

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

У статті розглянуто методичні аспекти забезпечення електромагнітної сумісності електрифікованих ліній постійного струму.

В статье рассмотрены методические аспекты обеспечения электромагнитной совместимости электрифицированных линий постоянного тока.

The methodical aspects of providing electromagnetic compatibility of electrified direct-current lines are discussed in this article.

### Вступ

Успішне вирішення науково-технічних проблем при впровадженні та експлуатації електрифікованих ліній постійного струму, в тому числі й підвищеної напруги, неможливе без вирішення проблеми електромагнітної сумісності (ЕМС) із суміжними низькоенергетичними системами залізничного транспорту та із системами зовнішнього електропостачання (СЗЕ). Забезпечення необхідного рівня ЕМС системи тягового електропостачання постійного струму (СТЕ) повинне здійснюватись застосуванням необхідних технічно можливих заходів при розробці та виготовленні обладнання і комплектуючих виробів, проектуванні та побудові СТЕ на базі обґрунтованого вибору її конфігурації і параметрів та раціональних схем підключення до системи зовнішнього електропостачання. Розглядаючи ЕМС як один із показників якості функціонування СТЕ, необхідно охоплювати весь комплекс технічних засобів, котрі задіяні у процесі передачі та споживання електроенергії. Зважаючи на широке впровадження на залізничному транспорті різноманітних мікропроцесорних пристроїв автоматики і телемеханіки, релейного захисту, кодування і передачі інформації, вирішення проблеми ЕМС набуває вирішального значення для забезпечення безперебійного та надійного функціонування залізничного транспорту.

**Метою роботи** є формування методологічно-наукових підходів до розрахунку та забезпечення електромагнітної сумісності тягового електропостачання із суміжними пристроями.

### Викладення основного матеріалу

СТЕ представляє собою складну електродинамічну розподілену систему, яка характеризується стохастичним характером зміни параметрів функціонування, змінними станами якого є напруги у вузлах схем, потоки реактивної та активної потужності, струми фідерів, контактної підвіски та рейкової мережі. Ці параметри змінюються у просторі та часі, змінюючи електромагнітну обстановку у системі «СТЕ – суміжні пристрої».

При аналізі ЕМС пари «СТЕ – суміжні пристрої» необхідно розглядати два напрямки забезпечення ЕМС: зовнішня та внутрішня ЕМС СТЕ (рис. 1). В свою чергу, наприклад, при розгляді взаємодії інтервального керування рухом поїздів із СТЕ тягова підстанція (ТП) буде виступати по відношенню до неї зовнішньою системою. Звідси, можна вести мову про багаторівневий та ієрархічний принципи побудови забезпечення ЕМС СТЕ, де необхідно виділяти також і горизонтальні рівні (паралельні, послідовно-паралельні та послідовні структури взаємодії).

ЕМС I-го рівня обумовлена ступенем електромагнітної взаємодії СЗЕ та СТЕ і характеризується, в першу чергу, якістю електричної енергії на вхідних шинах тягової підстанції. Несиметрична та несинусоїдальна напруга, підведена до затисків тягового перетворювача, призводить до генерації в живлячу мережу вищих гармонік струму, на рівень яких також впливають спорадичні зміни тягового навантаження та флуктуації параметрів управління випрямлячем. Звідси, і СЗЕ, і ТП виступають од-

ночасно як генераторами, так і рецепторами електромагнітних завад (ЕМЗ).

Розглядаючи внутрішню ЕМС СТЕ (2... $n$  рівні), приймемо до уваги, що система II-го рівня складається з декількох підсистем різних енергетичних рівнів, розподілених у просторі та по довжині фідерної зони, а їх взаємодія змінюється у часі. Звідси, можна стверджувати про наявність поперечної та поздовжньої складових ЕМС у СТЕ. Кожна з підсистем 1... $m$  може складатися зі статичних та динамічних елементів, мати різні механізми зв'язку, виступати як

генераторами, так і рецепторами ЕМЗ різних типів у різному частотному діапазоні. У кожній з підсистем можуть застосовуватись різні засоби забезпечення ЕМС. Узагальнена структура проблеми ЕМС у СТЕ представлена на рис. 2. Його аналіз дає уяву про складність взаємодії складових ЕМС СТЕ. В умовах експлуатації СТЕ чинники ЕМС підсистем переплітаються та частково дублюють один одного, відрізняючись джерелами, механізмами зв'язку та типами електромагнітних завад (ЕМЗ).



Рис. 1. Рівні забезпечення електромагнітної сумісності тягового електропостачання

Зазначимо, що існує багато варіантів класифікації ЕМЗ [1 – 6] за сукупністю ознак, які можуть застосовуватись для конкретного випадку. Необхідно також приймати до уваги значимість того чи іншого виду завад, яка визначається низкою факторів: тривалістю, амплітудою, частотним діапазоном, періодичністю появи і т.д. Беручи до уваги вищевикладене, доцільно розглядати ЕМЗ у наступних підсистемах: ТП – СЗЕ; ТП – районне навантаження та нетягові споживачі; ТП – тягова мережа (ТМ); ТМ – ЕРС; контактна мережа – рейкова мережа; ЕРС – рейкова мережа; ТМ – суміжні пристрої; лінії АБ і ПЕ – пристрої залізничної автоматики. Кожна з цих підсистем характеризується своїми типовими ЕМЗ, які необхідно враховувати при розгляді проблеми ЕМС у СТЕ в цілому. Цей фактор визначає необхідність комплексного підходу та спонукає до застосування різних методів розрахунку ЕМС підсистем різного рівня.

Розрахунок електромагнітних впливів у лінійному ланцюзі в загальному випадку зводиться до вирішення систем лінійних диференціальних рівнянь, складених на підставі законів Кірхгофа або на основі методів похідних із законів Кірхгофа, контурних струмів, вузлових потенціалів, змінних стану [7, 8]. Для визначення спектрального складу мережевої і спрямленої напруги і струму перетворювальних агрегатів застосовуються аналітичні та чисельно-аналітичні методи, використовувані для аналізу процесів у вентильних схемах, які умо-

вно можна розділити на точні та наближені [9]. В якості опису базової моделі вентильної схеми широко застосовується метод змінних станів (змішаний координатний базис), при якому базова модель може бути отримана у вигляді системи диференціальних рівнянь в нормальній формі, необхідній для використання явних формул чисельного інтегрування. Для опису також використовують неявні методи інтеграції, які не потребують диференціальних рівнянь у нормальній формі та підвищують точність розрахунку, а рівняння математичної моделі схеми представляється у вигляді системи алгебраїчних рівнянь.

Для аналізу енергообмінних процесів нелінійних електричних ланцюгів на сьогодні широко використовуються матрично-топологічні методи, теорія обмінних характеристик, статистичні методи, метод фазних координат, вейвлет-аналіз, спектральний аналіз, інформаційний аналіз, метод структурних орієнтованих чисел, методи нечіткої логіки та теорія множин. При цьому розробка моделі ЕМС СТЕ повинна враховувати різні структури взаємодії чинників та будуватися не тільки на ієрархічному принципі, а й з урахуванням специфіки утворення ЕМЗ [10].

Насамкінець зазначимо, що після розробки методології оцінки електромагнітної обстановки та отримання її кількісних показників, необхідна розробка заходів із забезпечення необхідного рівня ЕМС [11].

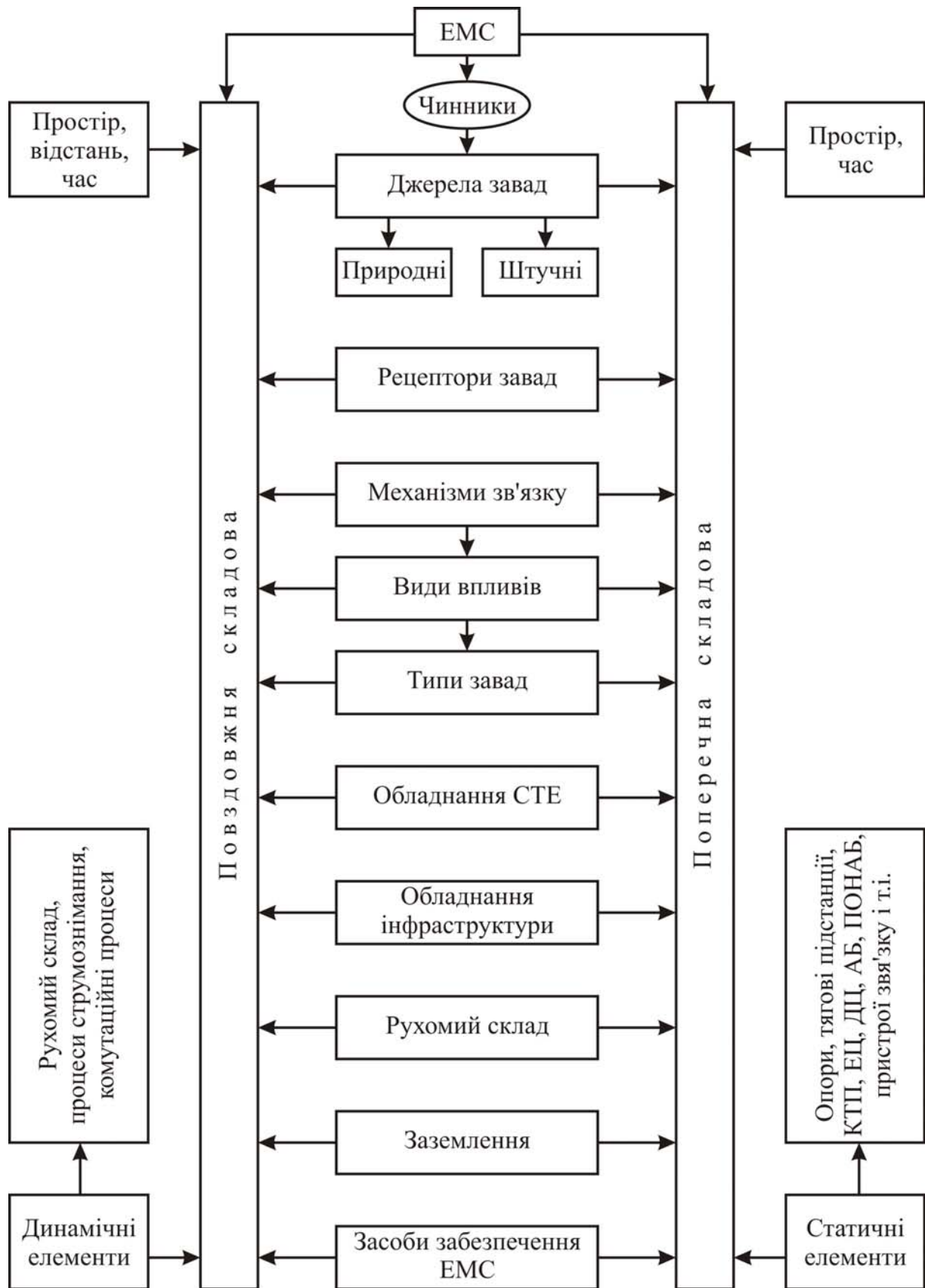


Рис. 2. Узальнена структура проблеми ЕМС у тяговому електропостачанні

## Висновки

1. Проблема ЕМС СТЕ має складний, багаторівневий характер як в поперечному перерізі, так і в повздовжньому плані.
2. Аналіз ЕМС СТЕ необхідно здійснювати з урахуванням типових ЕМЗ для кожної з підсистем, застосовуючи до них різні методи розрахунку.
3. Необхідний рівень ЕМС СТЕ повинен забезпечуватись у кожній із підсистем різного енергетичного рівня.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Князев, А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. [Текст] / А. Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
2. Быков, Ю. М. Помехи в системах с вентиляными преобразователями. [Текст] / Ю. М. Быков, В. С. Василенко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 132 с.
3. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий. [Текст] / под ред. А. К. Шидловского. – К.: Наук. думка, 1992. – 236 с.
4. ДСТУ 2793-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до потужних електромагнітних завад. Загальні положення. [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 15 с.
5. Уильямс, Т. ЭМС для систем и установок. [Текст] / Т. Уильямс, К. Армстронг. – М.: Изд. дом «Технологии», 2004. – 508 с.
6. Кошевий, С. В. Электромагнитні завади в межах рейкової колії і їх вплив на роботу автоматичної локомотивної сигналізації [Текст] / С. В. Кошевий, М. С. Кошевий, М. М. Бабаєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 13-18.
7. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
8. Косарев, А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока [Текст] / А. Б. Косарев. – М.: Интекст, 2004. – 272 с.
9. Чиженко, И. М. Основы преобразовательной техники [Текст] / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько. – М.: Высш. шк., 1974. – 305 с.
10. Костроминов, А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех [Текст] / А. М. Костроминов. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.
11. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. [Текст] / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 134 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2009.  
Прийнята до друку 14.01.2010.