

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.03.063>

УДК 550.380:577.3

М.І. Орлюк, А.О. Роменець, І.М. Орлюк

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ

E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua, orliuk@ukr.net, romenets@ukr.net

Магнітні поля Київського метрополітену: екологічний аспект

Представлено академіком НАН України В.І. Старостенком

Магнітне поле є одним із значущих екологічних факторів довкілля. У межах мегаполісів рівень техногенного магнітного поля часто перевищує допустимі норми. У цій публікації викладено результати досліджень змінного магнітного поля техногенного походження в Київському метрополітені. Вперше експериментально досліджено техногенну складову магнітного поля в частотному діапазоні 10^{-3} – 10 Гц під час руху електропоїздів, з широким діапазоном вимірюваних величин магнітної індукції. Показано, що джерела техногенних варіацій величиною в десятки і сотні мікротесл обумовлені змінними полями, які виникають під час роботи електродвигунів. Ритміка аномальних значень залежить від робочого режиму та конструкції метрополітену. Виявлені періоди пікових значень магнітного поля відповідають періодам регулярних пульсацій геомагнітного поля Pс1–Pс5, які знаходяться в межах 0,2–5...150–600 с. Згідно з екологічною нормою виявлені варіації за періодами належать до гармонійних, а за інтенсивністю на кілька порядків перевищують варіації природного походження.

Ключові слова: *техногенне магнітне поле, метрополітен, екологія.*

Численними дослідженнями [1–6] доведено, що природне геомагнітне поле і його варіації є екологічно значущими факторами довкілля щодо нормального перебігу біосферних процесів, а також функціонування всього ієрархічного ряду біосистем і організмів. Під впливом геомагнітного поля і його варіацій сформована ритміка електрохімічних процесів в організмах, їх робота в цілому, а також окремих органів. Залежно від ступеня перевищення екологічних норм магнітного поля в різних діапазонах частот [7] та часу перебування в такому полі спостерігаються відхилення у функціонуванні імунної, нервової і серцево-судинної систем (зміна норми в 2–10 разів), порушення ембріогенезу, резистентність бактерій до антибіотиків, виникнення злоякісних новоутворень, загальне ослаблення організму (в 100 разів) тощо; суттєві відхилення у діяльності організмів до 1000 разів відмічаються у випадку перебування під впливом магнітного поля високої інтенсивності протягом 10 діб.

Цитування: Орлюк М.І., Роменець А.О., Орлюк І.М. Магнітні поля Київського метрополітену: екологічний аспект. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 3. С. 63–70. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.03.063>

ISSN 1025-6415. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 3: 63–70



Рис. 1. Схема ліній Київського метрополітену

На сьогодні встановлено значні просторово-часові зміни магнітного поля природного і техногенного характеру, що потребує їх детального опису. Зауважимо, що в межах мегаполісів геомагнітне поле істотно спотворюється техногенною складовою від різних електричних і магнітних джерел [8–12]. Найбільш інтенсивні зміни як фонових значень індукції магнітного поля, так і його різночастотних варіацій приурочені до метрополітену.

У даному повідомленні викладено результати досліджень змінного магнітного поля на трьох лініях Київського метрополітену, зареєстрованого як у вагоні на всьому протязі руху електричного потяга, так і на платформах під час його приїзду та від'їзду.

Методика дослідження. Магнітні поля визначали за допомогою магнітометра МТК Ver:3, який працює у смартфоні BW6000 на базі ОС Android. Значення північної (B_x), східної (B_y), вертикальної (B_z) компонент магнітного поля та модуля індукції (B) були отримані з використанням програмного забезпечення SensorKineticsPro та MetalSniffer, що дає можливість надалі опрацьовувати масиви даних у програмах Surfer, Excel та ін. Роботу магнітометра було перевірено шляхом зіставлення з вимірами компонент магнітного поля магнітоваріаційної станції LEMI–008 на геомагнітній обсерваторії "Київ".

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що точність визначення B_x -, B_y -, B_z -компонент поля, а також розрахованого на їх підставі модуля індукції B становить перші одиниці мікротесл, що для умов мегаполісів можна вважати задовільним. Головною відмінністю цих вимірів від отриманих раніше є те, що вони виконані з частотою 10–100 Гц під час руху, що розширює діапазон робочої можливості магнітометрів. Іншим аспектом є більш широкий діапазон величин індукції магнітного поля, які можна заміряти (від –500 до 500 мкТл).

Згідно з нашими попередніми дослідженнями, інтенсивність магнітного поля найвища в метрополітені [13]. При цьому постійні магнітні поля зумовлюються особливостями будови тунелів і станцій метрополітенів, а також рухомого складу і змінюються в межах 10–20...30–50 мкТл. Показано [10], що для більшості платформ Київського метрополітену (рис. 1) статичні магнітні аномалії знаходяться в межах екологічної норми (понад 30–35 мкТл). Але на ряді платформ (Осокорки, Арсенальна, Дорогожичі) значення магнітного поля становлять 30–10 мкТл, що нижче допустимих норм.

У даній публікації викладено результати досліджень змінної частини магнітного поля, яка зумовлюється електричними двигунами постійного струму (по чотири в кожному вагоні: два – ближче до відносного початку вагона і два – у кінці вагона) та зміною їх робочої потужності. При цьому магнітні збурення залежать, насамперед, від робочої потужності електродвигунів, яка, у свою чергу, визначається прискоренням електропотяга. Прискорення електропотяга, що визначає необхідну потужність двигунів (силу струму), зумовлюється, крім особливостей будови потяга та колії, також кількістю пасажирів, яка істотно змінюється в різні години доби, і манерою керування потягом.

Результати дослідження. Згідно із синхронними замірами величини індукції магнітного поля в межах одного вагона, його значення змінюються залежно від місця розташування спостерігача і знаходяться в межах від 20–40 мкТл у центрі вагона до 60–100 мкТл – у районі електродвигунів. Графіки безперервного запису (у центрі вагона) модуля індукції магнітного поля на трьох лініях Київського метрополітену наведено на рис. 2.

Як свідчать одержані дані (рис. 2), значення магнітного поля змінюються в межах 20–500 мкТл. Більш контрастні величини виявлено для Святошинсько-Броварської та Оболонсько-Теремківської ліній метрополітену порівняно із Сирецько-Печерською. Зазвичай для кожної станції спостерігається “двогорба” крива, максимуми якої відображають час приїзду потяга на станцію і від’їзду від неї. У ряді випадків більшими значеннями магнітного поля характеризуються вузлові станції, тобто місця перетину ліній метрополітену (Хрещатик, Майдан Незалежності, Палац спорту) або наземних транспортних ліній та їх розв’язок (Шулявська, Лівобережна, Контрактова площа, Почайна, Лук’янівська, Видубичі). Зауважимо, що менші значення магнітного поля реєструються під час зупинки електропотяга (80–200 мкТл) порівняно з тими, що спостерігаються на початку його від’їзду від платформи (200–500 мкТл). Зокрема, інтенсивність магнітного поля на початку руху потяга від платформи “Житомирська” сягає піка 360 мкТл і становить 148 мкТл під час зупинки на станції “Святошин”; на відрізку між станціями “Політехнічний інститут” і “Вокзальна” відповідні значення становлять 300 і 130 мкТл і т. д. У проміжку між станціями також спостерігаються окремі збурення магнітного поля (до 100 мкТл і більше на фоні 40–60 мкТл). Величини магнітних збурень, які фіксуються на станціях метрополітену по-

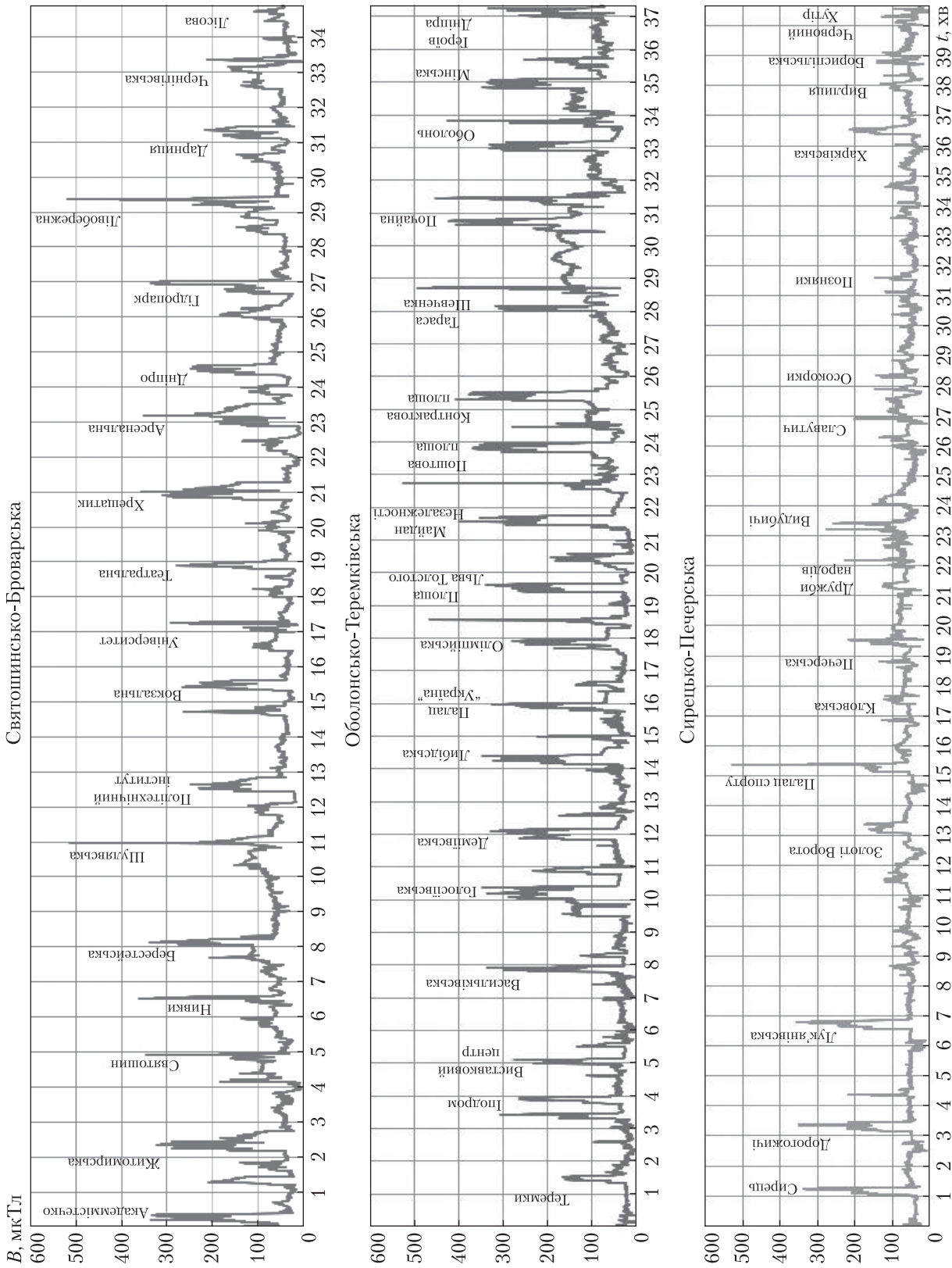


Рис. 2. Індукція магнітного поля на Святошинсько-Броварській, Оболонсько-Теремківській та Сирецько-Печерській лініях метрополітену

близу проїзду електропоїзда, також знаходяться в межах перших сотень мікротесл. Магнітні збурення складної форми і тривалості відбуваються під час прибуття на платформу двох поїздів одночасно або з невеликим зміщенням у часі.

Пікові значення індукції магнітного поля під час прибуття та відправлення зі станції метрополітену спостерігаються в межах 1–10 с, а інтервали часу між ними визначаються часом стоянки поїзда на платформі (10–30 с). Інтервал часу з фоновими значеннями магнітного поля визначається відстанню між станціями метрополітену та швидкістю електропоїзда і становить зазвичай 120–240 с.

Крім модульних значень магнітного поля у вагоні електропотяга було проаналізовано також величини його горизонтальної та вертикальної компонент. Не зупиняючись детально на їх значних змінах, які відбуваються, звичайно, у ті ж часові інтервали, що і зміни їх модульних величин, відзначимо цікаву деталь, а саме: правосторонній поворот магнітної стрілки на 360° у випадку інтенсивних збурень магнітного поля під час відправлення електропоїзда зі станції.

Обговорення результатів. Насамперед зауважимо, що зареєстровані нами під час руху величини індукції магнітного поля мають суперпозиційний характер і зумовлені як постійними полями від конструктивних особливостей вагонів, платформ і тунелів, так і змінними полями, в основному від електродвигунів. Але одержані результати, а також дані аналогічних теоретичних і експериментальних досліджень [12, 14, 15] свідчать про те, що максимальні зміни магнітного поля пов'язані зі змінними полями. Згідно з аналізом отриманих результатів, збурення магнітного поля під час прибуття і відправлення потяга зі станції залежить від багатьох факторів, зокрема від завантаженості вагонів, прискорення, манери керування машиніста тощо. Але існують і закономірні зміни магнітного поля, які зумовлені насамперед зміною сили струму двигунів під час наближення до станції та зупинки потяга, а також прискоренням на початку його відправлення зі станції.

Виокремимо геомагнітний та екологічний аспекти отриманих результатів. Стосовно першого, то звичайно, що виявлені електромагнітні поля будуть істотними завадами під час магнітних та електромагнітних досліджень на значній відстані від ліній метрополітену (грунтовно це питання розглядалося в [15]). Надзвичайно цікавим та актуальним є питання можливого впливу на людину виявлених збурень магнітного поля з періодами 1–10 с, 10–30 с, 120–240 с. Зважаючи на інтенсивність збурень магнітного поля, вони на 1–2 порядки переважають варіації природного походження, але за періодами відповідають регулярним пульсаціям геомагнітного поля ($Pc1 = 0,3\div 5$ с; $Pc2 = 5\div 10$ с; $Pc3 = 10\div 45$ с; $Pc4 = 45\div 180$ с; $Pc5 = 150\div 600$ с). У роботі [1] ці коливання прийнято як гармонійні для людини, під впливом яких сформувалася ритміка перебігу ряду електрохімічних процесів і функціонування окремих органів, зокрема це стосується центральної нервової системи, серця, кровообігу та артеріального тиску. Отже, за періодами ці коливання є гармонійними для людини, але за інтенсивністю вони явно дисгармонійні, що може впливати на магніточутливих людей. Звичайно, питання впливу виявлених збурень магнітного поля потребує подальшого вивчення, оскільки метро користується надзвичайно велика кількість людей щодня. Для повноцінного вирішення цього завдання необхідним є експериментальне вивчення відповідних показників функціонування організму та окремих процесів і органів людини під час перебування в метрополітені, але навряд чи це є можливим у даний час.

Висновки. Вперше для Київського метрополітену виконано експериментальні заміри модуля індукції магнітного поля (B) у вагоні електропоїзда під час його руху. Встановлено: найбільші зміни магнітного поля зумовлені змінними полями електродвигунів, які розташовані на початку та в кінці кожного вагона;

для кожної станції метрополітену характерною є “двогорба” крива зміни індукції магнітного поля (B): пікові значення протягом 1–10 с становлять 80–200 мкТл під час прибуття електропотяга на станцію і 200–500 мкТл під час відправлення;

інтервал між піковими значеннями магнітного поля визначається часом стоянки потяга на станції і знаходиться в інтервалі 10–30 с;

фонові значення магнітного поля 20–50 нТл спостерігаються між станціями метрополітену, їх період визначається відстанню між станціями та швидкістю потяга і становить зазвичай 120–240 с;

періоди пікових значень магнітного поля відповідають періодам регулярних пульсацій геомагнітного поля $Pc1$ – $Pc5$, які знаходяться в межах 0,2–5...150–600 с.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Орлюк М.І. Геофізична екологія — основні задачі та шляхи їх розв'язку. *Геофиз. журн.* 2001. **23**, № 1. С. 49–59.
2. Павлович Н.В., Павлович С.А., Галлиулин Ю.И. Биоманнитные ритмы. Минск: Университетское, 1991. 136 с.
3. Походзей Л.В. Гипогеомагнитные условия как неблагоприятный фактор производственной среды: дис. ... д-ра мед. наук. / ГУ НИИ медицины труда РАМН. Москва, 2004. 198с.
4. Сердюк А.М., Григор'єв П.Є., Акіменко В.Я., Протас С.В. Екологічна значущість геомагнітного поля та медично-біологічні передумови гігієнічної регламентації його ослаблення в умовах України. *Довкілля і здоров'я*. 2010. № 3. С. 9–15.
5. Серпов В.Ю. Влияние естественных магнитных полей на безопасность жизнедеятельности человека в зонах геофизических аномалий Европейской части России: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. / ГОУ ВПО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ”. Санкт-Петербург, 2007. 34 с.
6. Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. Москва: Наука, 1966. 282 с.
7. Standard-2015 Randbedingungen: SBM-2015. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit. IBN. 18 p. URL: <https://www.baubiologie.de> (Дата звернення 19.01.2020).
8. Орлюк М.І., Роменець А.А., Орлюк І.М. Низкочастотный техногенный магнитный шум в г. Киев. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2014. № 3. С. 110–114. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.03.110>
9. Орлюк М.І., Роменець А.О. Магнітне екологічне поле мегаполісу (на прикладі м. Києва). *Екологія і природокористування*. 2004. Вип. 7. С. 142–147.
10. Розов В.Ю., Пелевин Д.Е., Левина С.В. Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях. *Электротехника і електромеханіка*. 2013. № 6. С. 72–76.
11. Тягунов Д.С. Техногенное электромагнитное поле как экологический фактор. *Екологія урбанізованих територій*. 2011. № 2. С. 45–50.
12. Henzl C., Kačor J., Paleček J. Investigation of magnetic field in the subway station. *Adv. Electr. Electron. Eng.* 2006. **5**, № 1–2. P. 254–257.
13. Orlyuk M., Romenets A., Orliuk I. Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field. *Геофиз. журн.* 2016. **38**, № 1. С. 78–86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107727>
14. Navas M., Shum S., Dhalla R. Passenger exposure to magnetic field on go-trains and on buses, streetcars, and subways run by the Toronto transit commission, Toronto, Canada. *Biological effects of electromagnetic fields: Proceedings of the 3rd International Workshop* (Kos, Greece, 4–8 Oct., 2004). P. 1065–1071.

15. Lowes F.J. DC railways and the magnetic fields they produce – the geomagnetic context. *Earth, Planets Sp.* 2009. **61**. P. i– xv. <https://doi.org/10.1186/BF03352944>

Надійшло до редакції 21.01.2020

REFERENCES

1. Orlyuk, M. I. (2001). Geophysical ecology – main tasks and ways of their solution. *Geophys. J.*, 23, No.1, pp. 49-59 (in Ukrainian).
2. Pavlovich, N. V., Pavlovich, S. A. & Gallilulin, U. I. (1991). *Biomagnetic rhythms*. Minsk: Univesitetskoe (in Russian).
3. Pohodzey, L. V. (2004). Hypogeomagnetic conditions as unfavorable factor of production environment (Doctor thesis). Research Institute of Occupational Medicine RAMS, Moscow, Russia (in Russian).
4. Serdyuk, A. M., Grigor'ev, P. E., Akimenko, V. Ya. & Protas, S. V. (2010). Ecological value of the geomagnetic field, medical and biological preconditions for hygienic regulation of its attenuation in Ukraine conditions. *Environment and Health*, No. 3, pp. 9-15 (in Ukrainian).
5. Serpov, V. Yu. (2007). Influence of natural magnetic fields on human life safety in zones of geophysical anomalies of the European part of Russia. (Extended abstract of Doctor thesis). State educational institution of higher professional education Military Medical Academy S.M. Kirova, St. Petersburg, Russia (in Russian).
6. Kholodov, Yu. A. (1966). The influence of electromagnetic and magnetic fields on the central nervous system. Moscow: Nauka (in Russian).
7. Standard-2015 Randbedingungen: SBM-2015. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit. IBN. Retrieved from <https://www.baubiologie.de>
8. Orlyuk, M. I., Romenets, A. A. & Orliuk, I. M. (2014). Technical low-frequency magnetic noise in Kiev. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 3, pp. 110-114 (in Russian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.03.110>
9. Orlyuk, M. I. & Romenets, A. O. (2004). Magnetic ecological field of megalopolis (on an example of Kyiv). *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia*, Iss. 7, pp. 142-147 (in Ukrainian).
10. Rozov, V. Yu., Pelevin, D. Ye. & Levina, S. V. (2013). Experimental research into indoor static geomagnetic field weakening phenomenon. *Elektrotehnika i Elektromehanika*, No. 6, pp. 72-76 (in Russian).
11. Tyahunov, D. S. (2011). Technogenic electromagnetic field as an environmental factor. *Ecology of Urban Areas*, No. 2, pp. 45-50 (in Russian).
12. Henzl, C., Kačor, J. & Paleček, J. (2006). Investigation of magnetic field in the subway station. *Adv. Electr. Electron. Eng.*, 5, No. 1-2, pp. 254-257.
13. Orlyuk, M., Romenets, A. & Orliuk, I. (2016). Natural and technogenic components of megalopolis magnetic field. *Geophys. J.*, 38, No. 1, pp. 78-86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107727>
14. Havas, M., Shum, S. & Dhalla, R. (2004, October). Passenger exposure to magnetic field on go-trains and on buses, streetcars, and subways run by the Toronto transit commission, Toronto, Canada. Proceedings of the 3rd International Workshop Biological effects of electromagnetic fields (pp. 1065-1071), Kos, Greece.
15. Lowes, F. J. (2009). DC railways and the magnetic fields they produce – the geomagnetic context. *Earth, Planets Sp.*, 61, pp. i-xv. <https://doi.org/10.1186/BF03352944>

Received 21.01.2020

М.І. Орлюк, А.А. Роменец, І.М. Орлюк

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua, orliuk@ukr.net, romenets@ukr.net

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Магнитное поле является одним из значимых экологических факторов окружающей среды. В пределах мегаполисов уровень техногенного магнитного поля часто превышает допустимые нормы. В данной публикации изложены результаты исследований переменного магнитного поля техногенного происхождения в Киевском метрополитене. Впервые экспериментально исследована техногенная составляющая магнитного поля в частотном диапазоне 10^{-3} –10 Гц во время движения электропоезда, с широким диапазоном измеряемых величин магнитной индукции. Показано, что источники техногенных вариаций ве-

личной в десятки и сотни микротесл обусловлены переменными полями, возникающими при работе электродвигателей. Ритмика аномальных значений определяется рабочим режимом и конструкцией метрополитена. Выявленные периоды пиковых значений магнитного поля соответствуют периодам регулярных пульсаций геомагнитного поля Pc1–Pc5, которые находятся в пределах 0,2–5...150–600 с. В соответствии с экологической нормой обнаруженные вариации по периодам относятся к гармоничным, а по интенсивности на несколько порядков превышают вариации естественного происхождения.

Ключевые слова: *техногенное магнитное поле, метрополитен, экология.*

M.I. Orlyuk, A.O. Romenets, I.M. Orliuk

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: orlyuk@igph.kiev.ua, orliuk@ukr.net, romenets@ukr.net

MAGNETIC FIELDS OF THE KYIV UNDERGROUND: ECOLOGICAL ASPECT

The magnetic field is one of the significant environmental factors. Within megalopolises, technogenic magnetic fields often exceed permissible norms. This publication presents the results of studies of an alternating magnetic field of the technogenic origin in the Kyiv underground railway. For the first time, the technogenic component of the magnetic field was experimentally investigated in the frequency range of 10^{-3} –10 Hz, during the movement of an electric train, with a wide range of measured values of the magnetic induction. It is shown that the sources of technogenic variations of tens and hundreds of microtesla are caused by changing fields, when electric motors are operating. The rhythm of abnormal values is determined by the mode of functioning and design of the underground. The revealed periods of peak values of the magnetic field correspond to the periods of regular pulsations of the geomagnetic field Pc1–Pc5, which are in the range 0.2–5...150–600 s. In accordance with the environmental norm, the exposed variations are harmonious by periods, and they exceed the variations of natural origin by several orders of magnitude by the intensity.

Keywords: *technogenic magnetic field, underground railway, ecology.*