

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2223 группы Институт физики

направления 03.04.02 «Физика»

Мальцева Дмитрия Александровича

Научный руководитель,
к. ф.-м. н., доцент

С. В. Овчинников

Зав. кафедрой общей физики,
д. ф.-м. н., профессор

А. А. Игнатьев

Саратов 2021 г.

Структура и объем работы

Магистерская работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Основной текст содержит 78 стр. машинописного текста, включая 26 рисунков и 3 таблицы. Список литературы на 4 страницах содержит 41 наименований.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность тематики магистерской работы, сформулирована цель работы и основные задачи работы, отмечены новизна и практическая значимость полученных результатов, изложено краткое содержание работы и основные положения, выносимые на защиту.

Целью данной работы является выявления электромагнитного загрязнения, загрязнение радиоспектра — распространение радиоволн вне выделенных для них диапазонов или с превышением разрешённого уровня. А также выявление способов минимизации влияния электромагнитного поля (ЭМП) на биологические объекты, включая как технические, так и программные средства.

В **первой главе**, описывается проблема неблагоприятного воздействия электромагнитных полей на работников, население и экологические системы приобрела в настоящее время особую актуальность, так как антропогенные уровни излучений в десятки тысяч раз превышают естественный электромагнитный фон Земли. Поэтому вопросы охраны здоровья от воздействия ЭМП имеют важное социально-экономическое значение. Производится анализ тенденции развития отраслей связи, передачи информации, современных технологий. Говориться о экологических проблемах глобального электромагнитного загрязнения. Обсуждается обеспечение экологической безопасности при воздействии электромагнитного излучения в

жилых помещениях здания, где человек проводит значительную часть жизни, является весьма актуальной задачей [1].

Источники электромагнитных полей могут иметь как искусственное, так и естественное происхождение. Искусственные источники – это антенны радио и телевизионных станций, электропроводка, компьютеры, мобильные телефоны, рекламные щиты, высоковольтные линии электропередач, осветительные приборы и т.д.; их общая мощность существенно выше той, которой обладают естественные источники — Солнце, Земля (достаточно сказать, что мощность радиоволн в крупных городах в 2 миллиона раз превосходит естественный фон, который создает Солнце). Природным источником электромагнитного фона, в котором мы живем, являются постоянное магнитное и постоянное электрическое поля Земли. Последнее создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности нашей планеты, и его напряженность не превышает 500 В/м. Величина напряженности поля зависит от географической широты: она максимальна в средних широтах, а к экватору и полюсам убывает. С увеличением расстояния от поверхности Земли напряженность поля снижается: так, на высоте 9 км напряженность поля составляет около 5 В/м.

Для магнитного поля Земли характерны изменения его активности во времени. Вариации, носящие произвольный характер, получили название магнитных возмущений или магнитных бурь. Эти возмущения встречаются в трех формах: синфазные, появляющиеся спорадически и протекающие одновременно по всей планете, локальные, ограниченные определенной областью у поверхности Земли, и перманентные, наблюдаемые непрерывно в некоторых областях земной поверхности. При синфазных и локальных магнитных возмущениях напряженность геомагнитного поля возрастает наиболее сильно. Все эти виды магнитной активности являются результатом изменения магнитной активности Солнца. Другими источниками естественного происхождения электромагнитных полей являются радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнцем, звездами и т.д.). Частотный диапазон

радиоизлучения Солнца и галактик довольно широк (от 10 МГц до 10 ГГц). Интенсивность этих радиоизлучений меняется с суточной периодичностью, что связано с вращением Земли относительно источников излучений. Атмосферные процессы (разряды молний, грозовые облака) могут увеличивать напряженность естественных электромагнитных полей до десятков, а то и сотен кВ/м. Их интенсивность максимальна на частотах вблизи 10 кГц и убывает по мере возрастания частоты. Наиболее активно атмосферные процессы наблюдаются в экваториальных широтных зонах тропического пояса, а в высокоширотных зонах интенсивность грозовой деятельности убывает.

В настоящее время защита человека от ЭМП осуществляется путем использования следующих принципов:

защита временем, то есть ограничение продолжительности пребывания в местах повышенного уровня электромагнитных полей;

защита расстоянием – увеличение расстояния от источника продолжительного электромагнитного излучения (бытовые источники ЭМП в жилых помещениях; распределительные шкафы, трансформаторные подстанции);

применение средств коллективной или индивидуальной защиты – использование персоналом радио экранирующих материалов. Например, в качестве таких материалов могут быть использованы металлизированные ткани на синтетической основе. Эти материалы изготавливают методом химической металлизации тканей. Современное оборудование позволяет изменять толщину наносимого металла от сотых долей до единиц *мкм*, тем самым меняя сопротивление тканей от десятков до долей *Ом*. Такие экранирующие материалы могут изготавливаться малой толщины, что придаёт лёгкость и гибкость при использовании, не теряя защитных свойств;

применение защитных экранов – экранирование непосредственно места пребывания человека при помощи экранов, изготовленных из поглощающих и отражающих ЭМП волны материалов. Такими свойствами также обладают многие строительные материалы, однако, в зависимости от структуры,

плотности и толщины материалов экранирующих конструкций, уровень защиты и поглощения может быть разным.

Во **второй** главе, проводится оценка опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего высоковольтные установки, производится по ГОСТ 12.0.003-2015. Одним из основных производственных факторов физической природы являются ЭМП промышленной частоты. Согласно ПУЭ [2], безопасность обслуживающего персонала должна обеспечиваться выполнением мер защиты от поражения электрическим током и снижением напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений. Эксплуатация систем электроснабжения также должна соответствовать нормативным требованиям по охране окружающей среды.

Оценка показателей интенсивности биологического воздействия ЭМП на понижающих станциях (ПС) для определения наиболее безопасных зон на территории открытых распределительных устройств (ОРУ) с точки зрения минимального воздействия ЭМП является важным мероприятием для безопасной эксплуатации. В дальнейшем это позволит составить наиболее оптимальные безопасные пути обхода территории ПС обслуживающим персоналом с учетом величины напряженности ЭМП. Рассмотрел «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»

Представлены допустимые нормы электрических полей частотой 50 Гц, установленные по величине напряженности электрического поля. Они составляют на рабочем месте в течение всей смены 5 кВ/м. При напряженности электрического поля свыше 25 кВ/м работать необходимо с применением средств индивидуальной защиты. ПДУ электрических полей промышленной частоты в условиях населенных мест составляет:

- в населенной местности вне зоны жилой застройки – 5 кВ/м;
- в ненаселенной местности – 15 кВ/м.

На открытых распределительных устройствах ПС в зонах пребывания обслуживающего персонала напряженность электрического поля должна быть в пределах допустимых уровней, установленных государственными стандартами.

В третьей главе, произведен расчет магнитного поля силового трансформатора, имеющего нелинейные кривые намагничивания электротехнической и конструкционной стали, выполнен в программе FEMM 4.2 (Finite Element Method Magnetics) [3–5]. Программа FEMM позволяет рассчитывать плоскопараллельные, или плоскомеридианные (осесимметричные) стационарные, или квазистационарные магнитные поля. Расчет ведется методом конечных элементов (МКЭ). Основное уравнение, используемое для численного расчета стационарного магнитного поля в программе FEMM, формулируется в терминах магнитного потенциала \vec{A} [35; 36]. При наличии нелинейной связи между индукцией \vec{B} и напряженностью \vec{H} магнитного поля (насыщающиеся магнитные материалы) уравнение магнитного потенциала записывается в виде [6; 7]:

$$\text{Rot} \left(\frac{1}{\mu_0 \mu(B)} \text{Rot} \vec{A} \right) \vec{\delta}, \quad (3.1)$$

где $\vec{\delta}$ – плотность электрического тока сторонних источников;

$\mu(B) = B/H(B)$ – (относительная) магнитная проницаемость, зависящая от B в случае насыщения магнитных материалов;

$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{Ф/м}$ – магнитная постоянная.

Для плоскопараллельного магнитного поля векторный потенциал будет иметь только одну компоненту $A_y (A_x = 0, A_z = 0)$. Тогда (3.1) превращается в скалярное дифференциальное уравнение в частных производных эллиптического типа:

$$\frac{\partial^2 A_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial z^2} - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial_y}{\partial_x} \frac{\partial A_y}{\partial_x} + \frac{\partial_y}{\partial_x} \frac{\partial A_y}{\partial_x} \right) = \mu_0 \mu \delta_y, \quad (3.2)$$

где δ_y – плотность электрического тока компоненты векторного потенциала A_y в декартовой системе координат.

Для решения уравнений в частных производных методом конечных элементов строится сеть конечных элементов [4].

На рис. 1 приведена модель двумерного поля, построенного с помощью шести треугольных конечных элементов, номера которых показаны цифрами в круглых скобках. Исходными данными являются известные значения потенциалов или их градиентов на границах поля в узлах 1÷4. Это дает дополнительные уравнения относительно узлов, являющихся общими у смежных конечных элементов. Например, для узла 2 можно записать:

$$A_{y2(1)} = A_{y2(2)}; \quad (3.3)$$

для узла 6:

$$A_{y6(1)} = A_{y6(2)} = A_{y6(3)} = A_{y6(6)}. \quad (3.4)$$

При расчете двумерного магнитного поля с помощью МКЭ потенциал A_y каждого i -го конечного треугольного элемента представляется в виде полинома первого порядка с постоянными в пределах этого элемента коэффициентами:

$$A_{y(i)} = a_i + b_i * x + c_i * z, \quad (3.5)$$

где $a(i)$, $b(i)$, $c(i)$ – неизвестные постоянные коэффициенты.

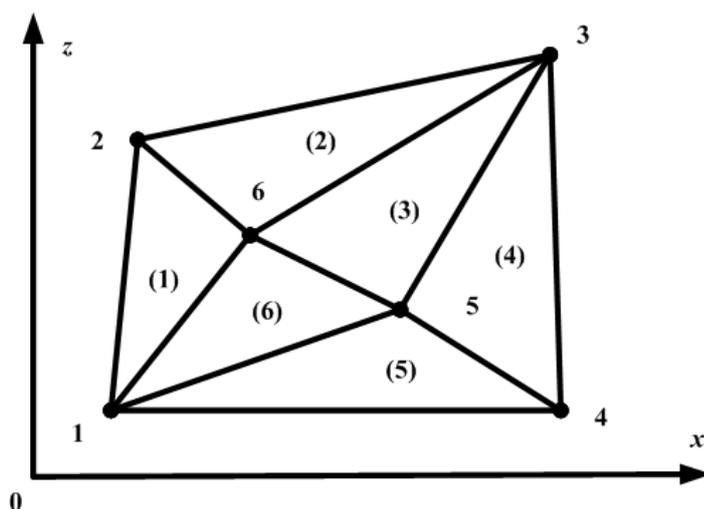


Рис. 1. Двумерное поле, разбитое на треугольные конечные элементы:

$1 \div 6$ – узлы сетки; (1) ÷ (6) – конечные элементы

Определив эти коэффициенты для всех конечных элементов, можно рассчитать потенциал в любой точке исследуемой области

В **четвертой главе** дано представление о базовой станции с способами расчета ЭМП. Прогноз изменения состояния окружающей среды под воздействием электромагнитного излучения выполнен в соответствии с СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной связи» и СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих объектов» и по методическим указаниям МУК 4.3.1167-02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц, МУК 4.3.1677-03 «Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения. ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи». Дал определения по границам СЗЗ от поверхности земли.

Произведен расчет санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки по электромагнитному фактору от передающих радиотехнических объектов

В целях обеспечения безопасности населения, вокруг объектов являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливается специальная территория с особым режимом использования (далее санитарно-защитная зона), размер которой обеспечивает уменьшение воздействия вредного фактора до значений, установленных гигиеническими нормативами. Для объектов, являющихся источниками воздействия на среду обитания разрабатывается проект санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки. СанПиН 2.2.1/2.2.1.1200-03 (новая редакция), с изменением №1 СанПиН 2.2.1/2.2.1.-2361-08. Размеры санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки должны быть обоснованы расчётами и подтверждены результатами натурных измерений. Критерием для определения размера санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки является отсутствие превышения на её внешней границе и за её пределами предельно допустимых уровней воздействия. Расчеты ЗОЗ произведены с использованием специализированного программного обеспечения SanZone 5.1 Графически представил вертикальное сечение по азимуту и Графики распределения КБ вдоль вертикальных сечений.

В **заключении** говорится о методах оценки техногенного электромагнитного воздействия на окружающую среду в современном высокотехнологическом мире. В современном мире люди постоянно испытывают на себе воздействие электромагнитных полей. Это напрямую зависит на качества и здоровья людей. Уровень ЭМП будет неотъемлемо расти, что в свою очередь может привести к критическому уровню.

В работе произведен расчет магнитного поля силового трансформатора, имеющего нелинейные кривые намагничивания электротехнической и конструкционной стали, выполненный в программе FEMM 4.2 (Finite Element Method Magnetics). Программа FEMM позволяет рассчитывать плоскопараллельные, или плоскомеридианные (осесимметричные) стационарные, или квазистационарные магнитные поля. Расчет производился

методом конечных элементов (МКЭ). Основное уравнение, используемое для численного расчета стационарного магнитного поля в программе FEMM, формулируется в терминах магнитного потенциала \vec{A} . Для решения уравнений в частных производных методом конечных элементов построил сеть конечных элементов. Определив коэффициенты для всех конечных элементов, рассчитал потенциал в любой точке исследуемой области.

В данной работе представлен результат расчетов ЭМП, произведенных с помощью специализированного программного обеспечения SanZone 5.1. Он позволяет быстро и четко оценить уровни ЭМП, зоны ЗОЗ, а это позволяет в свою очередь произвести как выбор места строительства, так и воздействия объекта строительства на окружающую его инфраструктуру.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ергалиева Г.Т. Экологические аспекты курса электродинамики // Вестник современной науки. 2015. № 3 (3). С. 27-31.
2. Шафигуллин Р.И., Куприянов В.Н. Экологическая безопасность городской среды при воздействии электромагнитных полей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1. С. 171-181.
3. Методические рекомендации МР2.1.10.0061-12 "Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населённых мест".
4. Сидоренко В.М. Механизм воздействия слабого электромагнитного излучения на человека // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 10 (99). С. 83-87.
5. Ленькин А.А. Физиологическое состояние организма животных при действии электромагнитных излучений СВЧ- и УФ-диапазонов: автор. дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2007.

6. Никитина В.Н., Лашко Г.Г., Копытенко Ю.А, Абабурко Л. В., Смыченко В.В Гигиеническая оценка магнитных полей в электропоездах и технологических зонах метрополитена // Медицина труда и промышленная экология. 2002. № 3. С. 16-18.

7. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособие. Томск: изд-во ТПУ, 2007. 207 с.

8. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.

9. Островский О.С., Одаренко Е.Н., Шматько А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн. ФП ФИП PSE, 2003, том 1, № 2, vol. 1, No. 2. С 161- 173.

10. World Health Organization / Electromagnetic fields (EMF). – URL: http://www.who.int/peh-emf/pro-ject/EMF_Project/en/ (дата обращения 04.09.2018).

11. Довгуша, В. В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В.В. Довгуша // Экология человека. –2009. – № 12. – С.64.

12. Гигиена труда: учебник / под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. – М., 2010. – 592 с.

13. Панков, В.А. Оценка профессионального риска работников гидроэлектростанций, подвергающихся воздействию электромагнитного поля промышленной частоты / В.А. Панков, М.В. Кулешова // Бюллетень ВСНХ СО РАМН. – 2005. – № 8. – С. 148-150.

14. Электромагнитные поля в биосфере. В 2-х томах. Т. 1. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологические значение / под ред. Н.В. Красногорской. – М.: Наука, 1984. – 376 с.

15. Шаврина, Н. А. Электромагнитная обстановка вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Н.А. Шаврина. – Челябинск, 2007. – 216 с.

Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева № 4 (123) 150

16. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – Новосибирск: Норматика, 2017. – 68 с.
17. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2015. – 491 с.
18. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 488 с.
19. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. 5-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 527 с.
20. Бамдас А.М., Сомов В.А., Шмидт А.О. Трансформаторы и стабилизаторы, регулируемые подмагничиванием шунтов. М.: Госэнергоатомиздат, 1959. 135 с. Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали. М.: Энергия, 1974. 236 с.
21. Петров Г.Н. Электрические машины. В 3 ч. Ч. 1. Введение. Трансформаторы. М.: Энергия, 1974. 240 с.
22. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. М.: Энергия, 1981. 392 с.
23. Силовые трансформаторы / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. 616 с.
24. Розенблат М.А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. М.: Наука, 1974. 768 с.
25. Сергеенков Б.Н., Киселев В.М., Акимова Н.А. Электрические машины. Трансформаторы. М.: Высш. шк., 1989. 352 с.
26. Засыпкин А.С., Бердов Г.В., Середин М.М. Определение параметров силового трансформатора с насыщенным магнитопроводом // Электричество. 1975. № 12. С. 24–28.
27. Зихерман М.Х., Кузьмин Н.П., Лейтес Л.В. Магнитная характеристика электротехнической стали при сильном насыщении // Электротехническая промышленность. Аппараты высокого напряжения, трансформаторы, силовые конденсаторы. 1972. Вып. 7. С. 3–5.

28. Зихерман М.Х. Характеристики намагничивания силовых трансформаторов // Электричество. 1972. № 3. С. 79–82.
29. Meeker D.C. Finite Element Method Magnetics. Version 4.2 (03 Nov 2013 Build). URL: femm.info.
30. Meeker D.C. Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual (25 Aug 2013). URL: femm.info/Archives/doc/manual42.pdf.
31. Meeker D.C. FEMM 4.2 Magnetostatic Tutorial (25 Jan 2006). URL: femm.info/Archives/doc/tutorial-magnetic.pdf.
32. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. 10-е изд. М.: Гардарики, 2003. 316 с.
33. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. М.: Энергия, 1975. 2 т.
34. Meeker D.C. Math FEMM 1.20. The Mathematica interface to FEMM\4.2. URL: femm.info/Archives/doc/mathfemm.pdf.
35. Shewchuk J.R. Triangle. A Two-Dimensional Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator. Version 1.6 (released 28 Jul 2005). URL: cs.cmu.edu/~quake/triangle.html.
36. Буль О.Б. Методы расчёта магнитных систем электрических аппаратов. М.: Academia, 2005. 336 с.
37. Ierusalimschy R., Figueiredo L.H., Celes W. Reference Manual of the Programming Language Lua 4.0. URL: lua.org/ftp/refman-4.0.pdf.
38. СанПиН 2.1.8./2.2.4.1190-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи;
39. СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов;
40. МУК 4.3.046-96 Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазонов;

41. МУК 4.3.1167-02 Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц.