

**С.В. ГРЕЦКИХ**, м.н.с., Институт технических проблем  
магнетизма НАН Украины, Харьков

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ  
СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ ДОМОВ НА УРОВЕНЬ ОСЛАБЛЕНИЯ  
ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ**

Показано, что использование в строительстве стандартного арматурного проката приводит к опасному ослаблению геомагнитного поля в помещениях. Определены требования к магнитной проницаемости "слабомагнитной" конструкционной стали ( $\mu_r < 70$ ), применение которой в жилищном строительстве позволит обеспечить комфортные условия проживания по магнитному полю.

**Ключевые слова:** магнитная проницаемость, конструкционная сталь, ослабление геомагнитного поля, железобетонные строительные конструкции.

**Введение.** Известно [1], что стальная арматура железобетонных конструкций современных жилых домов намагничивается в геомагнитном поле (ГМП) и ослабляет естественное ГМП в помещениях, что представляет угрозу для здоровья населения [2]. Поэтому актуальной является задача нормализации ГМП в жилых домах до безопасного уровня [3] – не меньше 90% естественного ГМП (индукции 45 мкТл) при естественной индукции ГМП в 50 мкТл для широтной зоны Украины.

Эффективным методом нормализации ГМП в помещениях может быть использование в строительстве специальной конструкционной стали с уменьшенной магнитной проницаемостью [4]. Однако магнитные характеристики конструкционных сталей, а также их влияние на уровень ослабления ГМП в помещениях, исследованы не достаточно. Это не позволяет сформулировать обоснованные требования к магнитной проницаемости специальной "слабомагнитной" конструкционной стали, применение в строительстве которой позволит ограничить ослабление ГМП на допустимом уровне.

**Целью настоящей работы** является определение максимально допустимого значения относительной магнитной проницаемости арматурного проката железобетонных конструкций домов, при

© С.В. Грецких, 2015

котором уровень ослабления естественного ГМП в помещениях не превышает безопасного значения 10 %.

**Исследования** проведем на примере цилиндрической железобетонной колонны, армированной арматурой из конструкционной стали, применяя предложенный в [4] аналитический метод моделирования магнитоэстатического поля для задач с осевой симметрией, а затем для предложенной в [5, 6] физической модели помещения каркасно-монолитного жилого дома на основе численного моделирования в программной среде Comsol Multiphysics. При анализе предполагаем, что на конструкцию действует только естественное статическое ГМП. Остаточная намагниченность материала конструкции отсутствует.

Исследование влияния железобетонной колонны на уровень ослабления ГМП. Вначале определим рабочие значения магнитной проницаемости применяемой для строительства конструкционной стали [7, 8] при ее намагничивании в ГМП. Для этого используем полученные на основе [9, 10, 11], а также на основе выполненных лабораторных исследований, зависимости магнитной проницаемости конструкционной стали от напряженности намагничивающего магнитного поля (кривые 1 на рис.1).

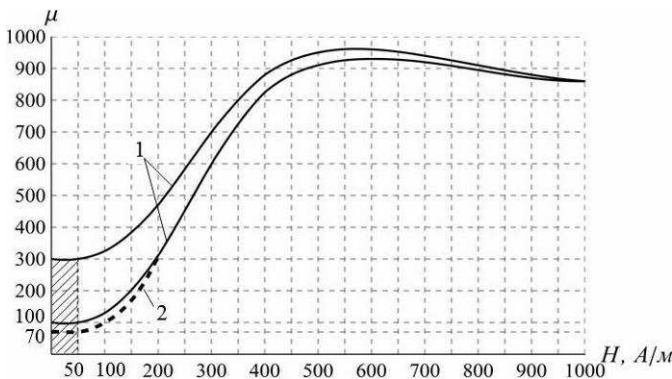


Рис. 1 – Зависимость магнитной проницаемости используемых в строительстве конструкционных сталей от напряженности намагничивающего магнитного поля (кривые 1) и значение магнитной проницаемости для рекомендуемой "слабмагнитной" стали (кривая 2)

Как следует из рис. 1, в слабом ГМП с индукцией 50 мкТл, рабочий диапазон напряженности намагничивающего поля не превышает 50 А/м (заштрихованная область на рис. 1), при котором

магнитная проницаемость материала слабо зависит от напряженности ГМП и может быть принята равной начальной магнитной проницаемости  $\mu_n$  с разбросом 100-300.

Магнитную проницаемость материала стальных конструкций при исследовании варьируем в диапазоне 33-300 единиц. При этом переход от сплошной стальной конструкции объемом  $V_k$  к армированной стальными прутьями железобетонной конструкции с суммарным объемом ферромагнитных элементов  $V_\phi$ , осуществляем на основе предложенной в [6] методики эквивалентной замены сложной многоэлементной железобетонной конструкции на сплошную конструкцию с аналогичной внешней граничной поверхностью и объемом, которая с ограниченной погрешностью [6] может быть охарактеризована эквивалентной магнитной проницаемостью  $\mu_3$ :

$$\mu_3 \approx \mu_n \cdot K_V; \quad K_V = \frac{V_\phi}{V_k}, \quad (1)$$

где  $K_V$  – коэффициент заполнения [7, 8], который для железобетонных колонн и межэтажных перекрытий варьируется в диапазоне фактических значений 0,05-0,15.

Анализ проведем для современных каркасно-монолитных жилых домов, значение  $K_V$  для колонн и межэтажных перекрытий которых составляет 0,15 [7, 8]. При этом значение  $\mu_3$  в соответствии с (1) и разбросе  $\mu_n$  от 33 до 300 варьируется в диапазоне 5-45.

Интенсивность ослабления ГМП цилиндрической железобетонной колонной высотой  $h$  и радиусом  $r$  будем оценивать в соответствии с [4], используя коэффициент гипогеомагнитности колонны  $K_{ГК}$ , который равен объему  $V_{Gn}$ , отнесенному к кубу радиуса  $r$  колонны:

$$K_{ГК} = V_{Gn} / r^3, \quad (2)$$

где  $V_{Gn}$  – объем пространства вблизи колонны, в котором интенсивность ослабления ГМП превышает предельно допустимое значение 10% и составляет менее 45 мкТл.

На основе применения предложенного авторами в [4] аналитического метода моделирования магнитоэстатического поля для задач с осевой симметрией, на рис. 2 представлены полученные зависимости влияния магнитной проницаемости материала колонны на интенсивность ослабления ГМП, характеризуемого коэффициентом  $K_{ГК}$ , при изменении относительной протяженности колонны в диапазоне  $b$  (1-40).

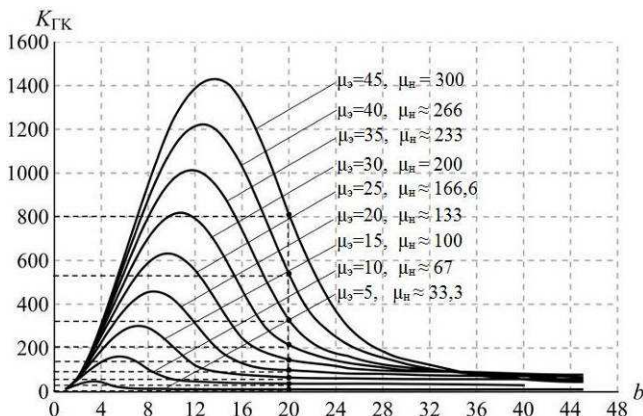


Рис. 2 – Зависимость коэффициента гипогеомагнитности  $K_{ГК}$  цилиндрической стальной колонны от относительной протяженности колонны  $b$  при  $K_V=0,15$ ,  $G_n=0,9$  и разных значениях магнитной проницаемости

Как следует из рис. 2, уменьшение относительной начальной магнитной проницаемости  $\mu_n$  материала колонны приводит к монотонному уменьшению  $K_{ГК}$ , характеризующего интенсивность ослабления ГМП, который при  $\mu_n$  менее 70 и характерном для помещений жилых домов значении  $b = 20$  [6], становится близким к нулю.

Искомое значение магнитной проницаемости специальной конструкционной стали, использование которой в железобетонных колоннах позволяет исключить опасное ослабление ГМП, найдем из кривых на рис. 3, которые построены по данным рис. 2 и  $b = 20$  для разных значений  $K_V$ . Заштрихованная на рис. 3 зона нечувствительности позволяет исключить из анализа несущественные значения  $K_{ГК} < 40$ , находящиеся на уровне погрешности используемых методов анализа.

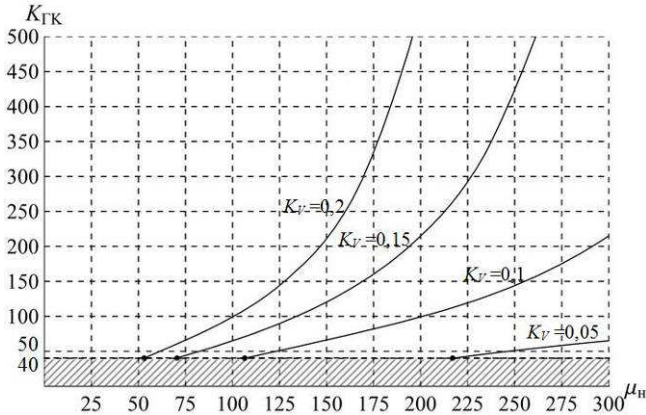


Рис. 3 – Зависимость  $K_{ГК}$  от начальной магнитной проницаемости конструкционной стали  $\mu_n$  при разных значениях коэффициента заполнения  $K_V$ ,  $b=20$ ,  $G_n = 0,9$

Как следует из рис. 3, при значениях  $K_V=0,15$ , типичных для наиболее распространенных каркасно-монолитных жилых домов [12], искомое значение  $\mu_n$  составляет менее 70 и соответствует кривой 2 на рис. 1.

Полученные выводы с приемлемой для инженерной оценки погрешностью могут быть распространены и на железобетонные колонны прямоугольной формы.

Исследование влияния железобетонной конструкции каркасно-монолитного дома на уровень ослабления ГМП. Исследование выполнялось на основе математического моделирования в программной среде Comsol Multiphysics распределения индукции ГМП в помещении дома с железобетонными колоннами и перекрытиями на основе физической модели [5, 6] ферромагнитной конструкции (рис. 4,а), учитывающей взаимное магнитное влияние охватывающих помещение колонн и перекрытий. Распределение магнитной индукции моделировалось в горизонтальной плоскости, расположенной на высоте 0,5 м от пола помещения, а также в вертикальной плоскости, проходящей через оси колонн, при значениях  $\mu_n = 300$  и  $\mu_n = 67$  и коэффициенте  $K_V$  равном 0,15.

Для построения трехмерной модели был использован модуль "Magnetic Fields, No Currents (mfnc)". При этом расчетная область представляла собой прямоугольный параллелепипед с размерами  $a=10\text{м}$ ;  $b=8\text{м}$ ;  $c=8\text{м}$  (рис. 4, б). При моделировании использовалась

сетка типа "Free Triangular", размером "Extra fine" (максимальный размер элемента сетки – 0,3 м; минимальный – 0,05 м).

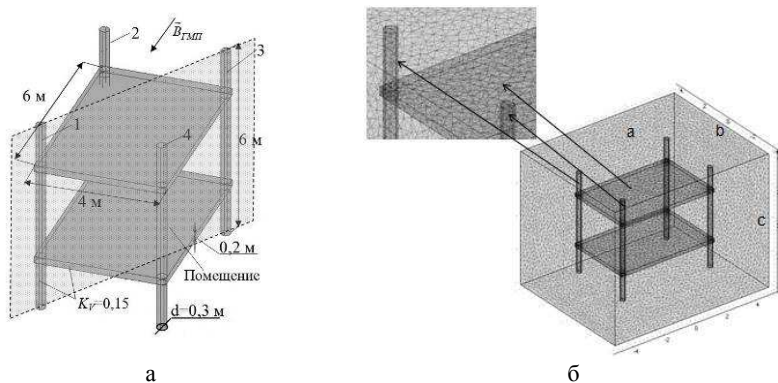


Рис. 4 – Железобетонная конструкция помещения: а – физическая модель; б – трехмерная расчетная модель магнитного поля в программной среде COMSOL Multiphysics

Результаты моделирования распределения ГМП в помещении в виде карт распределения магнитной индукции в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости представлены на рис. 5 и рис. 6 соответственно.

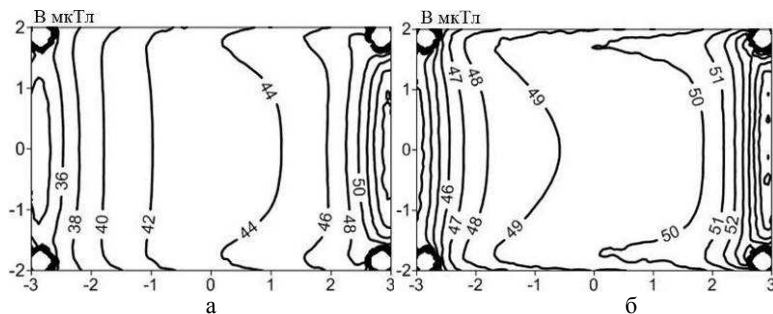


Рис. 5 – Распределение индукции МП в помещении на высоте 0,5 м от поверхности пола: а – при использовании стандартной конструкционной стали  $\mu_n=300$ ,  $\mu_3=45$ ; б – при использовании специальной конструкционной стали  $\mu_n=67$ ,  $\mu_3=10$

Как следует из результатов моделирования, при использовании стандартной конструкционной стали с  $\mu_n=300$  (рис. 5,а и рис. 6,а), наблюдается опасное ослабление ГМП в помещении (до индукций 35 мкТл), что составляет 65% естественного ГМП при нормативе 90%. Указанные результаты достаточно хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований, приведенных [5], что подтверждает правильность выполненного выше анализа.

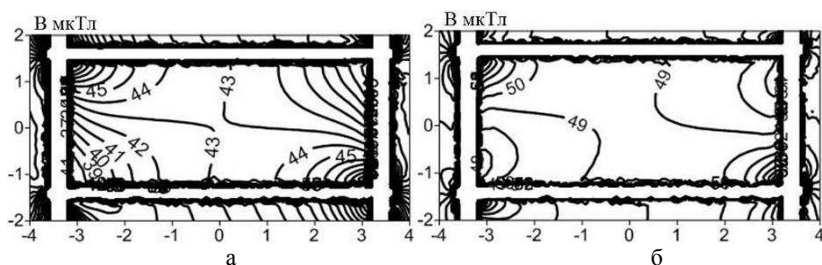


Рис. 6 – Распределение индукции ГМП в помещении в вертикальной плоскости, проходящей через оси колонн 1, 3 (рис.4,а): а – при использовании стандартной конструкционной стали  $\mu_n=300$ ,  $\mu_s=45$ ; б – при использовании специальной конструкционной стали  $\mu_n=67$ ,  $\mu_s=10$

Как следует из результатов моделирования, при использовании предлагаемой специальной конструкционной стали с  $\mu_n=67$  (рис. 5,б и рис. 6,б) ослабление ГМП в помещении нормализуется до значений индукции не менее 46 мкТл, что соответствует безопасным и комфортным условиям проживания в соответствии с [3].

Полученные результаты подтверждают эффективность использования при строительстве домов специальной "слабомагнитной" конструкционной стали с начальной эквивалентной магнитной проницаемостью  $\mu_s < 10$  ( $\mu_n < 70$ ), что позволит нормализовать ГМП в помещении до комфортного для проживания уровня с индукцией не менее 45 мкТл. Однако при этом целесообразно одновременное использование метода размагничивания стальных строительных конструкций перед их монтажом [12] для снятия остаточной намагниченности.

Практическая реализация рассмотренного метода нормализации ГМП связана с освоением в Украине технологии серийного производства специальной "слабомагнитной" конструкционной строительной стали с нормированным значением начальной магнитной

проницаемости  $\mu_n < 70$  и организации ее внедрения в строительные технологии.

**Выводы.** 1. Впервые, на основе разработанных методов моделирования явления ослабления естественного геомагнитного поля (ГМП) стальными конструкциями, проведены исследования влияния магнитной проницаемости отдельных элементов железобетонных конструкции, выполненных из конструкционной стали, а также строительной конструкции в целом, на уровень ослабления ГМП в помещениях современных жилых домов.

2. Показано, что использование в строительстве домов стандартного стального арматурного проката, относительная начальная магнитная проницаемость которого имеет разброс от 100 до 300 единиц, может привести к ослаблению индукции ГМП в помещениях до опасных значений менее 35 мкТл, при допустимом уровне 45 мкТл.

3. Впервые определены требования к начальной магнитной проницаемости специальной "слабомагнитной" конструкционной стали ( $\mu_n < 70$ ), применение которой в жилищном строительстве позволит снять проблему опасного ослабления естественного ГМП в помещениях, вызванного индуцированной ГМП намагниченностью ферромагнитных элементов строительных конструкций.

**Список литературы:** 1. *Розов В.Ю.* Исследование техногенных искажений геомагнитного поля в жилых и производственных помещениях и определение путей их снижения до безопасного уровня / *В.Ю. Розов, М.М. Резинкина, Ю.Д. Думанский, Л.А. Гвозденко* // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Ч. 2. – С. 3-8. 2. *Сердюк А.М.* Екологічна значущість геомагнітного поля та медично-біологічні передумови гігієнічної регламентації його ослаблення 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. 3. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM-2008 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie + Ökologie IBN, 2008. – 5 p. <<http://www.createhealthyhomes.com/SBM-2008.pdf>>. 4. *Розов В.Ю.* Исследование явления ослабления статического геомагнитного поля стальной колонной / *В.Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, С.В. Левина* // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 1. – С. 12-19. 5. *Розов В.Ю.* Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях / *В.Ю. Розов, Д.Е. Пелевин, С.В. Левина* // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – №6. – С. 72-76. 6. *Розов В.Ю.* Моделирование статического геомагнитного поля внутри помещений современных жилых домов / *В.Ю. Розов, С.В. Левина* // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 8-10. 7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6698:2009 – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України 2011 – 71 с. – (Національний стандарт України). 8. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ISO 6935-2:1991, NEQ): ДСТУ 3760:2006 – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України 2007 – 28 с. – (Національний стандарт України). 9. *Кувалдин А.Б.* Особенности



расчета параметров электромагнитного поля в ферромагнитной стали / *А.Б. Кувалдин // Промышленный электрообогрев и электроотопление. – 2014. – №2. – С. 26-30.* **10.** *Березков Б.Н.* Конструкционные материалы. Часть 1. Стали и сплавы: Метод. указания / *Б.Н. Березков, А.В. Архипов. – С.: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2001. – 16 с.* **11.** *Прийма М.В.* Магнитные характеристики стали СтЗ при температуре 4,2-300 К / *М.В. Прийма, Л.С. Ширшов, П.А. Щербачков. – С.: Препринт ИФВЭ 87-173., 1987. – 8 с.* **12.** *Розов В.Ю.* Методы нормализации статического геомагнитного поля в жилых домах / *В.Ю. Розов, А.В. Завальный, С.М. Золотов, С.В. Грецких // Электротехника и электромеханика. – 2015. – №2. – С. 35-40.*

**Bibliography (transliterated):** 1. Rozov V.Yu., Rezinkina M.M., Dumanskiy Yu.D., Gvozdenko L.A. "Issledovanie tekhnogennykh iskazhenii geomagnitnogo polia v zhilykh i proizvodstvennykh pomeshcheniyakh i opredelenie putei ikh snizheniia do bezopasnogo urovnia." *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyj vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki.* 2 (2008): 3-8. Print. 2. Serduk A.M., Grigoriev P.Ye., Akimenko V.Y., Protas S.V. "Ekolohichna znachushchist heomahnitnoho polia ta medychno-bioliichni peredymovy hihienichnoi rehlamentatsii ioho oslablennia v umovakh Ukrainy." *Dovkillia i zdorovia.* 3 (2010): 8-11. Print. 3. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM-2008 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie + Ökologie IBN, 2008. 5 p. <<http://www.createhealthyhomes.com/SBM-2008.pdf>>. 4. Rozov V.Yu., Reutskiy S.Yu., Levina S.V. "Issledovanie iavleniia oslablennia staticheskogo geomagnitnogo polia stal'noi kolonnoi." *Tekhnichna elektrodynamika.* 1 (2014): 12-19. Print. 5. Rozov V.Yu., Pelevin D.Ye., Levina S.V. "Eksperimental'nye issledovaniia iavleniia oslablennia staticheskogo geomagnitnogo polia v pomeshcheniyakh." *Elektrotekhnika i elektromekhanika.* 6 (2013): 72-76. Print. 6. Rozov V.Yu., Levina S.V. "Modelirovanie staticheskogo geomagnitnogo polia vnutri pomeshchenii sovremennykh zhilykh domov." *Tekhnichna elektrodynamika.* 4 (2014): 8-10. Print. 7. *DBN B. 2.6698:2009. Konstruktsii budynkiv i sporyd. Betonni ta zalizobetonni konstrukcii. Osnovni polozhennia.* Kyiv, Minrehionbud Publ., 2011, 71. Print. 8. *DSTU 3760:2006. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni umovy.* Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy Publ., 2007, 28. Print. 9. Kuvaldin A.B. "Osobennosti rascheta parametrov elektromagnitnogo polia v ferromagnitnoi stali." *Promyshlennyi elektroobogrev i elektrootoplenie.* 2 (2014): 26-30. Print. 10. Berezkov B.N., Arkhipov A.V. "Konstruktsionnye materialy. Chast' 1. Stali i сплавы: Metod. Ukazaniia." *Samara, Samar. gos. aerokosm. un-t,* 2001, 16. Print. 11. Priima M.V., Shirshov L.S., Shcherbakov P.A. "Magnitnye kharakteristiki stali StZ pri temperature 4,2-300 K." *Serpukhov, Preprint IFVE 87-173,* 1987, 8. Print. 12. Rozov V.Yu., Zavalnyi A.V., Zolotov S.M., Gretskiykh S.V. "Metody normalizatsii staticheskogo geomagnitnogo polia v zhilykh domakh." *Elektrotekhnika i elektromekhanika.* 2 (2015): 35-40. Print.

*Поступила (received) 16.03.2015*



**Грецких Светлана Владимировна**, младший научный сотрудник ГУ "Институт технических проблем магнетизма Национальной академии наук Украины" (ГУ "ИТПМ НАНУ"). Защитила диплом магистра по специальности "физика" в 2011 г. в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразина. В 2011-2014 гг. училась в аспирантуре при ГУ "ИТПМ НАНУ". С ноября 2014 г. является работником ГУ "ИТПМ НАНУ". Научные интересы связаны с исследованием статического магнитного поля и его влиянием на объекты.