

05.26.01

Ш146



На правах рукописи

*Анна*

**Шаврина Наталья Андреевна**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА В БЛИЗИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» на кафедре «Безопасность жизнедеятельности».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент  
**Окрайнская И.С.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Кузнецов К.Б.,**  
кандидат технических наук  
**Коржов А.В.**

Ведущее предприятие – государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ)

Защита состоится 24 мая 2007 г., в 10 часов, в ауд. 1001 на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “\_\_\_” 2007 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: (351) 267-94-49, e-mail: natalya@bgd.susu.ac.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

Ю.С.Усынин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



**Актуальность работы.** В последнее время происходит увеличение количества подстанций и протяженности линий электропередачи. Электрические сети напряжением 330, 500, 750 и 1150 кВ ЕЭС России, формировавшиеся в пятидесятые-восьмидесятые годы, создавались для транспорта больших потоков энергии, производимой крупными электростанциями, в том числе атомными, и обеспечения межсистемных перетоков мощности и электроэнергии. На балансе РАО «ЕЭС России» в 2003 году находились 229 линий электропередачи общей протяженностью 42 392 км и 117 подстанций. В 2005 году в ведомстве ОАО ФСК «ЕЭС России» уже было 136 подстанций и 45 895 км линий электропередачи, а в марте 2006 года стало 137 подстанций и 45 964 км линий. Количество обслуживающего персонала возросло за этот период с 11 795 человек до 16 919 человек.

На персонал, обслуживающий подстанции и линии электропередачи, длительно и регулярно оказывает влияние электромагнитное поле (ЭМП) промышленной частоты, которое при систематическом воздействии уровнями, превышающими ПДУ, может вызывать изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, а также некоторых обменных процессов иммунологической реактивности организма и его воспроизводительной функции.

В этих условиях основным мероприятием защиты персонала от воздействия ЭМП, создаваемого электроустановками сверхвысокого напряжения (ЭУ СВН) является соблюдение требований СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях», касающихся времени пребывания человека под воздействием электрического и магнитного полей промышленной частоты. Соблюдение этого условия возможно только при наличии точных данных о распределении напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты. Таким образом, создание карт распределения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты, соответствующих требованиям СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» и оценка риска воздействия электромагнитного поля, основанная на технологических картах и картах напряженности электрического поля, является актуальной научной задачей, имеющей большое практическое значение.

Работа выполнена в соответствии с перечнем приоритетных направлений развития науки, технологий и техники на период до 2010 года.

**Цель работы** – анализ распределения напряженности электрического и магнитного полей вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения для обоснования мероприятий по улучшению условий труда.

**Идея работы** – применение для анализа распределения напряженности электрического и магнитного полей карт, построенных по специальной методике, учитывающей погрешности как методов так и средств измерений.

## **Научные положения и результаты, выносимые на защиту**

1. Для обеспечения погрешности не более 20% при построении карт распределения напряженности электрического поля на открытом распределительном устройстве (ОРУ) измерения величины напряженности должны проводиться по направлениям, образуемыми лучами, исходящими из точки, совмещенной с центром оборудования, при этом угол между лучами определяется с учетом инструментальной погрешности средства измерения.

2. Технологические карты работ по обслуживанию оборудования сверхвысокого напряжения должны разрабатываться как с учетом карт напряженности электромагнитного поля, так и логико-вероятностной модели оценки риска возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения.

3. Методика исследования распределения напряженности магнитного поля промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения, удовлетворяющая требованиям СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

4. Логико-вероятностная модель оценки риска возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждаются корректным применением аппарата математической статистики и теории вероятностей, большим числом экспериментальных исследований (не менее 3000 измерений на каждое открытое распределительное устройство, всего было обследовано 12 ОРУ), данные которых имеют удовлетворительное схождение с результатами измерений, проводимых ранее в нашей стране.

**Значение работы. Научное значение работы** заключается в том, что:

- установлены зависимости погрешностей измерения напряженности электрического поля от угла сдвига между лучами исследования, а также погрешности измерения напряженности магнитного поля от величины шага измерения, которые необходимо учитывать при исследовании распределения напряженностей электрического и магнитного полей вблизи ЭУ СВН в совокупности с погрешностью измерительного прибора;
- на основе анализа распределения напряженностей электрического и магнитного полей промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения установлено, что напряженность магнитного поля не превышает ПДУ (80 А/м) как вдоль ВЛ так и на всей территории ОРУ, в то время как напряженность электрического поля превышает ПДУ (5 кВ/м) на площади не более 40% от всей территории ОРУ;
- разработана логико-вероятностная модель оценки возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего ЭУ СВН, и получены вероятности возникновения предпосылок повреждения здоровья работников в зависимости от профессии и обслуживаемого оборудования. Особенность модели заключается в том, что она позволяет оценить

индивидуальный риск повреждения здоровья работника при наличии данных о его антропометрических характеристиках.

**Практическое значение работы** заключается в следующем:

- обоснована и разработана методика исследования распределения напряженности магнитного поля промышленной частоты на открытом распределительном устройстве и под линиями электропередачи и создания карт напряженности магнитного поля, соответствующих требованиям СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
- созданы карты распределения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения;
- предложены рекомендации, направленные на снижение риска повреждения здоровья персонала.

**Реализация выводов и рекомендаций работы:**

- построенные карты распределения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения переданы ОАО ФСК «ЕЭС России» для применения их в производственном процессе;
- результаты работы использованы Южно-Уральским государственным университетом в лекционных курсах «Безопасность жизнедеятельности» при подготовке студентов электротехнических специальностей и «Электромагнитная безопасность» для студентов специальности 280101 («Безопасность жизнедеятельности в техносфере»).

**Апробация работы.** Основные материалы и результаты диссертационной работы были доложены, рассмотрены и одобрены:

- на пятой Всероссийской научно-практической конференции «Кулагинские чтения» (ЧитГУ, Чита, 2005 г.);
- на двух Всероссийских ежегодных научно-технических конференциях «Наука – Производство – Технологии – Экология» (ВятГУ, Киров, 2005, 2006 гг.);
- на девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2006 (Санкт-Петербург, 2006 г.);
- на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (2005 – 2007 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 128 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 23 таблицы, список используемой литературы из 135 наименований и 1 приложение.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, отмечена научная значимость и практическая ценность работы.

Большой вклад в изучение воздействия электромагнитного поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ) на биологические объекты, в том числе и на организм человека, разработку нормативов, а также способов и средств защиты от воздействия ЭМП ПЧ внесен такими учёными, как Александров Г.Н., Асанова Т.П., Габович Р.Д., Григорьев О.А., Григорьев Ю.Г., Долин П.А., Дьяков А.Ф., Козярин И.П., Кривова Т.И., Кузнецов К.Б., Никитина В.Н., Ревнова Н.В., Сазонова Т.Е., Сидоров А.И., и другими. Однако до настоящего времени проблема защиты персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения, не решена в полном объеме.

В работе были подробно рассмотрены исследования предшественников по определению уровней электрического и магнитного поля промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения. Полная картина распределения напряженности электрического и магнитного полей вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения исследователями не была получена. Для получения достоверных и полных сведений о распределении электрического поля на территории ОРУ и магнитного поля как на территории ОРУ так и под линиями электропередачи необходимо доработать методику исследования распределения напряженности электрического поля промышленной частоты и разработать методику исследования напряженности магнитного поля промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения.

Общеизвестно, что на магнитное поле практически не оказывает влияние наличие металлических конструкций, экранирующих устройств. Значительную роль играет высота подвеса токоведущих элементов, их количество, расположение относительно друг друга, а также рельеф местности. При исследовании распределения напряженности магнитного поля промышленной частоты (МП ПЧ) от электроустановок сверхвысокого напряжения и последующего построения карт распределения напряженности необходимо определить точки, в которых следует проводить измерения.

Кривая распределения напряженности магнитного поля показана на рис. 1. Любую кривую можно построить по нескольким точкам, чем больше точек – тем более достоверная кривая линия может быть построена и тем меньше погрешность ее построения.

В результате исследования распределения напряженности магнитного поля под трассой токопроводящих элементов получена зависимость погрешности от величины шага измерения (рис. 2), используя которую можно выбрать погрешность, удовлетворяющую исследователю. Например, при составлении карт напряженности магнитного поля на ОРУ для аттестации

рабочих мест по условиям труда необходимо, чтобы погрешность не превышала 10%.

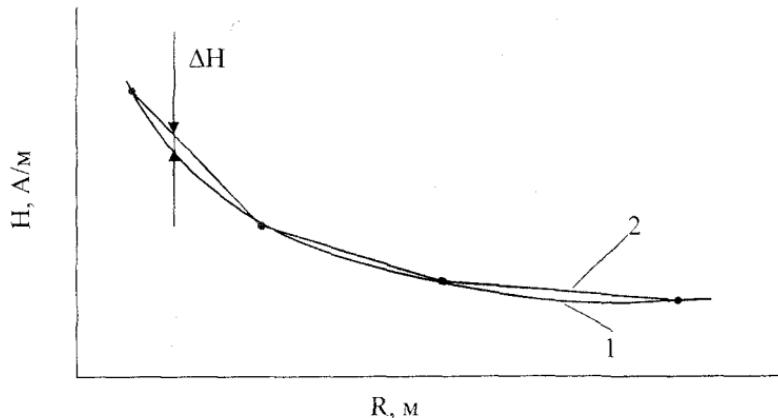


Рис. 1. Реальная (1) и получаемая при исследовании (2) кривая распределения напряженности магнитного поля промышленной частоты

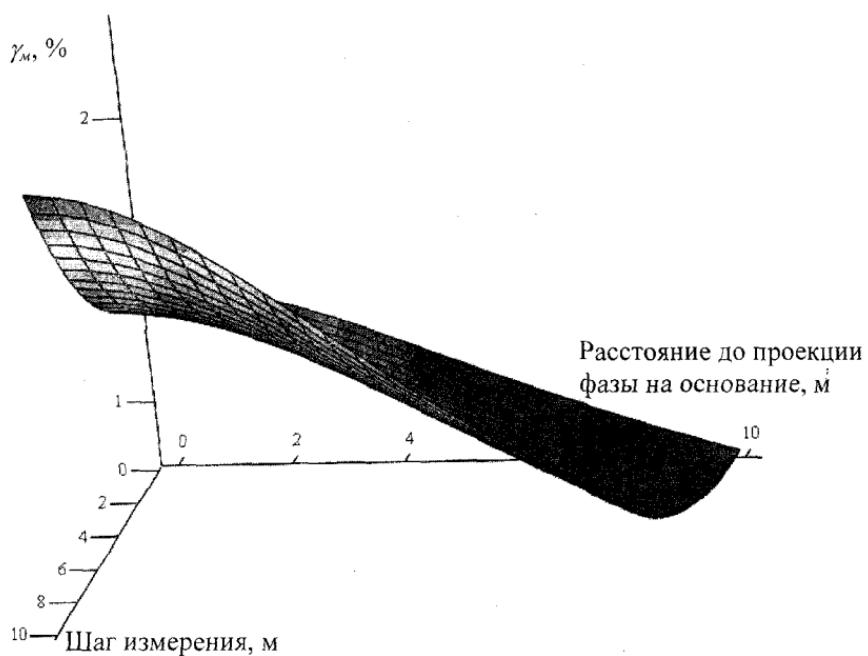


Рис. 2. Зависимость методической погрешности измерения от величины шага измерения по длине кривой распределения напряженности магнитного поля

Полная погрешность измерения рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \gamma_m + \gamma_u, \quad (1)$$

где  $\gamma_m$  – погрешность методическая, а  $\gamma_u$  – погрешность инструментальная (погрешность средства измерения).

Первоначально необходимо составить план исследуемой территории, на который следует нанести расположение оборудования и трассу токоведущих элементов. Затем на плане отмечаются точки будущих замеров.

Для ВЛ СВН измерения следует проводить в точках, совпадающих с проекциями фазных проводов, в центре между ними и через каждые 5 м от крайней фазы перпендикулярно воздушной линии. Затем переместиться вдоль ВЛ для следующего измерения, достаточно проводить измерения через каждые 10 м.

При исследовании распределения напряженности магнитного поля на открытом распределительном устройстве рекомендуется его территорию «разбить» на отдельные ячейки. На лист наносится план оборудования этой ячейки с указанием расстояния между оборудованием. Затем производятся замеры напряженности магнитного поля промышленной частоты на расстоянии 0,5 м от оборудования, в центре между оборудованием, а также на расстоянии 5 и 10 м от крайнего оборудования.

Измерения рекомендуется проводить «челночным» методом (рис. 3).

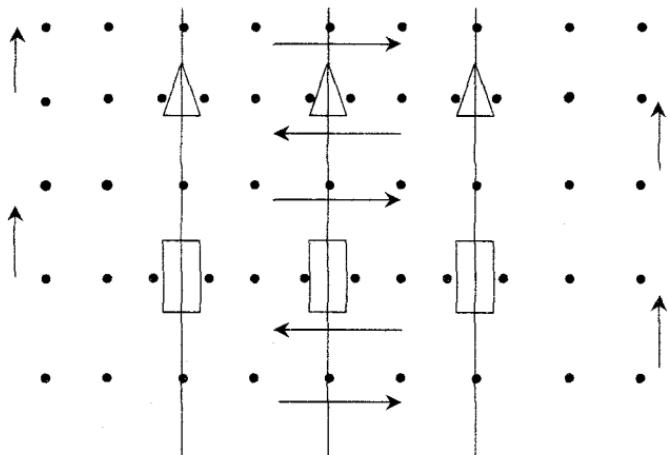


Рис. 3. Схема измерения напряженности магнитного поля вблизи оборудования

На рис. 4 представлены данные, иллюстрирующие распределение напряженности магнитного поля на подстанции «Южная» Свердловского предприятия магистральных электрических сетей (СПМЭС) в ячейках «Воткинская ГЭС» вблизи оборудования.

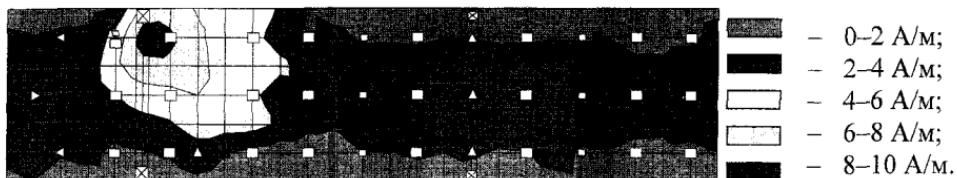


Рис. 4. Карта напряженности магнитного поля в ячейке «Воткинская ГЭС» подстанции «Южная», А/м

Как видно по представленным данным, большая часть пространства (больше 75%) находится в зоне магнитного поля, напряженность которого не превышает 4 А/м. При средней нагрузке 300–400 А максимальное значение напряженности магнитного поля составило 8,9 А/м. При максимальном токе в линии, связывающей Воткинскую ГЭС с подстанцией «Южная» (СПМЭС), равном 2000 А напряженность магнитного поля составит:

$$H_{2000} = \frac{I_{2000}}{I_{400}} \cdot H_{400} = \frac{2000}{400} \cdot 8,9 = 44,5 \text{ А/м.} \quad (2)$$

При нахождении работника под воздействием периодического МП ПЧ в течение 8-ми часового рабочего дня ПДУ составляет 80 А/м. Таким образом, полученные в результате измерений данные показывают, что в реальности напряженность магнитного поля меньше ПДУ. В связи с этим линейный и ремонтный персонал подстанций может выполнять работы на электроустановках в течение 8 часов в день без ущерба для здоровья.

На рис. 5 представлена карта напряженности магнитного поля промышленной частоты вдоль пролета линий электропередачи. Как видно из карты напряженность МП возрастает при приближении к центру пролета и убывает у опор. Это обусловлено провесом линии электропередачи. Максимальное значение напряженности магнитного поля составило – 3,806 А/м. При максимальной нагрузке на линии, около 2000 А, значение напряженности магнитного поля в этой точке составит:

$$H_{2000} = \frac{I_{2000}}{I_{400}} \cdot H_{400} = \frac{2000}{400} \cdot 3,806 = 19,03 \text{ А/м,} \quad (3)$$

что в 4 раза меньше ПДУ МП ПЧ при 8-часовом рабочем дне.

На ОРУ оборудование располагается несимметрично, часто отдельными группами, так называемыми «ячейками». Между оборудованием проходит сложная система ошиновки, которая подобно паутине охватывает все ОРУ, что усложняет задачу исследования напряженности электрического поля промышленной частоты.

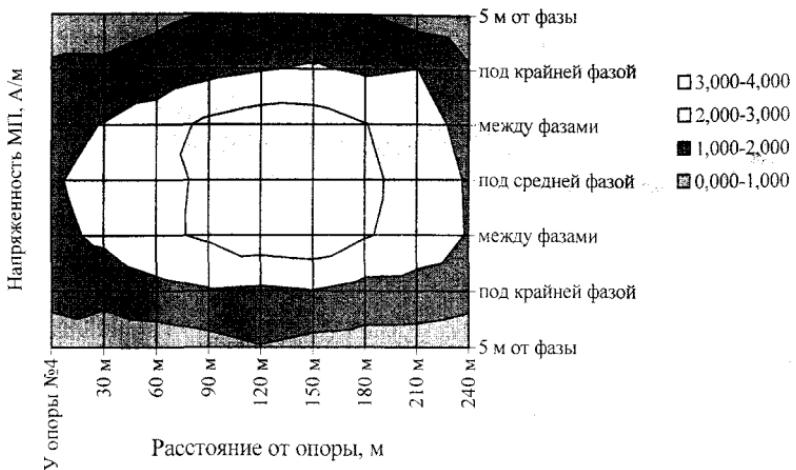


Рис. 5. Карта напряженности магнитного поля вдоль пролета №4 ВЛ 500 кВ подстанция «Шагол», А/м

В нормативных документах указывается, что при исследовании напряженности электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ) и составлении карт напряженности при аттестации рабочих мест по условиям труда, допустимая погрешность измерения не должна превышать 20%.

Кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета была разработана методика по исследованию распределения напряженности электрического поля на открытом распределительном устройстве (ОРУ) и вдоль линии электропередачи. На этапе подготовки к измерениям на основе плана размещения оборудования напряжением 330 кВ и выше выделяются группы расположенных рядом оборудования и конструкций. Готовятся эскизы размещения оборудования, на которых указываются размеры, позволяющие в масштабе воспроизвести контуры оборудования на плане ОРУ (вид сверху).

Измерения напряженности проводятся по радиальной схеме в нескольких направлениях с фиксированным углом между лучами. Измерения проводятся на расстоянии не менее 0,5 м от поверхности оборудования (заземленных металлоконструкций) на высоте 1,8 м от поверхности земли. Измерения начинаются с крайнего в выбранном ряду оборудования. Продвигаясь по выбранному направлению, определяют точку, где напряженность электрического поля составит одно из указанных значений (5,10, 15, 20 и т.д. кВ/м). В случае если ни одно из указанных значений не будет достигнуто при приближении к другому оборудованию (конструкции) на расстоянии 0,5 м, должно быть указано максимальное значение напряженности и зафиксировано расстояние, на котором оно было получено.

Для выбора угла сдвига между лучами оценим методическую погрешность, вносимую таким способом измерения.

При расположении нескольких электроустановок рядом электрические поля накладываются, например так, как показано на рис. 6. На пересечении этих окружностей образуется фигура, образно называемая «лепесток».

В этом случае при проведении измерений согласно методике исследователь пересечет границу напряженности электрического поля в 5, 10, 15, 20 и т.д. кВ/м в нескольких точках (измерительный прибор покажет значение, соответствующее искомому значению напряженности).

На основании точек пересечения можно построить фигуру, вписанную в «лепесток» (рис. 6). Эта фигура тем точнее описывает «лепесток», чем больше лучей ее пересекает, а, следовательно, находится точек пересечения. Для того, чтобы выяснить, насколько точно методика, предложенная кафедрой БЖД, воссоздает «лепесток», необходимо найти разницу между площадями «лепестка» и фигуры. Эта разница, соотнесенная к площади «лепестка», и будет являться погрешностью методики:

$$\gamma_m = \frac{S - S_\phi}{S} \cdot 100\%. \quad (4)$$

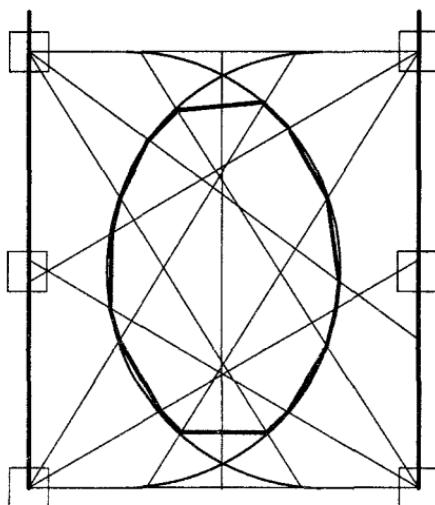


Рис. 6. Схема разбиения фигуры на отдельные треугольники

Общеизвестно, что площадь фигуры, полученной пересечением двух окружностей, равна

$$S = 4 \cdot \int_0^m \left( \sqrt{(R^2 - x^2)} - k \right) dx, \quad (5)$$

где  $R$  – радиус окружности,  $k$  – половина расстояния между оборудованием,  $m$  – расстояние от оси ординат до точки пересечения окружностей.

Площадь фигуры, вписанной в «лепесток», находится через сумму площадей треугольников, на которые ее можно разбить:

$$\gamma_m = \frac{4 \cdot \int_0^m (\sqrt{R^2 - x^2} - k) dx - \sum_n S_{mp_n}}{4 \cdot \int_0^m (\sqrt{R^2 - x^2}) dx} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Из формулы видно, что чем больше будет суммарная площадь треугольников, тем меньше будет погрешность методики и тем более достоверные результаты мы получим при измерении напряженности электрического поля и составления карты его распределения.

Площадь треугольника может быть найдена по формуле:

$$S_{mp} = \sqrt{p \cdot (p-a) \cdot (p-b) \cdot (p-c)}, \quad (7)$$

где  $p$  – полупериметр треугольника,  $a, b, c$  – его стороны. Стороны треугольника вычисляются по координатам точек пересечения «лепестка» и лучей. Формула для нахождения длины стороны треугольника по координатам:

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (8)$$

где  $x_1, x_2, y_1, y_2$  – координаты двух концов стороны треугольника.

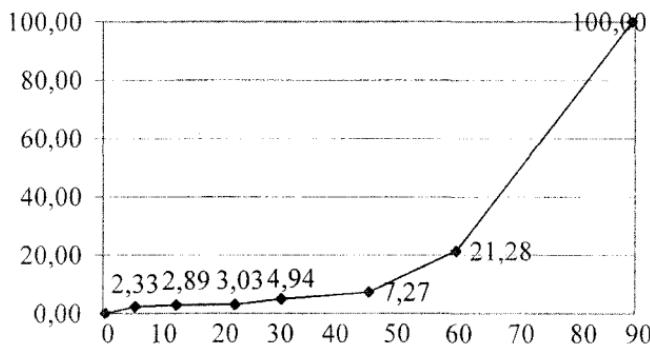


Рис.7. Погрешность, обусловленная выбором угла сдвига между лучами исследования

В результате была получена зависимость погрешности методики измерения от выбора угла между лучами измерения (рис. 7). Зная погрешность измерительного прибора, можно использовать зависимость при выборе угла измерения между лучами для обеспечения погрешности, удовлетворяющей требованиям СанПиН 2.2.4.1191-03.

Как видно из рис. 8, распределение электрического поля имеет ярко выраженную неоднородность. Был проведен подсчет площадей зон различной напряженности. Выбранные подстанции отличаются друг от друга сроками ввода в эксплуатацию, числом ячеек на ОРУ 500 кВ, типами применяемого

оборудования. Однако, несмотря на различия, следует отметить, что площадь зоны, на которой напряженность превышает 5 кВ/м, составляет не более 20–25% всей территории ОРУ. Исключением являются подстанция «Кропачево», «Калино» и «Тагил», где указанная площадь близка к 40%. Это превышение обусловлено расположением различного оборудования практически на всей территории ОРУ (табл. 1).

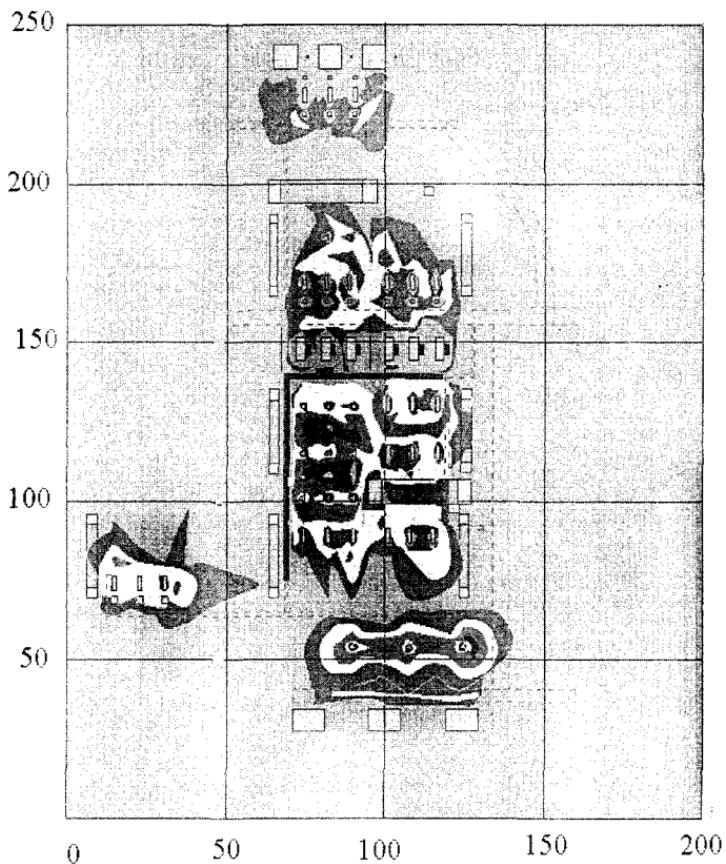


Рис. 8. Карта распределения напряженности электрического поля на ОРУ 500 кВ ПС «БАЗ»

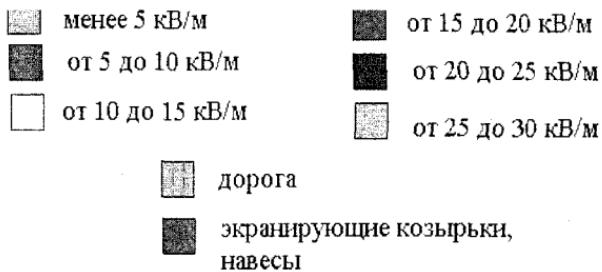


Таблица 1

Результаты расчета площадей зон различной напряженности ЭППЧ  
на территории ОРУ-500 кВ различных подстанций ( $\text{м}^2 / \%$ )

Подстанция Напряженност, кВМ	БАЗ	Смолен- ская	Курган	Ульянов- ская	Вятка	Кропо- чево	Север- ная	Козырево	Тагил	Приза- ловская	Калино-	Челя- бин- ская
5-10	4 270/ <b>8,54</b>	6 291,5/ <b>15,07</b>	16 790,19/ <b>22,05</b>	5 424,12/ <b>10,98</b>	12 512,5/ <b>14,3</b>	8 748,75/ <b>23,33</b>	5 340/ <b>7,12</b>	7 332,5/ <b>8,38</b>	11 838,96/ <b>23,49</b>	6 021,4/ <b>17,71</b>	16 188/ <b>26,98</b>	7 885/ <b>15,77</b>
10-15	2 485/ <b>4,97</b>	3 335,71/ <b>7,99</b>	258,9/ <b>0,34</b>	3 265,34/ <b>6,61</b>	2 371,25/ <b>2,71</b>	3 682,5/ <b>9,82</b>	885/ <b>1,18</b>	1 706,25/ <b>1,95</b>	5 962,32/ <b>11,83</b>	363,8/ <b>1,07</b>	5 346/ <b>8,91</b>	1 550/ <b>3,1</b>
15-20	1 100/ <b>2,2</b>	1 356,82/ <b>3,25</b>	7,61/ <b>0,01</b>	1 022,58/ <b>2,07</b>	1 058,75/ <b>1,21</b>	1 552,5/ <b>4,14</b>	75/ <b>0,1</b>	148,75/ <b>0,17</b>	1 859,76/ <b>3,69</b>	10,2/ <b>0,03</b>	1 008/ <b>1,68</b>	260/ <b>0,52</b>
20-25	345/ <b>0,69</b>	179,52/ <b>0,43</b>	—	19,76/ <b>0,04</b>	315/ <b>0,36</b>	453,75/ <b>1,21</b>	—	—	151,2/ <b>0,3</b>	—	24/ <b>0,04</b>	10/ <b>0,02</b>
>25	20/ <b>0,04</b>	4,17/ <b>0,01</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\Sigma$	8 220	11 167,7	17 056,7	9 731,8	16 257,5	14 437,5	6 300	9 187,5	19 812,24	6 395,4	22 566	9 705
$S_{\text{ОРУ 500 кВ}}$	50 000	41 748,5	76 146	49 400	87 500	37 500	75 000	87 500	50 400	34 000	60 000	50 000
$\Sigma \cdot 100\%$	<b>16,44</b>	<b>26,75</b>	<b>22,4</b>	<b>19,7</b>	<b>18,58</b>	<b>38,5</b>	<b>8,4</b>	<b>10,5</b>	<b>39,31</b>	<b>18,81</b>	<b>37,61</b>	<b>19,41</b>
$S_{\text{ОРУ 500 кВ}}$												

Возникновение предпосылок повреждения здоровья человека при обслуживании электроустановок сверхвысокого напряжения обусловлено воздействием на организм человека ЭМП ПЧ, возникающего от обслуживаемых электроустановок и, с учетом логических связей между передвижением персонала по территории ОРУ и видом работ, может быть представлено логико-вероятностной моделью (рис. 9).

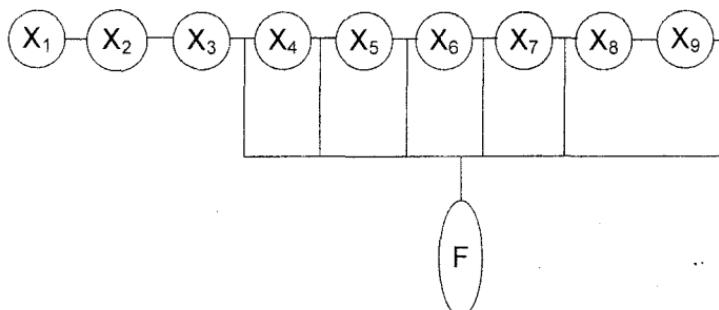


Рис. 9. Логико-вероятностная модель оценки риска возникновения предпосылок повреждения здоровья у персонала, обслуживающего электроустановки СВН

Очевидно, что основные причины возникновения предпосылок повреждения здоровья работника при обслуживании ЭУ СВН связаны с событиями, отражающими пребывание персонала в зонах с различной напряженностью при выполнении тех или иных работ различного типа. Определить вероятность событий, приведенных в табл. 2, являющихся структурными элементами логико-вероятностной модели возникновения предпосылок повреждения здоровья, можно, используя технологические карты МЭС Урала и карты распределения напряженности электрического и магнитного поля на ОРУ подстанций МЭС Урала и под линиями электропередачи.

Были рассчитаны вероятности возникновения предпосылок повреждения здоровья работников, обслуживающих электроустановки сверхвысокого напряжения, результаты представлены в табл. 3.

При внедрении мероприятий, представленных в диссертации и при выполнении технологических работ с учетом карт распределения напряженности электрического поля вероятность возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения снижается. Уровень снижения вероятности может быть подсчитан по формуле:

$$C_{ch} = \frac{P_{do} - P_n}{P_{do}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $p_{oo}$  – вероятность возникновения предпосылок повреждения здоровья до внедрения мероприятий,  
 $p_m$  – вероятность возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала после внедрения мероприятий.

Таблица 2

Элементы логико-вероятностной модели возникновения повреждения здоровья персонала, обслуживающего ЭУ СВН

Группа событий	Обозначение события	Содержание события
События, связанные с организацией работ в электроустановках	X <sub>1</sub>	пребывание на территории ОРУ и вблизи линий электропередачи
События, отражающие местопребывание персонала	X <sub>2</sub>	нахождение в зоне МП ПЧ
	X <sub>3</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ 0–5 кВ/м
	X <sub>4</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ 5–10 кВ/м
	X <sub>5</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ 10–15 кВ/м
	X <sub>6</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ 15–20 кВ/м
	X <sub>7</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ 20–25 кВ/м
	X <sub>8</sub>	нахождение в зоне с напряженностью ЭП ПЧ выше 25 кВ/м
События, связанные с действиями человека при работе в зоне выше 25 кВ/м	X <sub>9</sub>	работа без СИЗ
Конечное событие	F	возникновение повреждения здоровья работника, обслуживающего ЭУ СВН

Таблица 3

Вероятность возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего ЭУСВН в зависимости от занимаемой должности для ПС «БАЗ» 500 кВ

Должность	Вероятность возникновения предпосылок повреждения здоровья
Мастер ПС	$6,944 \cdot 10^{-7}$
ДИП	$3,570 \cdot 10^{-8}$
Электрослесарь 7 разряда	$1,211 \cdot 10^{-2}$
Электрослесарь 6 разряда	$2,012 \cdot 10^{-2}$
Электрослесарь 5 разряда	$2,047 \cdot 10^{-2}$
Электрослесарь 4 разряда	$6,148 \cdot 10^{-2}$
Электрослесарь 3 разряда	$1,743 \cdot 10^{-3}$
Машинист АГП	$1,036 \cdot 10^{-2}$
Машинист автокрана	$6,990 \cdot 10^{-4}$

Уровни снижения вероятности возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения, с учетом профессии приведены в табл. 4.

Таблица 4

Уровни снижения вероятности возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего ЭУ СВН для ПС «БАЗ» 500 кВ

Должность	Уровень, %
Мастер ПС	9,27
ДИП	29,41
Электрослесарь 7 разряда	49,04
Электрослесарь 6 разряда	35,90
Электрослесарь 5 разряда	34,55
Электрослесарь 4 разряда	36,25
Электрослесарь 3 разряда	29,79
Машинист АГП	24,82
Машинист автокрана	20,06

Таким образом, внедрение разработанных мероприятий обеспечит снижение уровня вероятности появления предпосылок повреждения здоровья персонала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-технической задачи исследования электромагнитной обстановки вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения. На основании выполненных теоретических и практических исследований можно отметить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Обоснованы и разработаны методики проведения экспериментальных исследований напряженностей электрического и магнитного полей промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения, методические погрешности которых соответствуют нормативным требованиям и учитывают инструментальные погрешности средств измерения.

2. На основании экспериментальных исследований построены карты распределения напряженности магнитного поля на территории открытого распределительного устройства и под линиями электропередачи. Анализ этих карт показал, что максимальное измеренное значение под линиями электропередачи составило 3,806 А/м, что при пересчете на максимально-возможную нагрузку на линии составит 19,03 А/м. При прохождении ЛЭП над дорогой максимально-измеренное значение равно 4,073 А/м, что при пересчете составило 20,365 А/м. На территории открытого распределительного устройства максимальная напряженность магнитного поля промышленной частоты составляет 8,9 А/м. Пересчет реальных значений напряженности МП относительно максимально возможной нагрузки показал, что в этом случае напряженность для ОРУ составит 44,5 А/м. Полученные данные не превышают ПДУ напряженности магнитного поля промышленной частоты для 8-ми часового рабочего дня.

3. В результате проведенных исследований построены карты распределения напряженности электрического поля на 12 ОРУ 500 кВ для различного оборудования. Анализ показал, что площадь зоны, напряженность которой превышает 5 кВ/м, составляет не более 40 % от всей территории открытого распределительного устройства.

4. Разработана логико-вероятностная модель оценки риска возникновения предпосылок повреждения здоровья персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения

5. Обоснована необходимость учета карт распределения напряженности электрического и магнитного полей при выполнении технологических работ вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения.

6. Карты распределения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения переданы ОАО ФСК «ЕЭС России» для применения их в производственном процессе.

## **Научные публикации по теме диссертации в журналах ВАК**

1. Шаврина, Н.А. Методика исследования напряженности магнитного поля промышленной частоты / Н.А. Шаврина, И.С. Окраинская // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2004. – № 4. – С. 25–31.
2. Шаврина, Н.А. О погрешности методики измерения напряженности электрического поля на ОРУ / Н.А. Шаврина, И.С. Окраинская // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2005. – № 2. – С. 41–46.
3. Шаврина, Н.А. Исследование распределения напряженности электрического поля промышленной частоты на ОРУ 500 кВ / Н.А. Шаврина, И.С. Окраинская // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2005. – № 3. – С. 8–15.
4. Проблема защиты персонала электроустановок сверхвысокого напряжения от действия электрического поля промышленной частоты / И.С. Окраинская, А.И. Сидоров, Н.А. Шаврина, А.Б. Тряпицын // Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». – 2006. – №9. – С. 33–35.

## **Другие научные публикации по теме диссертации**

5. Шаврина, Н.А. Методика изменения уровней магнитного поля / Н.А. Шаврина, И.С. Окраинская // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2005. – Т.6. – С. 56–58.
6. Шаврина, Н.А. Напряженность магнитного поля промышленной частоты на ОРУ 500 кВ / Н.А. Шаврина // «Кулагинские чтения»: V всерос. науч.-практ. конф.: Сб. материалов. – Чита: ЧитГУ, 2005. – Ч.1. – С. 174–175.
7. Шаврина, Н.А. Особенности распределения напряженности электрического поля промышленной частоты на территории ОРУ / Н.А. Шаврина // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. материалов. – Киров: ВятГУ, 2006. – Т.6. – С. 122–125.
8. Сидоров, А.И. Особенности распределения напряженности магнитного поля промышленной частоты на открытом распределительном устройстве и под линиями электропередачи / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, Н.А. Шаврина // Сборник докладов девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2006. – СПб., 2006. – С. 586–590.
9. Сидоров, А.И. Оценка риска повреждения здоровья персонала ЭУ СВН по фактору электрическое поле / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, Н.А. Шаврина // Сборник докладов девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2006. – СПб., 2006. – С. 590–594.

Шаврина Наталья Андреевна

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА В БЛИЗИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного  
университета

---

Подписано в печать 16.04.2007. Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.  
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Тираж 80 экз. Заказ 89/24.

---

Отпечатано в типографии Издательства ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.