

УДК 537.613

Г. В. Ломаев, д-р техн. наук, проф.

П. А. Шихарев, магистрант

E-mail: [pashaplay@mail.ru](mailto:pashaplay@mail.ru)

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## **Моделирование магнитных полей в строительных сооружениях с элементами конструкции, содержащими ферромагнетики**

*В работе рассматриваются вопросы искажения магнитного поля Земли в строительных сооружениях. В настоящее время хорошо известно явление возникновения гипогомагнитных полей внутри строительных сооружений и их негативное влияние на живые организмы. Механизмы появления искажения магнитного поля Земли в настоящее время изучены недостаточно полно. С помощью 3D-моделирования результирующих магнитных полей возле арматурных прутков и анализа численных значений магнитного поля заранее, на стадии строительства, прогнозируется возможность выявления опасных магнитопогенных зон в жилых сооружениях.*

**Ключевые слова:** геомагнитное поле, искажение, опасные зоны, жилые сооружения, влияние на здоровье.

### **Введение**

Магнитное поле Земли (МПЗ) является природным фактором, в котором существуют все живые организмы, включая и людей. Однако не смотря на свое естественное происхождение, оно может оказывать негативное влияние ввиду своей неосязаемости органами чувств человека. Здоровье людей в урбанизированной среде, проживающих в условиях помещений жилых зданий 24 часа или пребывающих в условиях помещений общественных зданий и рабочих мест до 8 часов, находится в прямой зависимости от отклонений показателей геомагнитного поля (ГМП), соответствующих критериям «хорошей погоды» природных условий невозмущенного состояния атмосферы открытого пространства (в поле) для данного региона по ГОСТ Р 51724–01 [1].

Изменения показателей геомагнитного поля в помещениях жилых и общественных зданий напрямую зависят от ферромагнитных материалов в конструкции, технологий нормализации ГМП на этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий, а также от бесконтрольного использования предметов, содержащих железо, в условиях прожи-

вания и пребывания [2]. Современные результаты исследований подтверждают опасности для жизнедеятельности человека и его пребывания в условиях отклонений ГМП от естественных показателей [3].

### **Сведения из теории**

Кратковременное воздействие однократного и повторяющегося ослабления ГМП вызывает в организме здоровых людей выраженные компенсаторно-приспособительные реакции. Регистрируется значимое увеличение низкочастотного вклада в общую мощность спектра кардиоритма с 26 % до 38 %; увеличение в 1,3–2,4 раза активности альфаритма при электроэнцефалографии и уменьшение по данным реоэнцефалографии на 18–25 % кровенаполнения сосудов головного мозга, что подтверждает влияние ослабленного магнитного поля Земли на функциональное состояние сердечно-сосудистой и центральной нервной систем. В условиях ослабленного ГМП увеличиваются негативные воздействия на организм человека внешних факторов природного и техногенного происхождения [4].

При долгом нахождении человека в условиях искаженного магнитного поля, а в частности гипогомагнитного (ГГМП), проявляется ряд серьезных негативных воздействий на организм. К таким воздействиям относятся ослабление иммунитета (при ослаблении магнитного поля в 2 раза и более), заболевания сердечно-сосудистой системы, сбои в репродуктивной системе (при ослаблении поля в 4 раза и более), перестройка биологических ритмов организма, начало адаптационных преобразований, нарушение в работе эндокринной системы.

Теоретические вопросы проблемы «гипогомагнитное поле – человек» рассматриваются в магнитобиологии – разделе биологии, а также исследуются такими науками, как экология (электромагнитная) и медицина (спортивная и космическая).

### **Описание эксперимента**

Источниками опасных зон по фактору ГМП являются строительные сооружения, возведенные по монолитной или каркасной технологии [5]. При строительстве таких сооружений используются каркасы из арматуры, обладающие высокой магнитной проницаемостью и способностью концентрировать в своем сечении магнитное поле Земли. В объемах, ограниченных такими каркасами, поле Земли является ослабленным, а также меняет направление вектора.

Для проведения численного моделирования была выбрана программная среда GMSH, позволяющая моделировать распределение векторов напряженности магнитного поля в трехмерном пространстве [6].

Для выполнения поставленных при моделировании задач необходимо в программе GMSH создать 3 объема, отвечающих за воздух (Box 1) и 2 магнита (Box 2, Box 3) (Листинг 1). Магниты здесь необходимы для симуляции северного и южного магнитных полей. Граничные условия для магнитов задаются таким образом, чтобы в пространстве между ними было значение напряженности магнитного поля 43,5 А/м.

Параметры магнитной проницаемости  $\mu_r = 30$  и коэрцитивной силы  $H_C = 15000$  А/м для арматурного прутка заданы в соответствии с изменениями реальных арматурных прутков А500С № 20, использующихся при строительстве.

Размеры арматурного прутка выбраны следующие: длина 4 м, диаметр 0,025 м, расстояние между прутками 0,075 м.

#### Листинг 1. Задание объемов воздуха и магнитов

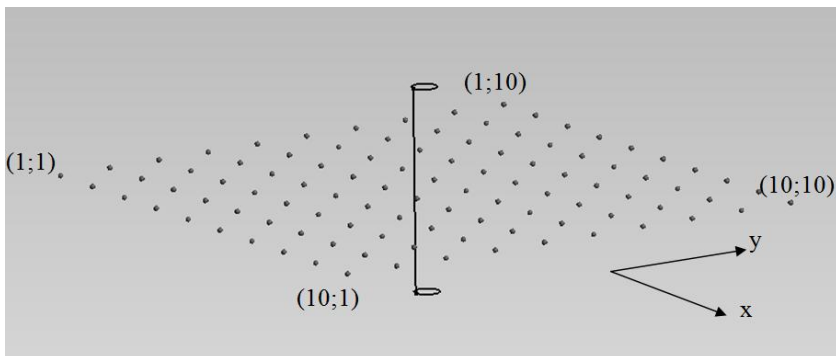
```
// Gmsh project created on Fri Dec 13 15:26:52 2019
//+
SetFactory("OpenCASCADE");
Box(1) = {-25, -25, -25, 100, 50, 100};
//+
Box(2) = {-24, -24.5, -24, 98, 1, 98};
//+
Box(3) = {-24, 23.5, -24, 98, 1, 98};
//+
Delete {
Volume{1};
}
```

В качестве объектов для исследования были выбраны следующие модели:

1. Арматурный пруток, намагниченный против МПЗ.
2. Четыре арматурных прутка, намагниченных чередующимся образом (1-й и 3-й арматурные прутки намагничены вдоль МПЗ, 2-й и 4-й намагничены против).
3. 36 арматурных прутков, расположенных в форме прямоугольника, который соответствует расположению арматурных прутков в конструкции жилых сооружений (пилоны или опоры).

Считаем, что основным источником намагниченности арматурных прутков является сам производитель, поставляющий арматурные прутки на место строительства без нормализации искажений и отклонений ГМП без проведения выходного контроля и размагничивания, методы и средства которых известны. Этот фактор связан с применением мощных промышленных электромагнитов при погрузке для транспортирования на место строительства арматурных прутков.

Итоговая модель (модель номер 1) с разбитой координатной сеткой приведена на рисунке. Расстояние между каждыми двумя близлежащими точками равняется 0,2 м.



Плоскость, из которой экспортируются значения напряженности результирующего магнитного поля

### Результаты и их обсуждение

Результаты моделирования приведены в табл. 1–3. Отсчет расстояния ведется от центра модели по осям абсцисс и ординат, перпендикулярным арматурным пруткам.

Таблица 1. Результаты моделирования напряженности магнитного поля возле модели № 1 (Результирующее магнитное поле)

	Напряженность магнитного поля в А/м									
1	-35	-36	-30	-30	-15	-33	-33	-33	-33	-37
2	-29	-29	-27	-2	-24	26	24	-23	-23	-31
3	-31	-24	44	44	55	26	24	24	-17	-28
4	-28	-28	24	22	237	865	69	54	-8	-29
5	-28	-22	107	279	214	265	252	54	-8	-8
6	-19	-14	24	163	413	576	259	28	-1	-25
7	-31	-19	163	7	7	48	48	-24	-17	-25
8	-28	-35	-36	-11	-11	-11	48	-24	-17	-25
9	-35	-33	-25	-26	-11	-11	-25	-25	-30	-37
10	-35	-33	-25	-25	-26	-26	-36	-36	-37	-40
Координата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Таблица 2. Результаты моделирования напряженности магнитного поля  
возле модели № 2**

	Напряженность магнитного поля в А/м									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-28	0	4	-47	-42	-50	-60	-69	-62	-62
2	9	0	48	-33	-33	-82	-116	-103	-109	-76
3	65	48	48	-33	-56	-54	-115	-106	-166	-166
4	40	609	273	3735	-127	-127	-225	-847	-166	-211
5	27	609	216	-1398	-56	3651	-614	-614	-672	-229
6	203	203	1026	-8075	3099	2651	-13287	-745	-672	-229
7	488	208	1026	423	205	794	-85	-393	-293	-293
8	143	208	1026	-92	-1618	48	-102	-393	-393	-233
9	-6	143	26	-92	-12	-102	-102	-81	-393	-233
10	41	-6	-46	-92	-44	-52	-102	-81	-42	-84
Координата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Таблица 3. Результаты моделирования напряженности магнитного поля  
возле модели № 3**

	Напряженность магнитного поля в А/м									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	677	619	2522	1542	1909	2464	458	1259	786	1140
2	1850	1850	1120	3307	493	831	458	1259	786	725
3	147	147	1120	2	605	222	595	458	786	989
4	284	480	249	2	605	170	329	434	520	1073
5	2657	256	367	379	157	170	-50	151	113	2471
6	3047	488	290	83	157	90	21	-50	113	-443
7	393	393	488	10	10	10	-188	-361	-1425	-2060
8	-2707	-70	59	14	10	-156	-156	-469	-1425	-1943
9	-4306	15	21	-43	-53	-252	-998	-587	-415	-2153
10	1462	393	53	3082	-79	-661	-1511	-935	-2211	1668
Координата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Возле модели № 1 – арматурного прутка, намагниченного против МПЗ, – имеются гипогеомагнитные поля (относительно предельно допустимого уровня 33 А/м в г. Ижевске) в радиусе от 0,4 до 1 метра. Это связано со встречным направлением линий магнитной индукции МПЗ и магнитного поля арматурного прутка [7].

Возле модели № 2 – четырех арматурных прутков, намагниченных чередующимся образом, – имеются наиболее опасные нулевые значения напряженности магнитного поля на расстоянии 1 метра.

Внутри модели № 3 имеется гипогеомагнитное поле в самом центре модели. Также видна смена направления векторов напряженности магнитного поля.

Моделирование результирующих магнитных полей возле арматурных полей подтверждает наличие ослабленных магнитных полей в кон-

струкциях с их применением. Таким образом, предварительное моделирование магнитных полей перед строительством общественных зданий для выявления возможных ослаблений магнитных полей носит жизненно важный характер.

### **Выводы**

В объемах жилых и рабочих зданий и сооружений, построенных по монолитной технологии, предполагающей наличие ферромагнитных элементов в конструкции, могут возникать и возникают искаженные магнитные поля. По результатам моделирования с помощью специализированных компьютерных программ имеется возможность отслеживания, а значит и предупреждения возможности возникновения магнитопатогенных участков в жилых и рабочих помещениях для сохранения здоровья людей.

*Работа выполнена при поддержке гранта ШАВ/20-67-21.*

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 51724–2001 Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогомагнитное. Методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам. – Текст : электронный // Библиотека нормативной документации. – URL: <https://gost.ruscable.ru/Index/8/8481.htm> (дата обращения: 18.04.2020).
2. *Ломаев, Г. В.* Гипогомагнитная экология и безопасность современных строительных сооружений / Г. В. Ломаев, Ю. Г. Рябов, Д. С. Кулешова // Магнитные явления : сб. ст. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 201–205.
3. Магнитопатогенные зоны в строительных сооружениях / Г. В. Ломаев, Д. С. Кулешова, Ю. Г. Рябов, Ю. В. Мышкин, Й. Орбан // Магнитные явления : сб. ст. Вып. 4. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. С. 109–122.
4. *Копанев, В. И.* Влияние гипогомагнитного поля на биологические объекты / В. И. Копанев, А. В. Шакула. Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1985. 72 с.
5. *Репин, А. А.* Причины ослабления геомагнитного поля в многоэтажных зданиях / А. А. Репин, Ю. Г. Рябов, Г. В. Ломаев // Стандарты и качество. 2020. № 995. С. 104–108.
6. *Розов, В. Ю.* Моделирование статического геомагнитного поля внутри помещений современных жилых домов / В. Ю. Розов, С. В. Левина // Техническая электродинамика. – 2014. – № 4. – С. 8–10.
7. *Розов, В. Ю.* Исследование явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях / В. Ю. Розов, Д. Е. Пелевин, С. В. Левина // Электротехника и электромеханика. – 2013. – № 6. – С. 72–76.

G. V. Lomaev, DSc in engineering, professor

P. A. Shikharev, postgraduate student

E-mail: [pashaplay@mail.ru](mailto:pashaplay@mail.ru)

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

## **Modeling of Magnetic Fields in Construction Structures with Structural Elements Containing Ferromagnets**

*The paper deals with the distortion of the Earth's magnetic field in construction buildings. At present, the phenomenon of the occurrence of hypogeomagnetic fields inside building structures and their negative impact on living organisms is well known. The mechanisms of the appearance of the distortion of the Earth's magnetic field are currently not fully understood. The aim of the work is to develop models for the occurrence of distortions of the Earth's magnetic field, identify the factors of its appearance and ways to eliminate it.*

**Keywords:** geomagnetic field, distortion, hazardous areas, residential buildings, health effects.