

УДК 537.613

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-2-76-86

Искажение магнитных полей вблизи стальных конструкций. Моделирование

М. С. Емельянова, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;

УдмФИЦ УРО РАН, Ижевск, Россия

П. А. Шихарев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Рассмотрены естественные вариации магнитного поля Земли и его техногенные искажения. Проанализированы действующие в Российской Федерации правила и нормы пребывания и проживания в местах с искажением магнитного поля Земли. Рассмотрены существующие методики устранения искаженных магнитных полей внутри жилых и рабочих помещений. Проведено моделирование искажений магнитного поля Земли строительными материалами и показано влияние их расположения в пространстве на общую картину результирующего магнитного поля.

Для моделирования влияния арматуры железобетонных конструкций на результирующее магнитное поле использовано 6 моделей расположения арматурных прутков и их групп: по одному арматурному прутку, намагниченному против магнитного поля Земли и вдоль поля Земли; по 4 арматурных прутка, намагниченных против магнитного поля Земли и намагниченных чередующимся образом; простейшая модель жилого сооружения или общественного здания с 36 арматурными прутками, намагниченными против магнитного поля Земли и с 36 разнонаправленно намагниченными прутками. Возле модели прутка с намагничиваем вдоль магнитного поля Земли имеются гипогеомагнитные поля. Возле моделей арматурного прутка и четырех арматурных прутков, намагниченных против магнитного поля Земли, нет гипогеомагнитных зон и смены направления векторов напряженности магнитного поля, однако прослеживаются сильные увеличения результирующего магнитного поля – в 500 раз и более. Возле моделей с 4 арматурными прутками, намагниченными чередующимся образом, имеются наиболее опасные нулевые значения напряженности магнитного поля на расстоянии 1 м. Внутри модели с 36 арматурными прутками имеется гипогеомагнитное поле в самом центре модели и смена направления векторов напряженности магнитного поля. Возле модели с 36 разнонаправленно намагниченными прутками наблюдается более ровное результирующее магнитное поле без резких изменений его направления и значения по модулю.

Предложены способы устранения магнитнопатогенных зон на стадиях монтажа и строительства сооружений, имеющих в своей конструкции ферромагнитные материалы.

Ключевые слова: магнитное поле, стальные конструкции, строительная арматура, моделирование.

Введение

В урбанизированной среде любые строения, выполненные по монолитной или каркасной технологии, являются источниками искажений естественного магнитного поля (МП). Объясняется это высокой магнитной проницаемостью каркасов из арматуры и их способностью концентрировать МП Земли. В пространстве таких каркасов магнитное поле ослабевает и изменяет свое направление [1]. Существуют способы контроля различных параметров арматуры в железобетонных конструкциях магнитным способом [2].

На рисунке 1 приведены промежуточные этапы строительства сооружаемых объектов – этап изготовления каркаса и опалубки из арматуры.

Мониторинг ослабленного магнитного поля особенно необходим при производственных процессах, связанных с деятельностью в спе-

циализированных экранированных помещениях. Примерами могут служить подземные сооружения, герметичные хранилища, оборонительные бункеры, шахты различного назначения, а также кабины скоростных лифтов, буровых установок и экскаваторов. Уменьшение естественного геомагнитного фона можно заметить в метрополитене, самолетах, каютах речных и морских судов, автомобилях и других транспортных средствах [3–5].

Исследования, проведенные в Институте физиологии им. И. П. Павлова Российской академии наук, демонстрируют негативное воздействие ослабленного магнитного поля на организмы разного уровня организации – от грибов до сложных многоклеточных животных [6]. Угнетение развития выражается в снижении естественной сопротивляемости организма, стрессе, чрезмерных затратах энергии и нарушении синхронизации биоритмов. Адаптационные защит-

ные механизмы практически исчезают, что снижает способность к выживанию [7].

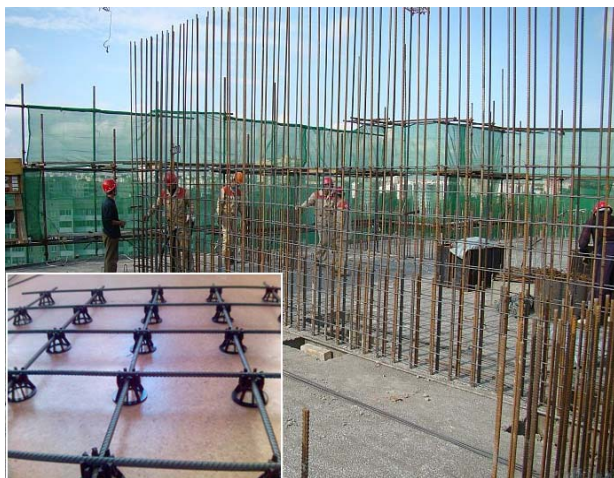


Рис. 1. Примеры строительных сооружений с использованием металлических элементов: многоэтажный жилой дом, возводимый по непрерывной технологии

Fig. 1. Examples of building structures using metal elements: a multi-storey residential building built using continuous technology

Аналогичные реакции наблюдаются у людей, чья деятельность проходит в помещениях с ослабленным МП. В связи с этим были разработаны нормы, методы и инструменты для контроля гипогеомагнитного поля, а также определены его показатели и обеспечено метрологическое сопровождение измерительных приборов [8]. Результаты исследований представлены в ГОСТ Р 51724–2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства. Гипогеомагнитное поле. Методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам».

Основными нормативными документами, регламентирующими пребывание человека в условиях ослабленного МП, являются: ГОСТ Р 51724–2001 и СанПиН 2.2.4.2489–09 «Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях».

Оценка и нормирование уровня ослабления геомагнитного поля производится на основании определения его интенсивности внутри помещения, объекта, транспортного средства и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту его расположения, с последующим расчетом коэффициента ослабления МП [9].

Цель работы – проанализировать причины искажений МП Земли внутри помещений, провести моделирование искажений МП Земли строительными материалами и предложить способы устра-

нения магнитнопатогенных зон на стадиях монтажа и строительства сооружений, имеющих в своей конструкции ферромагнитные материалы.

Анализ причин искажений поля Земли внутри помещений

Действующие на территории РФ нормативные документы определяют предельно допустимый уровень (ПДУ) ослабления интенсивности магнитного поля в жилых и общественных зданиях и сооружениях. На рабочем месте МП может быть ослаблено до 2 раз, в жилом помещении данный параметр не должен превышать 1,5 раза. Расчет производится отдельно для каждого региона в зависимости от уровня естественного магнитного поля Земли.

Здания с железосодержащими конструкциями искажают поток геомагнитного поля (ГМП), меняют его направление, создавая внутри помещения зоны с низким уровнем напряженности H_v , градиентов напряженности $H_{гр}$ и измененным углом наклона I_v вектора H_v относительно наклона I_0 вектора напряженности H_0 открытого пространства. Восстановление распределения основного показателя ослабления ГМП (K_r) и дополнительных показателей ($H_{гр}$ и I_v) до комфортного уровня внутри помещений зданий и сооружений на этапе строительства можно выполнять путем монтажа сортированных по направлению вектора намагничивания элементов металлоконструкций и арматуры [10–12]. При необходимости важно обеспечить дополнительное намагничивание или размагничивание металлических элементов.

В уже введенных в эксплуатацию зданиях и сооружениях нормализовать геомагнитное поле возможно посредством изменения намагниченности металлических элементов или локальным применением компенсирующих вставок магнитотвердых полосок. Технология восстановления ГМП приведена в [13].

По ГОСТ Р 51724–01 гипогеомагнитное поле – это распределение постоянного магнитного поля внутри экранированного объекта, являющегося суперпозицией магнитных полей, создаваемых геомагнитным полем, ослабленным электромагнитным экраном или металлоконструкциями здания; полем остаточной намагниченности ферромагнитных частей металлоконструкций и коммуникаций в здании; полем постоянного тока, протекающим по кабелям и шинам электроснабжения, металлоконструкциям и коммуникациям вблизи защищаемого помещения или рабочего места.

Интенсивность ГМП оценивается в единицах напряженности магнитного поля (H) в А/м или

единицах магнитной индукции (B) в Тл (мкТл), а коэффициент ослабления интенсивности ГМП (K_{Γ}) вычисляется по формуле $K_{\Gamma} = |H_0|/|H_B|$ или $K_{\Gamma} = |B_0|/|B_B|$, где H (А/м) = 0,8 В (мкТл).

Некоторые результаты контроля ослабленных ГМП в объектах различного назначения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты натурных измерений ослабленных ГМП

Table 1. Results of field measurements of weakened GMFs

Объект контроля	Коэффициент ослабления интенсивности $K_{\text{ПДУ}} = H_0 / H_B $
Помещения в деревянных домах	1,0
Помещения в железобетонных домах:	
– жилых	1,5...1,9
– жилых по монолитной технологии	1,3...1,8
– производственных	1,2...2,5
Торговые павильоны	2,0...2,5
Помещения в метро	1,8...8,0
Вагон метро	1,3...2,0
Вагон трамвая и автобуса	1,3...1,8
Помещения объектов, расположенные ниже уровня Земли	
– до 5 м	2,0...2,5
– до 10 м	2,5...5,0
Санитарная машина УАЗ-3711	2,7...2,8
Кабины легковых автомобилей	1,3...2,5
Каюты морских судов	8...10
Чугунная ванна	
– 0,5 м от дна	3,5...5,0
– 0,2 м от дна	15,0
Вблизи отопительных батарей	2,0...4,0
Детская кровать с металлическим каркасом	1,3
Бетонная стена	1,09
Помещения для с/х животных	1,5...4,0

В ситуации открытого пространства можно наблюдать равномерный естественный геомагнитный фон с минимальным градиентом. Такие условия достаточно трудно создать даже при элитарном градостроительстве, тем более при массовой застройке в уже сформированной городской среде. Максимально приближенными к природному уровню магнитного излучения можно считать помещения в деревянных домах сельской местности.

Поскольку нарушение нормального развития систем живого организма связано с ослаблением геомагнитного поля, данный фактор должен быть учтен при создании комфортных условий

как значимый критерий, подлежащий обязательному нормированию и контролю [14].

В ИжГТУ имени М. Т. Калашникова разработана система математического моделирования по оптимизации восстановления МП в помещениях с применением отечественного программного комплекса ELCUT [15]. Дальнейшее развитие таких систем моделирования позволит на этапе проектирования обеспечить гармоничное сочетание комфортных гигиенических условий и выбор оптимальных показателей безопасности [16]. Комплекс средств намагничивания, размагничивания и контроля магнитных полей строительных конструкций обеспечивает оперативное восстановление искаженных ГМП в помещениях [17]. Полученные при проведении экспериментов по влиянию ослабленных и комбинированных МП на различные биосистемы данные подтверждают необходимость восстановления естественного ГМП в строительных сооружениях.

Практический процесс восстановления ГМП в помещениях включает следующие операции.

1. Мониторинг вектора ГМП (по модулю, направлению и градиенту) вдоль стен и полов в местах длительного пребывания человека в помещении [18].

2. Определение мест, требующих восстановления нормального магнитного поля.

3. Проведение процедур намагничивания и размагничивания с применением специальных устройств (катушек), включаемых в сеть 220 В и частотой 50 Гц [19].

4. Монтаж намагниченных полосок магнитотвердой стали (при необходимости) для контроля уровня ГМП в окружающей среде [20].

Численное моделирование магнитных полей

Программная среда GMSH является автоматическим генератором трехмерной конечноэлементной сетки со встроенными пре- и постпроцессорными средствами.

Для моделирования влияния арматуры железобетонных конструкций на результирующее магнитное поле использовано 6 моделей распространения линий индукции магнитного поля возле арматурных прутков или их групп:

- 1 арматурный пруток (модель № 1), намагниченный против МП Земли (рис. 2);
- 1 арматурный пруток, намагниченный вдоль МП Земли (модель № 2) (рис. 3);
- 4 арматурных прутка, намагниченных против МП Земли (модель № 3) (рис. 4);
- 4 арматурных прутка (модель № 4), намагниченных чередующимся образом (1-й и 3-й

арматурные прутки намагничены вдоль МП Земли, 2-й и 4-й – против МП Земли) (рис. 5);

- простейшая модель жилого сооружения или общественного здания с 36 арматурными прутками, намагненными против МП Земли (модель № 5) (рис. 6);

- простейшая модель жилого сооружения или общественного здания с разнонаправленно намагненными арматурными прутками (модель № 6).

На рисунке 2 показано распределение результирующего магнитного поля возле намагненного арматурного прутка вдоль главного магнитного поля. Силовые линии втягиваются в сечение прутка, образуя гипергеомагнитные поля возле его концов вследствие большой их концентрации, тогда как в плоскости, перпендикулярной плоскости прутка, наблюдается резкое снижение концентрации силовых линий и образование гипогеомагнитного поля (ГГМП).

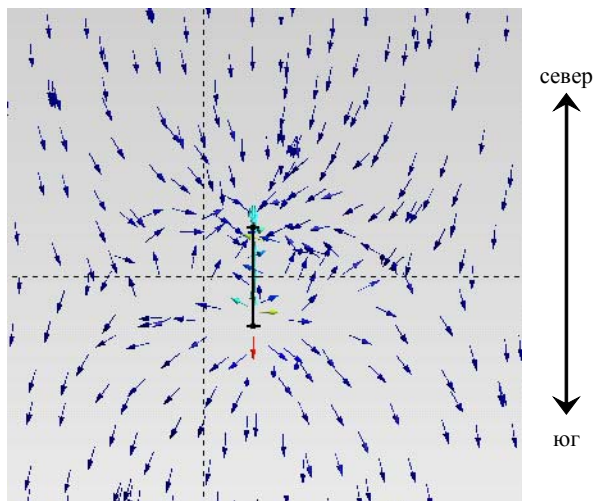


Рис. 2. Модель № 1: распространение линий магнитной индукции возле одного прутка (намагничен вдоль магнитного поля Земли)

Fig. 2. Model №1: propagation of magnetic induction lines near one rod (magnetized along the Earth's magnetic field)

На рисунке 3 показано распределение результирующего магнитного поля возле намагненного арматурного прутка против главного магнитного поля. Силовые линии отталкиваются от противоположно намагненного сечения прутка, тем самым образуя гипергеомагнитные поля возле его концов вследствие снижения их концентрации, тогда как в плоскости, перпендикулярной плоскости прутка, наблюдается резкое увеличение концентрации силовых линий магнитного поля и образование ГГМП.

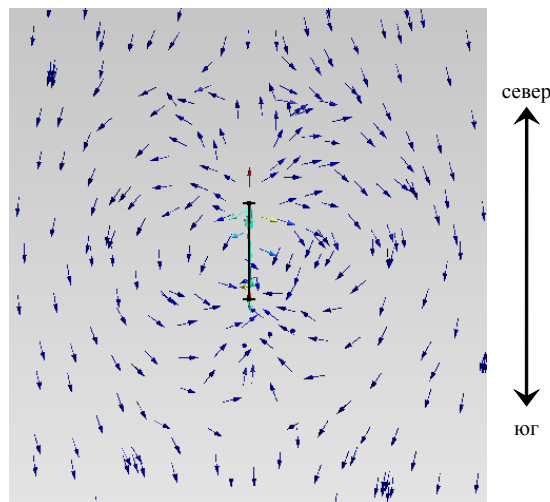


Рис. 3. Модель № 2: распространение линий магнитной индукции возле одного прутка (намагничен против магнитного поля Земли)

Fig. 3. Model № 2: propagation of magnetic induction lines near one rod (magnetized against the Earth's magnetic field)

Рисунок 4 демонстрирует отталкивание силовых линий магнитного поля от противоположно намагненных полюсов арматурных прутков. Наглядно показано, в каких местах напряженность магнитного поля увеличивается, а в каких – ослабевает.

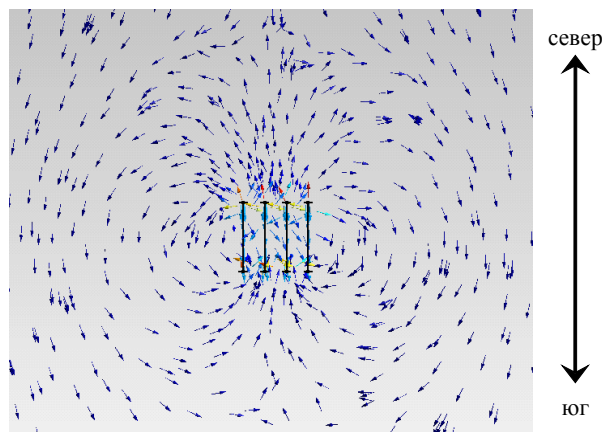


Рис. 4. Модель № 3: распространение линий магнитной индукции возле четырех прутков (намагничены против магнитного поля Земли)

Fig. 4. Model № 3: propagation of magnetic induction lines near four rods (magnetized against the Earth's magnetic field)

На рисунке 5 также наблюдается большое скопление линий магнитной индукции возле группы арматурных прутков. Наблюдаются большие увеличения значения напряженности магнитного поля.

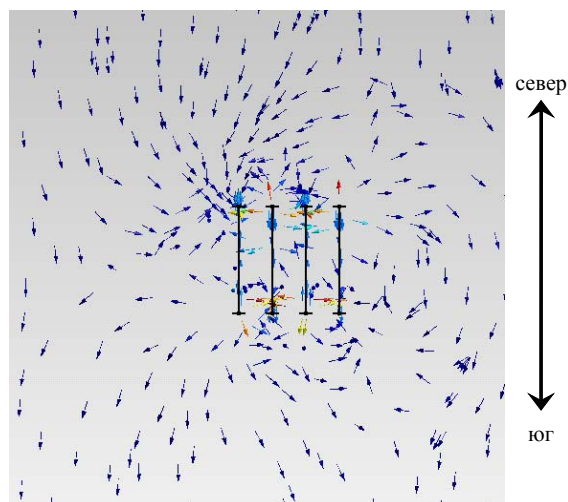


Рис. 5. Модель № 4: распространение линий магнитной индукции возле четырех прутков (намагничены поочередно)

Fig. 5. Model № 4: propagation of magnetic induction lines near four rods (magnetized alternately)

Рисунок 6 наглядно демонстрирует распределение магнитного поля, отличное от предыдущих моделей. При таком расположении арматурных прутков представляется сложная картина завихрений магнитного поля.

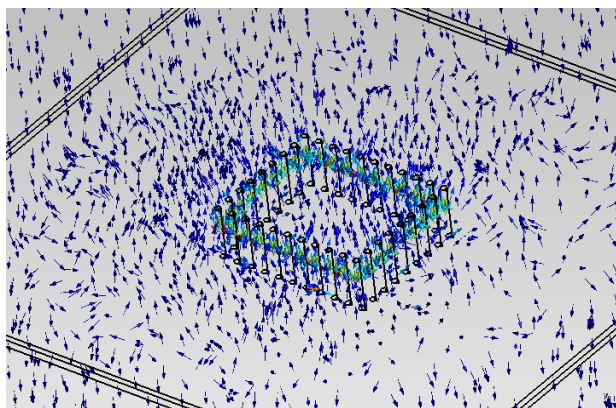


Рис. 6. Модель № 5: распространение линий магнитной индукции возле простейшей модели жилого сооружения или общественного здания с арматурными прутками, намагниченными против магнитного поля Земли

Fig. 6. Model № 5: propagation of magnetic induction lines near the simplest model of a residential structure or public building with reinforcing bars magnetized against the Earth's magnetic field

Условия создания моделей

Для выполнения поставленных при моделировании задач необходимо в программе GMSH создать 3 объема, отвечающих за воздух, и 2 магнита. Магниты 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 (МП Земли).

Следующий шаг – моделирование арматурных прутков. Данная задача выполняется с помощью построения цилиндров в объеме воздуха.

Параметры магнитной проницаемости и остаточной намагниченности для арматурного прутка заданы в соответствии с измерениями реальных арматурных прутков, используемых при строительстве: $\mu_r = 30$; $H_C = 15000$ А/м. Арматурные прутки для моделирования выбраны длиной 4 м и диаметром 0,025 м. Для задания минимально возможной сетки в окне Options – Mesh выставляется в поле Max element size параметр 2.

После задания размеров сетки и моделирования в логе о результатах моделирования отображается конечное число элементов в модели равное 369215. Расстояние между каждыми двумя близлежащими точками модели 0,2 м.

Результаты моделирования и их обсуждение

По результатам математического моделирования 6 заданных объектов построены топологии магнитного поля (см. рис. 7–12). График полученной топологии магнитного поля, приведенный на рисунке 7, подтверждает наличие гипергеомагнитных зон в непосредственной близости от арматурного прутка (на расстоянии, не превышающем 1 м). Значения напряженности достигают 800 мкТл. Также присутствует пониженное магнитное поле со значениями, превышающими предельно допустимые в 2 раза и более.

Согласно графику, приведенному на рисунке 8, магнитное поле возле арматурного прутка, намагниченного в том же направлении, что и главное магнитное поле, увеличено в 500 раз и более.

На рисунке 9 ситуация схожая с распределением напряженности МП, представленном на рисунке 8, за исключением еще больших значений напряженности.

Рисунок 10 демонстрирует резкие переходы через нулевое значение, однако возле центральных арматурных прутков искажение магнитного поля не столь критично, как это было во всех предыдущих моделях. Это может свидетельствовать о том, что при правильном расположении арматурных прутков с учетом их полюсности можно добиться нормальных (допустимых) значений МП внутри модели.

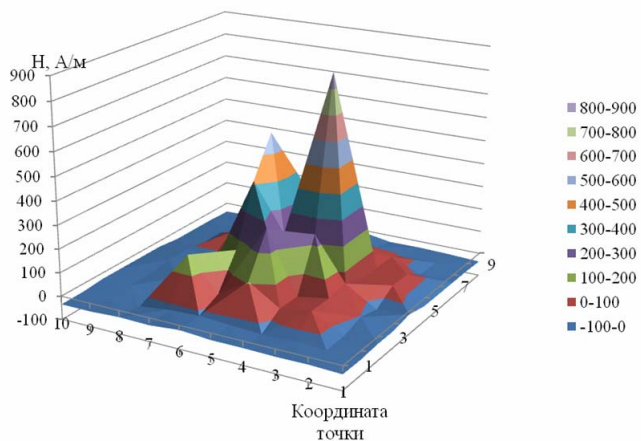


Рис. 7. Топология результирующего магнитного поля возле арматурного прутка, намагниченного против направления магнитного поля Земли

Fig. 7. Topology of the resulting magnetic field near a reinforcing bar magnetized against the direction of the Earth's magnetic field

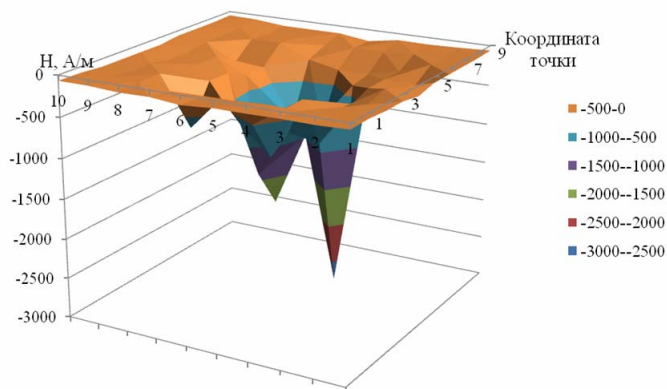


Рис. 8. Топология результирующего магнитного поля возле арматурного прутка, намагниченного вдоль направления магнитного поля Земли

Fig. 8. Topology of the resulting magnetic field near a reinforcing bar magnetized along the direction of the Earth's magnetic field

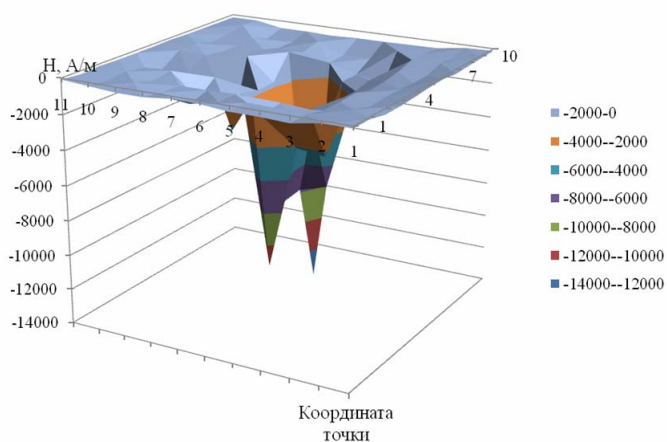


Рис. 9. Топология результирующего магнитного поля возле четырех арматурных прутков, намагниченных против направления магнитного поля Земли

Fig. 9. Topology of the resulting magnetic field near four reinforcing bars magnetized against the direction of the Earth's magnetic field

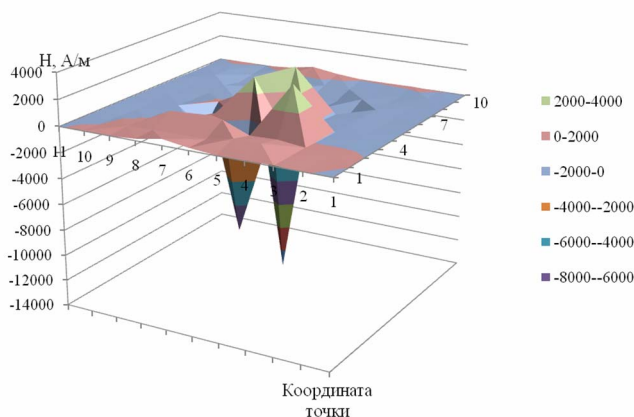


Рис. 10. Топология результирующего магнитного поля возле четырех арматурных прутков (модель № 4)

Fig. 10. Topology of the resulting magnetic field near four reinforcing bars (model № 4)

При установке арматурных прутков, намагниченных против магнитного поля Земли способом, показанным на рисунке 11, магнитное поле имеет большие величины градиентов, что крайне нежелательно.

Установив арматурные прутки разнонаправленно, можно добиться равномерно распределенной напряженности магнитного поля, что показано на рисунке 12, за исключением угловых объемов конструкции.

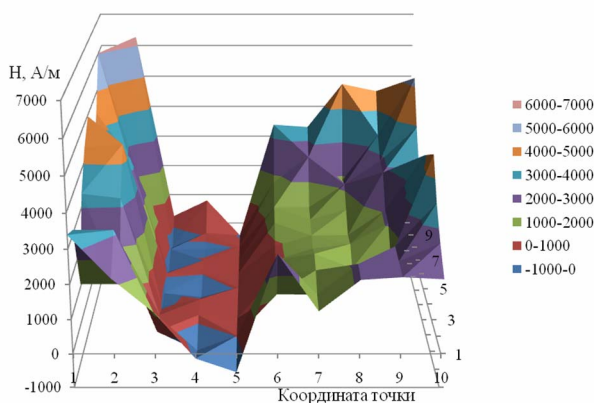


Рис. 11. Топология результирующего магнитного поля возле 36 арматурных прутков, намагниченных против магнитного поля Земли (модель № 5)

Fig. 11. Topology of the resulting magnetic field near 36 reinforcing bars magnetized against the magnetic field (model № 5)

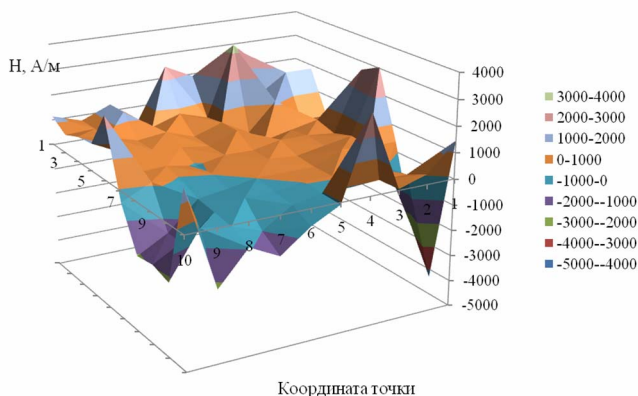


Рис. 12. Топология результирующего магнитного поля возле 36 арматурных прутков (модель № 6)

Fig. 12. Topology of the resulting magnetic field near 36 reinforcing bars (model № 6)

По полученным табличным значениям напряженностей и графикам распределения МП возле различных моделей сделаны следующие выводы.

Возле модели 1 – арматурного прутка, намагниченного вдоль МП Земли, – имеются гипогеомагнитные поля (относительно предельно допустимого уровня 33 А/м (в Ижевске)) в радиусе 0,4...1 м. Это связано с втягиванием линий магнитной индукции прутком, что ведет к ослаблению главного магнитного поля на небольшом расстоянии от объекта.

Возле моделей 2 и 3 – арматурного прутка и четырех арматурных прутков, намагниченных против МП Земли, – не имеется гипогеомагнитных зон и смены направления векторов напряженности магнитного поля, однако прослеживаются сильные увеличения результирующего магнитного поля (около 35 раз).

Возле модели 4 – четырех арматурных прутков, намагниченных чередующимся образом, – имеются наиболее опасные нулевые значения напряженности магнитного поля на расстоянии 1 м.

Внутри модели 5 имеется гипогеомагнитное поле в самом центре модели; также видна смена направления векторов напряженности магнитного поля.

Возле модели 6 наблюдается более ровное результирующее магнитное поле без резких изменений его направления и значения по модулю за исключением нескольких мест по краям модели. Это свидетельствует о компенсации искажений магнитного поля каждым рядом противостоящих арматурных прутков.

Способы восстановления гипогеомагнитного поля Земли

В патенте РФ № 2274870 приводится устройство стабилизации геомагнитного поля в рабочем объеме, основанное на применении катушек Гельмгольца, устанавливаемых в рабочих помещениях. В работе предлагаются новые пути решения проблемы, связанной с возникновением магнитопатогенных зон в жилых и рабочих помещениях зданий, построенных по монолитной технологии. В каркасе таких домов могут использоваться как магнитомягкие материалы конструкций, так и магнитотвердые, что может оказывать сильное влияние на характер механизмов возникновения опасных зон.

При выявлении магнитопатогенных зон возможно использование магнитомягких вставок по направлению МП Земли, которые выступают в качестве экранов и не допускают искажения главного магнитного поля вторичными магнит-

ными полями, создаваемыми металлическими элементами конструкций зданий.

Для предотвращения создания магнитопатогенных зон в объемах жилых и рабочих помещений предлагается несколько способов. Если при строительстве используются магнитомягкие элементы конструкции (в них присутствует остаточная намагниченность вследствие использования промышленных электромагнитов для транспортировки), тогда на стадии монтажа возможно применение конвейерной ленты с установленным на ней электромагнитом частотой 50 Гц. По ленте проходят последовательно арматурные прутки и размагничиваются до уровня магнитного поля Земли. После выполнения такой процедуры конструкционные элементы не создают искажений магнитного поля Земли вокруг себя, следовательно, нет необходимости для выполнения мер по нормализации магнитных полей внутри строительных объектов.

Если при строительстве используются магнитотвердые элементы конструкции, то на стадии строительства возможна упорядоченная по направлению север – юг установка таких элементов. Каждый последующий элемент устанавливается чередующимся образом, в результате чего компенсируются искажения магнитного поля от каждого из полюсов конструкционного элемента, что доказывает модель № 6.

Выводы

1. По результатам анализа магнитных полей возле строительных конструкций, транспорта и элементов помещений определены коэффициенты ослабления интенсивности от 1 до 15 в зависимости от вида объектов.

2. Предложен вариант восстановления магнитного поля, учитывающий измерения его уровня и проведение процедур намагничивания и размагничивания стальных конструкций с применением специальных устройств (катушек), включаемых в сеть 220 В и частотой 50 Гц.

3. Проведенное моделирование искажений магнитного поля Земли строительными материалами в виде арматурных прутков длиной 4 м и диаметром 0,025 м показало влияние их расположения в пространстве на общую картину результирующего магнитного поля. При намагничивании прутка вдоль магнитного поля Земли появляются гипогеомагнитные поля в радиусе 0,4...1 м. Прутки, намагниченные против магнитного поля Земли, не создают гипогеомагнитных зон, но имеют большие величины градиентов. При намагничивании их чередующимся образом возникают опасные нулевые значения напряженности магнитного поля на расстоянии

1 м. В случае модели жилого сооружения с 36 арматурными прутками, намагниченными против магнитного поля Земли, имеется гипогомагнитное поле в самом центре модели. При установке арматурных прутков с полем собственного намагничивания, разнонаправленных относительно магнитного поля Земли, обеспечивается равномерное распределение напряженности магнитного поля.

4. Предложены способы устранения магнитопатогенных зон на стадиях монтажа и строительства сооружений, имеющих в своей конструкции ферромагнитные материалы. Если при строительстве используются магнито жесткие элементы конструкций, необходимо на стадии монтажа их размагничивать до уровня магнитного поля Земли. При использовании магнитомягких элементов следует на стадии строительства устанавливать их чередующимся образом по направлению север – юг.

Библиографические ссылки

1. Репин А. А., Рябов Ю. Г., Ломаев Г. В. Причины ослабления геомагнитного поля в многоэтажных зданиях // Стандарты и качество. 2020. № 995. С. 104–108.
2. Реутов Ю. Я., Пудов В. И. Перспективы экспресс-анализа арматуры железобетонных конструкций // *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*. 2023. № 6. С. 165–174. DOI: 10.17804/2410-9908.2023.6.165-174
3. Гипогомагнитное поле в жилых и общественных зданиях / В. Е. Крийт, Ю. Н. Сладкова, О. В. Волчкова [и др.] // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 11. С. 1148–1153. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1148-1153
4. Титов Е. В., Сошников А. А., Мигалев И. Е. Автоматизация выбора защитных мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5(187). С. 166–175.
5. Экранирование геомагнитного поля в многоэтажных жилых зданиях / А. М. Черных, А. Н. Борисейко, М. Л. Ковальчук, К. В. Гребенюков // Экология человека. 2010. № 6. С. 3–5.
6. Влияние ослабленного магнитного поля Земли на органотипическую культуру тканей различного генеза / П. Н. Иванова, Е. С. Заломаева, С. В. Сурма [и др.] // Молекулярная медицина. 2021. Т. 19, № 4. С. 47–51. DOI: 10.29296/24999490-2021-04-08
7. Толстой А. Д., Водопьянова А. А., Юдов А. Е. Воздействие различных уровней напряженности геомагнитного поля Земли на организм человека // Университетская наука. 2022. № 1(13). С. 173–175.
8. Берсенев Е. Ю., Бинги В. Н., Васин А. Л. Гипомагнитные условия: риски нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы (краткий обзор) // Пилотируемые полеты в космос. 2023. № 4(49). С. 122–133.
9. Проблемы безопасности в жилых домах: гипогомагнитное поле / А. А. Репин, Г. В. Ломаев, Ю. Г. Рябов, П. А. Шихарев // Стандарты и качество № 991, 2020. С. 102–107.
10. Пивоваров В. Ю., Гафарова В. А., Кузеев И. Р. Возможность дистанционного определения состояния конструкционных материалов объектов нефтегазовой отрасли // Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20, № 3. С. 127–141. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-3-127-141
11. Сандомирский С. Г., Валько А. Л., Руденко С. П. Анализ возможности неразрушающего контроля толщины цементированного слоя стали 18ХГТ с использованием полюсного намагничивания // Контроль. Диагностика. 2020. Т. 23, № 9(267). С. 18–25. DOI: 10.14489/td.2020.09.pp.018-025
12. Сандомирский С. Г. Неразрушающий магнитный контроль физико-механических свойств ответственных крепежных компонентов из стали 30ХГСА // Контроль. Диагностика. 2020. № 4. С. 4–13. DOI: 10.14489/td.2020.04.pp.004-013
13. Технологии восстановления геомагнитного поля (ГМП) в помещениях зданий и сооружений / Г. В. Ломаев, Ю. Г. Рябов, Д. С. Мурашова, Ю. В. Мышкин // Технология ЭМС. 2017. С. 26–34.
14. Прищепов С. К., Власкин К. И., Ямилева З. М. Система стабилизации геомагнитного поля в заданном объеме // Экологические системы и приборы. 2013. № 3. С. 54–59.
15. Lomaev G.V., Vasil'ev M.Yu., Konogorova D.V. (2001) Three-components portable magnetometer with ferroprobe used bistable core made of amorphous of microwire. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2001, no. 3, pp. 38–44.
16. Гипомагнитные условия: способы моделирования и оценка воздействия / А. А. Артамонов, М. К. Карташова, Е. В. Плотников, Н. А. Константинова // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. Т. 21, № 3. С. 357–370.
17. Титов Е. В., Сошников А. А., Мигалев И. Е. Автоматизация выбора защитных мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5(187). С. 166–175.
18. Желамский М. В. Магнитный датчик положения и ориентации с шестью степенями свободы для управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 6. С. 75–78.
19. Контрольно-измерительное устройство для управления магнитным полем катушек Гельмгольца / Е. Н. Блажкова, В. В. Бадашев, П. В. Кременской, М. С. Чумаков, А. В. Реков, О. Р. Сторчак // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1 (85). С. 161–167.
20. Структура магнитоградиентных измерительных систем / А. К. Волковицкий, Д. А. Гольдин, Е. В. Каршаков, Б. В. Павлов // Датчики и системы. 2018. № 8-9(228). С. 27–32.

References

1. Repin A.A., Ryabov Yu.G., Lomaev G.V. (2020) [Reasons for the weakening of the geomagnetic field in multi-story buildings]. *Standarty i kachestvo*, no. 995, pp. 104-108 (in Russ.).
2. Reutov Yu.Ya., Pudov V.I. (2023) [The possibilities of rapid testing of steel elements in reinforced concrete]. *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*, no. 6, pp. 165-174. DOI: 10.17804/2410-9908.2023.6.165-174
3. Kriyt V.E., Sladkova Yu.N., Volchkova O.V., Sklyar D.N., Plekhanov V.P. (2023) [Hypogeomagnetic field in residential and public buildings]. *Gigiena i sanitariya*, vol. 102, no. 11, pp. 1148-1153 (in Russ.). DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1148-1153
4. Titov E.V., Soshnikov A.A., Migalev I.E. (2020) [The automation of selection of protective measures to ensure electromagnetic safety]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 5, pp. 166-175 (in Russ.).
5. Chernykh A.M., Boriseiko A.N., Kovalchuk M.L., Grebenyukov K.V. (2010) [Shielding the geomagnetic field in multi-storey residential buildings]. *Jekologija cheloveka*, no. 6, pp. 3-5 (in Russ.).
6. Ivanova P.N., Zalomaeva E.S., Surma S.V., Chalisoova N.I., Ivko O.M., Nikitina E.A., Shchegolev B.F. (2021) [The influence of the weakened magnetic field of the Earth on the organotypic culture of tissues of various origins]. *Molekuljarnaja medicina*, vol. 19, no. 4, pp. 47-51 (in Russ.). DOI: 10.29296/24999490-2021-04-08
7. Tolstoy A.D., Vodopyanova A.A., Yudov A.E. (2022) [The impact of different levels of intensity of the Earth's geomagnetic field on the human body]. *Universitetskaya nauka*, no. 1, pp. 173-175 (in Russ.).
8. Bersenyev E.Yu., Bingi V.N., Vasin A.L. (2023) [Hypomagnetic conditions: risks of cardiovascular dysregulation]. *Pilotiruyemyye polety v kosmos*, no. 4, pp. 122-133 (in Russ.).
9. Repin A.A., Lomaev G.V., Ryabov Yu.G., Shikharev P.A. (2020) [The problems of safety in the residential buildings: a hypo-magnetic field]. *Standarty i kachestvo*, no. 991, pp. 102-107 (in Russ.).
10. Pivovarov V.Yu., Gafarova V.A., Kuzeev I.R. (2022) [Possibility of remote determination structural materials state of oil and gas industry objects]. *Neftegazovoe delo*, vol. 20, no. 3, pp. 127-141 (in Russ.). DOI: 10.17122/ngdelo-2022-3-127-141
11. Sandomirski S.G., Valco A.L., Rudenko S.P. (2020) [Analysis of the possibility of non-destructive testing of the carburizing depth of 18KHGT steel using pole magnetization]. *Kontrol'. Diagnostika*, vol. 23, no. 9, pp. 18-25 (in Russ.). DOI: 10.14489/td.2020.09.pp.018-025
12. Sandomirski S.G. (2020) [Non-destructive magnetic testing of the physical and mechanical properties of mission-critical mounting components made of 30HGSA steel]. *Kontrol'. Diagnostika*, no. 4, pp. 4-13 (in Russ.). DOI: 10.14489/td.2020.04.pp.004-013
13. Lomaev G.V., Ryabov Yu.G., Murashova D.S., Myshkin Yu.V. (2017) [A restoration techniques of the geomagnetic field in premises of buildings and structures]. *Tekhnologiya EMS*, pp. 26-34 (in Russ.).
14. Prishchepov S.K., Vlaskin K.I., Yamileva Z.M. (2013) [Geomagnetic field stabilization system in a given volume]. *Jekologicheskie sistemy i pribory*, no. 3, pp. 54-59 (in Russ.).
15. Lomaev G.V., Vasil'ev M.Yu., Konogorova D.V. (2001) [Three-components portable magnetometer with ferroprobe used bistable core made of amorphous of microwire]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, no. 3, pp. 38-44.
16. Artamonov A.A., Kartashova M.K., Plotnikov E.V., Konstantinova N.A. (2019) [Hypomagnetic conditions: modeling methods and impact assessment]. *Medicina jekstremal'nyh situacij*, vol. 21, no. 3, pp. 357-370 (in Russ.).
17. Titov Ye.V., Soshnikov A.A., Migalev I.Ye. (2020) [The automation of selection of protective measures to ensure electromagnetic safety]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 5, pp. 166-175 (in Russ.).
18. Zhelamskiy M.V. (2011) [Six degree of freedom magnetic sensor to control by the mobile objects]. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie*, no. 6, pp. 75-78 (in Russ.).
19. Blazhkova E.N., Badashev V.V., Kremenskoj P.V., Chumakov M.S., Rekov A.V., Storchak O.R. (2022) [Control and measuring device for controlling the magnetic field of helmholtz coils]. *Engineering Journal of Don*, no. 1, pp. 161-167 (in Russ.).
20. Volkovitsky A.K., Goldin D.A., Karshakov E.V., Pavlov B.V. (2018) [Structure of magnetic gradiometry systems]. *Datchiki i sistemy*, no. 8-9, pp. 27-32 (in Russ.).

Distortion of Magnetic Fields Near a Steel Construction. Modeling

M.S. Emelyanova, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V.V. Murav'ev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU; Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

P.A. Shiharev, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Natural variations of the Earth's magnetic field and its man-made distortions are considered. The rules and regulations in force in the Russian Federation for staying and living in places with a distortion of the Earth's magnetic field are analyzed. Existing methods for eliminating distorted magnetic fields inside residential and work premises are considered. Modeling of distortions of the Earth's magnetic field by building materials was carried out and the influence of their location in space on the overall picture of the resulting magnetic field was shown.

To modeling the influence of reinforcement of reinforced concrete constructions on the resulting magnetic field, 6 models of the location of reinforcing bars and their groups were used: one reinforcing bar magnetized against the Earth's magnetic field and along the Earth's field; 4 reinforcing bars each, magnetized against the Earth's magnetic field and magnetized in an alternating manner; the simplest model of a residential structure or public building with 36 reinforcing bars magnetized against the Earth's magnetic field and with 36 magnetized bars in different directions. Near the model of a rod with magnetization along the Earth's magnetic field, there are hypogeomagnetic fields. Near the models of a reinforcing bar and four reinforcing bars magnetized against the Earth's magnetic field, there are no hypogeomagnetic zones and changes in the direction of the magnetic field strength vectors, but strong increases in the resulting magnetic field can be observed - 500 times or more. Near models with 4 reinforcing bars magnetized in an alternating manner, there are the most dangerous zero values of magnetic field strength at a distance of 1 m. Inside the model with 36 reinforcing bars there is a hypogeomagnetic field in the very center of the model and a change in the direction of the magnetic field strength vectors. Near the model with 36 magnetized rods in different directions, a more even resulting magnetic field is observed without sharp changes in its direction and absolute value.

Methods have been proposed for eliminating magnetic pathogenic zones at the stages of installation and construction of building that have ferromagnetic materials in their design.

Keywords: magnetic field, steel structures, building reinforcement, modeling.

Получено 13.05.2024

Образец цитирования

Емельянова М. С., Муравьев В. В., Шихарев П. А. Искажение магнитных полей вблизи стальных конструкций. Моделирование // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 2. С. 76–86. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-2-76-86

For Citation

Emelyanova M.S., Murav'ev V.V., Shiharev P.A. (2024) [Distortion of magnetic fields near a steel construction. Modeling]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 2, pp. 76-86 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-76-86