

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ГРЕЦЬКИХ СВІТЛАНА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК 621.3.013.22

**ОСЛАБЛЕННЯ СТАТИЧНОГО ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ
ФЕРОМАГНІТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ БУДИНКІВ**

Спеціальність 05.09.05 – теоретична електротехніка

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі фізики і техніки магнітних явищ Державної установи «Інститут технічних проблем магнетизму Національної академії наук України», м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник, член - кореспондент НАН України
Розов Володимир Юрійович,
Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України», м. Харків,
директор, завідувач відділу фізики і техніки магнітних явищ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Подольцев Олександр Дмитрович,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ,
головний науковий співробітник відділу електроживлення технологічних систем

доктор технічних наук, професор
Болюх Володимир Федорович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри загальної електротехніки

Захист відбудеться «16» червня 2016 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.17 у Лабораторії біомедичної електроніки НТУ «ХП» за адресою: 61002, Харків, вул. Пушкінська, 79/1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «22» квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Томашевський Р.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Геомагнітне поле (ГМП), що спостерігається на поверхні Землі, є суперпозицією природного статичного ГМП (з індукцією біля 50 мкТл в Україні) і змінного ГМП, викликаного дією сонячної радіації. Загальновідомий негативний вплив змінного ГМП на самопочуття людей в дні магнітних бур. Значною також є негативна дія ослаблення (дефіциту) природного статичного ГМП, що виникає поблизу намагнічених геомагнітним полем феромагнітних конструкцій. Це ослаблення може негативно впливати на здоров'я та самопочуття населення, коли його інтенсивність перевищує 10 % від природного рівня ГМП. Однак рівень індукції ГМП в сучасних багатоповерхових будинках, які характеризуються значним обсягом залізобетонних конструкцій, є істотно нижчим від безпечного рівня 45 мкТл, що робить доцільним його нормалізацію.

Основним інструментом при розробці методів нормалізації ГМП є фізико-математичне моделювання явища ослаблення ГМП несучими залізобетонними будівельними конструкціями. Однак відомі методики моделювання ослаблення ГМП в будинках, а також методи його нормалізації, потребують подальшого розвитку. Тому дослідження, присвячені вирішенню задачі моделювання явища ослаблення статичного ГМП поблизу феромагнітних елементів житлових будинків та розробці рекомендацій з методів нормалізації ГМП, є актуальними, так як спрямовані на вирішення важливої соціальної проблеми – забезпечення безпечного і комфортного проживання населення за статичним магнітним полем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відділі фізики і техніки магнітних явищ Державної установи «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України» (ДУ «ІТПМ НАН України», м. Харків) за науковим проектом «Розробка наукових засад захисту середовища тривалого перебування людини від дії постійного і низькочастотного техногенного магнітного поля (Шифр «ТИША», ДР № 0110U005288, 2011 – 2014 рр.), в якому здобувач була виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є фізико-математичне моделювання явища ослаблення статичного геомагнітного поля поблизу феромагнітних елементів будинків та розробка рекомендацій з методів його нормалізації.

Для досягнення зазначеної мети поставлені задачі:

- обґрунтувати перспективність розвитку методів фізико-математичного моделювання явища ослаблення статичного ГМП сталевими феромагнітними конструктивними елементами будинків та методів його нормалізації до безпечного рівня;
- в аналітичному вигляді розв'язати задачу розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого циліндричною феромагнітною колоною;
- на прикладі феромагнітної колони вивчити вплив геометричних параметрів протяжних феромагнітних елементів на інтенсивність ослаблення статичного ГМП поблизу їх поверхонь та визначити умови нормалізації ГМП шляхом зміни співвідношень розмірів цих елементів;
- дослідити вплив магнітних параметрів феромагнітної колони на інтенсив-

ність ослаблення статичного ГМП поблизу її поверхні та визначити умови нормалізації ГМП шляхом зменшення магнітної проникності матеріалу колони;

- виявити можливість розвитку методу ефективної магнітної проникності Аркадьєва для моделювання явища ослаблення статичного ГМП залізобетонними колонами та міжповерховими перекриттями, армованими сталевим металопрокатом;

- запропонувати та експериментально обґрунтувати розрахункову модель з визначення максимальної інтенсивності ослаблення статичного ГМП в приміщенні сучасного багатоповерхового будинку з цегляними стінами;

- розробити рекомендації з методів нормалізації ГМП в сучасних багатоповерхових житлових будинках для створення безпечних за статичним ГМП умов проживання.

Об'єкт дослідження – магнітне поле сталевих феромагнітних конструктивних елементів будинків, індуктивно намагнічених статичним геомагнітним полем.

Предмет дослідження – ослаблення статичного геомагнітного поля сталевими феромагнітними конструктивними елементами будинків.

Методи дослідження. Вирішення поставлених задач базується на фундаментальних положеннях теорії електромагнітного поля, теоретичної електротехніки та математичної фізики. При моделюванні ослаблення статичного ГМП циліндричною феромагнітною колоною використовувався метод еквівалентних зарядів. Моделювання ослаблення ГМП в приміщеннях багатоповерхових будинків виконано на основі методу скінчених елементів з використанням методу ефективної магнітної проникності. Чисельне моделювання проводилося в середовищах програмування FORTRAN та COMSOL Multiphysics 3.4.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше, за допомогою методу еквівалентних зарядів, розв'язано задачу та отримано в аналітичному вигляді залежності розрахунку індукції статичного геомагнітного поля, ослабленого циліндричною феромагнітною колоною;

- отримав подальший розвиток метод ефективної магнітної проникності системи феромагнітних тіл, розташованих у немагнітному середовищі, для розрахунку індукції статичного геомагнітного поля, ослабленого залізобетонними елементами конструкції будинків, армованими сталевими стрижнями;

- вперше, визначено, що величина відносної магнітної проникності матеріалу сталеві арматури залізобетонних конструкцій, при якій інтенсивність ослаблення геомагнітного поля в приміщеннях сучасних багатоповерхових будинків не буде перевищувати безпечного рівня 10 %, повинна складати не більше 70 одиниць.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані результати досліджень для будівництва і охорони здоров'я населення полягають у визначенні характеру впливу співвідношень розмірів залізобетонних конструктивних елементів будинків та величини магнітної проникності матеріалу цих елементів на інтенсивність ослаблення ГМП поблизу їх поверхонь. Розроблені рекомендації з методів нормалізації ГМП в приміщеннях при проектуванні та будівництві сучасних житлових будинків із залізобетонними колонами та міжповерховими перекриттями, реалізація яких дозволить забезпечити безпечні умови проживання населення за статичним ГМП, що ослаблюється не більш ніж на 10 % від природного.

Основні результати виконаних у дисертації досліджень і практичних розробок використані:

– у Інституті гігієни і медичної екології ім. А.Н. Марзєєва НАМН України (м. Київ) при розробці нової редакції нормативного документу «Державні санітарні правила і норми захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» в частині гіпогеомагнітного поля;

– у проектній фірмі ТОВ «АВУАР» (м. Харків) при проектуванні та будівництві сучасних каркасно-монолітних житлових багатоповерхових будинків з комфортними умовами проживання.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем самостійно. Серед них: досліджено механізм ослаблення статичного ГМП на прикладі феромагнітної колони та експериментально обґрунтовано доцільність нормалізації ГМП; проведені експериментальні дослідження розподілу ГМП в приміщеннях десятків житлових будинків; на основі методу еквівалентних зарядів розв'язано задачу та отримано в аналітичному вигляді залежності розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого циліндричною феромагнітною колоною; запропоновано в якості інтегральної характеристики інтенсивності ослаблення ГМП феромагнітною колоною використання коефіцієнту гіпогеомагнітності колони та виявлено немонотонну залежність цього коефіцієнту від відносної протяжності колони; розвинуто метод ефективної магнітної проникності системи феромагнітних стрижнів, розташованих у немагнітному середовищі для розрахунку індукції ослабленого ГМП; визначено, що для обмеження інтенсивності ослаблення ГМП до безпечного рівня, відносна магнітна проникність сталевих арматури залізобетонних елементів будинків не повинна перевищувати 70 одиниць; запропоновано та обґрунтовано розрахункову модель інтенсивності ослаблення ГМП та рекомендації з методів нормалізації ГМП при проектуванні сучасних житлових будинків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика» (Харків, 2013 р., 2014 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2014 р.); Семінарі «Теоретична електротехніка» секції «Електромагнітне поле об'єктів електроенергетики. Проблеми моделювання, вимірювання та нормалізації» Наукової ради НАНУ з проблеми «Наукові основи електроенергетики» (м. Харків 2012 р., 2013 р., 2014 р., 2015 р.)

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 6 наукових працях, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України за тематикою дисертації (4 – включені до міжнародних наукометричних баз даних).

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 159 сторінок; з них 58 рисунків по тексту; 6 таблиць по тексту; списку використаних джерел з 110 найменувань на 12 сторінках, 2 додатка на 29 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами та договорами, викладено наукову новизну, практичне значення, наведені відомості про їх апробацію, публікації та впровадження.

У першому розділі проведено аналіз причин виникнення явища ослаблення ГМП сталевими елементами будинків та прийнятих в світі гранично допустимих рівнів його впливу на людину. Виконано аналіз відомих результатів досліджень цього явища та методів нормалізації ГМП, досліджено можливості використання відомих методів математичного моделювання магнітного поля (МП) індуктивно намагнічених феромагнітних тіл та конструкцій для моделювання явища ослаблення ГМП поблизу їх поверхонь.

Основними джерелами ослаблення природного ГМП в приміщеннях сучасних багатоповерхових житлових будинків є намагнічені елементи будівельних конструкцій, армовані феромагнітними сталевими стрижнями (рис. 1).

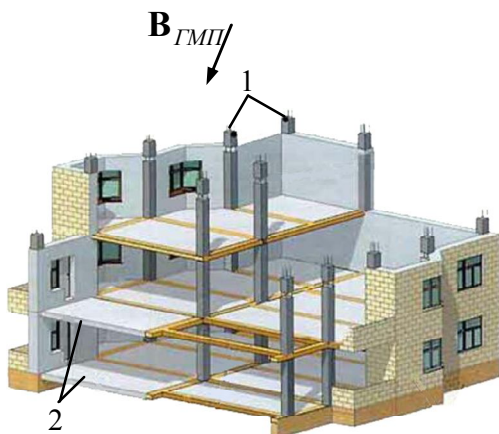


Рисунок 1 – Залізобетонні колони 1 та міжповерхові плити 2 – основні джерела ослаблення природного ГМП в житлових приміщеннях

В загальному випадку напруженість МП $\mathbf{H}(p)$ в точках p , розташованих поблизу поверхні конструкції визначено як

$$\mathbf{H}(p) = \mathbf{H}_{ГМП} + \mathbf{H}_{ji}(p) + \mathbf{H}_{jo}(p), \quad (1)$$

де $\mathbf{H}_{ГМП}$ – вектор напруженості ГМП; $\mathbf{H}_{ji}(p)$, $\mathbf{H}_{jo}(p)$ – вектори напруженості від індукованої та залишкової намагніченості відповідно.

Враховуючи невизначеність залишкової намагніченості феромагнітних елементів, а також можливість її виключення шляхом розмагнічування, в подальшому розглядаємо тільки індуковану складову МП $\mathbf{H}_{ji}(p)$.

Важливе значення для інтенсивності ослаблення ГМП залізобетонними конструкціями має величина магнітної проникності μ сталевих металопрокату. При дії слабкого ГМП з робочим діапазоном його напруженості $H = 0 - 50$ А/м, значення μ практично не залежить від H . Це дозволяє прийняти початкову магнітну проникність μ_n стандартного сталевих металопрокату, яка має розкид від 100 до 300 одиниць, в якості його основного магнітного параметру.

Ефект ослаблення ГМП циліндричною феромагнітною колоною пояснюється на рис. 2. Зони ослаблення ГМП прилягають до бічної поверхні колони, де МП індукованої намагніченості колони спрямоване назустріч ГМП.

Медико-біологічні дослідження в різних країнах світу підтверджують негативний вплив ослабленого ГМП на здоров'я людини. Тому в ряді країн діють або розробляються гранично допустимі санітарні норми, що обмежують граничний рівень ослаблення ГМП (рівень гіпогеомагнітного поля) значеннями індукції 30 – 35 мкТл (40 % – 30 % від природного ГМП). Однак для безпечного і комфортного проживан-

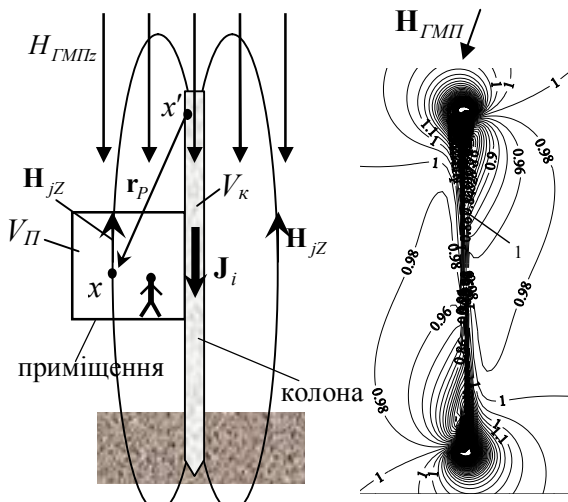


Рисунок 2 – Пояснення явища ослаблення ГМП поблизу поверхні феромагнітної колони

ня населення, припустимий рівень ослаблення ГМП в житлових приміщеннях доцільно визначати за міжнародним стандартом SBM – 2008 (SBM – 2015), згідно з яким його обмежено значенням не більш 10 % від природного ГМП – рівнем індукції не менше 45 мкТл в широтній зоні України.

Численні експериментальні дослідження показують, що індукція ГМП в приміщеннях сучасних житлових будинків України коливається від 48 до 23 мкТл і в більшості будинків є нижчою за безпечний рівень в 45 мкТл, що потребує вжиття заходів щодо нормалізації ГМП. Однак відомі методи нормалізації ГМП, що запропоновані в роботах Розова В.Ю., Резинкіної М.М., Пелєвіна Д.Є.

та інших авторів, потребують подальшого розвитку, тому що або засновані на використанні недоцільних у житлових будинках спеціальних компенсаційних пристроїв, або не доведені до практичних рекомендацій. Зазначений стан досліджень обґрунтував доцільність розвитку методів фізико-математичного моделювання та розрахунку ГМП в приміщеннях.

Однак, відомі методи моделювання ослаблення ГМП елементами феромагнітних тіл та конструкцій, не дозволяють повноцінно вирішити задачу розрахунку інтенсивності ослаблення ГМП. Так, аналітичні методи або використовуються лише для невеликого класу задач, або призводять до суттєвих похибок. Чисельні методи дозволяють з певною точністю отримати потрібний розподіл МП, але не дають аналітичного уявлення рішення, і це не дозволяє безперервно досліджувати процес ослаблення ГМП, що необхідно для створення ефективних методів його нормалізації.

Тому необхідні методи, що дозволяють отримати рішення в аналітичному вигляді. Таке рішення для окремих феромагнітних тіл і конструкцій можна отримати методом еквівалентних зарядів, що розглянутий у роботах Колечицького Є.С., Михайлова В.М. та інших вчених, але для вирішення поставлених у дисертації задач цей метод потребує подальшого розвитку.

Очевидно, що для моделювання явища ослаблення ГМП залізобетонними елементами будівельних конструкцій (колонами, міжповерховими перекриттями), які армовані великою кількістю феромагнітних стрижнів, доцільно використовувати спрощені розрахункові моделі. Розробка таких моделей, що побудовані на основі запропонованого Аркадьєвим В.К. уявлення несутільних феромагнітних тіл у вигляді спрощених моделей, заснованих на заміні несутільного тіла суцільним з однорідного матеріалу, який характеризується ефективною магнітною проникністю μ_3 :

$$\mu_3 = (\mu_n - 1) K_V + 1; \quad K_V = \frac{V_\phi}{V_3}, \quad (2)$$

де μ_n – початкова магнітна проникність феромагнітного матеріалу несутільного тіла;

V_ϕ , V_s – сумарний об'єм феромагнітних елементів несучільного феромагнітного тіла і об'єм еквівалентного суцільного феромагнітного тіла відповідно, K_V – коефіцієнт заповнення металом залізобетонної конструкції, ϵ однією з задач дисертаційної роботи.

У другому розділі на прикладі циліндричної феромагнітної колони проведено моделювання ослаблення статичного ГМП протяжними циліндричними феромагнітними елементами за допомогою методу еквівалентних (фіктивних) магнітних зарядів. Визначено фізичні параметри феромагнітної колони, що впливають на інтенсивність ослаблення ГМП поблизу її поверхні, і виявлено умови зниження до безпечного рівня інтенсивності ослаблення ГМП.

Виконано моделювання явища ослаблення статичного ГМП для суцільного феромагнітного тіла обертання циліндричної форми (колони) на основі методу еквівалентних магнітних зарядів. При цьому прийняті такі припущення: враховується тільки вертикальна компонента статичної складової напруженості ГМП; матеріал феромагнітної колони ізотропний, його магнітна проникність однорідна і не залежить від напруженості МП; залишкова намагніченість колони відсутня.

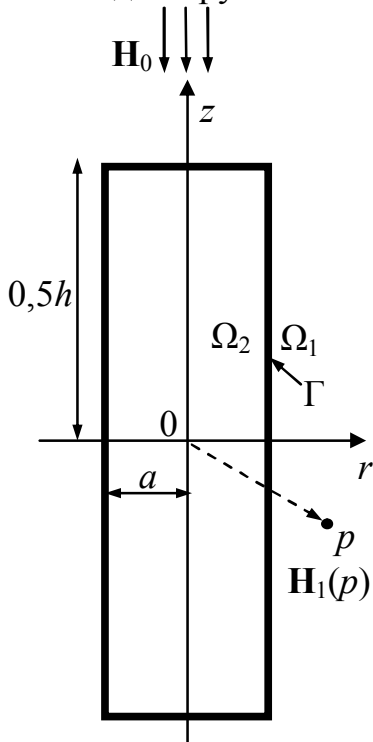


Рисунок 3– Циліндрична сталева колона в однорідному зовнішньому МП

Таким чином, досліджувана циліндрична феромагнітна колона (рис. 3) з висотою h і радіусом a знаходиться в однорідному зовнішньому МП з напруженістю H_0 , (H_z), що має єдину вертикальну компоненту, спрямовану по осі z

$$\mathbf{H}_0 = -H_0 \mathbf{e}_z. \quad (3)$$

Зовнішню нескінченну область простору, в якому знаходиться циліндрична колона, позначено як Ω_1 . Внутрішня область Ω_2 заповнена тілом колони. Области Ω_1 і Ω_2 розділяє границя Γ . Область Ω_1 має магнітну проникність вакууму $\mu_1 = \mu_0$, а область Ω_2 має магнітну проникність $\mu_2 = \mu_{r,2}\mu_0$, $\mu_{r,2} > 1$. Задача моделювання ослаблення ГМП полягає у визначенні напруженості ослабленого ГМП в області Ω_1 :

$$\mathbf{H}_1(p) = \mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_j(p), \quad p \in \Omega_1, \quad (4)$$

де $\mathbf{H}_j(p)$ – напруженість МП, створювана в точках p індукованою намагніченістю колони. Для її вирішення необхідно знайти спотворене МП у зовнішній області Ω_1 і обчислити локальні і інтегральні величини, що характеризують ослаблення ГМП.

З урахуванням введених припущень МП є потенційним в області Ω_1 й Ω_2 :

$$\mathbf{H}_i = -\nabla U_i, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

та в кожній з цих областей задовольняє рівнянню Лапласа:

$$\nabla^2 U_i = 0, \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Зовнішнє МП H_0 також потенційне і $\mathbf{H}_0 = -\nabla U_0$. Тут магнітний потенціал МП H_0 , що діє на колону визначається як $U_0 = H_0 z$. Тоді МП поза колоною має потенціал, який дорівнює сумі потенціалів зовнішнього та індукованого H_j колоною МП

$$U_1 = U_0 + U_j. \quad (7)$$

Потенціал МП всередині колони і поза нею (рис. 4) визначається виходячи з наступних умов на границі розділу середовищ Ω_1 і Ω_2 :

$$\mu_1 \partial U_1(p) / \partial n = \mu_2 \partial U_2(p) / \partial n, p \in \Gamma, \quad (8)$$

$$U_1(p) = U_2(p), p \in \Gamma. \quad (9)$$

Таким чином, задача полягає в знаходженні двох потенціалів U_i , кожен з яких задовольняє рівнянню Лапласа (6) в області Ω_i та для яких виконуються умови (8), (9) на границі розділу середовищ Γ .

З урахуванням осьової симетрії в кожній з областей Ω_i , рівняння Лапласа (6) в циліндричних координатах (r, z) має вигляд:

$$\partial^2 U_i / \partial r^2 + (1/r) \partial U_i / \partial r + \partial^2 U_i / \partial z^2 = 0, (r, z) \in \Omega_i. \quad (10)$$

Для кожної з функцій U_i на осі z виконуються умови симетрії.

$$\partial U_i(0, z) / \partial r = 0. \quad (11)$$

Крім того, для потенціалу, визначеного в нескінченній області, ставиться умова, що на нескінченному віддаленні від колони поле є незбуреним.

$$U_j(r, z) \rightarrow 0, r, z \rightarrow \pm\infty. \quad (12)$$

Рішення рівняння Лапласа в циліндричній системі координат відповідає точковому джерелу, розташованому в точці з координатами (ξ, η) .

$$\Phi(r, z | \xi, \eta) = 4K(4\xi r / \rho^2) \rho^{-1}, \quad \rho = \sqrt{(r + \xi)^2 + (z - \eta)^2}, \quad (13)$$

де $K(s) = \int_0^{2\pi} [1 - s^2 \sin^2(\theta)]^{-1/2} d\theta$ – повний еліптичний інтеграл першого роду.

Вираз (13) є потенціалом еквівалентного (фіктивного) магнітного заряду, що розташований в точці з координатами (ξ, η) . З урахуванням осьової симетрії задачі, заряд не точковий, а рівномірно розподілений по кільцю, що проходить через точку з декартовими координатами $x = 0, y = \eta, z = \xi$, віссю симетрії θz і радіусом η (рис. 3).

В області Ω_1 потенціал МП дорівнює сумі відомого потенціалу зовнішнього МП і невідомого потенціалу МП, викликаного намагніченістю колони, який представляється у вигляді лінійної комбінації потенціалів еквівалентних магнітних зарядів.

$$U_j(r, z) = \sum_{i=1}^M q_i^{(1)} \Phi(r, z | \xi_i^{(1)}, \eta_i^{(1)}). \quad (14)$$

Тут $(\xi_i^{(1)}, \eta_i^{(1)})$ – координати еквівалентних магнітних зарядів, розташованих усередині

ні колони, $q_i^{(1)}$ – невідомі величини еквівалентних магнітних зарядів, які підлягають визначенню в ході вирішення задачі.

Внутрішній потенціал $U_2(r, z)$ для області Ω_2 записується в аналогічному вигляді

$$U_2(r, z) = \sum_{i=1}^M q_i^{(2)} \Phi(r, z | \zeta_i^{(2)}, \eta_i^{(2)}), \quad (15)$$

де $q_i^{(2)}$ – невідомі величини еквівалентних магнітних зарядів, розташованих у точках $(\zeta_i^{(2)}, \eta_i^{(2)})$ поза колоною.

Значення $q_i^{(1)}$, $q_i^{(2)}$ визначаються з крайових умов на границі колони (8), (9). Для цього обираються точки колокації на границі збурюючого тіла і вирази (14), (15) підставляються в граничні умови (8), (9), записані в цих точках колокації :

$$\sum_{i=1}^M q_i^{(1)} \Phi(r_k, z_k | \zeta_i^{(1)}, \eta_i^{(1)}) + U_0(r_k, z_k) = \sum_{i=1}^M q_i^{(2)} \Phi(r_k, z_k | \zeta_i^{(2)}, \eta_i^{(2)}), \quad (16)$$

$$\mu_1 \left[\sum_{i=1}^M q_i^{(1)} \frac{\partial}{\partial n} \Phi(r_k, z_k | \zeta_i^{(1)}, \eta_i^{(1)}) + \frac{\partial}{\partial n} U_0(r_k, z_k) \right] = \mu_2 \sum_{i=1}^M q_i^{(2)} \frac{\partial}{\partial n} \Phi(r_k, z_k | \zeta_i^{(2)}, \eta_i^{(2)}), \quad k = 1, \dots, N. \quad (17)$$

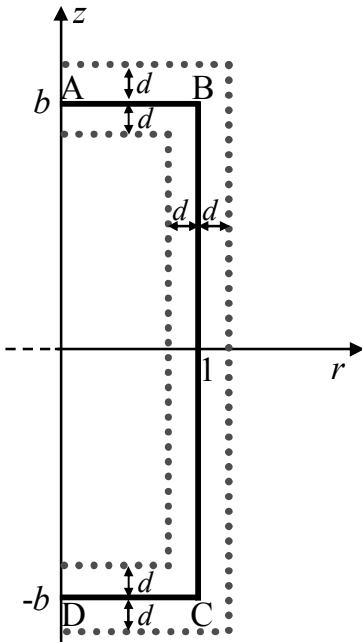


Рисунок 4 – Схема розташування еквівалентних магнітних зарядів

Кількість еквівалентних магнітних зарядів M , що використовується у розрахунку, пропорційна протяжності колони і знаходиться в межах від 200 до 2000 для кожної із зон. Заряди розташовані на відстані d від краю колони з кожного боку (рис. 4). Величина d визначається чисельним експериментом, із застосуванням критерію мінімуму величини нев'язки граничних умов (8), (9).

Таким чином, рішення системи рівнянь (16), (17) дає величини еквівалентних магнітних зарядів $q_i^{(1)}$, $q_i^{(2)}$ і дозволяє обчислити напруженість магнітного поля в кожній з областей Ω_1 й Ω_2 . Так, на рис. 5 наведено обчислений з допомогою запропонованої методики розподіл напруженості МП поблизу намагніченої вертикальної складовою ГМП циліндричної колони для значень: $a = 0,5$; $h = 10$; $\mu_{r,2} = 100$. Похибка запропонованої методики моделювання, що визначена шляхом порівняння з точним рішенням для сфери, а також шляхом порівняння рішення для циліндричної колони при збільшенні кількості еквівалентних магнітних зарядів, не перевищує 0,01 %.

Розроблена методика моделювання застосована для визначення фізичних параметрів сталеві колони, що впливають на інтенсивність ослаблення ГМП, яке виникає в точках p простору Ω_1 , де виконується умова

$$0 \leq |\mathbf{H}_1(p)| < |\mathbf{H}_0|. \quad (18)$$

Інтенсивність ослаблення ГМП визначена за допомогою коефіцієнта ослаблення ГМП $G(p)$:

$$G(p) = \frac{|\mathbf{H}_1(p)|}{|\mathbf{H}_0|} = \frac{|\mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_j(p)|}{|\mathbf{H}_0|}, \quad 0 \leq G(p) < 1. \quad (19)$$

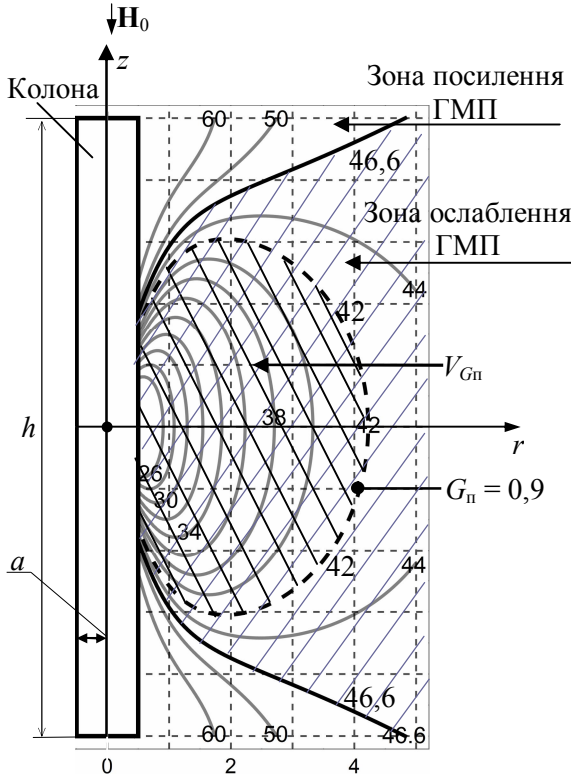


Рисунок 5 – Обчислений за допомогою запропонованої методики розподіл індукції МП (мкТл) поблизу колони

Властивість колони ослаблювати ГМП до небезпечного рівня (її гіпогеомагнітність) оцінюється за допомогою коефіцієнту гіпогеомагнітності колони $K_{ГК}$, що пропорційний об'єму простору $V_{ГП}$, в якому інтенсивність ослаблення ГМП колоною перевищує 10 %. Значення $K_{ГК}$ дорівнює об'єму $V_{ГП}$, віднесеного до кубу радіусу a колони,

$$K_{ГК} = V_{ГП} / a^3. \quad (21)$$

З урахуванням викладеного, небезпечне ослаблення ГМП відсутнє при $K_{ГК} = 0$ і буде зростати при зростанні $K_{ГК}$.

На основі співвідношень (14), (15) визначено вплив коефіцієнта подовження колони b і її магнітної проникності μ_n на коефіцієнт гіпогеомагнітності $K_{ГК}$ та побудована функціональна залежність коефіцієнта гіпогеомагнітності $K_{ГК}$ циліндричної колони від b при $G_{п} = 0,9$ та при різних значеннях її проникності μ_n (рис. 6).

Як впливає з рис. 6, при збільшенні коефіцієнта b колони, лінійно збільшується її об'єм $V_{\Omega 2}$, що викликає збільшення інтенсивності ослаблення ГМП. Одноча-

Зона ослаблення вертикальної складової ГМП при $H_0 = 46,6$ мкТл (рис. 5) прилягає до бічних поверхонь колони і поширюється перпендикулярно вектору намагнічуючого поля з мінімальними значеннями, що лежать на осі r . В цій зоні подвійним штрихуванням виділена область об'ємом $V_{ГП}$, в якій ослаблення вертикальної складової ГМП перевищує гранично допустиме значення 10 % і становить менше 42 мкТл. ГМП у цій області характеризується граничним коефіцієнтом ослаблення $G_{п} = 0,9$ на її зовнішній границі, і значеннями $G(p) \leq 0,9$ в об'ємі $V_{ГП}$.

Для спрощення подальшого аналізу введений коефіцієнт подовження колони b , від якого лінійно залежить об'єм колони $V_{\Omega 2}$:

$$b = 0,5h/a, \quad V_{\Omega 2} = 2\pi a^3 b. \quad (20)$$

Коефіцієнт розмагнічування колони N залежить від коефіцієнта b нелінійно і змінюється, приблизно, від 0,3 до 0,0004 при зміні b від 1 до 100.

сно зі збільшенням b нелінійно падає значення коефіцієнта розмагнічування колони N , що зменшує інтенсивність ослаблення ГМП. Взаємодія цих двох конкуруючих процесів робить функціональну залежність нелінійною з екстремумом при певному значенні b .

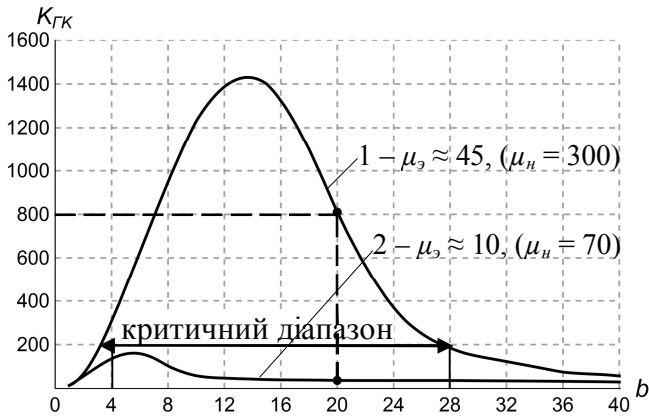


Рисунок 6 – Залежність $K_{ГК}$ колони від b при $G_{п} = 0,9$ та $K_V = 0,15$

проникності μ_n матеріалу залізобетонної колони призводить до монотонного зменшення $K_{ГК}$, який при $\mu_n \leq 70$ та максимальному значенні $K_V = 0,15$ (2) стає близьким до нуля при всіх значеннях b (рис. 6). Тому одним з найбільш ефективних методів зменшення інтенсивності ослаблення ГМП є використання спеціальної «слабомагнітної» сталі, магнітна проникність матеріалу якої не перевищує 70 одиниць.

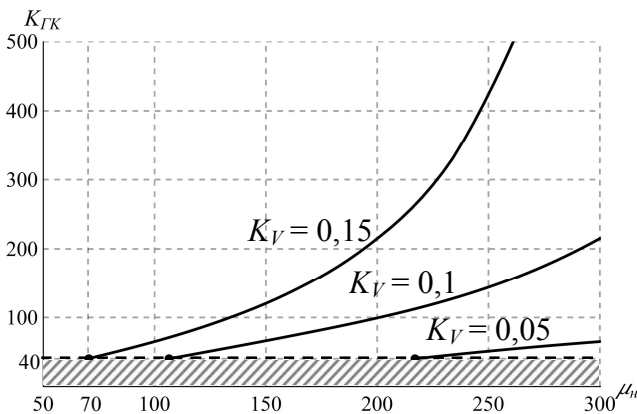


Рисунок 7 – Залежність $K_{ГК}$ від μ_n при різних значеннях K_V

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень ГМП в приміщеннях будинків. Методом скінчених елементів обґрунтовано можливість розвитку методу ефективною магнітної проникності Аркадьєва для моделювання МП залізобетонних елементів, армованих сталевим металопрокатом. Запропоновано розрахункову модель для визначення розподілу МП в приміщеннях, на основі якої проведено чисельне моделювання ослаблення ГМП в приміщенні будинку та її верифікацію за результатами експерименту.

Для уточнення фактичного рівня ослаблення ГМП та виявлення особливостей його розподілу, проведені експериментальні дослідження в приміщеннях житлових та громадських будинків м. Харкова. Їх результати свідчать, що у більшості цегляних та панельних житлових будинків від 5 до 16 поверхів ($K_V = 0,05 \div 0,1$), рівень ослаблення індукції ГМП перевищує безпечний рівень (45 мкТл) і в окремих випадках досягає 30 мкТл. Найбільше ослаблення ГМП (до 23 мкТл) спостерігається в висотних (більше 16 поверхів) каркасно-монолітних будинках, які характеризуються

Таким чином виявлено, що найбільш інтенсивно ослаблюють ГМП сталеві колони, а також інші протяжні сталеві елементи, коефіцієнт b яких лежить в критичному діапазоні від 4 до 28. При $b < 4$ та $b > 28$ залізобетонні колони з використанням стандартної конструкційної сталі не чинять істотного впливу на ослаблення ГМП, що є теоретичною основою для зменшення інтенсивності ослаблення ГМП залізобетонними елементами будинків.

Визначено, що зменшення магнітної проникності матеріалу залізобетонної колони призводить до монотонного зменшення $K_{ГК}$, який при $\mu_n \leq 70$ та максимальному значенні $K_V = 0,15$ (2) стає близьким до нуля при всіх значеннях b (рис. 6). Тому одним з найбільш ефективних методів зменшення інтенсивності ослаблення ГМП є використання спеціальної «слабомагнітної» сталі, магнітна проникність матеріалу якої не перевищує 70 одиниць.

Вказаний висновок підтверджують представлені на рис. 7 та побудовані на основі співвідношень (18), (19) функціональні залежності $K_{ГК}$ від μ_n при максимальних значеннях K_V , які не перевищують 0,05 для малоповерхових будинків, 0,1 – для будинків з 9 – 16 поверхів та 0,15 – для висотних будинків.

найбільш масивним сталевим каркасом ($K_V = 0,15$). Характерний розподіл ГМП в приміщеннях цих житлових будинків представлений на рис. 8.

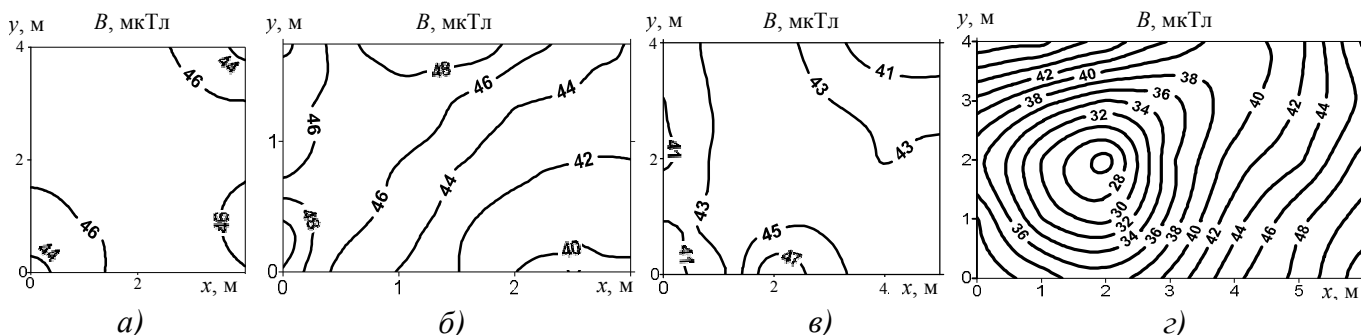


Рисунок 8 – Експериментально визначений розподіл індукції МП (мкТл) на висоті 0,5 м від підлоги в приміщеннях житлових будинків різних конструкцій: а – цегляний котедж; б – 9-поверховий цегляний будинок; в – 9-поверховий панельний будинок; з – 24-поверховий каркасно-монолітний будинок

При моделюванні ослаблення ГМП в приміщеннях реальних будинків потребують окремого розгляду основні елементи їх залізобетонних будівельних конструкцій, які охоплюють приміщення та визначають рівень ослаблення ГМП. Ці елементи для сучасних багатоповерхових будинків представлені на рис. 9. Вони армовані сталевими стрижнями (рис. 9) та представляють собою складні конструкції з системи феромагнітних тіл, розташованих у немагнітному середовищі. Такі конструкції згідно з (2) характеризуються параметрами $\mu_n, \mu_s, V_\phi, V_s$.

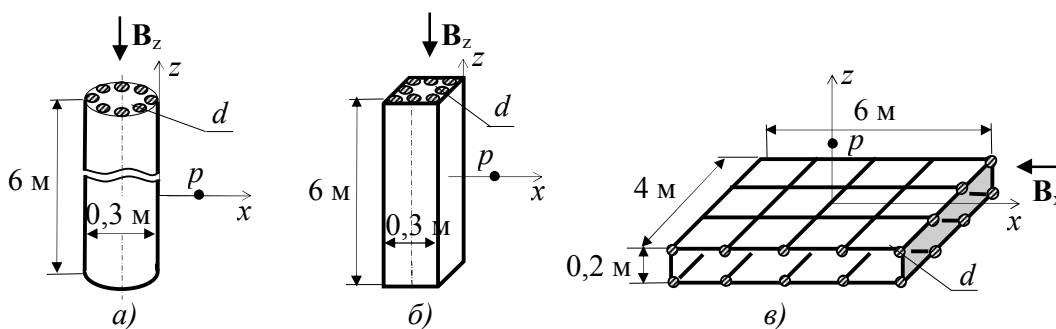


Рисунок 9 – Типові елементи залізобетонної конструкції будинків (а, б – колони, в – плита)

Обґрунтована можливість використання методу ефективною магнітної проникності Аркадьєва для спрощення моделювання інтенсивності ослаблення ГМП залізобетонними конструкціями, який полягає в заміні складної несучільної конструкції (рис. 9) на просту суцільну конструкцію з тією-ж формою граничної поверхні з ефективною магнітною проникністю μ_s , визначеною згідно (2).

Для цього оцінена похибка $\delta(p)$, що виникає при використанні цього методу

$$\delta(p) = \frac{B_R(p) - B_s(p)}{B_R(p)} 100\%, \quad (22)$$

де $B_R(p)$, $B_s(p)$ індукція МП в точці спостереження p , створена реальною конструкцією і її ефективною моделлю відповідно. Розподіл значень $B_R(p)$, $B_s(p)$ визначаємо чисельним методом скінчених елементів для типових залізобетонних колон та перекриття (плити) при $\mu_n = 300$.

Колони (рис. 9, а, б) армовані вісьмома сталевими стрижнями, діаметр яких варіюється від 0,02 м до 0,05 м, що дозволяє змінювати коефіцієнт K_{VK} колони в діапазоні від 0,04 до 0,11. Розрахунок індукції МП проводиться для точок p , що лежать на осі x (рис. 9, а, б) з урахуванням дії вертикальної складової ГМП $B_z = 46,6$ мкТл.

Плита (рис. 9, в) армована дворівневою сіткою зі сталевих стрижнів, діаметр яких варіюється від 0,01 м до 0,05 м, що дозволяє змінювати коефіцієнт K_{VP} від 0,01 до 0,11. Розрахунок індукції МП проводиться для точок p , що лежать на осі z . Враховується горизонтальна складова вектору індукції ГМП ($B_x = 18,1$ мкТл), спрямована вздовж більш протяжних стрижнів арматурної сітки з урахуванням їх об'єму.

Результати розрахунку відповідно до (22) представлені на рис. 10. Як випливає з рис. 10, похибка при використанні методу в області нормування ГМП (на віддаленні від поверхні конструктивного елементу у 0,5 м і більше) не перевищує 3,5 %. Цим підтверджена можливість використання методу ефективною магнітної проникності для спрощення розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого залізобетонними елементами конструкції будинків, армованими сталевими стрижнями.

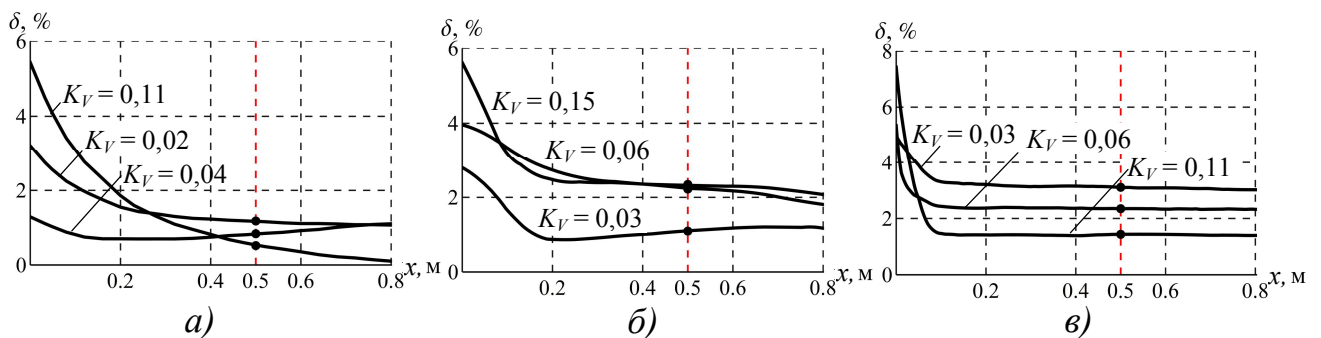


Рисунок 10 – Похибка використання методу ефективною магнітної проникності для моделювання ослаблення ГМП реальними залізобетонними конструкціями (а, б – циліндрична та квадратна колона, в – плита)

На основі використання методу ефективною магнітної проникності для розрахунку МП в приміщеннях будинку, та чисельного експерименту методом скінчених елементів, обґрунтовано можливість застосування спрощеної розрахункової моделі для моделювання розподілу МП в приміщенні, яка представлена на рис. 11 б. Розміри розрахункової моделі відповідають розмірам приміщення будинку та розмірам елементів сталевих каркасу, що охоплює приміщення, де значення h , a_1 визначаються стандартною довжиною сталевих стрижнів (6 м).

Обґрунтування можливості застосування моделі (рис. 11, б), та методики моделювання на її основі, засноване на виявленому слабкому взаємному магнітному впливі залізобетонних конструкцій, що охоплюють різні приміщення будинку. Підтвердженням цього є наведені на рис. 12 результати чисельного моделювання розподілу МП в вертикальній площині, що проходить через середину приміщень 5-ти поверхового будинку. Будинок моделюється залізобетонною конструкцією з 6 плит

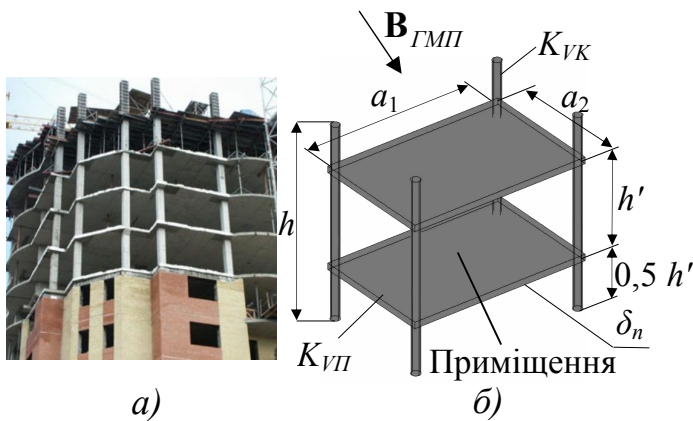


Рисунок 11 – Сучасний багатоповерховий будинок (а) та спрощена розрахункова модель для моделювання інтенсивності ослаблення ГМП в його приміщеннях (б)

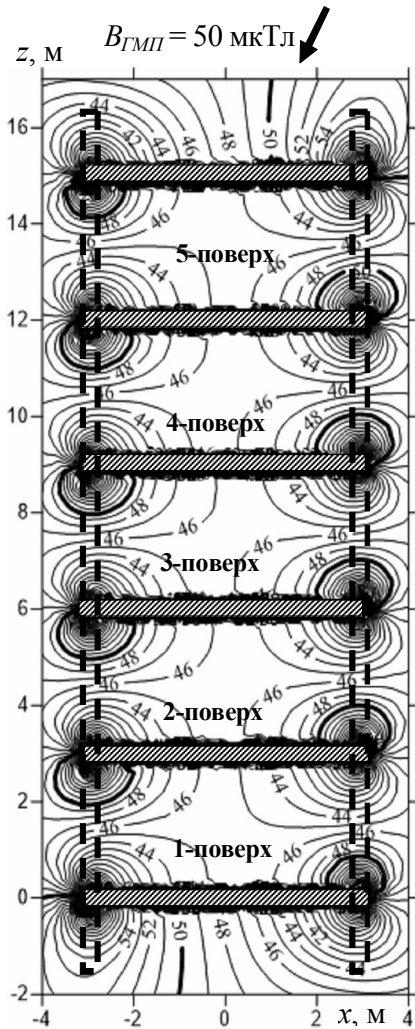


Рисунок 12 – Розподіл індукції МП (мкТл) в приміщеннях моделі 5-ти поверхового будинку під дією повного вектору ГМП конструкції, що визначає інтенсивність ослаблення ГМП всередині приміщень будинку.

(розмірами $a_1 = 6$ м; $a_2 = 4$ м; $\delta_n = 0,2$ м; магнітною проникністю $\mu_3 = 45$) та 4-х колон (висотою $h = 18$ м; діаметром $d = 0,3$ м; магнітною проникністю $\mu_3 = 45$). Як випливає з рис.12 та інших матеріалів дисертації, розкид розподілу індукції МП на різних поверхах є незначним і не перевищує 2 %, що пояснюється слабким впливом вертикальної складової ГМП на інтенсивність ослаблення МП. Крім того, наявність зварних з'єднань між залізобетонними конструкціями різних приміщень будинку, додатково послаблює взаємний магнітний вплив між цими конструкціями.

Експериментальним підтвердженням адекватності спрощеної розрахункової моделі (рис. 11, б) є незалежність інтенсивності ослаблення ГМП від поверху розташування приміщень будинку.

Верифікація запропонованої спрощеної розрахункової моделі, та методики розрахунку інтенсивності ослаблення ГМП на її основі, виконана для приміщення будинку зі збірного залізобетону з цегляними стінами (рис. 1), в якому вимірний розподіл індукції ГМП, що представлений на рис. 8, б. Будинок розташований під кутом 45 град. відносно горизонтальної складової ГМП.

Розрахунок розподілу магнітної індукції виконано на висоті 0,5 м від підлоги приміщення, при значеннях $\mu_n = 300$ і розмірах (рис. 11, б): $h = 6$ м; $a_1 = 6$ м; $a_2 = 4$ м; $h' = 3$ м; $\delta_n = 0,2$ м; $K_{VK} = 0,07$; $K_{VII} = 0,1$.

Результати розрахунку представлені на рис. 13, а. На рис. 13, б наведено результати експериментальних досліджень розподілу індукції ГМП, отримані в кімнаті цього житлового будинку.

Порівняння представлених на рис. 13 результатів показує, що розкид розрахункових і експериментальних значень індукції МП не перевищує 10 % та є прийнятним для інженерного розрахунку розподілу МП в приміщення будинку на етапі його проектування. Це підтверджує коректність запропонованої спрощеної методики моделювання статичного ГМП в приміщеннях сучасних житлових будинків, а також адекватність запропонованої на рис. 11, б спрощеної розрахункової моделі феромагнітної будівельної

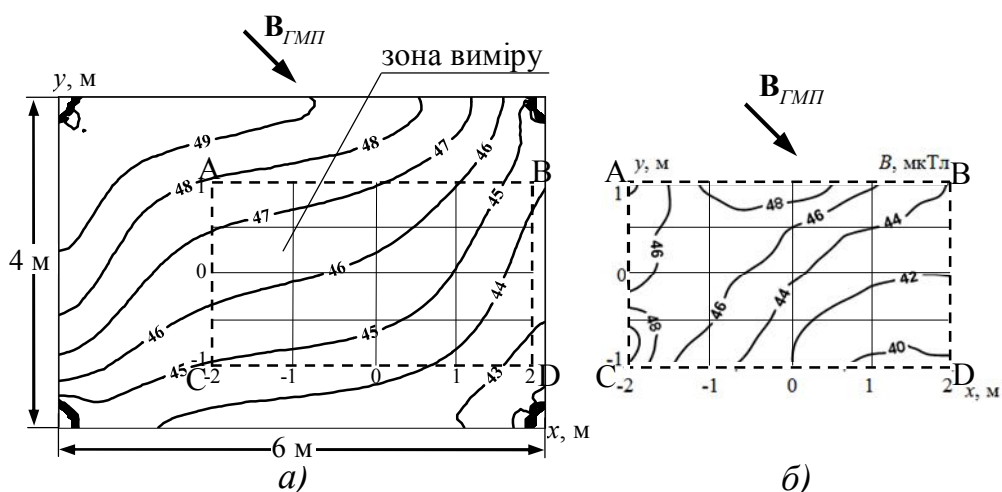


Рисунок 13 – Розподіл індукції магнітного поля (мкТл) в кімнаті реального будинку (а – розрахунок з виділенням пунктиром зони експерименту, б – експеримент)

У четвертому розділі запропоновано розроблені рекомендації з методів нормалізації ГМП при проектуванні «магніточистих» житлових будинків з безпечними та комфортними умовами проживання за статичним ГМП та наведені результати їх впровадження.

На основі виконаних досліджень запропоновані рекомендації з проектно-технологічних методів нормалізації ГМП в приміщеннях сучасних багатоповерхових житлових будинків, які представлені на рис. 14.



Рисунок 14 – Рекомендації з проектно-технологічних методів нормалізації ГМП в приміщеннях сучасних будинків

Теоретичними засадами цих рекомендацій є виявлена немонотонна залежність (рис. 6) коефіцієнту гіпогеомагнітності $K_{ГК}$ феромагнітної колони від коефіцієнту b та визначений його критичній діапазон, а також визначений граничний рівень відносної магнітної проникності μ_n сталевого арматурного прокату (не більш 70 одиниць), при якому створюються умови для виключення небезпечного ослаблення ГМП поблизу поверхні колони. Як показано в роботі, ці рекомендації можуть бути

розповсюджені на всі елементи феромагнітної конструкції (рис. 11).

На основі чисельного моделювання методом скінчених елементів підтверджена ефективність використання запропонованих рекомендацій з методів нормалізації ГМП. Так, на рис. 15 проілюстровано використання найбільш перспективного методу нормалізації ГМП (1.2 на рис. 14) та представлені порівняльні результати чисельного моделювання розподілу ГМП на висоті 0,5 м від підлоги приміщення будинку (рис. 11, *a*) при виконанні залізобетонних конструкцій: (*a*) – зі стандартної конструкційної сталі, (*б*) – зі спеціальної слабомагнітної конструкційної сталі. Наведені результати підтверджують можливість ефективної нормалізації індукції МП за допомогою цього методу з 36 мкТл до безпечного рівня 45 мкТл.

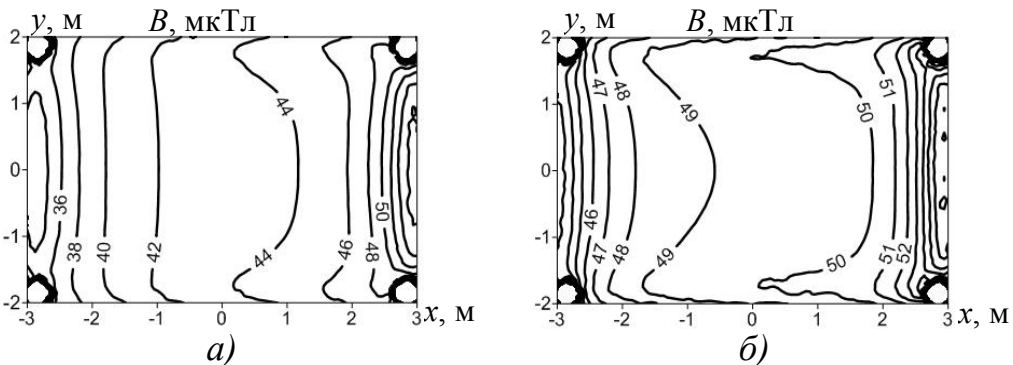


Рисунок 15 – Розподіл індукції МП (мкТл) в приміщенні на висоті 0,5 м від поверхні підлоги при використанні в його залізобетонних конструкціях стандартної (*a* – $\mu_n = 300$; $\mu_\epsilon \approx 45$) та спеціальної слабомагнітної (*б* – $\mu_n = 70$; $\mu_\epsilon \approx 10$) конструкційної сталі

Розроблені рекомендації з проектно-технологічних методів нормалізації ГМП частково реалізовані при проектуванні та будівництві житлових багатоповерхових будинків в м. Харкові, що дозволило створити більш комфортні умови для проживання населення в їх приміщеннях. Рекомендації також передані підприємствам Мінрегіонрозвитку України для аналізу можливості організації серійного виробництва арматурного будівельного прокату зі зменшеною до 70 одиниць відносною магнітною проникністю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі дістав подальшого розвитку метод еквівалентних зарядів та метод ефективної магнітної проникності для моделювання явища ослаблення статичного ГМП протяжними феромагнітними тілами та феромагнітними елементами будинків. Отримані в дисертації результати в сукупності складають істотний внесок в рішення науково-практичної задачі теоретичної електротехніки з моделювання явища ослаблення ГМП сталевими феромагнітними елементами конструкцій будинків та розробки рекомендацій з методів нормалізації ГМП в приміщеннях до безпечного та комфортного для людей рівня.

1. На основі аналізу фактичного рівня інтенсивності ослаблення ГМП в приміщеннях сучасних житлових будинків та його санітарно-гігієнічної оцінки, аналізу відомих методів моделювання та нормалізації явища ослаблення ГМП, обґрунтована

перспективність розвитку методів моделювання МП індуктивно намагнічених феромагнітних конструктивних елементів житлових будинків для розробки рекомендацій з методів нормалізації ГМП в житлових приміщеннях до безпечного рівня.

2. В аналітичному вигляді отримані залежності розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого циліндричною феромагнітною колоною, які дозволили дослідити вплив геометричних та магнітних параметрів колони на інтенсивність ослаблення ГМП поблизу її поверхні та визначити умови нормалізації ГМП.

3. Запропоновано в якості основної інтегральної характеристики інтенсивності ослаблення ГМП сталевую феромагнітною колонною використовувати коефіцієнт її гіпогеомагнітності, який визначає відносний об'єм простору, в якому рівень індукції ослабленого колоною ГМП є нижчим від нормованого рівня, та виявлено немонотонну залежність коефіцієнту гіпогеомагнітності колони від коефіцієнту її подовження, яка дає можливість зменшувати гіпогеомагнітність колони та інтенсивність ослаблення ГМП шляхом зміни співвідношень розмірів колони.

4. Визначено, що зменшення відносної магнітної проникності матеріалу сталеві арматури залізобетонних елементів сучасних багатоповерхових будинків зі 100-300 до 70 одиниць, дозволяє обмежити інтенсивність ослаблення ГМП в їх приміщеннях до безпечного рівня (не більше 10% від природного ГМП).

5. Отримав подальший розвиток метод ефективної магнітної проникності системи феромагнітних стрижнів, розташованих у немагнітному середовищі та обґрунтовано його застосування до залізобетонних будівельних конструкцій, армованих сталевую арматурою, що дозволило запропонувати спрощену методику з чисельного моделювання ослаблення ГМП поблизу залізобетонних колон та міжповерхових перекриттів житлових будинків, яка дозволяє при обмеженій похибці істотно спростити моделювання та розрахунок інтенсивності ослаблення ГМП.

6. Запропоновано та експериментально обґрунтовано розрахункову модель для визначення максимальної інтенсивності ослаблення ГМП в приміщеннях сучасних багатоповерхових житлових будинків, яка включає тільки ті залізобетонні конструкції, що охоплюють окреме приміщення, та дозволяє при обмеженій похибці істотно спростити моделювання та розрахунок максимальної інтенсивності ослаблення ГМП на етапі проектування будинку за допомогою методу скінчених елементів.

7. Розроблено рекомендації з методів нормалізації ГМП в приміщеннях багатоповерхових житлових будинків, засновані на використанні колон та інших протяжних феромагнітних елементів конструкції з коефіцієнтом подовження b , що не попадає в критичний діапазон 4 – 28, а також на виконанні залізобетонних конструкцій зі спеціальної слабомагнітної сталі з відносною магнітною проникністю не більш 70 одиниць, реалізація яких дозволяє створювати «магніточисті» житлові будинки з безпечним рівнем проживання за статичним магнітним полем, що ослаблюється не більше ніж на 5 мкТл, і складає не менше 90 % (45 мкТл) від природного ГМП.

8. Основні результати виконаних в дисертації досліджень і практичних розробок використані при виконанні тематичного плану ДУ «ІТПМ НАН України», у Інституті гігієни і медичної екології ім. А.Н. Марзеєва НАМН України при розробці проекту нормативного документу України «Державні санітарні правила і норми захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», при проектуванні та будівництві в м. Харкові сучасних каркасно-монолітних житлових

будинків з безпечними та комфортними умовами проживання за статичним магнітним полем (ТОВ «АВУАР»).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Левина С.В. (Грецких С.В.) Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях [текст] / В.Ю. Розов, Д.Е. Пелевин, С.В. Левина (С.В. Грецких) // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №6. – С. 72–76.

Здобувачем проведені експериментальні дослідження розподілу ГМП у приміщеннях житлових та громадських будинків та показано, що найбільш небезпечними за рівнем ослаблення ГМП є висотні каркасно-монолітні житлові будинки, які характеризуються підвищеним об'ємом сталі в їх залізобетонних конструкціях.

2. Левина С.В. (Грецких С.В.) Исследование явления ослабления статического геомагнитного поля стальной колонной [текст] / В.Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, С.В. Левина (С.В. Грецких) // Технічна електродинаміка. – Київ: ІЕД НАН України. – 2014. – № 1. – С. 12–19.

Здобувачем за допомогою методу еквівалентних зарядів, в аналітичному вигляді, розв'язано задачу розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого циліндричною феромагнітною колоною та запропоновано метод зменшення інтенсивності ослаблення ГМП на основі оптимізації геометричних і магнітних параметрів колони.

3. Левина С.В. (Грецких С.В.) Моделирование статического геомагнитного поля внутри помещений современных жилых домов [текст] / В.Ю. Розов, С.В. Левина (С.В. Грецких) // Технічна електродинаміка. – Київ: ІЕД НАН України. – 2014. – №4. – С. 8–10.

Здобувачем розвинуто метод ефективної магнітної проникності для системи феромагнітних тіл, розташованих у немагнітному середовищі, та вперше запропоновано і експериментально обґрунтовано методіку розрахунку індукції статичного ГМП, ослабленого залізобетонними конструкціями будинків.

4. Грецких С.В. Методы нормализации статического геомагнитного поля в жилых домах [текст] / В.Ю. Розов, А.В. Завальный, С.М. Золотов, С.В. Грецких // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – №2. – С. 35–40.

Здобувачем розроблені проектно-технологічні методи нормалізації ослаблення ГМП в приміщеннях житлових будинків та запропоновані рекомендації з особливостей проектування житлових будинків з безпечними за статичним ГМП умовами проживання, засновані на оптимізації геометричних параметрів залізобетонних колон та використанні в житловому будівництві спеціальної слабомагнітної сталі.

5. Грецких С.В. Анализ влияния магнитной проницаемости стальных элементов железобетонных конструкций домов на уровень ослабления геомагнитного поля в помещениях [текст] / С.В. Грецких // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – №13. – С. 81–89.

Здобувачем визначено та обґрунтовано, що для обмеження інтенсивності ослаблення ГМП в приміщеннях сучасних багатоповерхових будинків до безпечного рівня, матеріал сталевих арматур залізобетонних будівельних конструкцій повинен мати початкову відносну магнітну проникність не більше 70 одиниць.

6. Левина С.В. (Грецких С.В.) Исследование статического геомагнитного поля в жилых и общественных помещениях [текст] / В.Ю. Розов, Ю.Д. Думанский, Д.Е. Пелевин, С.В. Левина (С.В. Грецких) // Гігієна населених місць: Зб. наук. пр. – Київ: ДУ «ІГМЕ АМНУ». – 2013. – № 62. – С.169–177.

Здобувачем методом скінчених елементів досліджено механізм ослаблення ГМП на прикладі сталеві колони та експериментально обґрунтовано необхідність нормалізації ГМП в приміщеннях житлових будинків до безпечного для населення рівня.

АНОТАЦІЇ

Грецких С.В. Ослаблення статичного геомагнітного поля ферромагнітними елементами будинків. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

Дисертація присвячена математичному моделюванню явища ослаблення статичного геомагнітного поля (ГМП) в приміщеннях житлових будинків та розробці рекомендацій з методів його нормалізації до безпечного рівня. На прикладі циліндричної ферромагнітної колони проведено моделювання ослаблення ГМП за допомогою методу еквівалентних (фіктивних) магнітних зарядів та розв’язано задачу розрахунку індукції ГМП, ослабленого протяжними ферромагнітними елементами. Визначенні фізичні параметри ферромагнітної колони, що впливають на інтенсивність ослаблення ГМП поблизу її поверхні, та умови зменшення до безпечного рівня інтенсивності ослаблення ГМП за рахунок зміни геометрії колони та зменшення початкової магнітної проникності її матеріалу.

Здійснено розвиток методу ефективної магнітної проникності Аркадьєва для моделювання магнітного поля залізобетонних колон та міжповерхових перекриттів, армованих сталевим металопрокатом, та виконане чисельне моделювання інтенсивності ослаблення статичного ГМП в приміщеннях житлових будинків з несучими залізобетонними конструкціями і його верифікацію на основі результатів експерименту. Розроблені рекомендації з методів нормалізації ГМП при проектуванні сучасних житлових будинків для створення безпечних та комфортних умов проживання населення за статичним ГМП.

Ключові слова: статичне магнітне поле, ослаблення геомагнітного поля, ферромагнітні елементи, метод еквівалентних зарядів, залізобетонні конструкції, метод ефективної магнітної проникності.

Грецких С.В. Ослабление статического геомагнитного поля ферромагнитными элементами домов. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.05 – теоретическая электротехника. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена математическому моделированию явления ослабления статического геомагнитного поля (ГМП) в помещениях жилых домов и разработке рекомендаций по методам его нормализации до безопасного уровня. Полу-

ченные в диссертации результаты в совокупности составляют существенный вклад в решение научно-прикладной задачи теоретической электротехники по моделированию явления ослабления ГМП стальными ферромагнитными элементами конструкций домов и разработки рекомендаций по методам нормализации ГМП в помещениях до безопасного для людей уровня.

Обоснована необходимость дальнейшего развития методов моделирования магнитного поля индуктивно намагниченных ферромагнитных элементов относительно моделирования явления ослабления ГМП в жилых помещениях стальными конструкциями современных каркасно-монолитных жилых домов и разработки методов его нормализации до безопасного уровня. Методом эквивалентных (фиктивных) магнитных зарядов получены аналитические зависимости для расчета индукции статического ГМП, ослабленного цилиндрической ферромагнитной колонной, позволяющие исследовать влияние геометрических и магнитных параметров протяженных ферромагнитных элементов на интенсивность ослабления ГМП вблизи их поверхности и определить условия нормализации ГМП.

Предложено в качестве основной интегральной характеристики интенсивности ослабления ГМП стальной колонной использовать коэффициент гипогеомагнитности колонны, определяющий относительный объем пространства, в котором уровень индукции ослабленного колонной ГМП является ниже нормированного уровня и выявлено немонотонную зависимость этого коэффициента от коэффициента ее удлинение, что дает возможность уменьшать гипогеомагнитность колонны и интенсивность ослабления ГМП путем изменения соотношений размеров и величины магнитной проницаемости протяженных ферромагнитных элементов. Методом конечных элементов определено и экспериментально обосновано, что для ограничения интенсивности ослабления ГМП в помещениях современных многоэтажных каркасно-монолитных домов до безопасного уровня (не более 10 % от природного ГМП), относительная магнитная проницаемость стальной арматуры железобетонных элементов зданий не должна превышать 70 единиц.

Получил дальнейшее развитие метод эффективной магнитной проницаемости системы ферромагнитных стержней, расположенных в немагнитной среде применительно к железобетонным строительным конструкциям, армированным стальной арматурой, и на его основе с применением метода конечных элементов, предложена методика инженерного расчета ослабления ГМП вблизи железобетонных колонн и межэтажных перекрытий современных жилых домов, которая позволяет при ограниченной погрешности (не больше 3,5 %) существенно упростить моделирование и расчет ослабленного ГМП.

Предложена и экспериментально обоснована расчетная модель для определения интенсивности ослабления ГМП в помещениях многоэтажных жилых домов, которая включает только те железобетонные конструкции, которые охватывают отдельное помещение, и позволяет при ограниченной погрешности существенно упростить расчет максимальной интенсивности ослабления ГМП на этапе проектирования дома с помощью метода конечных элементов.

Разработаны рекомендации по методам нормализации ГМП в помещениях многоэтажных жилых домов при их проектировании, реализация которых позволяет создавать «магниточистые» жилые дома с безопасным и комфортным уровнем про-

живания по статическому магнитному полю, которое ослабляется не больше чем на 5 мкТл, и составляет не менее 90 % от природного ГМП (45 мкТл).

Основные результаты выполненных в диссертации исследований и практических разработок использованы при выполнении тематического плана ГУ «ИТПМ НАН Украины», в Институте гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева НАМН Украины при разработке «Государственных санитарных правил и норм защиты населения от влияния электромагнитных излучений», при проектировании и строительстве в г. Харькове современных каркасно-монолитных жилых домов с безопасными условиями проживания (ООО «АВУАР»). Результаты работы рекомендованы к применению научным и промышленным учреждениям и предприятиям, выполняющим разработку методов и средств моделирования, расчета и нормализации статического ГМП в жилых домах, проектирующим современные жилые дома с безопасными условиями проживания по магнитному полю.

Ключевые слова: статическое магнитное поле, ослабление геомагнитного поля, ферромагнитные элементы, метод эквивалентных зарядов, железобетонные конструкции, метод эффективной магнитной проницаемости.

Gretskyh S.V. The weakening of the static geomagnetic field by the ferromagnetic elements of houses. The manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.09.05 – theoretical electrical engineering. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2016.

The thesis is devoted to mathematical modeling of the phenomenon of weakening of the static geomagnetic field (GMF) in residential homes and to the development of recommendations on how to normalize it to a safe level.

The modeling of weakening of the GMF was performed with the help of the equivalent charges method. The cylindrical ferromagnetic column was taken as an example. In the framework of this technique the problem of calculation of the GMF's induction weakened by extended ferromagnetic elements was solved. The physical parameters of the ferromagnetic column which effect the weakening of GMF are determined. The conditions under which GMF is reduced to the safety level are also determined. This is due to the changes of the GMF's geometry and reducing of initial magnetic permeability of its material. The Arcadieiev method of the effective magnetic permeability for modeling of magnetic field of reinforced concrete columns and intermediate floors was developed. The numerical modeling of static GMF in premises of houses with reinforced concrete structures was performed. The numerical results were experimentally confirmed. The recommendations for normalizing of GMF for creating safe and comfortable living conditions are given. These recommendations should be taken into account in designing modern premises of houses.

Key words: static magnetic field, the weakening of the geomagnetic field, the ferromagnetic elements, the method of equivalent charges, the reinforced concrete construction, the method of the effective permeability.



Підписано до друку 01.04.2016 р. Формат 60x90/16
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний
Друк – різнограф. Ум. друк. аркушів.0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № 158

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354