

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 538.69:331.45

В.Г. Здановський<sup>1</sup>, Е.А. Дармофал<sup>2</sup>, Т.М. Перельот<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці, Київ

<sup>2</sup> Харківська державна академія фізичної культури, Харків

<sup>3</sup> Національний авіаційний університет, Київ

## ЕЛЕКТРОСТРУМИ ВИТОКУ ЯК ДЖЕРЕЛА МАГНІТНИХ ПОЛІВ НЕНОРМАТИВНИХ РІВНІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗНИЖЕННЯ

*У статті визначені причини виникнення і кількісні значення некомпенсованих електрострумів у виробничих умовах, пов'язаних з ними магнітних полів та розроблення заходів з їх нормалізації.*

**Ключові слова:** електрострум, нормалізація, промислова безпека.

### Вступ

Ущільнення розташування електричного та електронного обладнання у сучасних виробничих та адміністративних будівлях, підвищення навантаження на силову електромережу об'єктивно призводить до зростання рівнів електромагнітних полів у приміщеннях. Джерелами цих полів, у першу чергу їх магнітних складових, значною мірою є системи електроживлення, які у багатьох випадках не відповідають вимогам сьогодення. Це явище потребує досліджень з метою зниження несприятливого впливу електромагнітних полів на працюючих.

**Сучасний стан проблеми.** У нормальних умовах, за наявності лінійних електроспоживачів у будівлі, наявність електромагнітних полів та їх рівні обумовлюються виключно полями, генерованими технологічним та допоміжним обладнанням. Це впливає з фундаментальних фізичних співвідношень: у мережі електроживлення (як однофазній, так і трифазній) електроструми у фазному та нульовому робочому провідниках мають протилежні напрямки, і їх сумарне магнітне поле дорівнює нулю.

У реальних виробничих умовах спостерігається рознесення фазного та нульового провідників, виникнення некомпенсованих електрострумів у трифазній електричній мережі через наявність нелінійних електроспоживачів [1, 2].

Частково виникнення магнітних полів у таких умовах унеможливується використанням обладнання компенсації реактивної потужності [3]. Втім, воно має велику вартість і не завжди забезпечує бажаний результат. Аналіз причин появи некомпенсованих струмів у системах електроживлення різних конструкцій стосується, в основному, уроджених

недоліків цих систем без аналізу появи некомпенсованих електрострумів у виробничих умовах [4]. Ретельний аналіз виникнення магнітних полів внаслідок наявності некомпенсованих електрострумів та струмів витоку проведено у роботі [5]. Втім, представлені експериментальні дані та надані рекомендації зі зниження рівнів електромагнітних полів у виробничому середовищі стосуються приміщень з експлуатації комп'ютерної техніки, які не завжди прийнятні для підприємств з великими рівнями електроспоживання та з різними типами споживачів. Уявляється необхідним проведення експериментальних досліджень кількісних значень некомпенсованих струмів (у тому числі і струмів витоку) з аналізом причин їх виникнення за різних систем організації заземлення у виробничій будівлі.

**Метою статті** є визначення причин виникнення і кількісних значень некомпенсованих електрострумів у виробничих умовах, пов'язаних з ними магнітних полів та розроблення заходів з їх нормалізації.

### Результати досліджень

Переважаюча більшість джерел розглядає системи організації електроживлення у будівлях з точки зору електричної безпеки, тобто можливості ураження працюючих електричним струмом. Доцільно проаналізувати такі системи з огляду на забезпечення електромагнітної безпеки, тобто впливів електромагнітних полів на персонал.

Умовні позначення, згідно з чинними національним нормативом [6], збігаються з позначеннями, встановленими міжнародною електротехнічною комісією [7]: Т – заземлено; N – підключено до нейтралі джерела (занулено); С – об'єднаний; S – роздільний; I – ізольовано.

Наведені документи передбачають три режими заземлення нейтралі та сторонніх провідних частин:

TN – нейтраль джерела глухо заземлена, корпуси електрообладнання приєднані до нейтрального провідника;

TT – нейтраль джерела та корпуси електрообладнання глухо заземлені;

IT – нейтраль джерела ізольована або заземлена пристроями, які мають великий опір, корпуси електрообладнання глухо заземлені.

Найбільш поширеною у капітальних будівлях і спорудах є система TN, яка буває трьох типів:

TN-C – нульовий робочий та захисний провідники об'єднані в усій мережі. Об'єднаний нульовий провідник позначається як PEN.

TN-S – нульовий робочий провідник N та нульовий захисний провідник PE розділені.

TN-C-S – нульовий робочий та захисний провідники об'єднані на головних ділянках мережі у провідник PEN, а далі розділені на провідники N та PE.

Схеми наведених систем електроживлення наведені нижче (рис.1).

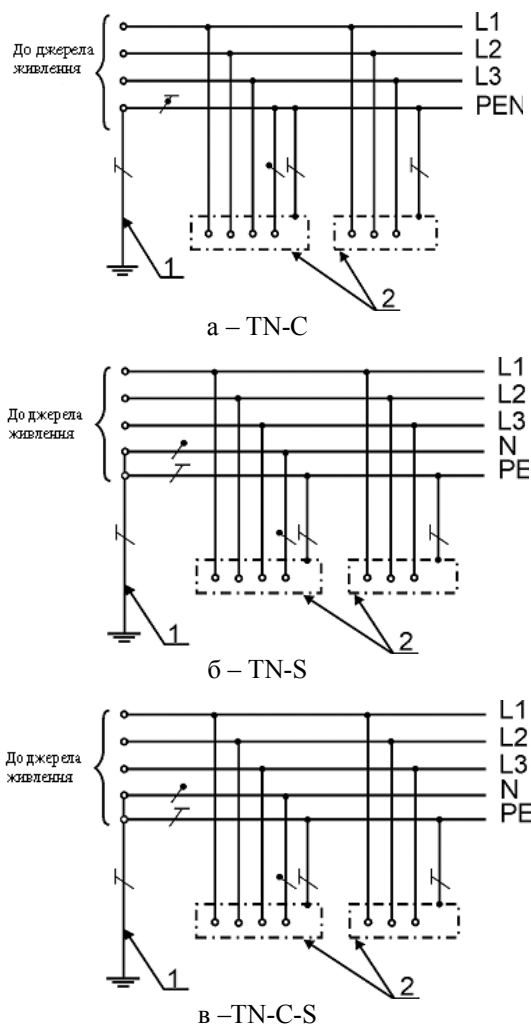


Рис. 1. Системи організації електроживлення будівель і споруд: L – фазні провідники; 1 – контур заземлення; 2 – технічні засоби

На сьогоднішній день найбільш поширеною системою електроживлення в Україні залишається система TN-C. Крім інших недоліків, вона має суттєві вади з точки зору електромагнітної безпеки. Як показали натурні вимірювання, навіть сучасне сертифіковане електронне обладнання (комп'ютерна, високочастотна техніка) при підключенні до такої мережі не відповідає за випромінювальними характеристиками нормам як у низькочастотному, так і у вищих діапазонах. Навіть за штатного функціонування електромережі на нульовому робочому провіднику за протікання електроструму відбувається падіння напруги, тобто на кінцях нульового провідника виникає різниця потенціалів. Наслідком цього є виникнення електрострумів у оболонках кабелів, екранах комп'ютерних кабелів тощо. Це викликає збої у роботі обладнання (за рахунок впливу магнітного поля цих струмів) та є фактором опосередкованого негативного впливу на працюючих.

Чинний нормативний акт [6] дозволяє у якості захисного провідника використовувати природні заземлювачі, наслідком чого у провідних елементах будівлі (арматурі, опорних колонах, системах водопостачання та опалення) виникають некомпенсовані електроструми, які генерують магнітні поля гігієнічно значущих рівнів. Слід зауважити, що крім цього на значення струмів у провідних конструкціях впливають струми витоку, джерелами яких є хиби у монтажі електромережі, її зношеність та нештатна робота обладнання (табл. 1).

Таблиця 1

Значення електричних струмів у металевих конструкціях комунікаційних шахт будівлі\*

Номер шахти	Електрострум у силовій мережі, А	Струм витоку на заземленій конструкції
1	28 – 31	2 – 4
2	22 – 23	1 – 3
3	38 – 39	6 – 7
4	28 – 29	3 – 5
5	44 – 45	6 – 7
6	24 – 26	4 – 5
7	34 – 35	3 – 4
8	36 – 48	5 – 6

\* Вимірювання виконувались у промисловій п'ятиповерховій будівлі. Частка лінійних електроспоживачів складала більше 20%. Технологічне обладнання живилося від трифазної мережі.

Наведені у таблиці дані свідчать про відсутність прямого зв'язку між електронавантаженням та струмами витоку. Однак, їх значення досить великі і є джерелами магнітних полів промислової частоти 50 Гц. Індукцію такого магнітного поля можна визначити зі співвідношень (1, 2):

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot d\ell \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

де  $d\ell$  – лінійний елемент струму;  $I$  – ефективне значення сили струму;  $r$  – відстань від елемента струму до точки визначення індукції магнітного поля;  $\varphi$  – кут між елементом струму та напрямком  $r$ ;  $\mu_0$  – магнітна стала.

$$B = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} (d\ell \cdot r) = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{(j \cdot r)}{r^2} dV, \quad (2)$$

де  $j$  – густина струму у елементі об'єму  $dV$ .

Розрахунки показали, що за наведених значень струмів витoku індукції магнітного поля на відстані 5 м від струмонесучої конструкції складають 1,52 – 6,75 мТл, що практично скрізь перевищує гранично допустимий рівень (1,75 мТл) для 8-годинного робочого дня згідно [8]. Система електроживлення за схемою TN-S у штатному режимі функціонування забезпечує набагато кращу електромагнітну обстановку, ніж TN-C. Це пояснюється неможливістю відгалуження електрострумів на природні заземлювачі, що підтверджується вимірюваннями.

Через виникнення однофазних коротких замикань виникають електромагнітні завади, аналогічні завадам у системах TN-C, що значно погіршує електромагнітну сумісність технічних засобів. У будь-

якому випадку, дещо більша вартість такої електромережі (через використання п'яти провідників) цілком виправдана. Систему електроживлення TN-C-S можна вважати компромісною. Вона має вади обох попередніх систем, проте використання ділянок TN-S саме у місцях постійного перебування працюючих значно покращує електромагнітну обстановку у виробничих приміщеннях і максимально знижує опосередкований вплив електромагнітних полів на персонал. Контроль електромагнітної обстановки слід здійснювати за магнітною складовою електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц, що обумовлене простою екранування електричної складової (будь-яким металевим матеріалом) та можливістю вимірювання електрострумів спеціальними кліщами без розриву провідників.

Проведені нами обстеження електромагнітної обстановки свідчать, що у багатьох промислових будівлях, особливо багатопверхівок старої забудови, найбільший внесок у підвищений рівень магнітного поля дають саме кабельні лінії зі струмами витoku, в тому числі струми у металевих інженерних мережах (рис. 2).

Наведені дані узагальнені. На практиці магнітні поля струмів витoku складають 40...70 %, а магнітні поля технічних засобів – до 40 %.

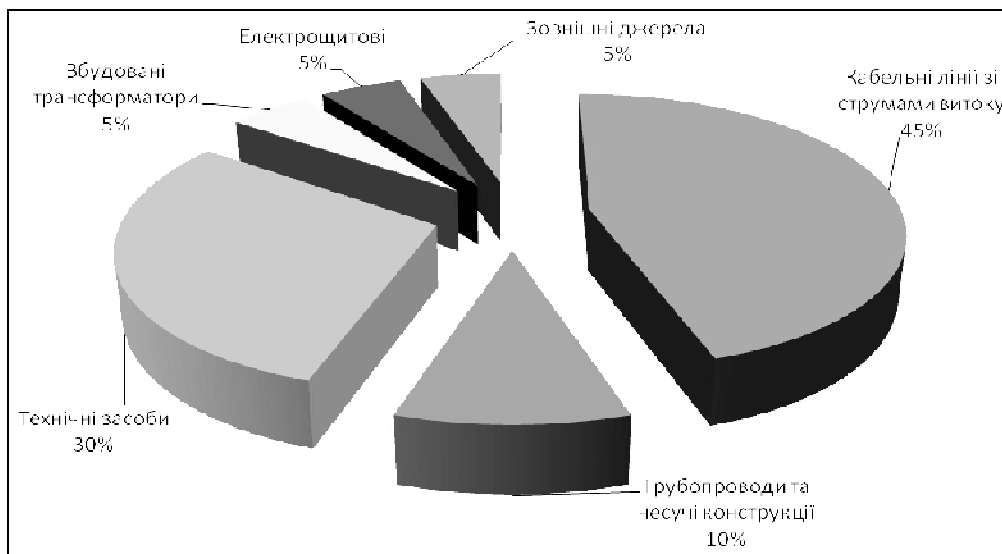


Рис. 2. Розподілення джерел магнітного поля за типами від загальної кількості досліджених приміщень

На нашу думку, важливим наслідком наявності струмів витoku та блукаючих струмів, який впливає на безпеку людей, є прискорення корозійних процесів у інженерних мережах та несучих металевих конструкцій через електрокорозію. Відомо, що найбільш інтенсивну електричну корозію викликають блукаючі струми від джерел постійного струму. Але корозія також суттєва внаслідок впливу електричних змінних струмів для звичайних конструкційних сталей, а для кольорових металів і навіть для нержавіючих сталей – дуже інтенсивна.

Так, для сталі Ст3 за наявності вологого провідного середовища струми корозії складають 0,015...0,017 мА/см<sup>2</sup>, а для дуже поширеної у промисловості нержавіючої сталі 12Х18Н10Т – 0,003...0,010 мА/см<sup>2</sup>. Такі густини струму дуже малі, враховуючи значення виміряних нами струмів витoku на металевих конструкціях промислових будівель (рис. 3). Спосіб боротьби з цим явищем досить простий – унеможливлення заземлення не-провідними вставками (наприклад, використання пластикових труб). Але у цьому випадку конструк-

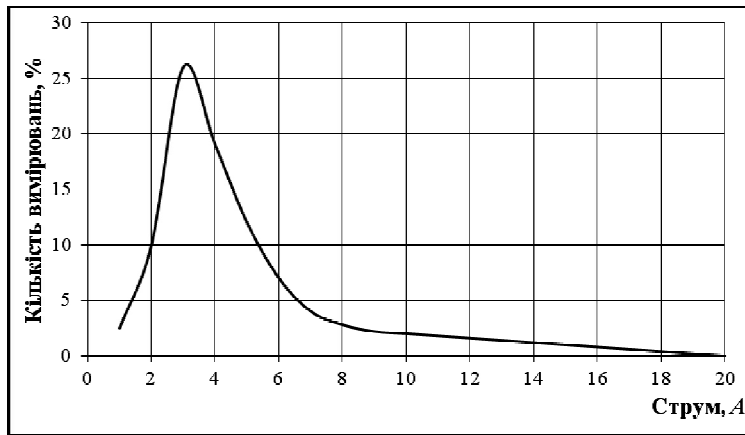


Рис. 3. Розподіл зареєстрованих струмів внутрішніми трубопроводами будівель (всього 2095 вимірювань)

ція залишається під потенціалом, і можливі інші шляхи протікання електричного струму, що може привести до збоїв у роботі або виходу з ладу технологічного обладнання.

Найбільш ефективний метод – повна ревізія силової електричної мережі, її модернізація з унеможливленням протікання струмів витоку.

Таким чином, забезпечення електромагнітної безпеки працюючих з урахуванням наявності струмів витоку набуває ще більшої вагомості і має суттєву економічну складову.

### Висновки

1. Розробленню та впровадженню організаційно-технічних заходів з електромагнітної безпеки працюючих повинні передувати ретельна ревізія системи електроживлення (визначення джерел струмів витоку, якості занулення та заземлення тощо), ліквідація просторових розмежувань фазних та нульових робочих провідників і, за потреби, монтаж контуру вирівнювання потенціалу.

2. Найбільш прийнятною з точки зору електромагнітної безпеки є система організації електроживлення за схемою TN-S.

3. Систему TN-C-S доцільно використовувати за неможливості або складності модернізації силової електромережі будівлі за умови переважного перебування працюючих поблизу ділянок TN-S.

### ЭЛЕКТРОТОКИ УТЕЧКИ КАК ИСТОЧНИКИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НЕНОРМАТИВНЫХ УРОВНЕЙ И МЕТОДЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

В.Г. Здановский, Э.А. Дармофал, Т.М. Перелет

*В статье определены причины возникновения и количественные значения некомпенсированных электроток в производственных условиях, связанных с ними магнитных полей и разработка мер по их нормализации.*

**Ключевые слова:** электроток, нормализация, промышленная безопасность.

### ELECTRICAL CURRENT LEAKS AS SOURCES OF MAGNETIC FIELDS OF NON-STATUTORY AND METHODS OF REDUCTION

V.G. Zdanovskiy, E.A. Darmofal, T.M. Perelet

*The article identifies the causes and the quantitative value of uncompensated electric current in a production environment, the associated magnetic fields, and measures for their normalization.*

**Keywords:** electric current, normalization, industrial safety.

4. Обов'язковим є врахування вимог електромагнітної сумісності технічних засобів та мінімізація опосередкованого негативного впливу електромагнітних полів на працюючих.

5. Найбільш ефективним засобом зниження рівнів магнітних полів, генерованих струмами витоку, є ревізія силової електричної мережі або її модернізація.

### Список літератури

1. Григорьев О.А. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О.В.Григорьев, В.С.Петухов, В.А.Соколов, И.А.Красилов // *Новости электротехники*. – 2003. – № 1. – С.71 – 74.
2. Петухов В.С. Утечки в электроустановках зданий / В.С.Петухов, В.А.Соколов, А.В.Меркулов // *Новости электротехники*. – 2003. - № 5 – С.23 – 27.
3. Саенко Ю.Л. Методы компенсации реактивной мощности в сетях с нелинейными нагрузками / Ю.Л.Саенко, Т.К. Бараненко, Е.В. Бараненко // *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2013. – Вип.26. – С. 204 – 210.
4. Халмурадов Б.Д. Проблемы узгодженості нормативної бази з електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки / Б.Д. Халмурадов, Л.О. Левченко, В.А. Глива, Т.М. Перельот // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2015. – № 4. – С. 103 – 106.
5. Глива В.А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис. ...д-ра техн. наук: 05.26.21; Глива Валентин Анатолійович. –К., 2012. – 320 с.
6. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ: 2006.- [Чинний від 2007-01-01]. - К.: Мінпаливенерго України, 2007. – 416 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
7. IEC 60364 *Electrical installations of buildings (стандарт Міжнародної Електротехнічної Комісії)*.
8. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: Д Сан Пін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-01-04]. – К.: МОЗ України, 2003. – 16 с. – (Державні санітарні норми України).

Надійшла до редколегії 1.03.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.