

УДК 621.317.42

к.т.н. Тихенко О.М.,
okstih@ua.fm, ORCID: 0000-0001-6459-6497,
Національний авіаційний університет, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЇХ НОРМАЛІЗАЦІЇ

Досліджено рівні електромагнітних полів міського транспорту (трамваїв, тролейбусів, метро). Встановлено значні пониження постійної складової, нижчі за допустимий рівень; сильні магнітні коливання поля; наявність «магнітних шумів». Запропоновані методи захисту для зниження рівнів магнітних полів з урахуванням частотних складових магнітного поля.

Ключові слова: фізичне забруднення, магнітні поля, електричний транспорт, екранування.

Вступ. В останні роки як в Україні, так і в усьому світі значна увага приділяється проблемам, пов'язаним із фізичним забрудненням довкілля, зокрема з електромагнітним забрудненням населених місць [1, 2]. Значною мірою це обумовлене розвитком мереж бездротового зв'язку, який використовує надвисокочастотні випромінювання. Тенденцією сьогодення є зростання енергонасиченості будівель і споруд, що крім підвищення електромагнітного фону у місцях постійного перебування людей, збільшує навантаження на силові електричні мережі і призводить до зростання напруженостей магнітних полів на територіях міст.

При цьому майже поза увагою залишається вплив як міського, так і міжміського електричного транспорту на електромагнітний стан довкілля. Екологічність електротранспорту, порівняно з автомобільним, який використовує традиційні палива, не викликає сумнівів. Але наявність розгалуженої контактної мережі великих електричних напруг та струмів, потужного електроприводу на рухомому складі обумовлює появу у оточуючому просторі електричних і магнітних полів високих напруженостей. Це обумовлює необхідність проведення досліджень щодо їх кількісних значень, просторових розподілів та критичності впливу на населення та довкілля в цілому.

Сучасний стан питання. На сьогоднішній день системних досліджень щодо впливу електричного транспорту на електромагнітну обстановку як у середині рухомого складу, так і у населених пунктах в цілому не виконувалося. У поодиноких роботах, виконаних в Україні, розглядається спотворення

геомагнітного поля на міському електричному транспорті. Це пояснюється тим, що переважна більшість міського електротранспорту працює на постійному електричному струмі, тому слід очікувати, що сумарне постійне магнітне поле у рухомому складі та поблизу контактної мережі буде відрізнятися від природного, а міжнародний норматив [3] та аналогічний за вимогами проект національного нормативу забороняють зниження геомагнітного поля більш ніж удвічі, навіть у виробничих умовах. Так, у роботі [4] встановлено, що на платформах підземних станцій метрополітену коефіцієнти послаблення геомагнітного поля складають 2,8–6,2, що значно перевищує допустимі значення. Але прямий зв'язок цього явища саме з електричною тягою метрополітену викликає сумніви. Це ж стосується цього показника у кабінах і салонах тролейбусів чи трамваїв (1,8–6,2) та кабінах і салонах електричних потягів (1,5–3,0) [5]. У цій же роботі наведено зниження рівнів магнітного поля у салонах легкових автомобілів (1,2–4,0), що не можна пов'язати з електромагнітними полями електрообладнання. Очевидним є екранування геомагнітного поля металевими кузовами транспортних засобів та його зниження з глибиною станцій метрополітену. Стаціонарність магнітного поля міського електротранспорту, не дивлячись на використання постійного струму, уявне. Змінні навантаження через прискорення окремих транспортних засобів, непередбачуване електромагнітне оточення викликають пульсації магнітного поля. Наприклад, це показано у роботі [6], хоча і у якісному вигляді без надання кількісних характеристик. Автори наголошують, що суперпозиція полів зовнішніх джерел, повз які рухається транспорт, внутрішніх, пов'язаних з роботою його електромеханічних вузлів, а також модуляції цих полів внаслідок режимів руху викликає пульсації магнітного поля з частотами 2–6 Гц. Такі явища потребують проведення ретельних експериментальних досліджень з метою визначення заходів зі зниження їх впливу на електромагнітну обстановку. У роботі [7] надано результати вимірювань рівнів електромагнітних полів у електричному транспорті, але вони стосуються, в основному, впливу на працюючих, не розглядаючи поширення цих полів.

Загальним недоліком досліджень щодо впливу складових електричного транспорту на електромагнітну обстановку є, здебільшого, констатація наявності проблеми без надання прийнятних рекомендацій щодо її вирішення. Одна з небагатьох прикладних розробок стосується зниження електромагнітного поля контактної мережі змінного струму залізничного транспорту [8].

Певною мірою недостатню увагу до генерації мережею електричного транспорту електромагнітних полів можна пояснити відсутністю її компонентів у переліку джерел електромагнітного впливу у санітарних нормах з планування

та забудови населених пунктів [9]. Забезпечення електромагнітної безпеки не фігурує також у будівельних нормах щодо трамвайних і тролейбусних ліній [10]. Таким чином, доцільним є визначення частотного складу та кількісних значень електромагнітних полів міського електричного транспорту, що дасть можливість визначити шляхи підвищення електромагнітної безпеки населення як у виробничих, так і побутових умовах та зниження цього впливу на довкілля в цілому.

Мета роботи - визначення частотного складу, оцінювання рівнів електромагнітних полів міського електричного транспорту та формування підходів до зниження його впливу на електромагнітну обстановку.

Аналіз досліджень щодо впливу електричного транспорту на електромагнітну обстановку у місцях постійного та тимчасового перебування людей свідчить, що виконання таких робіт пов'язане зі значними труднощами метрологічного характеру. Як зазначалося, практично увесь громадський транспорт використовує системи електроживлення постійного електричного струму, тому натурного вимірюванню підлягають постійні магнітні поля. Для цього найбільш прийнятним є трикомпонентний малогабаритний магнітометр МТМ-01, призначений для вимірювань рівнів стаціонарних магнітних полів. Він надає змогу з прийнятною точністю вимірювати як інтегральну індукцію магнітного поля B , так і її просторові компоненти (B_x , B_y , B_z). Останнє дуже важливе з огляду на необхідність врахування впливу на вимірювання геомагнітного поля, сумарна індукція якого на широті Києва, складає 45-50 мкТл.

Як зазначалося, використання постійного струму у силових мережах міського електричного транспорту не означає генерування ним магнітного поля нульової частоти. Незначні відхилення обумовлені змінністю навантаження, пересуванням рухомого складу, тощо. У таких умовах доцільно використовувати методика і обладнання, яке дозволяє з необхідною точністю вимірювати магнітні поля наднизькочастотної області. [11, 12]. Перевагою його використання є лінійна залежність чутливості модуляційного датчика від частоти магнітного поля у наднизькочастотної області спектра та можливість використання обладнання у польових умовах. Останнє забезпечується прямим підключенням датчика до лінійного входу портативного комп'ютера, який має чутливість порядок якої відповідає значенню 10-15 мкВ і не потребує застосування аналого-цифрового перетворювача (відцифровка здійснюється безпосередньо у звуковій карті комп'ютера). Для оброблення отриманих сигналів використовується програма аналізу частотного спектра Spectrogram. Ця програма оперує логарифмічними одиницями, тому перерахунок відносних одиниць (дБ) у індукцію магнітного поля здійснювалося за методикою,

описаною у [13]. Результати вимірювань спектра магнітного поля поблизу прямолінійної ділянки трамвайної лінії наведено на рис.1.

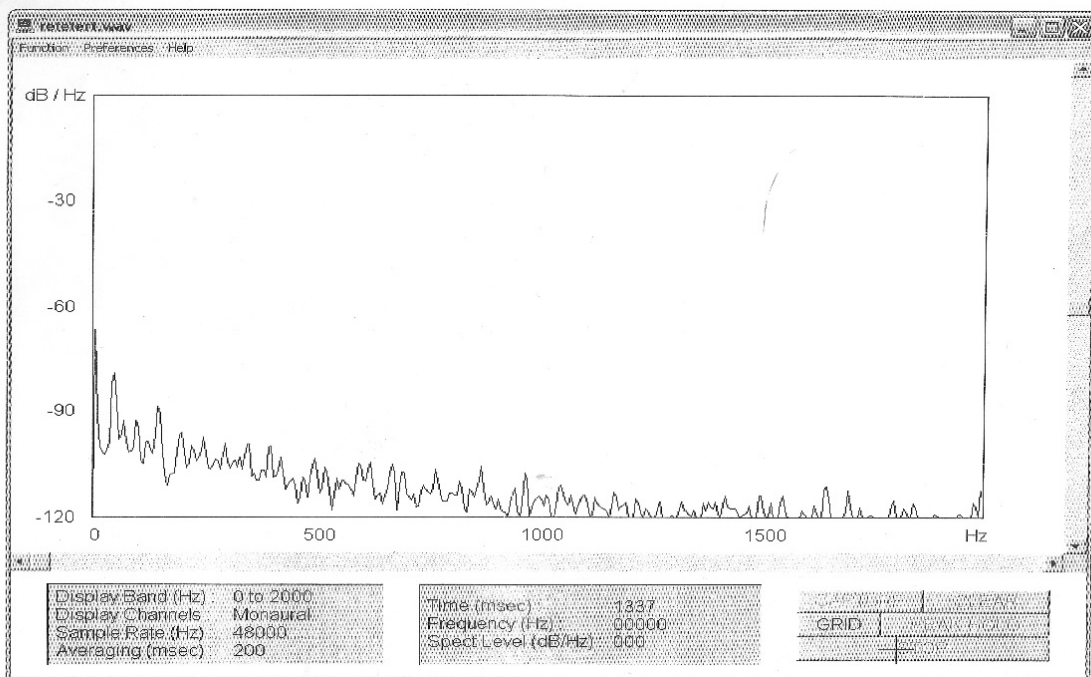


Рис.1. Спектр магнітного поля трамвайної лінії (відстань - 25 м)

Місце вимірювань обране таким чином, щоб мінімізувати інші магнітні впливи, крім силової мережі трамваю.

Отриманий результат, навіть за якісного розгляду (без визначення кількісних значень) свідчить про складність спектра магнітного поля, генерованого даним типом електричного транспорту. При цьому найбільше значення має майже стаціонарна складова магнітного поля (у даному випадку вона складає 110 мкТл). Наведений спектр надає миттєві значення магнітних полів різних частот. У реальних умовах він дуже змінний. Найкраще це унаочнюється вимірюваннями стаціонарної складової магнітного поля у середині рухомого складу. Результати вимірювань представлені у табл. 1.

Отримані дані свідчать про значні коливання магнітного поля. Виявлено, що його значення у багатьох випадках як нижчі мінімально допустимого (25 мкТл), так і значно вищі за природне значення геомагнітного поля (50 мкТл). Можна допустити, що найбільш несприятливим фактом є інверсія (зміна спрямованості) складових сумарного магнітного поля. Встановлено, що вертикальна складова поля (B_z), майже не змінюється, складова, яка збігається з напрямком руху (B_x) змінюється незначним чином, а складова, перпендикулярна напрямку руху (B_y), не тільки змінюється за модулем, а і змінює напрямок на протилежний. При цьому швидкість змін майже неможливо реєструвати у ручному режимі.

Таблиця 1

Рівні магнітних полів у рухомому складі міського електричного транспорту

Тип транспорту	Індукція магнітного поля B , мкТл			Примітка
	Зупинка	Рух	Розгін / Гальмування	
Трамвай	17-23	20-35	130-175	Інверсія поля
Тролейбус	20-30	20-30	20-30	Інверсія поля
Метрополітен (підземна ділянка)	30-60	90-100	100-180	Інверсія поля при розгоні і гальмуванні
Метрополітен (відкрита ділянка)	70-90	100-120	130-250	Інверсія поля при розгоні і гальмуванні

Аналіз отриманих результатів дозволяє дійти попереднього висновку, що інверсія напрямку магнітного поля у наземному електротранспорті обумовлена наявністю масивного феромагнітного оточення, як наземного (інші транспортні засоби, електроопори), так і підземного - підземні інженерні мережі. Це підтверджується хаотичністю цих змін та впливає із загальних фізичних міркувань.

Для підземного транспорту прерогативою є зміна навантаження на електричний привод рухомого складу і має певні закономірності. Отримання більш детальних даних, які б дозволили принаймні окреслити вміст заходів з нормалізації електромагнітної обстановки у таких умовах, потребує розроблення способу неперервної реєстрації як рівнів магнітних полів, так і їх спектральних складів.

Очевидним є, що крім основної складової – стаціонарного (квазістаціонарного) магнітного поля електротранспорт генерує магнітні поля невисоких рівнів, але досить широкого спектра – своєрідний «електромагнітний шум», який інтегрально має екологічно та гігієнічно значущі рівні. Унеможливити його генерацію принципово неможливо, тому локалізацію зони його впливу слід реалізовувати за рахунок розосереджених екранувальних систем.

Зниження, принаймні до прийнятного рівня, коливань магнітного поля (в тому числі і знакозмінних) слід шукати, у використанні магнітом'яких поверхонь великих площ з великою інертністю перемагнічування. Але це потребує виконання ретельних лабораторних досліджень та випробувань у реальних умовах експлуатації міського електричного транспорту. У багатьох

дослідженнях, зокрема [7], наведено дані щодо рівнів магнітних полів у електричному транспорті у деяких країнах Західної Європи. Вони свідчать, що аналогічні проблеми, хоча і меншою мірою, притаманні громадському транспорту і у цих країнах. Враховуючи рішення про поступовий перехід України до загальноєвропейських норм електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів [14], виконання цих робіт повинне спиратися на нормативну базу Євросоюзу з електромагнітної безпеки.

Висновки

1. Міський електричний транспорт є джерелом електромагнітних полів широкого частотного спектра гігієнічно та екологічно значущих рівнів.
2. Крім наднормативних значень стаціонарних магнітних полів (як нижче мінімально допустимих, так і вище максимальних) міський електротранспорт характеризується швидко змінюваними напрямками магнітного поля у рухомому складі.
3. Рухомий склад та лінії контактної мережі є джерелами «електромагнітного шуму» з великими відстанями впливу на людей і довкілля.
4. Перспективним засобом зниження рівнів магнітних полів у рухомому складі та з боку контактної мережі є екранувальні конструкції, як локального, так і розсердженого типу.
5. Розроблення та впровадження організаційно технічних заходів зі зниження електромагнітного впливу на людей і довкілля повинне спиратися на загальноєвропейські нормативи з електромагнітної безпеки та електромагнітної екології.

Література

1. Гігієнічна характеристика стану електромагнітного забруднення міст України / В.Ю. Думанський, С.В. Біткін, Ю.Д. Думанський та ін. // Гігієна населених місць – 2012. – Вип. 59. – С. 160–169.
2. Banfi S. Using a choice experiment to estimate the benefits of a reduction of externalities in urban areas with special focus on electrosmog / S. Banfi, M. Filippini, A. Horehajova // Applied Economics, Taylor and Francis Journals. – 2012. – Vol. 44 (3). – P. 387–397.
3. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2008 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie + Ökologie IBN, 2008. – 5p.
4. Назаренко В.І. Гігієнічна оцінка рівнів геомагнітного поля на наземних і підземних об'єктах м. Києва / В.І. Назаренко, О.І. Никифорок // Гігієна населених місць. – 2013. – Вип. 61. – С. 218–222.

5. Никифорок О.І. До питання дії ослабленого геомагнітного поля на транспортних засобах / О.І. Никифорок, Л.О. Левченко // Гігієна населених місць. – 2014. – Вип. 63. – С. 168–172.
6. Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленной частоты / А.Г. Колесник, С.А. Колесник, А.С. Бородин и др. // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – №4. – С.161–164.
7. Птицына Н.Г. Электромагнитная безопасность электротранспортных систем: основные источники и параметры магнитных полей / Н.Г. Прицына, Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. – 2013. №2. – С.65–71.
8. Патент 2309506 Россия, МПК H02G7/22. Устройство заземления экранирующего магнитное поле контактной сети переменного тока / Кузнецов К.В., Ширщов А.Б.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей сообщения; заявл. 22.03.06; опубл. 27.10.07, Бюл. № 20.
9. Державні санітарні правила планування забудови населення пунктів. – К. – 2002. Державне підприємство «Укрархбудінформ». – 59 с. (Затверджено Наказом Міністерства Охорони Здоров'я України від 19 червня 1996р. № 173).
10. Трамвайные и троллейбусные линии: СНиП2.05.09-90. – [Чинний від 01.01.91]. – 17с. (Державні будівельні норми України).
11. Патент 58604 Україна, МПК G01L9/00. Пристрій контролю захисних властивостей електромагнітних екранів / Глива В.А., Левченко Л.О., Панова О.В., Азнаурян І.О., Подобєд І.М. – заявн. і патентоотримувачі; заяв. 15.03.2011; опубл. 11.04.2011, Бюл. №7.
12. Патент 97546 Україна, МПК G01L9/00 Пристрій контролю гармонічного складу електричного струму промислової частоти / Глива В.А., Здановський В.Г., Перельот Т.М. – заявники і патентоотримувачі; завл. 18.11.14; опубл. 25.03.15, Бюл. №6.
13. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд.техн.наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна – К., 2014. – 151 с.
14. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).

к.т.н. Тихенко О. Н.
Национальный авиационный университет, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА И ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ ИХ НОРМАЛИЗАЦИИ

Исследованы уровни электромагнитных полей транспорта (трамваев, троллейбусов, метро). Установлены значительные понижения постоянной составляющей, ниже допустимого уровня; сильные магнитные колебания поля; наличие «магнитных шумов». Предложены методы защиты для снижения уровней магнитных полей с учетом частотных составляющих магнитного поля.

Ключевые слова: физическое загрязнение, магнитные поля, электрический транспорт, экранирование.

PhD, Tykhenko O.
National Aviation University, Kyiv

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF MILITARY ELECTRICAL TRANSPORT AND THE REASONING OF THEIR METHODS OF NORMALIZATION

The levels of electromagnetic fields of urban transport (trams, trolleybuses, metro) are investigated. Significant decreases of the constant component are found, lower than the permissible level; strong magnetic field fluctuations; the presence of "magnetic noise". Proposed methods of protection for reducing the levels of magnetic fields, taking into account the frequency components of the magnetic field.

Key words: physical pollution, magnetic fields, electric transport, shielding.