты, Битум, Аллюминиевая оболочка, Полиэтиленовый шланг
Б	 Джгут, Подушка, Стальные ленты, Свинцовая оболочка	БпШп	 Полиэтиленовая оболочка, Битум, Аллюминиевая оболочка, Стальные ленты, Полиэтиленовый шланг
БГ	 Подушка, Стальные ленты, Свинцовая оболочка	Шп	 Подклеивающий слой, Полиэтиленовая оболочка, Стальная или аллюминиевая оболочка
Бв	 Джгут, Шланг, Битум, Стальные ленты, ПВХ лента, Оболочка	К	 Джгут, Подушка, Оболочка, Круглые проволоки
Бп	 Джгут, Полиэтиленовый шланг, Битум, Стальные ленты, ПВХ лента, Аллюминиевая оболочка	Кл	 Джгут, Подушка, Битум, Стальные ленты, ПВХ лента, Оболочка, Круглые проволоки
Бл	 Джгут, Подушка, Битум, Стальные ленты, ПВХ лента, Оболочка	КпШп	 Круглые проволоки, Полиэтиленовый шланг, Битум, Аллюминиевая оболочка, Полиэтиленовый шланг

Алюмінієві оболонки випресовують у гарячому вигляді або виготовляють холодним способом зі стрічки зі звареним поздовжнім швом. Відомі методи зварювання оболонки з алюмінієвих стрічок високочастотними струмами або способом холодного зварювання тиском. Для більших діаметрів кабелю (понад 20-30 мм застосовують алюмінієві) оболонки гофрованої конструкції.

Застосування алюмінієвих оболонок є дуже прогресивним. Алюмінієва оболонка легка, дешева і володіє високими властивостями, що екранують. Однак алюміній дуже схильний до електрохімічної корозії і тому його надійно захищають поліетиленовим шлангом.

Сталеві оболонки виготовляють шляхом зварювання стрічок завтовшки 0,3-0,5 мм, згорнутих у трубку. Для підвищення гнучкості сталеві оболонки піддають гофрування. З метою захисту від корозії сталеві оболонки покривають поліетиленовим шлангом із попередньо накладеним шаром

бітуму. Вартість сталевих оболонок становить 50% вартості свинцевої оболонки і 64% від алюмінієвої. Такі оболонки не потребують додаткового механічного захисту.

З пластмасових оболонок найбільше використання отримали поліетилен, полівінілхлорид та полізобутиленові композиції. Пластмасові оболонки вигідно поєднують вологостійкість, стійкість проти електричної та хімічної корозій та надають кабелю легкість, гнучкість та вібростійкість. Однак через пластмасу поступово дифундують водяні пари, що призводить до падіння опору ізоляції кабелю. Тому пластмасові оболонки застосовують головним чином у кабелях з негігроскопічною ізоляцією типу поліетилену, фторопласту та ін.

В даний час відома ціла серія комбінованих металопластмасових оболонок. Оболонка "алпет" складається з поздовжньо-накладеної (з перекриттям) на сердечник кабелю гофрованої алюмінієвої стрічки товщиною 0,2 мм та поліетиленового шланга. Оболонка "сталпет" складається з двох гофрованих стрічок - алюмінієвої товщиною 0,13-0,2 мм і сталевий оцинкованої товщиною 0,2 мм - накладених на сердечник поздовжньо, і зовнішнього поліетиленового шланга. При цьому нижню алюмінієву стрічку накладають з невеликим зазором, а верхню сталеву з перекриттям. Поздовжній шов сталевий стрічки зварюють.

Відомі також комбіновані оболонки, в яких поєднуються тонка оболонка зі свинцю та поліетиленовий шланг (оболонка "свіпет"). Такі оболонки використовують для захисту кабелів від пошкоджень при ударах блискавки, а також для захисту свинцю від корозії.

Порівнюючи різні конструкції захисних оболонок, слід відзначити як найбільш перспективні алюмінієві та сталеві, надійно захищені поліетиленовим шлангом.

Зовні кабелю розташовуються бронепокрови, що захищають кабель від механічних пошкоджень та корозії. До складу цих покривів входять три

основні частини: сталевий покрив і два волокнисті покриття, що розташовуються під і над бронєю.

Волокнисті покриття складаються з кабельної пряжі (джуту), просоченої бітумним складом.

Залежно від механічних впливів на кабель у процесі прокладання та експлуатації застосовуються такі різновиди броні:

-повив з плоских сталевих дротів (марка П);

-повив з круглих сталевих дротів (марка К);

-дві сталеві стрічки (марка Б);

З іншого боку, застосовується посилена подвійна броня, що з комбінації різних типів броні (БК, КК).

Маркування кабелів зв'язку

Для зручності класифікації та користування кабелями їм надається певне умовне позначення – марка кабелю. Магістральні та міжміські кабелі маркуються літерою М; літери КМ позначають магістральні коаксіальні. Телефонним міським кабелям присвоюється буква Т. Якщо кабель має стирофлексну (полістирольну) ізоляцію, то додатково вводиться буква С, поліетиленову ізоляцію – то буква П. У кабелях з алюмінієвою оболонкою ще додається буква А, а зі сталеві – буква С.

Залежно від виду захисних покриттів кабелі маркуються літерами: Г – голі (освинцьовані), Б – зі стрічковою бронєю та К – з кругло дротяною бронєю. Наявність зовнішньої пластмасової оболонки позначається буквою П (поліетиленова) або (полівінілхлоридна).

Міжміські коаксіальні кабелі

Магістральний коаксіальний кабель 2,6/9,4 марки КМБ-4 складається з чотирьох коаксіальних пар та п'яти зіркових четвірок (рис 1.4). Кожна коаксіальна пара складається з внутрішнього мідного провідника діаметром 2,6 мм та зовнішнього провідника у вигляді мідної трубки діаметром 9,4 мм з одним поздовжнім швом. Коаксіальна пара має ізоляцію з поліетиленових

шайб завтовшки 2,2 мм з відстанню між ними 25 мм. Поверх зовнішнього провідника розташований додатковий екран у вигляді двох м'яких сталевих стрічок завтовшки 0,15 – 0,2 мм, який покривається одним – двома шарами кабельного паперу. Кабель має свинцеву оболонку та звичайні броньові покриття та маркується КМБ, КМГ та КМК. Кабель типу 2,6/9,4 використовується в основному за однокабельною системою.

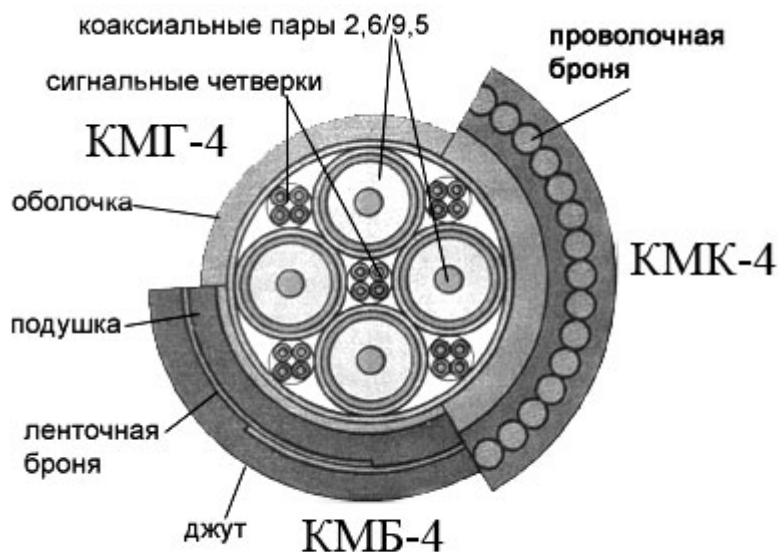


Рис. 1.4 Магістральний коаксіальний кабель 2,6/9,4 марки КМБ-4.

У чотирикоаксіальному кабелі дві діаметрально розташовані коаксіальні пари служать для багатоканального телефонного зв'язку, а дві дві пари - для телебачення. По телефонним парам можна передавати 1920 каналів у діапазоні 312 8500 кГц. Для телебачення як чорно-білого, так і кольорового займається діапазон частот 6 МГц.

Можливе також використання коаксіальної пари для 300 телефонних розмов у спектрі 312 1500 кГц та телевізійних програм у спектрі 1900 8500 кГц.

Є системи ущільнення кабелю в діапазоні до 12 МГц, якими можна отримати 2700 телефонних каналів, і до 17 МГц для 3600 каналів.

Малогабаритні коаксіальні кабелі виготовляються з діаметрами:

1,2/4,6; 1,2/5,3; 1,5/5,4 та ін. Найбільше застосування отримав кабель із співвідношенням діаметрів провідників 1,2/4,6 мм.

Малогабаритні коаксіальні кабелі призначені для будівництва кабельних магістралей обмеженої протяжності, рокадних ліній між магістралями, влаштування глибоких вводів радіорелейних ліній та забезпечення обласних зв'язків.

Перевагою малогабаритних кабелів є простота конструкції, дешевизна та технологічність їх виготовлення. Якщо середні коаксіальні кабелі доцільно застосовувати при великому пучку зв'язків (500 і більше), то малогабаритні кабелі ефективні і за малої кількості каналів, починаючи з десятків (60-120). Ці кабелі, на відміну від симетричних, не вимагають виконання складних робіт із симетрування.

Найбільше застосування одержав чотирикоаксіальний малогабаритний кабель. Він може виготовлятися як у пластмасовій оболонці (МКТП-4), так і в свинцевій оболонці зі стрічковою бронею (МКТСБ-4). Серце кабелю в обох випадках ідентичний.

Комбіновані коаксіальні кабелі містять середні пари 2,6 9,4, малогабаритні коаксіальні пари 1,2 4,6 та симетричні групи. Комбіновані кабелі дозволяють:

організувати потужні пучки телефонних каналів і телевізійну передачу великі відстані по коаксіальним парам 2,6/9,4 з допомогою систем ущільнення К-1920 і К-3600;

забезпечити розподільні канали зв'язку між містами та проміжними пунктами, розташованими по магістралі по коаксіальним парам 1,2/4,6 за допомогою системи К – 300 та в подальшому системи К – 1320;

забезпечити виділення необхідної кількості каналів у будь-якому пункті траси із системи ущільнення апаратури К-300 та системи К-24к ущільнення симетричних пар;

організувати службовий зв'язок та телесигналізацію за симетричними парами та четвірками.

#### Міжміські симетричні кабелі

Міжміські симетричні кабелі поділяються на три види: кабелі з кордельно-паперовою ізоляцією МК, з кордельно-полістирольною (стирофлексною) ізоляцією МКС та з поліетиленовою ізоляцією МКП. Зовнішні оболонки виготовляються із свинцю, алюмінію чи сталі.

Для міжміського зв'язку застосовуються в основному кабелі конструкції 4\*4 і 7\*4, а для зонового (внутріобластного) зв'язку – 1\*4.

Кабелі призначені для високочастотного ущільнення в спектрі до 252 кГц, апаратурою К-60, що працює при напрузі дистанційного живлення 1000 В постійного струму (690 В змінного струму). Відстань між НУП – 20 км., між ОПУ – 160 –250 км. Максимальна дальність – 12500 км.

Найбільше застосування мають кабелі з кордельно-полістирольною (стирофлексною) ізоляцією МКС. Залежно від типу оболонки вони класифікуються: МКС – у свинцевій оболонці, МКСА – в алюмінієвій оболонці, МКС – у сталевій оболонці. У всіх випадках осердя кабелю ідентичний. Кабелі типу МКС виготовляються у вигляді конструкцій 7\*4; 4\*4 та 1\*4 будівельної довжиною 825 м.

Конструкція найпоширенішого чотиричетверкового симетричного кабелю з кордельно-полістирольною ізоляцією МКС – 4\*4 наведена на рис 1.5. Діаметр мідних жил – 1,2 мм. Струмopовідні жили високочастотних четвірок ізолюються різнокольоровим полістирольним корделем діаметром 0,8 мм і полістирольною стрічкою завтовшки 0,05 мм з перекриттям 25-30%. Перша пара кожної четвірки складається з червоного та жовтого кольорів,

друга пара – із жил синього та зеленого кольорів.

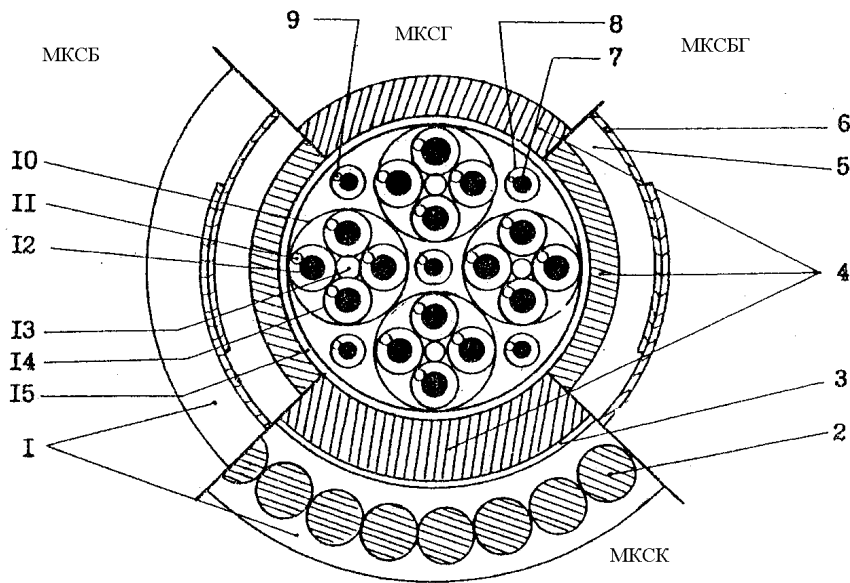


Рис. 1.5 Конструкція чотиричетверкового симетричного кабелю з кордельно-полістирольною ізоляцією МКС – 4\*4.

- 1 - Зовнішній покрив (джут)
- 2 - Бронедріт
- 3 - Дві стрічки кріпленого паперу
- 4 - Свинцева оболонка
- 5 - Подушка
- 6 - Дві бронеленти
- 7 - Мідний дріт діаметром 0.9мм
- 8 - Полістирольна стрічка
- 9 – Кордель діаметром 0.4 мм
- 10 - Кольорова хб пряжа
- 11 – Кордель діаметром 0.8 мм
- 12 - Струмopрoвідна жила діаметром 1.2мм
- 13 - Центруючий кордель діаметром 1.1мм
- 14 - Полістирольна стрічка
- 15 - Поясна ізоляція

Дві жили у четвірці, розташовані по діагоналі, утворюють робочу пару. Ізоляція жил першої пари четвірки має червоний та жовті кольори, другої пари – синій та зелений. Зовні четвірки відрізняються забарвленням хб пряжі або стрічки із синтетичного матеріалу, накладеної поверх четвірки відкритою спіраллю. Колір відповідно до порядкових номерів наступний: перша (лічильна) - червоний; друга (напрямок рахунку) – зелений, третя – синій; четверта – жовтий.

Центр четвірки заповнюється стирофлексним корделем діаметром 1,1 мм. Кроки скручування всіх четвірок різні, взаємно узгоджені і лежать в межах 125-275 мм.

Кабелі зі свинцевою оболонкою та відповідною бронею мають марки: МКСГ, МКСБ та МКСК. Товщина свинцевої оболонки у кабелю МКСБ - 1,25 мм а в інших 1,4 мм.

Кабелі з алюмінієвою оболонкою мають поверх алюмінію антикорозійний захисний покрив у вигляді бітуму та поліетиленового шланга. У назві таких кабелів додатково приписуються літери "АП": МКСАП, МКСАПБ, МКСАПК та ін. Товщина алюмінієвої оболонки при високочастотному зварюванні – 1,0 мм, при пресуванні – 1,3 мм.

Кабелі в залізній оболонці маркуються МКССП. Сталева оболонка має товщину 0,4 мм для більшої гнучкості гофрується по всій довжині. Поверх стали наноситься антикорозійний покрив у вигляді бітуму та поліетиленового шланга.

#### Зонови (внутріобластні) кабелі

Для зонового зв'язку, тобто. зв'язки обласного центру з районами, знайшли застосування однокоаксіальні кабелі ВКПАП-1 (з парою 2,1/9,7), що ущільнюються апаратурою К-120 за однокабельною системою, та одночетвіркові кабелі різних модифікацій з поліетиленової МКП – 1\*4 та кордельно-полістирольною (стирофлексною) МКС – 1\*4 ізоляцією, що ущільнюються апаратурою К-60 за двокабельною системою.

## 2.2. Методи захисту ліній зв'язку від завад

### Високовольтні вентиляльні розрядники

Для захисту пристроїв СЦБ та зв'язку від перенапруг застосовують розрядники, що відрізняються конструкцією та електричними характеристиками: вентиляльні, газонаповнені, вугільні та іскрові [3].

Найбільшого поширення набули вентиляльні розрядники, за допомогою яких захищають головним чином електричні ланцюги з високою (високовольтні вентиляльні розрядники) та низькою (низьковольтні вентиляльні розрядники) напругою змінного струму. Останні використовують також для захисту повітряних лінійних ланцюгів сигналізації та зв'язку, схильних до впливу контактних мереж електричних залізниць постійного та змінного струму, а також ланцюгів, за якими здійснюється дистанційне живлення підсилювальних пунктів. Основними елементами вентиляльного розрядника є іскровий проміжок ІП та робочий опір РС, з'єднані послідовно. Ці елементи включаються між проводом та землею. Іскровий проміжок характеризується так званою імпульсною вольт-секундною характеристикою, тобто залежністю прикладеної напруги від часу настання розряду (передрозрядного часу). Така залежність обумовлена тим, що пробой ізоляції, зокрема повітряного зазору між електродами іскрового проміжку, розвивається поступово, протягом певного часу, що змінюється щодо широких меж. Цей час залежить головним чином полярності, амплітуди напруги, і навіть від матеріалів, і форми ізоляції електродів іскрового проміжку. Чим вище амплітуда напруження, тим менше час початку розряду (за інших рівних умов).

Принцип дії вентиляльного розрядника укладає у наступному. Приходячи з лінії волі атмосферної напруги з амплітудою, що перевершує імпульсне пробивне напруження ІП, викликає його пробой. При цьому амплітуда хвилі зрізається до напруги, безпечної для ізоляції захисту пристрою. Після

пробою імпульсний струм блискавки  $I_m$  відводиться з дроту в землю. Потім слідом за струмом блискавки під дією робочої напруги електричної пелі протікає змінний струм, який як би супроводжує струм блискавки, і тому його називають супроводжуючим струмом. У момент проходження  $I_m$  через розрядник між електродами ІІ виникає дуга, горіння якої підтримується супроводжуючим струмом. Якщо її не погасити, то розряд може пошкодитися. Гасіння дуги відбувається в ІІ при першому переході супровідного струму через нуль, тобто не більше як через 0,01 с. За цей час відбувається нитенсивна деноцизація отвору зазору між електродами ІІ і вростання його електричної міцності за рахунок ефекту катодного подеція напруги поблизу холодних електродів. Коли дуга погасить, розрядник знову готовий до дії. Цим і пояснюється багаторазовість його дії. Таким чином, в функцію вентильного розрядника входить не тільки обмеження перелапруджень, але і гасіння дуги супроводжуючого струму. Для защиты питающих пунктов (подстанций) и линейных трансформаторов высоковольтно-сигнальной линии автоблокировки применяют высоковольтные вентильные разрядники типов РВП-10 и РВП-6, что означает: разрядник вентильный, подстанционный, для защиты подстанций и распределительных сетей соответственно с напряжением 10 и 6 кВ.

Разрядник РВП-10 состоит из комплекта искровых промежутков и блока вилитовых дисков. В комплект входит одиннадцать искровых промежутков, которые размещены в бакелитовом цилиндре. Блок собран из шести вилитовых дисков диаметра 55 мм и высотой 40 мм. Контакт между дисками осуществляется через их металлизированные торцевые поверхности. Боковые поверхности вилитовых дисков покрыты изолирующей (керамической) обмазкой.

Вентильные разрядники РВП устанавливаются на линейных вводах или непосредственно у защищаемого силового трансформатора.

Низковольтные вентильные разрядники

Розрядник типу РВН-0,5. Для захисту силових ланцюгів з напругою 380/220 застосовують низьковольтні вентиляні розрядники типу РВН-0,5 (РВН-500). Він має такі умовні позначення: Р-розрядник, В - вентиляний, Н-низьковольтний, 0,5 - найбільша допустима напруга, виражена В кіловольтах. В умовному позначенні РВН-500 цифра 500 визначає найбільшу допустиму напругу у вольтах. РВН-0,5 складається з фарфорового герметичного корпусу 1, в якому вміщені вентиляний диск 2 і стандартний іскровий проміжок 3 (рис. 15). Ці елементи укладені у паперово-бакелітовий циліндр (склянка). У верхній частині корпусу знаходиться спіральна пружина, що стискає всі деталі іскрового проміжку та вентиляного диска. Контакт між вентиляним диском та електродами ІІ здійснюється через металізовані торцеві поверхні вентиляного диска. Бічні поверхні покриті ізолюючою (керамічною) обмазкою. Необхідна герметичність досягається застосуванням для ущільнення озоностійкої гуми, що унеможливує проникнення всередину розрядника вологи. У куполоподібну кришку корпусу розрядника вставлений сталевий болт, на якому укріплена контактна металева пластинка болтом 4 для приєднання лінійного дроту. Вентиляні розрядники типу РВН-0,5, що випускаються вітчизняною промисловістю, призначені для зовнішньої та внутрішньої установки. Місце встановлення так само, як і розрядників РВП, визначається вимогою надійного захисту (ближче до приладів, що захищаються), зручності приєднання розрядника до струмоведучих проводів і заземлюючого контуру, а також зручності його обслуговування.

Розрядник РВН-0,5 закріплюється сталевим хомутом, що охоплює його нижню частину. Лінійний провід приєднується до болта, а контур заземлення - до болта, що знаходиться в нижній частині розрядника. Площа поперечного перерізу заземлюючого дроту (16-35 мм <sup>2</sup>) розрядника вибирається по механічній міцності. До лінійних дротів розрядник приєднують гнучким дротом, а в закритих приміщеннях - жорсткими шинами.

Малогабаритний розрядник РВН-0,5. Розрядник РВН-0,5 Цей розрядник складається з одного стандартного іскрового проміжку і вентильного диска, що розміщуються в монолітному пластмасовому корпусі розміром 70 X 85 мм, маса розрядника 250 г. того ж типу більшого розміру.

Розрядник Дза-0,66/2,5. На мережі залізниць застосовуються вентильні розрядники типу ГЗа-0,66/2,5 виробництва ПНР. В умовному позначенні розрядника чисельник дробу - найбільша допустима напруга розрядника, виражена в кіловольтах (напруга гасіння), а знаменник дробу - значення номінального розрядного струму в кілоамперах.

Вентильний розрядник ГЗа-0,66/2,5 має переважно таку ж конструкцію, як і розрядник РВН-0,5.

Розрядник РВНШ-250. Умовне найменування РВНШ-250: низькорядний розрядник, штепсельного типу для електричних ланцюгів напругою до 250 В. Розрядник РВНШ-250 має пластмасову основу. У нього запресовані два електроди, між якими розміщені робочий (нелінійний) опір та іскровий проміжок, утворений електродами 4 і 6 та ізолюючою шайбою. Робочий опір виготовлено з напівпровідникового керамічного матеріалу ЦТ (двоокису цинку та титану). Ізолювальна шайба виконана з рутила (двоокису титану) з високою діелектричною проникністю. Вона забезпечує активізацію (підсвічування).

Розрядник РВНШ-250 повітряного зазору, що збільшує стабільність пробивної напруги іскрового проміжку розрядника. Фігурний електрод іскрового проміжку має невеликий пружний виступ, що забезпечує можливість зміни повітряного зазору між електродами за допомогою гайки. Елементи розрядника закріплені осьовим гвинтом ізольованим пластмасовою втулкою. Спосіб кріплення гарантує стабільність пробивної напруги розрядника незалежно від вібрацій. Кришка виготовлена з прозорої пластмаси (вогнестійкого етролу) та укріплена на підставі гвинтами. Для герметизації основних елементів розрядника між його кришкою та основою прокладена гумова прокладка.

Розрядник РВНШ-250 встановлюють на стандартних двоштирних клемах за допомогою штепселів 11 баванового типу. В експлуатаційних умовах низьковольтні вентильні розрядники періодично оглядають та піддають профілактичним випробуванням. Зовнішній огляд проводять щоразу під час огляду пристроїв СЦБ та зв'язку та після грози.

Порядок огляду низьковольтних вентильних розрядників РВН-500 такий самий, як високовольтних розрядників. Струм витоку і пробивну напругу вимірюють у розрядників РВН-0,5, а в інших перевіряють лише їх пробивну напругу. Вимірювання струмів витоку розрядника РВН-0,5 проводиться при постійній (випрямленій) напрузі 0,5 кВ (500 В), що отримується від випрямної установки відповідної напруги. Як випробувальний трансформатор Тр може бути використаний трансформатор напруги типу НОМ-0,5. Пульсація випрямленої напруги, що прикладається, не повинна перевищувати 3%.

Струм вимірюють мікроамперметром мА магнітоелектричної системи або гальванометром при будь-якій полярності прикладеної напруги. Значення струму витоку розрядника РВН-0,5 має бути трохи більше 6 мкА. Такий самий струм витоку встановлено для розрядників типу ГЗа-0,66/2,5. Підвищення струму витоку свідчить про наявність вологи, а різке його зниження — про руйнування деталей іскрового проміжку. В обох випадках розрядник слід замінити на новий.

Для вимірювання пробивної напруги розрядника до його затискачів напруга промислової частоти подають через трансформатор, що підвищує. Щоб уникнути електрокорозії електродів ІІ в ланцюзі розряду включають обмежувальний резистор потужністю 15-25 Вт. Опір його вибирається таким чином, щоб після пробою струм, що проходить через розрядник РВН-0,5, не перевищував 0,1 А. Напруга підвищують плавно, з тією ж швидкістю, до пробою повітряного зазору в ІІ. Момент пробою фіксують різким відхиленням стрілки вольтметра у зворотний бік (ліворуч). Так само, як і при випробуваннях розрядників РВП, за пробивну напругу приймають середнє

арифметичне значення трьох результатів виміру. При цьому перший вимір не враховується.

Пробивна напруга повинна знаходитись у межах нормованих значень, вказаних для кожного типу розрядника. Для вимірювань використовують прилади класу точності 0,5 або 1. При цьому слід дотримуватись правил техніки безпеки для робіт на електроустановках понад 1000 В. У розрядників РВНШ-250 перевіряють головним чином стан пластмасових корпусів. У разі виявлення деформації пластмасових кришок або наявності на поверхнях темних нальотів слід розрядники зняти і замінити справними. Зняті розрядники РВНШ-250 піддають ретельному огляду та у разі потреби ремонту. Огляд внутрішніх деталей розрядників та ремонт зазвичай роблять у контрольно-вимірювальних пунктах (КВП).

У разі виявлення вигорання зубців фігурного електрода підлягає заміні весь іскровий проміжок. Розрядники з ерозованими зубцями фігурного електрода, залежно від ступеня ерозії, можуть бути відремонтовані. Зазвичай ерозія чи вигорання зубців фігурного електрода відбувається при пропалюванні вентиляного диска. Для визначення пропалу слід вийняти вентиляльний диск з основи розрядника та оглянути його торцеві поверхні. Темні точки на обох торцевих поверхнях свідчать про пропалювання диска. Диски з опіками, а також зі сколами бічної поверхні підлягають заміні. Потім у розрядниках вимірюють пробивну напругу, яку у разі потреби регулюють шляхом вимірювання повітряного зазору між електродами іскрового проміжку.

Для зниження пробивної напруги повітряний зазор прикрашають, а підвищення збільшують (не більше 0,07-0,15 мм). Зміну повітряного зазору проводять до тих пір, поки пробивна напруга розрядника не досягне нормованих значень. Пробивну напругу розрядників вимірюють під час ремонту та щорічно, до початку грозового сезону. У цьому на розрядник подається напруга промислової частоти [7]. У ланцюг розрядника має бути

включений обмежувальний резистор, щоб у момент пробою через розрядник проходив струм не більше 20 мА.

У контрольно-вимірювальних пунктах пробивну напругу вентиляльних розрядників доцільно вимірювати за допомогою універсальної пробивної установки типу УПУ-1М. Щоб уникнути пошкоджень пристроїв СЦБ та зв'язку від перенапруг, викликаних електромагнітним впливом ЛЕП та електричних залізниць (при аварійному режимі), або у разі зіткнення проводів ЛСС з освітлювальними проводами та ін. зняті для профілактичних випробувань розрядники повинні бути замінені іншими. Пристрої СЦБ та зв'язку залишати без захисту (у будь-яку пору року) не рекомендується.

Газонаповнені розрядники - це безнакальні дво-або триелектродні захисні прилади, здатні під впливом прикладеної напруги різко збільшувати свою провідність і пропускати великі струми.

Залежно від призначення, умов роботи та конструкції в газонаповнених розрядниках можуть використовуватися властивості імпульсного іскрового розряду, дугового розряду та рідше тліючого розряду.

Трьохелектродний газонаповнений розрядник Р-35 складається зі скляного балона, заповненого інертним газом. Усередині балона знаходяться три електроди: два крайні 2 і один середній 3. Електроди мають чашоподібну форму з отвором у центрі. Всередину електрода закладається гетерва таблетка марки БАТІ, діаметр якої більший за діаметр отвору в електроді. Матеріалом для електрода служить сплав вольфраму, що мало розпорошується, з барієм, який забезпечує високу довговічність розрядника. Крайні електроди закінчуються латунними ковпачками з ножовими контактами, а середній електрод - латунним ковпачком із контактом циліндричної форми

Вугільний розрядник УР-500 складається з двох вугільних пластин 1, між якими прокладена ізолююча прокладка 2, виконана з матеріалу з високою діелектричною проникністю (ацетилцелюлози або слюди). У

прокладці є вирізи або отвори різної форми, за допомогою яких утворюється зазор повітря між електродами розрядника. Величина повітряного зазору (міжелектродна відстань) залежить від товщини ізолюючої прокладки і змінюється від 0,06 до 0,08 мм. Розряд відбувається на внутрішніх гранях ізолюючої прокладки. Вугільний застосовуються головним чином для зарядника УР-500 щити пристроїв місцевого, стрілочного та станційного розпорядчого зв'язку.

Іскрові розрядники є найпростішим захистом пристроїв сигналізації та зв'язку від атмосферних перенапруг. Вони складаються з двох металевих електродів: один з них приєднують до дроту повітряної лінії, а інший до заземлювача. Між металевими електродами залишають повітряний зазор від 02 до 20 мм. Іскрові розрядники набули широкого поширення у пристроях зв'язку головним чином для захисту на підходах ЛСС (каскадного захисту). У цих випадках застосовують іскрові розрядники ІР-0,2, ІР-0,3, ІР-7, ІР-10, ІР-15 та ІР-20.

Вирівнювачі - це напівпровідникові захисні прилади, які по суті є нелінійними резисторами, що мають здатність поглинати енергію, що супроводжує перенапруження. Опір таких захисних приладів, як і вентильних дисків розрядників, залежить від прикладеної напруги: чим вона вища, тим різкіше падає опір, і навпаки – зі зменшенням напруги опір вирівнювача зростає. Ця залежність визначається вольт-амперною характеристикою (ВАХ), а також аналітичним виразом. Вирівнювачі мають симетричні ВАХ з однаковими гілками при зміні полярності напруги. Отже, вони можуть пропускати імпульси струму у різних напрямках. Практично вирівнювачі - безінерційні захисні прилади. Час їх спрацьовування вимірюється в мілімікросекундах, тобто в 1000 разів швидше за низьковольтні вентильні розрядники типу РВНШ-250.

Керамічний вирівнювач ВК-10 (В - вирівнювач, 'К - керамічний, 10 - значення максимальної допустимої напруги змінного струму у вольтах) застосовується головним чином для грозозахисту рейкових ланцюгів

автоблокування на ділянках залізниць з автономною тягою. Основним його елементом є вентиляльний диск діаметром 50 мм і товщиною 5 мм, виготовлений з матеріалу ЦТ (двоокис цинку та титану).

Селеновий вирівнювач ВС-90 (В - вирівнювач, С - селеновий, 90 - значення максимальної допустимої напруги змінного струму у вольтах, при якому забезпечується надійність роботи вирівнювача) застосовується для захисту від перенапруг приймальних кінців рейкових ланцюгів автоблокування на ділянках залізниць з електротягою змінних .

Оксидноцинковий вирівнювач ВОЦ-220 (В - вирівнювач, СОЦ - оксидноцинковий, 220 - для електричних ланцюгів з робочою напругою 220 В) застосовується головним чином для захисту від перенапруг напівпровідникових приладів пристроїв СЦБ та зв'язку. Основним елементом його є вентиляльний диск, виконаний з окису цинку, з'єднаного з різними іншими добавками оксидів (вісмуту, марганцю, олова, свинцю та ін.). Як вентиляльний диск зазвичай використовується оксидноцинковий варистор типу СН2-2А-510 або СН72-2А-560, які мають різко виражені нелінійні властивості.

Автоматичний вимикач АВМ-1 багаторазової дії призначений для захисту від струмів перевантаження та короткого замикання силових ланцюгів напругою до 250 В та рейкових ланцюгів автоблокування. АВМ-1 складається з термічного розчіплювача, виконаного з біметалічної і латунної пластин, що включаються послідовно в електричний ланцюг, що захищається. При номінальному струмі біметалічна пластина незначно нагрівається. У разі перевищення номінального струму ця пластина нагрівається до такої температури, за якої вона, згинаючись, розриває електричний ланцюг. Після охолодження під дією пружини пластина випрямляється і знову замикає електричний ланцюг.

Стрижневий блискавковідвід представляє собою металевий стрижень, що з'єднується із заземлюючим пристроєм. Захисне дія такого блискавковідводу є ще в лідерній стадії розвитку грозового розряду, коли на

деякій висоті, званої висотою орієнтування (рівною 10-20-кратної висоті блискавковідводу), розряд розвивається в напрямку найбільш підвищується і добре заземленого об'єкта. В цьому випадку з блискавковідводу спрямовується зустрічний лідер (стрімер), який і зумовлює влучення в нього грозового розряду.

Тросові блискавковідводи - це сталеві троси, що підвішуються над проводами лінії і заземлюються на всьому своєму протязі. Зона захисту тросових блискавковідводів поширюється на повну довжину троса, тому їх застосовують для захисту підстанцій та ліній значної протяжності.

### **2.3. Висновки за розділом**

Щоб уникнути пошкоджень пристроїв СЦБ та зв'язку від перенапруг, спричинених електромагнітним впливом ЛЕП та електричних залізниць (при аварійному режимі), або у разі зіткнення проводів ЛСС з освітлювальними проводами та ін. зняті для профілактичних випробувань розрядники повинні бути замінені іншими. Пристрої СЦБ та зв'язку залишати без захисту (у будь-яку пору року) не рекомендується.

### **3. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ**

#### **3.1. Методи вимірювання**

Електромагнітною сумісністю (ЕМС) технічних засобів називається здатність їх функціонувати з заданою якістю в заданій електромагнітній обстановці і не створювати недопустимих електромагнітних завад (ЕМП) іншим технічним засобам. Електрифіковані залізниці (ЕЖД) є потужним просторово розподіленим джерелом електромагнітних завад. Питання забезпечення електромагнітної сумісності ЕЖД зі слаботочними лініями автоматики та зв'язку вирішувалися на початковому етапі проектування та електрифікації залізниць. Однак проблема електромагнітної сумісності на ЕЖД зберігає свою актуальність і в даний час. Це обумовлено застосуванням останнім часом на магістральному залізничному транспорті електрорухомого складу (ЕПС) з асинхронним тяговим приводом (АТП), збільшенням швидкостей руху поїздів, впровадженням нових мікропроцесорних систем контролю та управління перевезеннями.

Проблеми електричної сумісності на залізничному транспорті повинні бути вирішені в рамках відкритого європейського ринку залізничних перевезень. Це обумовлено необхідністю в перспективі вільного проходження поїздів через державні кордони з технічними системами, що розрізняються, тягового електропостачання, сигналізації та зв'язку.

Нові типи рухомого складу (ПС) перед введенням в експлуатацію піддають приймальні випробування за певною програмою, яка включає випробування на ЕМС [8-12]. В Україні випробування на ЕМС до недавнього

часу проводили на відповідність нормам з технічних умов на рухомий склад, які базувалися, головним чином, на таких нормативних документах: НБ ЖТ ЦТ 03-98 «Електропоїзди. Норми безпеки», НБ ЖТ ЦТ 04-98 «Електровози. Норми безпеки», а також стандарт ГОСТ 29205-91 на радіо завади індустриальні від електротранспорту. Застосування останнього стандарту було дозволено включенням його до переліку національних стандартів, які були доказом відповідності продукції вимогам Технічного регламенту з ЕМС, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 29.08.2009 № 785.

У Європейському Союзі в 2004 році було прийнято Директиву 2004/108/ЕС «Електромагнітна сумісність – Electromagnetic compatibility directive (EMC)», яка визначала основні вимоги щодо електромагнітної сумісності, обов'язкові для виконання виробником, імпортером або дистриб'ютором, а також європейські норми (EN), що регламентують вимоги на електромагнітну сумісність продукції. Натомість цій директиві 18 квітня 2014 року була введена нова директива на електромагнітну сумісність 2014/30/EU.

В умовах розширення кооперації українських залізниць, використання нових типів рухомого складу з асинхронним тяговим приводом (АТП), впровадження нових мікроелектронних систем управління руху поїздів необхідне вдосконалення національної нормативної бази шляхом гармонізації з міжнародними стандартами з урахуванням технічних особливостей національних систем.

Метою роботи є проведення огляду норм і методів випробування нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність з системами сигналізації та зв'язку відповідно до міжнародних норм і з урахуванням специфіки українських систем управління рухом поїздів.

У 2006 році в Євросоюзі була прийнята серія стандартів EN 50121 з п'яти частин, спрямована на забезпечення електромагнітної сумісності продукції залізничного призначення у відповідність до вимог Директиви з

EMC. Перша частина стандарту (EN 50121-1:2006 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 1: General) містить загальне введення в проблему, огляд структури та змісту всіх частин стандарту EN 50121, а також визначає критерії якості функціонування залізниці як цілісної системи і розглядає управління процесом досягнення EMC на інтерфейсі між залізничною інфраструктурою і поїздом.

Частина 2 стандарту (EN 50121-2 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world) розглядає інтерфейс між залізницею і навколишнім середовищем, встановлює граничні значення емісії завад для всієї залізничної системи, включаючи тягові підстанції, описує методи вимірювання завад.

Частина 3 стандарту складається з двох підрозділів.

Підрозділ 3-1 (EN 50121-3-1 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle) розглядає вимоги до завад і рівні завади для всіх типів рухомого складу, а також методи їх вимірювань.

Підрозділ 3-2 стандарту (EN 50121-3-2 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus) визначає граничну емісію завад, рівні та критерії завади для бортової апаратури рухомого складу у частотному діапазоні від 0 до 400 ГГц, розміщення бортової апаратури. Вказано, що тести повинні визначитися конкретною апаратурою, її конфігурацією, наявними портами, умовами функціонування.

Частина 4 стандарту (EN 50121-4 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 4: Emission and immunity of signalling and telecommunications apparatus) розглядає сигнальну і телекомунікаційну апаратуру, визначає норми емісії та рівні завад апаратури, методи вимірів завад.

Частина 5 стандарту (EN 50121-5 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus) розглядає питання EMC і завадостійкості для електричних та електронних приладів і систем, призначених для користування в залізничних установках, пов'язаних з електропостачанням. Вказані межі емісії та рівні завадостійкості для пристроїв, розташованих на тяговій підстанції та для лінійних пристроїв електропостачання [13].

В Україні в рамках виконання Директиви 2014/30/ЄС були прийняті національні стандарти, ідентичні гармонізованому європейському стандарту EN 50121.

Аналогічні за змістом нормативні документи, що регламентують вимоги по EMC стосовно залізничного транспорту, прийняті міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) [14].

Однак ці стандарти не визначають вимоги щодо забезпечення EMC рухомого складу щодо національних систем сигналізації та зв'язку (рейкових ланцюгів, локомотивної сигналізації, радіозв'язку), які різняться за конструкцією, принципом дії, робочим частотам та іншим експлуатаційним параметрам. Так у європейських країнах налічується понад 27 різних систем сигналізації та зв'язку. Відповідно, вимоги до електромагнітних завад, що генеруються рухомим складом, повинні бути конкретизовані в кожній країні в залежності від застосовуваних в ній систем управління рухом поїзда. Відмінність систем сигналізації, зв'язку та електропостачання в європейських країнах викликає необхідність проведення випробувань ЕПС у кожній країні окремо, з урахуванням особливостей, що використовуються в ній технічних систем, що значно збільшує вартість впровадження нових типів рухомого складу.

У стандарті CENELEC – EN 50238-1 розглянуто загальні підходи до забезпечення сумісності рухомого складу та систем контролю положення поїзда. Вказано, що процедура приймання рухомого складу повинна проходити з урахуванням специфіки національних систем сигналізації.

Граничні значення струму завад від рухомого складу в рейкових ланцюгах для основних типів електропостачання, рейкових ланцюгів, колійних датчиків, що застосовуються в країнах ЄС, розглянуті в CENELEC - CLC/TS 50238-2. Відзначено, що для рейкових ланцюгів, які не наведені в стандарті, необхідно використовувати національні правила та інструкції, спрямовані на досягнення ЕМС.

Вимоги щодо забезпечення електромагнітної сумісності та методів випробувань залізничного рухомого складу з пристроями сигналізації, централізації та блокування (СЦП), аналогічними за конструкцією та принципом дії застосовуваним українським системам, викладені в додаткових розділах ГОСТ Р 55176.3.1-2012 та в ГОСТ Р 55364-2012. Однак цей документ не імплементований в Україні.

Нові типи рухомого складу з асинхронним тяговим приводом містять у зворотному тяговому струмі гармонійні складові в широкому частотному діапазоні, який перебиває всі частоти сигнального струму і автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), що застосовуються в Україні. Можливі випадки, коли при позитивних результатах випробувань, проведених у повному обсязі на спеціально виділеному вільному від іншого рухомого складу ділянці залізниці, в процесі подальшої експлуатації на мережі залізниць, на окремих її ділянках проявляються збої в роботі систем локомотивної сигналізації.

Це може бути пов'язано з тим, що ці ділянки проектувалися раніше для рухомого складу іншого типу, розрахованого на менші швидкості руху і менші значення тягового струму. Можливими причинами збоїв у роботі систем АЛСН можуть бути інші фактори, таких як знижений опір ізоляції баласту, особливості схеми каналізації тягового струму, довжина і асиметрії рейкової лінії, насичення дросель-трансформатора і т.д. Можливо також прояв переміжних збоїв АЛСН при поєднанні ряду несприятливих факторів.

Слід також мати на увазі, що випробовування проводять при обігу однієї одиниці рухомого складу на виділеному полігоні, в той час як у

процесі експлуатації можливий рух одночасно декількох поїздів на ділянці в межах фідерної зони. Виміряти завади від декількох локомотивів при поєднанні всіх можливих, у тому числі і найбільш несприятливих зовнішніх факторів, практично неможливо. Для таких досліджень використовують комп'ютерне моделювання.

Як вихідна інформація застосовують реальні значення завад, виміряні в процесі польових випробувань по рухового складу. Деякі аспекти проблеми розглянуті в роботах. Виходячи з проведеного огляду, можна сказати, що випробування нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність з національними системами сигналізації та зв'язку необхідно проводити на основі національних і імплементованих міжнародних стандартів і з урахуванням досвіду, накопиченого в науково-дослідних лабораторіях України.

У відповідність з поставленою метою, нижче наведено аналітичний огляд вимог щодо електромагнітної сумісності рухомого складу з системами сигналізації та зв'язку відповідно до міжнародних нормативів.

### **3.2. Визначення психофотометричного струму**

Переважний вплив на пристрої залізничного електрозв'язку оцінюють за величиною напруги, наведеної в контрольному ланцюгу кабельної лінії зв'язку. Напруга, що заважає (психофотометричне значення), створювана в кабельних провідних лініях зв'язку при русі електровозів і електропоїздів, не повинна перевищувати 1,0 мВ для електропоїздів і 1,2 мВ для електровозів.

Визначення впливу ЕПС на кабельні лінії зв'язку виконують розрахунковим методом. Розраховують величину напруги, індуковану контуром тягового електропостачання ЕПС у ланцюзі контрольної ділянки кабелю зв'язку. Як розрахунковий приймають контрольну ділянку кабелю типу МКПАБ  $7 \times 4 \times 1,05 + 5 \times 2 \times 0,7 + 1 \times 0,7$  при довжині зближення лінії зв'язку з

тяговою мережею  $l_e = 25$  км і шириною зближення між проводом зв'язку та лінією, що впливає  $\alpha = 25$  м.

На розрахунковій ділянці приймається консольне електропостачання двоколіїної ділянки на плечі км. Питома провідність землі приймається рівною 0,025 см/м.

Псофометричне значення, визначають за формулою

$$U_m = \sqrt{\sum_{50}^{3450} U_{mf}^2} \text{ (мВ)},$$

де  $U_{mf}$  – рівень гармонічної складової напруги, що заважає, з частотою  $f$  в діапазоні 50...3450 Гц.

Складову напруги, що заважає, визначають за формулою

$$U_{mf} = 0.5\omega_f M_f I_f p_f n_f S_f 10^3 \text{ (мВ)},$$

де  $\omega_f = 2\pi f$  – кутова частота;  $M_f$  – взаємна індуктивність між двома однопровідними ланцюгами для складової струму електропоїзда на частоті, значення якої визначають за формулою

$$M_f = 10^{-4} \ln \left( 1 + 6 \frac{10^5}{\alpha^2 \sigma_f} \right) \text{ (Гн/км)},$$

де  $I_f$  – рівень складової струму електропоїзда на частоті  $f$ ,  $p_f$  – коефіцієнт акустичної дії для складової струму електропоїзда на частоті  $f$ ;  $n_f$  – коефіцієнт чутливості двопровідного ланцюга до завад для складової струму електропоїзда на частоті  $f$ , прийнятий для ланцюга магістрального неперепінізованого НЧ кабелю;  $S_f$  – результуючий коефіцієнт екрануючої дії для складової струму електропоїзда на частоті  $f$ , який визначають за формулою

$$S_f = S_{об.f} S_p S_T,$$

де  $S_{об.f}$  – коефіцієнт захисної дії оболонки кабелю на частоті  $f$ ;  $S_p = 0,34$  – коефіцієнт екрануючої дії рейок для двоколіїної ділянки при ширині зближення 25 м;  $S_T$  – коефіцієнт екрануючої дії заземлених тросів (мідний трос перерізом 120 мм) при питомому опорі землі 40 Ом·м.

### **3.3. Нормативні значення завад в повітряних та кабельних лініях зв'язку**

ЕПС та пасажирських вагонів з високовольтним перетворювачем, що заважають, на рейкові ланцюги СЦБ та пристрої автоматичної локомотивної сигналізації оцінюють за величиною гармонійних складових струму ЕПС та вагона з високовольтним перетворювачем. Допустимі значення гармонійних складових струму ЕПС наведено в табл. 3, а вагона з високовольтним перетворювачем – в табл. 4. Максимально допустиме діюче значення гармонік струму ЕПС (табл. 3) розраховано відразу для всіх гармонік одночасно, присутніх в заданій смузі з тривалістю більше 0,3 с.

Вимірювання величини гармонік тягового струму ЕПС проводять у всіх експлуатаційних режимах роботи електроустаткування рухомого складу, передбачених технічною документацією, а високовольтного перетворювача пасажирського вагона - на стоянці, також у всіх експлуатаційних режимах, передбачених технічною документацією [5].

Таблица 3

**Допустимые действующие значения  
тока гармоник, создаваемых ЭПС**

Система ЭПС	Полоса частот, Гц	Номинальная частота, Гц	Допустимый ток, А
3 кВ, пост. ток	19-21	25	11,6
	21-29		1,0
	29-31		11,6
	40-46	50	5,0
	46-54		1,3
	54-60		5,0
25 кВ, 50 Гц	15-21	25	4,1
	21-29	75	1,0
	29-35		4,1
	65-85		4,1
3 кВ пост. ток и 25 кВ 50 Гц	167-184	175	0,4
	408-432	420	0,35
	468-492	480	0,35
	568-592	580	0,35
	708-732	720	0,35
	768-792	780	0,35

Таблица 4

**Допустимые значения тока  
гармоник, создаваемых  
электрооборудованием вагона**

Частота сигнального тока, Гц	Полоса частот, Гц	Допустимый уровень помех, мА
25	19-21	240
	21-29	60
	29-31	240
50	42-46	100
	46-54	24
	54-58	100
175	167-184	40
420	408-432	50
480	468-492	50
580	568-592	50
720	708-732	50
780	768-792	50

### 3.4. Висновки за розділом

У роботі проведено аналіз норм і методів вимірювань електромагнітних завад, створюваних електрообладнанням нових типів рухомого складу при електротязі змінного, постійного струму, автономній тязі та вагонів з високовольтними перетворювачами відповідно до нормативних документів, прийнятих в Україні та Євросоюзі. .

Велика різноманітність систем електропостачання, сигналізації та зв'язку в європейських країнах викликає необхідність проведення випробувань рухомого складу в кожній країні окремо, з урахуванням особливостей технічних систем сигналізації та зв'язку, що використовуються в ній, що значно збільшує вартість застосування нових типів рухомого складу. Особливо це відноситься до випробування впливу електромагнітних завад на рейкові дорожні датчики, автоматичну локомотивну сигналізацію. Розроблений у Євросоюзі новий стандарт покликаний уніфікувати методику випробувань рухомого складу на ЕМС з рейковими ланцюгами та АЛС.

Вирішення проблеми застосування результатів випробувань ЕПС до національних систем сигналізації та зв'язку можливе шляхом застосування розширеної методики вимірювань струму завад у тяговій мережі, що генеруються електрообладнанням ЕПС, з подальшою комп'ютерною обробкою результатів вимірювань і застосуванням комп'ютерного і фізичного моделювання. Запропонована методика апробування при випробуваннях нових типів ЕПС з асинхронним тяговим двигуном.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

### 4.1 Розрахунок небезпечних впливів

При визначенні небезпечної напруги розрахунковими режимами тягової мережі є два режими: вимушений та короткого замикання. Струм контактної мережі неоднаковий по її довжині, при двосторонньому живленні може мати на деяких ділянках протилежний напрямок. Потенціал, наведений в суміжній лінії, буде максимальним за умови, що струми на всіх ділянках контактної мережі мають однаковий напрямок, а це означає, що розрахунковим режимом роботи контактної мережі при визначенні небезпечної напруги при магнітному впливі буде одностороннє живлення контактної мережі. Таким чином, вимушений режим - це такий режим, коли на підстанційній зоні знаходиться максимум поїздів і одна підстанція відключена (одностороннє живлення). Максимум поїздів визначається за

формулою  $m = \frac{t_x}{\theta_0}$ , де  $t_x$  - час ходу поїзда по зоні,  $\theta_0$  – мінімальний інтервал попутного прямування. Щоб знайти небезпечна напруга, можна було б розрахувати наведені потенціали від струму кожної ділянки контактної мережі, а потім їх скласти. У практичних розрахунках чинять інакше, вводячи поняття еквівалентного струму. Це такий незмінний по всій зоні контактної мережі струм, який наводить в суміжній лінії таку ж ЕРС, як і дійсні струми на всіх ділянках контактної мережі. Приймається, що всі електровози однотипні, кількість їх має бути максимально можливим  $m$ , тоді струм  $I_{рез} = m \cdot I$ .

Виразимо ЕРС, наведену в суміжній лінії, двоєю (через ток еквівалентний і через струми ділянок контактної мережі):

$$E = M \cdot I_{зкв} \cdot \ell = M \left[ I \frac{\ell}{m} + 2I \frac{\ell}{m} + \dots + (m-1)I \frac{\ell}{m} + mI \frac{\ell}{m} \right],$$

$$\text{чи } I_{\text{экв}} \cdot m = (1 + 2 + \dots + m - 1) \cdot I + I_{\text{рез}}$$

Після перетворень, отримаємо

$$I_{\text{экв}} = I_{\text{рез}} \cdot \frac{m + 1}{2m}$$

Прийнято  $I_{\text{рез}}$  виражати через максимальну втрату напруги в контактній мережі, яка знаходиться на пантографі останнього електровоза,

$$\Delta U_{\text{max}} = \left[ I_{\text{рез}} \frac{\ell}{m} + (m - 1) I \frac{\ell}{m} + \dots + 2I \frac{\ell}{m} + I \frac{\ell}{m} \right] \cdot Z_{\text{oc}}$$

де  $Z_{\text{oc}}$  – погонне складове опору контактної мережі.

Після перетворень отримаємо.

$$I_{\text{рез}} = \frac{2m}{1 + m} \cdot \frac{\Delta U_{\text{max}}}{Z_{\text{oc}} \cdot \ell}$$

У цій формулі  $Z_{\text{oc}} = r_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi$ , де  $r_0$ ,  $X_0$  – погонні активний і індуктивний опори контактної мережі,  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності першої гармоніки електровоза, зазвичай  $\cos \varphi = 0,82$ . Величина  $\Delta U_{\text{max}} = 8500$  В, якщо  $\ell > 30$  км,  $\Delta U_{\text{max}} = 5500$  В, якщо  $15 < \ell < 30$  км.

Суміжна лінія на електричних залізницях екранується рейками, оболонкою кабелю та іншими пристроями, тому формула для небезпечної наведеної напруги має вигляд  $U_{\text{оп}} = \omega M I_{\text{вл}} \ell S$ ,

де  $S = S_p \cdot S_{\text{об}} \cdot S_{\text{тр}}$ , тут  $S$  – загальний коефіцієнт захисної дії,  $S_p$  – рельс;  $S_{\text{об}}$  – оболонка кабелю;  $S_{\text{тр}}$  – відсмоктуючого трансформатора і так далі.

Значення  $M$ , Гн/км, можна знайти за формулою

$$M = 10^{-4} \ell_n \left( 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \cdot \sigma \cdot f} \right),$$

де  $a$  – ширина наближення, м;  $\sigma$  – провідність землі;  $f$  – частота струму

Допустимі значення небезпечних напруг на лініях провідного зв'язку (ЛЗ) при використанні кабелів з мідними жилами встановлені для двох режимів роботи тягової мережі: вимушеного (до нього ставитися і режим плавки ожеледі) і режиму короткого замикання тягової мережі на рейку (землю).

Розрахунок впливу тягової мережі електрифікованих залізниць змінного струму на лінії зв'язку виконується відповідно до діючих «Правил захисту пристроїв провідного зв'язку від впливу тягової мережі електрифікованих залізниць змінного струму». Розрахунковою ділянкою є гальванічно неподілена ділянка яка не містить підсилювачів, трансформаторів або інших елементів, що перешкоджають проходженню змінного струму в проводах.

На лініях провідного зв'язку можна не застосовувати спеціальних заходів захисту обслуговуючого персоналу та абонентів від небезпечних впливів тягової мережі, якщо їх траса проходить на такій відстані від полотна електрифікованої залізниці, при якому в проводі (жилі кабелю) по відношенню до землі, при його заземленні на протилежному кінці розрахункової ділянки, виникають індуковані напруги, значення яких не перевищують наведених у таблиці 2.1.

Табл.2.1 – Допустимі небезпечні індуковані напруги в проводах ЛЗ стосовно землі, В

(Без застосування спеціальних заходів щодо захисту і техніки безпеки) Ланцюг (лінія) зв'язку	Допустимі небезпечні індуковані напруги, В	
	Режим роботи контактної мережі	
	вимушений	короткого замикання при часу відключення тягової мережі, t, сек
Повітряна з дерев'яними опорами, в тому числі із залізобетонними приставками	60	2000 при $t \leq 0,15$ с 1500 при $t \leq 0,3$ с 1000 при $t \leq 0,6$ с
Повітряна із залізобетонними або металевими опорами; кабельна, в тому числі волоконно-оптична з металевими жилами для дистанційного живлення	36	500 при $t \leq 0,1$ с 450 при $t \leq 0,15$ с 310 при $t \leq 0,3$ с 160 при $t \leq 0,6$ с

Допустимі значення заважаючих напруг і струмів встановлені для нормального режиму роботи тягової мережі.

Значення допустимих напруг небезпечного впливу, які визначають за формулами, наведені в таблиці 3.2, є максимально можливими виходячи з електричної міцності ізоляції жил кабелю або ввідного обладнання апаратури. При реальному проектуванні систем передачі значення допустимих продольно індукованих ЕРС в жилах кабелів визначають за технічними умовами на апаратуру систем передачі виходячи з електричної міцності ввідного обладнання.

Табл.2.2 – Допустимі індуковані напруги відносно до землі в жилах кабелю, В.

Схема дистанційного живлення підсилювачів кабельна лінія	Допустимі напруги, В, в режимі роботи тягової мережі	
	вимушеному або режимі плавки ожеледі	короткого замикання
Без дистанційного живлення	Уроб.	0,6 Увип.
«Провід-земля» постійним струмом	Уроб. – (Удж/У2)	0,6 Увип. – (Удж/У2)
«Провід-провід» постійним струмом із заземленою середньою точкою в ланцюзі ДЖ	Уроб. - (Удж/2У2)	0,6 Увип. – (Удж/2У2)
«Провід-провід» змінним струмом із заземленою середньою точкою ланцюга ДЖ	Уроб. – (Удж/2)	0,6 Увип. – (Удж/2)
Кабельна низькочастотна між вузлом зв'язку та постом ЕЦ	Уроб	0,6 Увип
Кабельна міжстанційний місцевої мережі та кабельна між вузлом зв'язку та постом ЕЦ, з використанням	150	650 при $t \leq 0,5$ с

Схема дистанційного живлення підсилювачів кабельна лінія	Допустимі напруги, В, в режимі роботи тягової мережі	
	вимушеному або режимі плавки ожеледі	короткого замикання
апаратури ІКМ-30, HDSL і ADSL		
<p>Примітки</p> <p>1) Уроб. – тривало допустима напруга, вказана в технічних умовах на кабель (ввідне обладнання) або в ГОСТ.</p> <p>2) Удж. – напруга дистанційного живлення, В;</p> <p>3) Увип. – випробувальна напруга ізоляції жил кабелю або ввідного обладнання по відношенню до землі (оболонці), вказана в технічних умовах або в ГОСТ.</p> <p>4) Якщо в схемі дистанційного живлення (ДЖ) «провід - провід» середня точка ланцюга ДЖ не заземлена або заземлений плюс джерела ДЖ, то допустимі напруги визначаються за формулами схеми «провід - земля»</p>		

Абонентські лінії місцевого зв'язку обслуговуються без застосування спеціальних заходів щодо захисту пристроїв зв'язку і техніки безпеки для персоналу. З'єднувальні лінії між АТС і лінії зв'язку між постом ЕЦ та домом зв'язку обслуговуються при застосуванні спеціальних заходів щодо захисту. При цьому небезпечні напруги відносно до землі в провіді (жилі кабелю), за умови його заземлення на протилежному кінці розрахункової ділянки, не повинні перевищувати норм, вказаних в таблиці 2.1 та 2.2.

#### Захисна дія металевих покривів кабелю

Захисну дію металевих покривів кабелів оцінюють коефіцієнтом захисної дії (КЗД) рівним відношенню ЕРС, індукованій в жилі кабелю з

металевою оболонкою, до величини ЕРС, індукованій в жилі такого ж кабелю, але без металевої оболонки.

Найкращою екрануючою дією металевих покривів володіють кабелі в алюмінієвій оболонці з бронепокровом зі сталі з високою магнітною проникністю. Захисна дія металевих покривів досягається за рахунок їх заземлення. Відстань між заземлювачами і необхідні величини їх опорів розтіканню на ділянках наближення з ПЛ і електрифікованими залізницями визначаються розрахунком.

Захисна дія металевих покривів кабелів характеризується двома коефіцієнтами захисної дії: ідеальним  $S_{0об}$  і реальним  $S_{об}$ . Значення  $S_{0об}$  приведені в технічних умовах на кабелі, як правило, для частот струму 0,05 і 0,8 КГц при продольній ЕРС 50-300 В / км. Під ідеальним коефіцієнтом захисної дії мається на увазі коефіцієнт, яким володіє ідеально (з нульовим опором) заземлена по кінцях ділянки наближення металева оболонка кабелю.

## 4.2. Розрахунок

При розрахунку небезпечних і заважаючих напруг і струмів в ланцюгах кабельних ліній зв'язку, що не використовують землю як зворотний провід, слід враховувати тільки магнітний вплив, а в ланцюгах повітряних ліній зв'язку (розташованих від осі крайніх електрифікованих колій на відстані менше 100 м) - також і електричний вплив.

Небезпечні напруги на одному з кінців проводу (жили) розрахункової ділянки кола за умови заземлення його (її) на протилежному кінці розраховують для двох режимів роботи тягової мережі: короткого замикання і вимушеного.

Для режиму короткого замикання при системі електрифікації 25 кВ небезпечні напруги слід розраховувати за нижченаведеними формулами.

Якщо довжина ділянки кабельної ланцюга зв'язку менше 40 км, повітряний ланцюг зв'язку будь-якої довжини, небезпечна напруга, В:

при паралельному зближенні

$$U_M = \omega M I_{кз} S l_{\varepsilon}, \quad (3.1)$$

де  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота впливаючого струму, рад/с;

$M$  – взаємна індуктивність між двома однопровідними ланцюгами (контактним, живлячим проводами, рейкою і проводом зв'язку і т. д.), Гн/км;

$I_{кз}$  – струм, що впливає, А. Значення струму що впливає  $I_{кз}$  визначається по конкретних ділянках для кожної міжпідстанційної зони (плеча живлення) на підставі проектних даних або за даними служби електрифікації та електропостачання;

$S$  – результуючий коефіцієнт екрануючої (захисної) дії рейок  $S_p$ , оболонки - броні кабелю  $S_{об}$  і заземлених тросів  $S_t$ ;

$l_{\varepsilon}$  – довжина наближення ліній зв'язку з тяговою мережею на розрахунковому ділянці, км.

Результуючий коефіцієнт захисної дії для паралельної ділянки наближення:

$$S = S_p S_{об} S_t.$$

Для випадку роботи тягової мережі системи електрифікації 25 кВ в вимушеному режимі небезпечні напруги слід обчислювати за нижченаведеними формулами.

Якщо довжина ділянки кабельного ланцюга менше 40 км, повітряний ланцюг будь-якої довжини, небезпечна напруга, В:

при паралельному наближенні

$$U_m = K_f \omega M I_{\text{экв}} S, \quad (3.5)$$

де  $K_f$  – коефіцієнт що характеризує збільшення індукованої напруги внаслідок несинусоїдальності струму тягової мережі, обумовленої роботою випрямних пристроїв електровозів. При розрахунку впливів на дроти повітряних ліній і на оболонки кабелів слід приймати  $K_f = 1,15$ ; при розрахунку впливів на кабельні жили  $K_f = 1$ ;  $I_{\text{экв}}$  – еквівалентний струм що впливає, А

У разі застосування в тягової мережі, електрифікованої за системою 25 кВ, відсмоктувальних трансформаторів з підвіскою зворотного дроту, або електрифікованих за системою по системі 2 х 25 кВ з автотрансформаторами, небезпечні і заважають напруги слід обчислювати за методикою, викладеної в Правилах - додаток 11. В разі застосування системи з посилюючими проводами (ЕУП) слід враховувати захисну дію екрануючих проводів (Правила - додаток 8, табл. П 8.2).

При розрахунку впливу на комбіновані кабелі індуктовані напруги визначають для кожного типу ланцюга, а заходи захисту вибирають за найгіршим варіантом.

При проектуванні, як правило, визначається допустима довжина (протяжність) кабельної лінії, при якій, при заданих параметрах системи електротяги, підвіски контактної мережі, умовах експлуатації кабельної лінії, типу системи передачі і застосовуваної марки кабелю з нормованим КЗД, забезпечуються норми допустимих напруг на жилах кабелю при вимушеному режимі і в режимі короткого замикання тягової мережі.

### 4.3. Висновки за розділом

Для абонентських та з'єднувальних ліній місцевого зв'язку, що не використовують землю як зворотний провід, враховуються тільки небезпечні

впливи тягової мережі в вимушеному режимі і в режимі короткого замкнення. При цьому для кабельних ліній враховується тільки магнітний вплив, який чиниться тяговим струмом у вимушеному режимі або струмом короткого замикання, а для повітряних - магнітний та електричний вплив.

Для захисту від електричних впливів повітряні лінії зв'язку, розташовані ближче 100 м від електрифікованої залізниці, повинні бути каблєровані.

Для визначення індуктованої напруги в жилах кабелів і заходів захисту необхідно побудувати схему кабельної мережі з прив'язкою до пікетів решт гальванічно нерозділених кабельних ділянок та відстанями від кабельної лінії до осі найближчого електрифікованого шляху.

При проведенні моделювання та розрахунків прийнято наступне:

- систему електрифікації 25 кВ змінного струму, марка контактної підвіски - ПБСМ-70 + МФ-100;

- кількість поїздів (m) на плечі живлення (на ділянці між тяговими підстанціями) при вимушеному режимі роботи тягової мережі - 8;

- струми короткого замкнення в тягової мережі на різних ординатах (не менше трьох) або за відсутності цих даних - максимальні струми короткого замкнення на шинах тягових підстанцій;

- питомий опір землі – 300 Ом;

- кабель марки ТЗАБпемністю 7х4х1,2 довжиною 1000м;

- довжина плеча живлення – 50 км;

- траса кабелю проходить на відстані 10 м від осі найближчого електрифікованого шляху.

- струм короткого замкнення в місці далекого кінця кабелю 6000 А.

Час відключення тягової мережі при короткому замиканні 0,15 с.

В результаті розрахунку отримані наступні результати. У вимушеному режимі напруга на оболонці кабелю - 100,5 В, напруга на жилах - 40 В, що

перевищує допустиме значення 36 В. В режимі короткого замкнення напруга становить 468 В, що перевищує нормативне значення 450 при  $t \leq 0,15$  с.

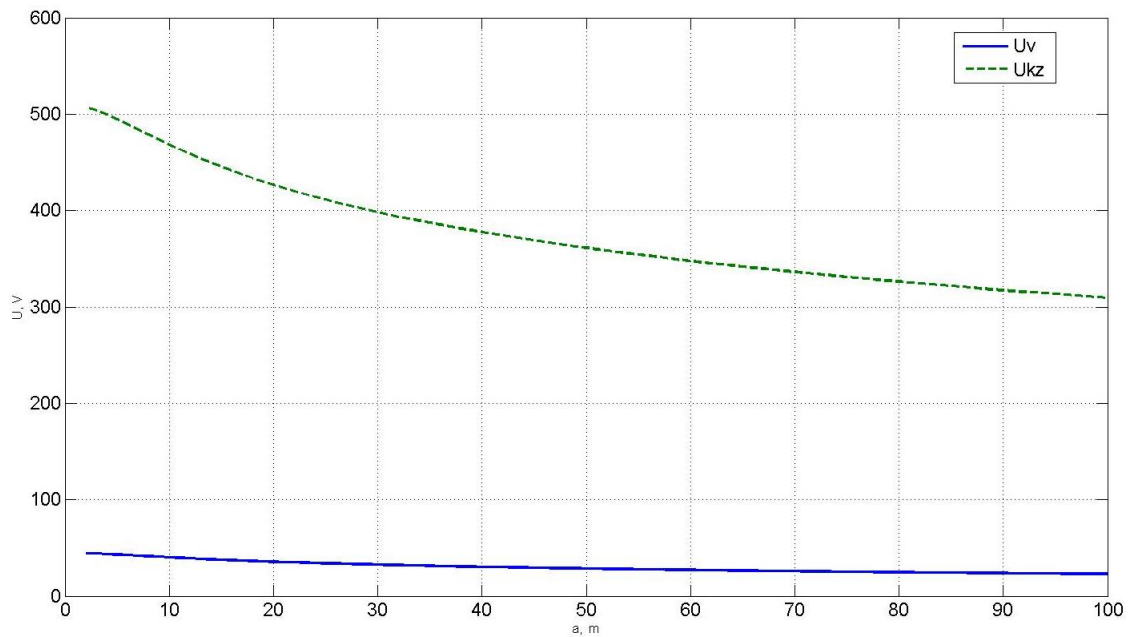


Рис.2.1 -Залежність напруги на жилі кабелю в вимушеному режимі ( $U_v$ ) і в режимі короткого замкнення( $U_{kz}$ ) від відстані від кабелю до осі колії.

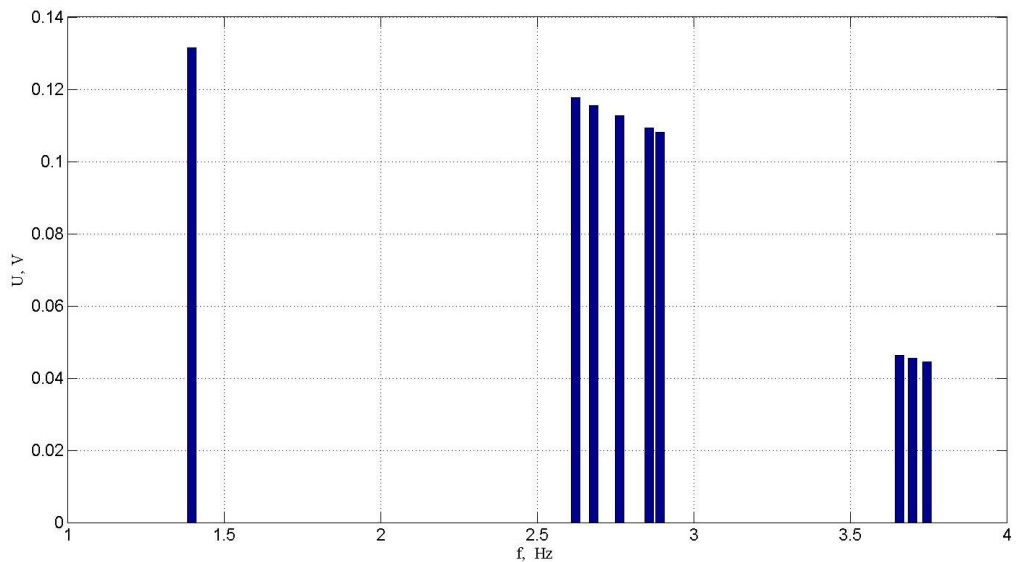


Рис.2.2 -Залежність напруги на жилі кабелю в вимушеному режимі для тональних частот ТРЦ.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи за темою підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів (комплексна) було розглянуто такі питання як: електромагнітна сумісність рухомого складу с пристроями зв'язку, класифікація впливів тягової мережі на кабельні лінії зв'язку, міжнародні норми на електромагнітну сумісність рухомого складу із системами сигналізації та зв'язку.

У ході розгляду цих питань стало зрозуміло, що вимоги до електромагнітної сумісності останнім часом значно зросли через широке використання на залізничному транспорті досягнень науково-технічного прогресу. Застосування схем управління, пристроїв регулювання тяги та гальмування, побудованих на мікропроцесорній базі, а також інформаційних шин, що охоплюють усі системи рухомого складу, ставить особливо високі вимоги до стійкості цих компонентів до сторонніх електромагнітних полів. Заважаючий потенціал тягового обладнання та допоміжних пристроїв значно зріс у зв'язку з використанням сучасної перетворювальної техніки, що характеризується високою напругою та комутацією значних потужностей з високою тактовою частотою та струмовими імпульсами великої крутості. На залізничному транспорті додаткові складності викликані високою щільністю компонування обладнання на рухомому складі, де силові пристрої та системи управління розташовуються поруч, рухом тягового рухомого складу поблизу пристроїв зв'язку та сигналізації, а також трасуванням ліній зв'язку та СЦБ паралельно до контактної мережі. Усі ці фактори зумовили прийняття на залізницях особливо жорстких норм, правил та технічних вимог до обладнання.

При дослідженні питань методів захисту ліній зв'язку від завад було розглянуто види завад у різних типах ліній зв'язку, основні методи та

пристрої захисту, основні вимоги до ліній зв'язку, конструктивні методи захисту від завад в металевих провідниках. Зазначено, що найбільшого поширення набули вентиляльні розрядники, за допомогою яких захищають головним чином електричні ланцюги з високою (високовольтні вентиляльні розрядники) та низькою (низьковольтні вентиляльні розрядники) напругою змінного струму. Останні використовують також для захисту повітряних лінійних ланцюгів сигналізації та зв'язку, схильних до впливу контактних мереж електричних залізниць постійного та змінного струму, а також ланцюгів, за якими здійснюється дистанційне живлення підсилювальних пунктів. Було розглянуто основні види вирівнювачів, які захищають від перенапруження, а також автоматичні вимикачі і блискавковідвідів.

Загально методик вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу було детальніше розглянуто міжнародні норми ЕМС, методи визначення психофотричного струму та Нормативні значення завад в повітряних та кабельних лініях зв'язку.

При розрахунку впливу тягового електропостачання на лінії зв'язку було означено що розрахунковим режимом роботи контактної мережі при визначенні небезпечної напруги при магнітному впливі буде одностороннє живлення контактної мережі, та проведено розрахунки за методом.

Розрахунок впливу тягової мережі електрифікованих залізниць змінного струму на лінії зв'язку виконувався відповідно до діючих «Правил захисту пристроїв провідного зв'язку від впливу тягової мережі електрифікованих залізниць змінного струму». Розрахунковою ділянкою є гальванічного неподілена ділянка яка не містить підсилювачів, трансформаторів або інших елементів, що перешкоджають проходженню змінного струму в проводах.

Було зазначено, що на лініях провідного зв'язку можна не застосовувати спеціальних заходів захисту обслуговуючого персоналу та абонентів від небезпечних впливів тягової мережі, якщо їх траса проходить

на такій відстані від полотна електрифікованої залізниці, при якому в проводі (жилі кабелю) по відношенню до землі, при його заземленні на протилежному кінці розрахункової ділянки, виникають індуковані напруги.

Рекомендовано використовувати кабелі в алюмінієвій оболонці з бронепокровом зі сталі з високою магнітною проникністю, оскільки захисна дія металевих покрівів досягається за рахунок їх заземлення і це дає Найкращою екрануючою дією.

Оскільки при розрахунках було виявлено, що: у вимушеному режимі напруга на оболонці кабелю - 100,5 В, напруга на жилах - 40 В, що перевищує допустиме значення 36 В; В режимі короткого замкнення напруга становить 468 В, що перевищує нормативне значення 450 при  $t \leq 0,15$  с, зрозуміло що параметри які задані у розрахунки не є допустимими і призводять до перенапруг і появи заважаючого впливу. Для нормальної роботи рекомендується знизити ці параметри або використовувати нові типи захисту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Феоктистов В. П., Рябцев Г. Г., Просвиров Ю. Е. Электрические железные дороги //учебник/под ред. проф. ВП Феоктистова, проф. ЮЕ Просвирова. – 2006. – С. 312.

2. Жирновий А. С. Дослідження електромагнітного впливу тягового струму на кабельні лінії автоматики та зв'язку та розробка засобів їх захисту : дис. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2020.

3. Роздорожний В. В. Дослідження електромагнітної сумісності рейкових кіл з системою тягового електропостачання змінного струму на Одеській залізниці : дис. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, 2020..

4. Павленко Т. П., Петренко О. М., Лукашова Н. П. Електропостачання транспорту: конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка).

5. Мокін Б. І., Жежеленко І. В., Бурбело М. Й. Методи та засоби регулювання спектра напруги тягових підстанцій електротранспорту : дис. – ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, 2008.

6. Чернецька-Білецька Н. Б. и др. Интероперабельність українських залізниць і проблеми подолання системних стиків рейкової колії. – 2020.

7. Доморошин С. В., Доморошин С. В. Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги : дис. – Національний університет «Запорізька політехніка», 2021.

8. Гаврилюк, В. И. Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи / В. И. Гаврилюк, В. И. Щека, В. В. Мелешко // Наука та прогрес трансп. – 2016. – № 5 (59). – С. 7–15.

9. Гаврилюк, В. І., Щека, В.І. Розробка мате-матичної моделі для дослідження електро-магнітних завад від тягових перетворювачів з асинхронним двигуном / В. І. Гаврилюк, В. І. Щека // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. - С. 221–225.
10. Завгородний, А. В. Моделирование элект-ромагнитных процессов в системе тягово-го электроснабжения / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 6. – С. 11–15.
11. Гаврилюк, В. І., Завгородній О. В. Ймовір-нісна модель впливу тягового струму на рейкові кола / В. І. Гаврилюк, О. В. Завгородній // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2010.– № 4.– С. 73–76.
12. Gavrilyuk, V. The modelling of electromag-netic influence of traction electrosupply sys-tem on railway circuits / V. Gavrilyuk, A. Zavgorodnij // Transport Systems Telemat-ics. Politechnika Slansha. Zeszyty Naukowe. Gliwice (Poland). 2004. – NR – 1657. – P. 18–19.
13. Pignari, S. A. Measurement of rolling-stock radiated emissions according to standard EN 50121 / S. A. Pignari, D. Bellan, G. Spadacini // 17th Intern. Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Singa-pore. – 2006. – P. 250–255.
14. Fedeli, E. Fast and accurate measurement of radiated emissions of moving trains according to IEC 62236 / E. Fedeli, S. A. Pignari, G. Spadacini // Proc. 9th World Congress on Railway Resea
15. Костроминов А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех / Костроминов А. М. – [2-е изд]. – М. : Транспорт, 1987. – 192 с.
16. Михайлов М. И. Влияние внешних электромагнитных полей на цепи проводной связи и защитные мероприятия / Михайлов М. И. – М. : Связьиздат, 1959. – 583 с.
17. Справочник по электроснабжению железных дорог / под ред. К. Г. Марвардта – М. : Транспорт, 1980. – Т. 1. – 1980. – 256 с.
18. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / Марквардт К. Г. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.

19. Бадер М. П. Экспериментальное исследование гармонического состава тока в тяговой сети и рельсовых цепях / М. П. Бадер // Межвузовский сборник научных трудов. – 1984. – № 756. – С.17–20.

20. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость тягового электроснабжения с линиями связи, устройствами железнодорожной автоматики и питающими электросетями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.22.09 "Електротранспорт" / М. П. Бадер. – М., 1999. – 46 с.

21. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость / Бадер М. П. – М. : УМК МПС, 2002. – 638 с.

22. Сумин А. Р. Исследование распространения обратного тягового тока в земле и его электромагнитного влияния / А. Р. Сумин // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 7. – С. 26–28.

23. Котельников А. В. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств / Котельников А. В., Наумов А. В., Слободянюк Л. П. – М. : Транспорт, 1990. – 215 с.

24. Котельников А. В. Электромагнитное влияние тяговых сетей переменного тока на металлические конструкции / А. В. Котельников, А.Б.Косарев // Электричество. – 1992. – № 9. – С. 26–34.

25. Косарев А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока / Косарев А. Б. – М. : Интекст, 2004. – 272 с.

26. Бялонь А. Значения допускаемых параметров помех тягового подвижного состава / А. Бялонь // Вестник ВНИИЖТ. – 2001. – № 5. – С. 44–47.

27. Бочков К. А. Вероятностный метод определения уровней ЭМС микроэлектронных систем обеспечения безопасности / К. А. Бочков, Н. В. Рязанцева // Испытания систем железнодорожной автоматики и

телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: труды междунар. семинара. – Гомель, 2001. – С. 20-29.

28. Бочков К.А. Нормирование параметров ЭМС с учетом реальной электромагнитной обстановки / К. А. Бочков, Н. В. Рязанцева // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость : труды междунар. семинара. – Гомель, 2001. – С. 35–42.

29. Анохов І. В. Про електромагнітну сумісність електрифікованих ліній постійного струму / І. В. Анохов, М. П. Бадьор, В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 2. – С. 10–12.

30. Gavrilyuk V. I. To the question about checking parameters of code current of rail circuit / V. I. Gavrilyuk, T. N. Serdyuk // Transport systems telematics : III International Conferense. – Katowice-Ustron, – 2003. – P. 127–135.

31. Гаврилюк В. И. Теоретические и экспериментальные исследования электромагнитного поля вблизи рельсовой нити / В. И. Гаврилюк, Д. В. Астраханцев // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 3/2. – С. 172–175.

32. Гаврилюк В. И. Испытания подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями / В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 3/2. – С. 192–194.