

УДК 538.69:331.45

**Запорожець Олександр Іванович**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності  
Національний авіаційний університет, Київ

**Клапченко Василь Іванович**

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри фізики  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Левченко Лариса Олексіївна**

Кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

**Панова Олена Василівна**

Асистент кафедри фізики  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН  
ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ У БУДІВЛЯХ ТА СПОРУДАХ**

*Анотація.* Досліджено зниження рівня геомагнітного поля у будівлях. Виявлено, що ослаблення геомагнітного поля залежить від загальної маси та просторового розташування феромагнітних елементів конструкцій. Для цілей прогнозування аномалій геомагнітного поля у будівлях на стадії проектування та будівництва доцільне використання моделювання просторових розподілів магнітних полів у приміщеннях.

*Ключові слова:* геомагнітне поле; напруженість; індукція; коефіцієнт ослаблення; моделювання; екранування; ослаблення

**Вступ**

Дослідження останніх років у галузі електромагнітної безпеки присвячені, в основному, зменшенню впливу на працівників електромагнітних полів та випромінювань антропогенного походження, тобто полів та випромінювань, генерованих електричним та електронним обладнанням. Значною мірою це пояснюється наявністю надійних експериментальних даних, які свідчать про негативні зміни в організмі людини під впливом цього фізичного фактора. Однак, змінам впливу природного геомагнітного поля на людей уваги не приділялося. Останнім часом проведено низку досліджень, які свідчать про несприятливі зміни здоров'я людей, які постійно перебувають в умовах зниженого (гіпогеомагнітного) поля [1; 2]. Наслідком цього було розроблення і введення в дію міжнародного нормативу з допустимих знижень геомагнітного поля у виробничих та побутових умовах [3]. Системних досліджень щодо рівнів геомагнітних полів у існуючих будівлях і спорудах в Україні не проводилось. Вимоги щодо мінімізації

спотворень геомагнітного поля у Державних будівельних нормах України відсутні.

Виходячи з цього, актуальною є задача дослідження гіпогеомагнітних полів у введених в експлуатацію будівлях і спорудах та розроблення пропозицій щодо неможливості критичних спотворень геомагнітного поля у будівлях на стадії їх проектування.

Останнє можливе як за рахунок експериментальних досліджень, так і за рахунок моделювання спотворень геомагнітного поля металевими (феромагнітними) конструктивними елементами будівель.

**Сучасний стан питання**

Останнім часом проведено низку досліджень, в яких на основі експериментальних даних отримані аналітичні моделі просторового розподілу рівнів геомагнітного поля у будівлях [4–6]. У роботі [4] побудовано ізолінії рівнів геомагнітного поля у виробничих приміщеннях, які не пояснюють причин спотворень поля у тій чи іншій точці простору і не надають рекомендацій щодо шляхів нормалізації рівнів геомагнітного поля. У роботі [5]

запропоновано моделювання розподілу модуля вектора індукції магнітного поля поблизу вертикальної феромагнітної колони та горизонтальної балки, які мають циліндричну форму і однакові розміри, а також перебувають у природному геомагнітному полі. В обох випадках вісі балок збіглися з напрямком магнітного меридіану.

Таке моделювання дуже далеко від реальних умов експлуатації будівель і не враховує геометричні параметри феромагнітної конструкції (крім її циліндричності). Крім того, у реальних конструкціях циліндричні колони та горизонтальні балки майже не використовуються. Якщо за такі елементи вважати звичайну арматуру, то розрахунок змін поля відносно одного арматурного елемента немає сенсу через його незначний магнітний вплив. Більш ґрунтовне моделювання просторових змін геомагнітного поля поблизу колон розглядається у роботі [7]. Зокрема, враховується довжина колони і вводяться коефіцієнти ослаблення геомагнітного поля та гіпогеомагнітності.

У той же час у цій роботі моделюється розподіл поля навколо одного конструктивного елемента. Тобто, розглядається окремий випадок і не враховується електромагнітне середовище у приміщенні в цілому в залежності від точки її визначення поля.

### Мета роботи

Для більшої достовірності моделювання змін геомагнітного поля у будівлях і спорудах доцільне використання як аналітичних залежностей змін поля за наявності феромагнітних конструкцій, так і експериментальних даних. Останнє використовується у якості граничних умов, що дозволяє отримати абсолютні кількісні дані з найменшою похибкою. При цьому бажаним є максимальне спрощення математичного апарату при формуванні практичних рекомендацій. Тому задачею роботи було проведення натурних досліджень та перевірка їх результатів на узгодженість з результатами розрахунків ідеалізованих модельних конструкцій з відтворення повної картини геомагнітного поля у приміщеннях різного призначення.

### Виклад основного матеріалу

Напрямок індукovanого магнітного поля Землі, як видно з рис. 1, показує, що вертикальні феромагнітні конструктивні елементи будівельних споруд мають найбільший вплив на вертикальну складову магнітного поля [7].

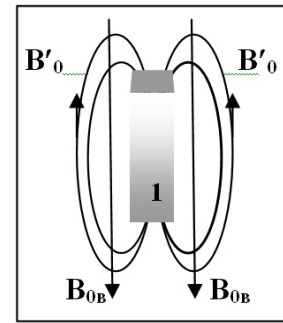


Рисунок 1 – Напрямок індукovanого магнітного поля Землі:

1 – феромагнітна конструкція вертикальної орієнтації;  
 $B_{0v}$  – вертикальна складова геомагнітного поля;  
 $B'_0$  – індукванне поле феромагнітної конструкції

Навколо середньої частини вертикальної протяжної колони з феромагнітного матеріалу легко передбачити системне зниження вертикальної компоненти поля обумовлене наведеним полем. На краях колон конфігурація результуючого поля є значно складнішою і тоді повну картину крайових ефектів вдається відтворити лише за допомогою чисельного моделювання, як це зроблено у роботі [7] з використанням спеціальних програм [8; 9]. На початковому етапі нами було проведено перевірку відповідності результатів такого моделювання на будівлі, яка наближена до ідеалізованої моделі протяжної вертикальної колони. Для цього досліджу було обрано об'єкт, де суцільною колоною в її центральній частині був металевий короб ліфта.

Натурні дослідження розподілів індукції геомагнітного поля біля опорної залізобетонної конструкції даного об'єкта проведені на п'ятому поверсі на рекомендованій для подібних натурних обстежень висоті – у зоні перебування працюючих (1-1,5 м над підлогою). Вимірювання здійснювалось повіреним приладом МТМ-01. Результати вимірювань наведено на рис. 2. Порівнюючи отримані результати з результатами, отриманими при чисельному моделюванні в середній частині протяжної колони [7], робимо висновок про високий ступінь відповідності чисельного та натурального моделювання.

Ситуація ускладнюється при натурних обстеженнях реальних промислових об'єктів. Була обстежена сорокалітня промислова дев'ятиповерхова споруда, з чотириметровим міжповерховим проміжком. Вимірювання проводились не тільки на рекомендованих висотах для такого роду обстежень, а і в інших частинах споруди, зокрема, у вузлових зонах примикання конструктивних елементів зовнішніх поверхонь будівлі та примикання вертикальних і горизонтальних елементів.

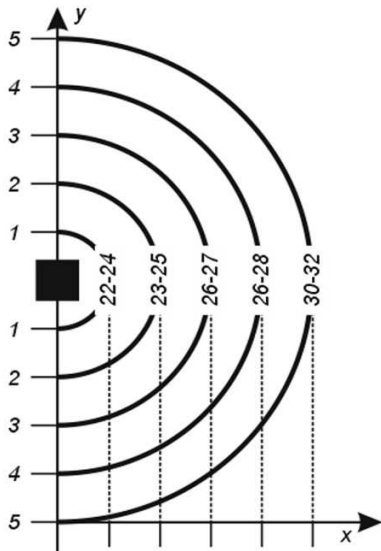


Рисунок 2 – Розподіл змін індукції геомагнітного поля поблизу залізобетонної конструкції (мкТл) у промисловій будівлі: висота над підлогою 1-1,5 м; висота стелі 5 м; висота над рівнем Землі 30 м

Серед загальних закономірностей при обстеженні відмічене таке:

- розподіли полів на різних поверхнях не співпадали;
- спостерігалась симетрія в розподілі геомагнітних полів у різних кутах одного і того ж поверху.

Типовий варіант розподілів полів показано на рис. 3 (якісна картина результатів). На рис. 3 цифрою 1 позначені елементи конструкцій, що примикають, та показані зони з підвищеними 2 (жирні лінії) та заниженими 3 (тонкі лінії) значеннями величини магнітного поля. Вищі за норму значення магнітного поля в кутах будівлі спостерігались на всіх поверхнях.

Картина розподілів магнітного поля на висоті 1-1,5 м над підлогою залишалась майже ідентичною на більшості поверхів (рис. 4) і в цілому корелює з результатами моделювання, отриманими в [10].

Така додаткова деталізація розподілів геомагнітного поля в межах прийнятих в експлуатацію будівель може бути названа натурним моделюванням. Воно повинно відповідати на запитання – чи достатньо наявних розрахункових моделей для пояснення реальних розподілів геомагнітного поля та їх особливостей. Наприклад, існування зон підвищеного геомагнітного поля в області міжповерхових перекриттів.

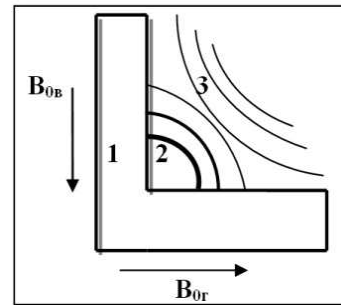
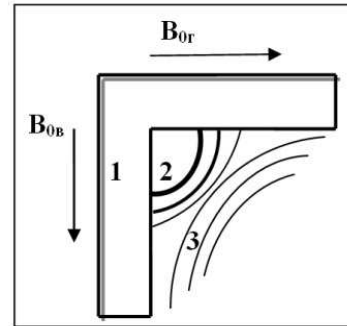


Рисунок 3 – Розподіл модуля вектора магнітної індукції у місцях примикання залізобетонних будівельних конструкцій:

- 1) залізобетонна конструкція;
- 2) зони підвищеного магнітного поля;
- 3) зони зниженого магнітного поля (рисунок не у масштабі)

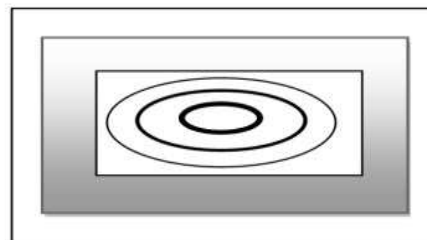


Рисунок 4 – Розподіл результуючого магнітного поля у розрізі приміщення, обмеженого залізобетонними конструкціями (рисунок не у масштабі)

Зокрема, користуючись підходами, застосованими в [11] для розрахунків екранування змінних електромагнітних полів вертикальним каркасом всієї будівлі, ми оцінили вплив такого каркасу на горизонтальну складову геомагнітного поля. При цьому допускали, що внутрішній простір будівлі, обставлений багатьма магнітоактивними колонами, являє собою своєрідний циліндр (рис. 5). Розв'язок такої задачі відомий і зводиться до рівномірного екранування горизонтальної складової геомагнітного поля, проте це ніяк не пояснює геомагнітних особливостей в кутових зонах будівлі.

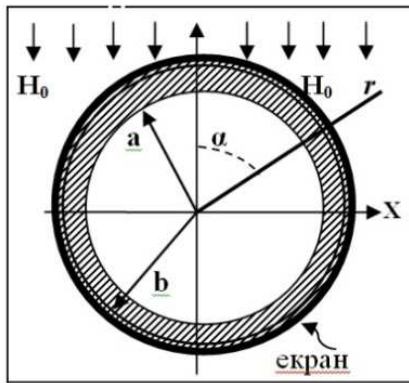


Рисунок 5 – Схема до розрахунку напруженості магнітного поля у екранованому просторі

Аналіз будівельної документації періоду зведення обстежуваної споруди привернув увагу на спосіб формування вертикальних колон будівлі, армованих системою стержнів з монтажної сталі. Це послідовна серія окремих колон (джгутів) висотою в один поверх, зв'язаних на стиках дротовим кріпленням. Тобто, вертикальні магнітоактивні елементи будівлі доцільно моделювати не як одну протяжну вертикальну колону, а як систему складених паралельно двох колон.

Одна з них є протяжною колоною, довжина якої співпадає з висотою будівлі, але через неї замикається лише частина магнітного потоку  $k$ .

Друга колона – це послідовне з'єднання п коротких (висотою в один поверх) колон, через яку замикається інша частина магнітного потоку  $(1-k)$ , розсіювання якого відбувається в зоні міжповерхових перекриттів.

На нашу думку, подібне уявлення про вертикальні магнітоактивні елементи реальних будівель збережеться і тоді, коли кріплення на стиках буде замінено на зварювання. В цьому випадку може змінитись лише перерозподіл магнітного потоку між двома вказаними колонами. Можна передбачати, що на зварних колонах величина  $k$  зростає.

## Висновок

За результатами роботи робимо такі висновки.

1. Для підвищення надійності прогнозування геомагнітних властивостей введених в експлуатацію будівель необхідне надійне чисельне моделювання складеної вертикальної колони з допомогою програм [8; 9]. Параметрами такого моделювання необхідно обрати частину розсіяного магнітного потоку  $(1-k)$  та кількість поверхів  $n$ .

2. При будівництві нових об'єктів промислового чи житлового фонду одним із перспективних напрямів управління геомагнітними властивостями майбутніх споруд може стати натурне моделювання на проектних моделях каркасів з магнітоактивних матеріалів, метою якого є досягнення максимальної компенсації геомагнітного впливу майбутньої споруди.

## Список літератури

1. Походзей Л.В. Гипогеомагнитные поля как неблагоприятный фактор производственной среды: диссертация на соискание учёной степени докт. мед. наук: спец. 14.00.50 – Медицина труда / Л.В. Походзей. – М.: ГУ НИИ медицины труда РосАМН. – 2004. – 198 с.
2. Резинкина М.М. Ослабление геомагнитного поля в многоквартирных домах различных проектов / М.М. Резинкина, Д.Е. Пелевин, Ю.Д. Думанский, С.В. Биткин // Гігієна населених місць. – 2009. – Вип.54. – С. 209–216.
3. Standard of Building Biology Biology Testing Methods: SBM–2008 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 2008. – 5p. (<http://www.createhealthyhomes.com/SBM–2008.pdf>)
4. Розов В.Ю. Исследование техногенных искажений геомагнитного поля в жилых и производственных помещениях и определения путей их снижения до безопасного уровня / В.Ю. Розов, М.М. Резинкина, Ю.Д. Думанский, Л.А. Гвозденко // Технічна електродинаміка. Темат. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2008. – Ч. 2 – С. 3–8.
5. Розов В.Ю. Экспериментальные явления исследования ослабления статического геомагнитного поля в помещениях / В.Ю. Розов, Д.Е. Пелевин, С.В. Левина // Електротехніка і електродинаміка. – 2013. – № 6. – С. 70–75.
6. Сердюк А.М. Екологічна значущість геомагнітного поля та медично-біологічні передумови гігієнічної регламентації його послаблення в умовах України / А.М. Сердюк, П.Є Григор'єв, В.Я. Акіменко, С.В. Протас // Довкілля і здоров'я. – 2010. – № 3. – С. 8–11.
7. Розов В.Ю. Исследование явления ослабления статического геомагнитного поля стальной колонной // В.Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, С.В. Левина // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 1 – С. 12–19.
8. Comsol Multiphysics – <http://www.comsol.com>
9. Pryor R.W. Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach.–Jones and Bartlett Publishers, 2009. – 872 p.

10. Кузнецов А.В. Влияние строительных конструкций и этажности зданий на геомагнитного поле внутри помещений в г. Томске / А.В. Кузнецов, С.А. Карауш // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – №1. – С. 80–85.

11. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна. – К., 2014. – 151 с.

Стаття надійшла до редколегії 22.01.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. В. А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.

---

**Запорожец Александр Иванович**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности  
Национальный авиационный университет, Киев

**Клапченко Василий Иванович**

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Левченко Лариса Алексеевна**

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

**Панова Елена Васильевна**

Ассистент кафедры физики

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ  
ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

**Аннотация.** Исследовано снижение уровня геомагнитного поля в зданиях. Обнаружено, что ослабление геомагнитного поля зависит от общей массы и пространственного расположения ферромагнитных элементов конструкций. Для целей прогнозирования аномального магнитного поля в зданиях на стадии проектирования и строительства целесообразно использование моделирования пространственных распределений магнитных полей в помещениях.

**Ключевые слова:** геомагнитное поле; напряжённость; индукция; коэффициент ослабления; моделирование; экранирование; ослабление

**Zaporozhets A.I.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Life Safety  
National Aviation University, Kiev

**Klapchenko V.I.**

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Physics  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

**Levchenko L.A.**

PhD, associate professor, assistant professor of design automation systems and energy processes  
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev

**Panova E.V.**

Assistant of the Department of Physics  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

**CURRENT APPROACHES TO MODELING SPATIAL CHANGES IN THE GEOMAGNETIC FIELD  
IN THE BUILDINGS AND STRUCTURES**

**Abstract.** In the paper it is investigated a decrease in the level of the terrestrial magnetic field in the buildings of different designation. The weakening of the geomagnetic field is dependent upon the amount of ferromagnetic masses of building structures, building materials and magnetic permeability coefficient of demagnetization, which is determined by the shape of the boundary surface of the object and its spatial orientation relative to the geomagnetic field induction vector. In many habitable buildings and buildings of another designation there is a decrease in the geomagnetic field, which does not correspond to the restriction on extreme deviation of the static magnetic field from the natural, recommended international standard. Meanwhile in the places of the contiguity of the vertical and horizontal elements of structures there are occurs raising of levels of the terrestrial magnetic field, and at the distances from the places of contiguities – their decrease. There are obtained the quantitative values of the distribution of the distorted terrestrial magnetic field in the accommodations. Simulation is the most effective method of predicting the distributions of the structures of the terrestrial magnetic field. Especially this is important for the designers of the

construction objects, which use different types of building materials, which makes it possible to consider the anomalies of the terrestrial magnetic field in the buildings. Simple in the use mathematical apparatus for determining the coefficient of weakening the terrestrial magnetic field in the separate types of accommodations had developed. On the basis of these studies it is proposed to use structural steels with the minimum magnetic permeability, which has nonmagnetic inserts in the ferromagnetic constructions. Such steels are used in construction to reduce the distortions in the geomagnetic field.

**Keywords:** geomagnetic field; intensity; induction; attenuation coefficient; modeling; shielding; attenuation

#### References

1. Pokhodzei, L.V. (2004). *Gipogeomagnitnye catches as an adverse factor in the production environment*. Doctor's thesis. Moscow: Institute of Occupational Medicine Russian Academy of Medical Sciences.
2. Rezinkina, M.M., Pelevin, D.E., Dumanskiy, Y.D., & Bitkin S.V. (2009). *The weakening of the geomagnetic field in apartment buildings of various projects*. *Hygiene human cities*, 54, 209–216. [In Russian].
3. *Standard of Building Biology Biology Testing Methods: SBM (2008) – [acting from July 2008]*. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 5p. (<http://www.createhealthyhomes.com/SBM-2008.pdf>)
4. Rozov, V.Yu., Rezinkina, M.M., Dumanskiy, Yu.D., & Glozdenko, LA (2008). *The study of man-caused distortions in the geomagnetic field of residential and industrial buildings and to identify ways to reduce them to a safe level*. *Technical Electrodynamics. Thematic Issue "Problems of modern electrical engineering"*, 2, 3–8.
5. Rozov, V.Yu., Pelevin, D.E., & Levina, S.V. (2013). *Experimental studies of the phenomenon of weakening static geomagnetic field in the smokers*. *Elektrotehnika i elektrodinamika*, 6, 70–75.
6. Serdiuk, A.M., Grigoriev, P.Ye, Akimenko, V.Ya., & Protas, S.V. (2010). *The ecological significance of the geomagnetic field and medical-biological conditions of the hygienic regulation of its weakening in Ukraine*. *Environment and Health*, 3, 8–11.
7. Rozov, V.Yu., Reutskiy, S.Y., & Levina, S.V. (2014). *Investigation of statistical geomagnetic field weakening steel column*. *Technical Electrodynamics*, 1, 12–19.
8. *Comsol Multiphysics* – <http://www.comsol.com>
9. Pryor, R.W. (2009). *Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach*.–Jones and Bartlett Publishers, 872.
10. Kuznetsov, A.V., & Karaush, S.A. (2012). *Influence of building structures and the number of storey's of buildings on the geomagnetic field inside the premises in Tomsk*. *Bulletin of the Tomsk State Architectural University*, 1, 80–85.
11. Panova, E.V. (2014). *Protection of workers from exposure to electromagnetic fields via shielding*. Candidate's thesis. Kiev.

#### Посилання на публікацію

- APA Zaporozhets A.I, Klapchenko V.I., Levchenko L.A., & Panova E.V. (2015). *Current approaches to modeling spatial changes in the geomagnetic field in the buildings and structures*. *Management of Development of Complex Systems*, Issue 21, P. 133 – 138 [in Ukrainian].
- ГОСТ Запорожець О.І. *Сучасні підходи до моделювання просторових змін геомагнітного поля у будівлях та спорудах [Текст] / О.І. Запорожець, В.І. Клапченко, Л.О. Левченко, О.В. Панова // Управління розвитком складних систем. – 2015. - № 21. – С. 133 - 138.*