

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Методические указания для проведения лабораторных работ



Молодёжный – 2019

УДК 537.86/87:621.31
ББК 32.86-01:31.2

Рецензенты:

1. Алтухов И.В.. - д.т.н., профессор кафедры энергообеспечения и теплотехники ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.
2. Бондаренко С.И. - доцент кафедры электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО ИрНИТУ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ:

Методические указания для проведения лабораторных работ по электромагнитной совместимости и экологии для подготовки бакалавров/магистров по направлениям 13.03.02/04 «Электроэнергетика и электротехника» и 35.03.06 «Агроинженерия» /авт.-сост. С.В. Подъячих, Г.В. Лукина, Д.А. Иванов, А.Ю. Логинов, С.М. Быкова – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – 118 с.

Методические указания для проведения лабораторных работ по **ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И ЭКОЛОГИИ** подготовлены в соответствии с основной образовательной программой подготовки бакалавров (магистров) по направлениям 13.03.02(04) «Электроэнергетика и электротехника» и 35.03.06 «Агроинженерия». Курс рассчитан на студентов всех форм обучения, его информационное содержание достаточно для изучения дисциплины в объеме, предусмотренном стандартами высшего профессионального образования.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой электроснабжения и электротехники Иркутского ГАУ. Протокол № 1 от 13.09.2019 г.

Методические указания рекомендованы к печати методической комиссией энергетического факультета Иркутского ГАУ. Протокол № 1 от 13.09.2019 г.

© С.В. Подъячих, Г.В. Лукина, Д.А. Иванов, А.Ю. Логинов, С.М. Быкова
© Иркутский государственный аграрный университет, 2019.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
Лабораторная работа 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ.....	18
Лабораторная работа 3. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ.....	30
Лабораторная работа 4. АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ.....	43
Лабораторная работа 5. АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ТРАНСФОРМАТОРАМИ И ВОЗДУШНОЙ ЛИНИЕЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	53
Лабораторная работа 6. РАДИОПОМЕХИ, СОЗДАВАЕМЫЕ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	64
Лабораторная работа 7. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ ДИАПАЗОНА.....	71
Лабораторная работа 8. ОДНОФАЗНЫЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ	82
Лабораторная работа 9. ИЗМЕРЕНИЕ И РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ.....	90
Лабораторная работа 10. НАВЕДЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КАБЕЛЬНОЙ ТРАССЕ	98
Лабораторная работа 11. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ.....	104
Лабораторная работа №12. Отвод земель под электрические сети	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное изменение технологий в современном мире приводит к тому, что число неблагоприятных для здоровья человека факторов постоянно увеличивается, а их интенсивность возрастает. Воздействие энергии ЭМИ антропогенного происхождения, излучаемой линиями электропередач, телевизорами, компьютерами и разнообразными электронными устройствами, без которых мы не представляем своего существования, человек испытывает на себе 24 часа в сутки. Широкое применение волновых электромагнитных процессов в повседневной жизни привело к тому, что к естественным электромагнитным полям, которые сопутствовали зарождению и развитию жизни на Земле, добавились искусственные, преднамеренно создаваемые самыми разными излучающими устройствами, в первую очередь, антеннами радиопередающих устройств систем радиосвязи, телевидения и радиовещания.

Общеизвестно, что электромагнитные волны являются биологически активным фактором. Наряду с использованием электромагнитных волн в целях исцеления от недугов, к сожалению, обнаружено и неблагоприятное воздействие радиочастотных излучений на окружающую среду и, в том числе, на человека.

В экологии сформировалось новое направление – электромагнитная экология с рядом специфических проблем: биофизических, медико-биологических и научно-технических. Электромагнитная экология – это раздел экологии, изучающий взаимодействие человека и окружающей среды с электромагнитными полями. Проблемы электромагнитной экологии, традиционно являясь санитарно-гигиеническими, в настоящее время стали частью общей экологической проблемы и получили общественно значимое звучание.

Среда обитания человека подвергается воздействию не только электромагнитного, солнечного и космического излучений, но и пронизана статическим электричеством. Человек и другие живые организмы со дня своего рождения буквально «купаются в океане» электромагнитных излучений и других физических полей, пронизывающих биосферу. Изучение процессов взаимодействия физических полей (шумов, вибраций, постоянных электрических и магнитных полей, электромагнитных излучений различных длин волн от промышленных частот и радиодиапазона до рентгеновского и гамма-диапазона, ионизирующих излучений и т. п.) антропогенного и естественного происхождения с человеком составляет одно из направлений современных структур: экологии биосферы, экологии техносферы и, в частности, учения о безопасности жизнедеятельности.

Лабораторная работа 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Содержание работы:

- 1. Основные положения.**
- 2. Законодательство РФ об охране окружающей среды.**
- 3. Стадии технологии производства тепловой и электрической энергии.**
- 4. Схема взаимодействия энергопредприятий с окружающей средой.**
 - 4.1. ГЭС.**
 - 4.2. ТЭС.**
 - 4.3. АЭС.**
- 5. Экологизация деятельности промышленных предприятий.**

Цель работы: дать теоретические и практические знания для решения экологических проблем при производстве, передаче и распределении тепловой электрической энергии.

Задачи:

- 1) дать представление о видах негативного влияния ГЭС, ТЭС и АЭС на окружающую среду;
- 2) дать представление об экологических проблемах, возникающих при производстве, передаче и распределении тепловой и электрической энергии;
- 3) дать навыки оценки негативного влияния энергоустановок на окружающую среду;
- 4) ознакомить с принципами, методами и средствами обеспечения экологической безопасности.

1 Основные положения

Природа не дает человеку в готовом виде всего того, что ему необходимо для удовлетворения его потребностей. Возникла необходимость в труде и производственной деятельности. Прогресс развития человечества, рост производства, образование инфраструктуры (транспорт, связь и т.п.) привели к резкому возрастанию обмена веществ и энергии между человеческим обществом и биосферой. Воздействия человека на окружающую среду – это антропогенное воздействие.

Одним из видов антропогенного воздействия является антропогенное загрязнение. Загрязнение вообще – это неблагоприятное изменение нашего окружения, являющееся полностью или в основном побочным результатом деятельности человека. Загрязнение, связанное с деятельностью человека, называют антропогенным загрязнением.

Антропогенное загрязнение – это вещество и энергия либо вообще не характерные для биосферы, либо не характерны их концентрации и интенсивности.

В виде энергии окружающая среда загрязняется теплом, ионизирующим излучением, электромагнитными полями (ЭМП), световой энергией (в том числе ультрафиолетовым и инфракрасным излучением), акустическим шумом, вибрацией, ультразвуком. С точки зрения экологии ЭМП – это один из видов энергетического загрязнения окружающей среды.

Подсчитано, что человечество использует миллиарды тонн минерального сырья, топлива, воды, биомассы, атмосферного кислорода, а в полезный продукт переходит лишь один процент затраченных природных ресурсов. Это в полной мере относится и к электромагнитному полю. Технические средства радиосвязи, радиовещания и телевидения излучают огромное количество электромагнитной энергии. Мощности передатчиков изменяются от милливатт (например, мощность передатчика радиотелефонной трубки) до сотен киловатт и даже единиц мегаватт (радиовещательные передатчики НЧ и СЧ диапазонов).

Электромагнитная энергия, излучаемая телекоммуникационными средствами, имеет вполне определенное назначение – она должна воздействовать на входные цепи приемных устройств. Если предположить, что для нормальной работы каждого приемного устройства необходима мощность мВт, то нетрудно подсчитать, что для полного изъятия из окружающей среды электромагнитной энергии одного передатчика мощностью 100 кВт необходимо иметь 100 млн. приемников. Таких передатчиков только в России сотни и даже тысячи... Что же происходит с электромагнитной энергией? На что она расходуется? Как проявляется ее действие? Часть ее уходит в космическое пространство, а остальная рассеивается (поглощается) окружающей средой.

Следует учитывать, что электромагнитную энергию излучают и множество других технических средств, основные функции которых не связаны с преднамеренным процессом излучения, например, энергетические установки, электрифицированный транспорт, линии электропередач (ЛЭП), бытовые приборы, компьютеры и т.п. Уровень электромагнитного загрязнения пока не приобрел глобально опасного характера, если не считать появившегося в последнее столетие и постоянно увеличивающегося уровня радиодфона, под которым понимают суммарный эффект всех излучающих средств Земного шара. Электромагнитное излучение высокого уровня локализовано вблизи источников и существует только в периоды работы излучающих технических средств.

Телекоммуникационная деятельность и оборудование являются причиной насыщения окружающей среды электромагнитной энергией в различных диапазонах:

- до 300 Гц (до 1000 км) – статические поля различного происхождения, энергетические установки, линии электропередачи, видеодисплейные терминалы;

- 0,3...3 кГц (1000...100 км) – модуляторы радиопередатчиков, медицинские приборы, электрические печи индукционного нагрева, закаливания, сварки, плавления, очистки;

- 3...30 кГц (100...10 км) – средства связи на ОНЧ, системы радионавигации, модуляторы радиопередатчиков, медицинские приборы, электрические печи индукционного нагрева, закаливания, сварки, плавления, очистки, видеодисплейные терминалы;

- 30...300 кГц (10...1 км) – радиовещание, радионавигация, морская и авиационная связь, средства связи на НЧ, радиолокация, видеодисплейные терминалы, электрофорез, индукционный нагрев и плавление металла;

- 0,3...3 МГц (1...0,1 км) – радиовещание, связь, радионавигация, морская радиотелефония, любительская радиосвязь, промышленные радиочастотные приборы, передатчики с амплитудной модуляцией, сварочные аппараты, производство полупроводниковых материалов, медицинские приборы;

- 3...30 МГц (100...10 м) – радиовещание, любительская радиосвязь, глобальная связь, ВЧ терапия, магнитные резонансные возбудители, диэлектрический нагрев, сушка и склейка дерева, плазменные нагреватели;

- 30...300 МГц (10...1 м) – подвижная связь, нагрев, частотномодулированное радиовещание, телевизионное вещание, скорая помощь, диэлектрический нагрев, магнитные резонансные возбудители, сварка пластмасс, плазменный нагрев;

- 0,3...3 ГГц (100...10 см) – радиорелейные линии, подвижная связь, радиолокация, радионавигация, телевизионное вещание, микроволновые печи, медицинские приборы, плазменный нагрев, ускорители частиц;

- 3...30 ГГц (10...1 см) – радиолокация, спутниковая связь, подвижная связь, метеорологические локаторы, радиорелейные линии, защитная сигнализация, плазменный нагрев, установки термоядерного синтеза;

- 30...300 ГГц (10...1 мм) – радиолокация, спутниковая связь, радиорелейные линии, радионавигация.

Приведенные данные показывают, что человечество использует практически весь частотный диапазон электромагнитного излучения. Созданная человеком электромагнитная обстановка состоит из полей, которые излучаются преднамеренно или являются продуктами использования других устройств.

В развитии излучающих электромагнитную энергию технических средств, существует три устойчивые тенденции, которые заставляют обращать пристальное внимание на вопросы электромагнитной экологии.

Первая – увеличение количества излучающих средств за счет технического освоения и более плотного заполнения частотных диапазонов,

расширения сети радиосвязи и радиовещания, увеличения каналов телевизионного вещания и других служб.

Вторая – увеличение энергетических потенциалов технических средств путем увеличения мощностей приборов и передатчиков, увеличения эффективности передающих антенн средств телекоммуникаций и их территориальной концентрации.

Третья – внедрение сложной электронной бытовой техники, персональных компьютеров и других достижений новых технологий.

В настоящее время наблюдается ухудшение экологической ситуации по электромагнитному фактору. Это следует связывать, в первую очередь, с преобладанием ведомственных, чисто коммерческих и потребительских подходов к вопросам использования ЭМП. Излучающие технические средства и объекты размещаются на крышах жилых домов и вблизи зон массового пребывания людей без анализа уже существующей электромагнитной обстановки, прогнозирования ЭМП размещаемых средств. Как правило, для размещения излучающих технических средств используются одни и те же удобные с точки зрения массового обслуживания места установки антенн (мачты, башни, высотные здания и т.д.). Несмотря на регламентации и ограничения по использованию технических средств, излучающих в окружающую среду ЭМП, в коммерческих целях иногда реализуется не сертифицированная по гигиеническим параметрам и параметрам электромагнитной совместимости аппаратура.

Неблагоприятная ситуация с электромагнитным фактором связана также со слабой материально-технической базой экологического электромагнитного мониторинга окружающей среды в России. Нормативной документацией предписано, что каждый объект, предназначенный для излучения в окружающую среду электромагнитной энергии, должен иметь санитарный паспорт, в котором кроме прочих данных, приводятся расчетные и измеренные уровни ЭМП и границы санитарных зон этих объектов.

Кроме того, эффективных приборов для измерения параметров ЭМП, выпускаемых отечественной промышленностью, практически нет, а зарубежные весьма дороги.

Не следует забывать о бедственном состоянии экологического воспитания, образования и просвещения населения и даже специалистов. Это относится и к изучению вопросов электромагнитной экологии. Даже в вузах радиотехнического профиля изучение вопросов оценки состояния окружающей среды по электромагнитному фактору носит фрагментарный характер. В справочной, учебной и методической литературе по экологии только констатируется факт наличия ЭМП, как физического фактора, загрязняющего окружающую среду.

Основным «поставщиком» ЭМП в окружающую среду являются радиотехнические системы телекоммуникаций. Это связано с тем, что излучение ЭМП – неотъемлемое явление для радиоканала. Излучающие технические средства радиосвязи, радиовещания и телевидения

распределяются по территориям, как правило, равномерно. Это делается для того, чтобы создать необходимую интенсивность ЭМП в местах пребывания людей, (чтобы работали приемники). Исторически сложившаяся ситуация с размещением технических средств обостряет вопросы электромагнитной экологии, поскольку строили и размещали излучающие технические средства так, чтобы было удобно эксплуатировать, не задумываясь об экологических последствиях. Результат – излучающие технические средства попали в границы городов, телецентры – в самых населенных местах и т.д. Как следствие всего этого, под высокие уровни ЭМП попал не только обслуживающий персонал излучающих технических средств, но и население близлежащих территорий. Однако радиосвязь, радиовещание и телевидение – достижение цивилизации и никто не собирается отказываться от них.

Существуют также созданные человеком источники ЭМП, используемые не для целей телекоммуникаций. Как было перечислено выше, в промышленности, науке и медицине применяется оборудование для передачи и концентрации электромагнитной энергии в ограниченных рабочих областях для создания полезных для человека физических, химических и биологических эффектов. Из-за несовершенств конструкций всегда существует утечка электромагнитной энергии от такого оборудования. Каждый генератор действует как источник ЭМП, способных стать причиной вредных эффектов, зависящих от уровней излученной мощности.

Общее количество промышленных, научных и медицинских установок, излучающих ЭМП, в мире оценивается в несколько сотен миллионов, и их число постоянно увеличивается на 3...7 % в год.

Электромагнитная энергия излучается из оборудования главным образом из оконечных устройств и подходящих к ним проводников (например, радиочастотных кабелей). Количество излученной энергии зависит от особенностей конструкции устройств и размещения их на рабочем месте. Случайно излученные поля являются следствием токов, протекающих по поверхности оборудования и различным окружающим проводящим структурам.

В последнее время все большее внимание привлекают еще две сферы деятельности, которые создают электромагнитное загрязнение – это энергетика и информатика. Электромагнитные поля, сопровождающие использование человеком электроэнергии промышленной частоты и компьютеров, вызывают определенное беспокойство у экологов, гигиенистов и т.д. Есть результаты научных исследований, позволяющие считать, что такие поля являются причиной некоторых видов онкологических заболеваний, особенно у детей. Очень тревожны тенденции резкого увеличения количества, видов и мощностей бытовой техники. Образ жизни цивилизованного человека предполагает, что на весьма ограниченной площади квартиры концентрируется большое количество всевозможной бытовой техники – от фенов и кофемолок до мощных стиральных и посудомоечных машин. Косвенно об увеличении ЭМП в нашем доме можно

судить по тому факту, что за последние десять пятнадцать лет токовые номиналы плавких предохранителей и автоматов на входе силовой сети в квартирах увеличились с 5-6 до 20-25 Ампер. Это означает увеличение потребляемой мощности в 10-25 раз и, как следствие, увеличение уровней ЭМП в квартирах в 5-6 раз. Кроме того, энергетика – это линии электропередач. Они проходят и по полям, лесам, рекам и под водой. Биологи показали, что ЭМП от линий электропередач влияют на поведенческие реакции насекомых (муравьи покидают прилегающие к ЛЭП участки леса), рыб (ЭМП от ЛЭП и подводных силовых кабелей, пересекающих водоемы, часто затрудняют миграцию рыб).

В проблемах электромагнитной экологии выделено три направления:

-биофизическое, занимающееся вопросами исследования взаимодействия биологических тканей с ЭМП;

-медико-биологическое, которое занимается изучением и нормированием воздействующего фактора на окружающую среду и человека;

-научно-техническое, целью которого является разработка методов и средств анализа в окружающей среде ЭМП и защиты от них в случае необходимости.

Выделены следующие виды ущерба:

1. Экологический.
2. Экономический.
3. Социальный.

Загрязнение окружающей среды – привнесение в окружающую среду новых, не характерных для неё физических, химических, биологических агентов, а также увеличение естественного среднего многолетнего уровня концентрации агентов, приводящих к отрицательному воздействию.

Классификация загрязнений по природе действия:

1. Физические (шум, вибрация, тепловыделения и пр.);
2. Химические (кислоты, оксиды и пр.);
3. Биологические.

Для объектов энергетики характерны физические и химические загрязнения.

Классификация факторов воздействия на окружающую среду, здоровье и жизнедеятельность человека, характерных для электрических сетей:

1) специфические воздействия:

- ✓ электрическое поле (для ВЛ напряжением 110 кВ и выше);
- ✓ магнитное поле;
- ✓ акустический шум (для ВЛ напряжением 110 кВ и выше учитывается только в населенной местности);
- ✓ радио- и телевизионные помехи;
- ✓ опасные и мешающие влияния на линии связи и проводного вещания;

- ✓ наличие условий, приводящих к гибели птиц в районах их расселения и на путях их миграции;
 - ✓ ограничение землепользования;
 - ✓ нарушение эстетики ландшафта (для природоохраняемых и рекреационных территорий, вблизи памятников истории и культуры);
- 2) общестроительные (неспецифические) воздействия:
- ✓ изъятие земель в постоянное (бессрочное) пользование;
 - ✓ изъятие земель во временное пользование;
 - ✓ нарушение естественного состояния грунта и рельефа;
 - ✓ сокращение площадей насаждений (разрубка просек);
 - ✓ загрязнение поверхностных и грунтовых вод (только при строительстве).

2 Законодательство РФ об охране окружающей среды

1. Конституция РФ (декларирует права и обязанности граждан РФ).
2. ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 13 июля 2015 года). В этом законе устанавливаются экологические требования о возведении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию промышленных предприятий и иных объектов.

Экологические требования:

1. Должна обеспечиваться экологическая безопасность и сохранение здоровья населения.
2. Должны предусматриваться мероприятия по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов.
3. Должны предусматриваться мероприятия по оздоровлению окружающей среды.
4. Нарушение вышеперечисленных требований несёт приостановление до устранения недостатка, либо полное прекращение деятельности экологически вредных объектов.

Экологические права и интересам граждан «Каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду, на ее защиту от негативного воздействия, вызванного хозяйственной и иной деятельностью, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера полномочия «подавать в органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, суд обращения об отмене решений о проектировании

Разработка федеральных программ в области экологического развития Российской Федерации и целевых программ в области охраны окружающей среды субъектов Российской Федерации осуществляется с учетом предложений граждан и общественных объединений (ч.2 ст. 15).

Экологическое страхование осуществляется в целях защиты имущественных интересов юридических и физических лиц на случай экологических рисков (ч.1 ст. 18).

Оценка воздействия на окружающую среду проводится при разработке всех альтернативных вариантов предпроектной, в том числе прединвестиционной, и проектной документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, с участием общественных объединений (ч. 2 ст. 32).

При размещении зданий, строений, сооружений и иных объектов должно быть обеспечено выполнение требований в области охраны окружающей среды, восстановления природной среды, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов, обеспечения экологической безопасности с учетом ближайших и отдаленных экологических, экономических, демографических и иных последствий эксплуатации указанных объектов и соблюдением приоритета сохранения благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов. В случаях, если размещение зданий, строений, сооружений и иных объектов затрагивает законные интересы граждан, решение принимается с учетом результатов референдумов, проводимых на соответствующих территориях (ч.1, 3 ст.35).

При размещении, проектировании, строительстве, реконструкции городских и сельских поселений должны соблюдаться требования в области охраны окружающей среды, обеспечивающие благоприятное состояние окружающей среды для жизнедеятельности человека (ч. 1 ст.44).

Общественный контроль в области охраны окружающей среды (общественный экологический контроль) осуществляется в целях реализации права каждого на благоприятную окружающую среду и предотвращения нарушения законодательства в области охраны окружающей среды. Общественный контроль в области охраны окружающей среды (общественный экологический контроль) осуществляется общественными и иными некоммерческими объединениями в соответствии с их уставами, а также гражданами в соответствии с законодательством. Результаты общественного контроля в области охраны окружающей среды (общественного экологического контроля), представленные в органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, подлежат обязательному рассмотрению в порядке, установленном законодательством (ч.3-5 ст.68).

Экологическое просвещение, в том числе информирование населения о законодательстве в области охраны окружающей среды и законодательстве в области экологической безопасности, осуществляется органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного

самоуправления, общественными объединениями, средствами массовой информации, а также образовательными учреждениями, учреждениями культуры, музеями, библиотеками, природоохранными учреждениями, организациями спорта и туризма, иными юридическими лицами (ч.2 ст.74).

Вред, причиненный здоровью и имуществу граждан негативным воздействием окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности юридических и физических лиц, подлежит возмещению в полном объеме. Определение объема и размера возмещения вреда, причиненного здоровью и имуществу граждан в результате нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, осуществляется в соответствии с законодательством (ст. 79).

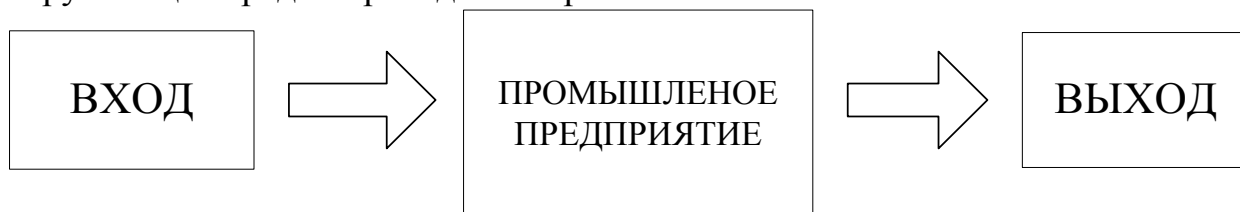
Требования об ограничении, о приостановлении или о прекращении деятельности юридических и физических лиц, осуществляемой с нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, рассматриваются судом или арбитражным судом (ст. 80).

3 Стадии технологического процесса производства тепловой и электрической энергии

1. Разведка энергоресурсов.
2. Извлечение и концентрирование энергетических ресурсов.
3. Транспортировка концентрированного энергетического ресурса до энергетической установки.
4. Одноступенчатое преобразование энергетического ресурса в заданный вид энергии.
5. Передача и распределение тепловой и электроэнергии до потребителя.
6. Потребление тепловой и электрической энергии.

4 Схема взаимодействия промышленных предприятий с окружающей средой

Общая схема взаимодействия промышленного предприятия с окружающей средой приведена на рис. 1.1.

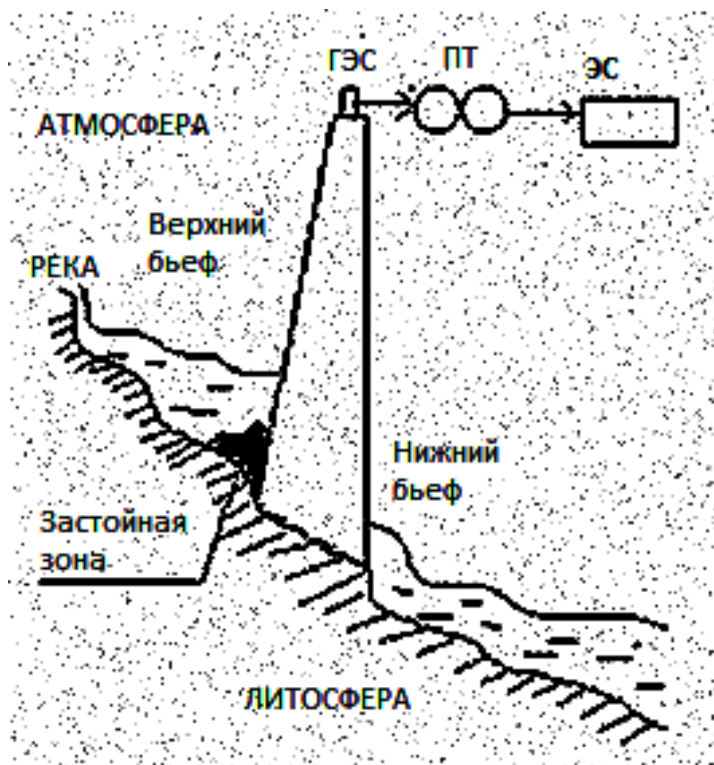


ВХОД: сырьё, материалы, оборудование, топливо, вода, кислород и пр.

ВЫХОД: товары, твердые и жидкие отходы, выбросы, энергетические загрязнения

Рисунок 1.1 – Общая схема взаимодействия ГЭС с окружающей средой

4.1. ГЭС. Схема взаимодействия ГЭС с окружающей средой приведена на рис. 1.2.



ТП – трансформаторные подстанции; ЭС – электрическая сеть.

Рисунок 1.2 – Схема взаимодействия ГЭС с окружающей средой

Экологические проблемы:

1. Верхний бьеф:

- ✓ затопление территории;
- ✓ увеличение давления на дно водохранилища;
- ✓ изменение видового состава флоры и фауны;
- ✓ изменение гидрохимического и гидротермического режима реки;
- ✓ изменения микроклимата в районе водохранилища;
- ✓ нарушение путей миграции животных и пр.

2. Нижний бьеф:

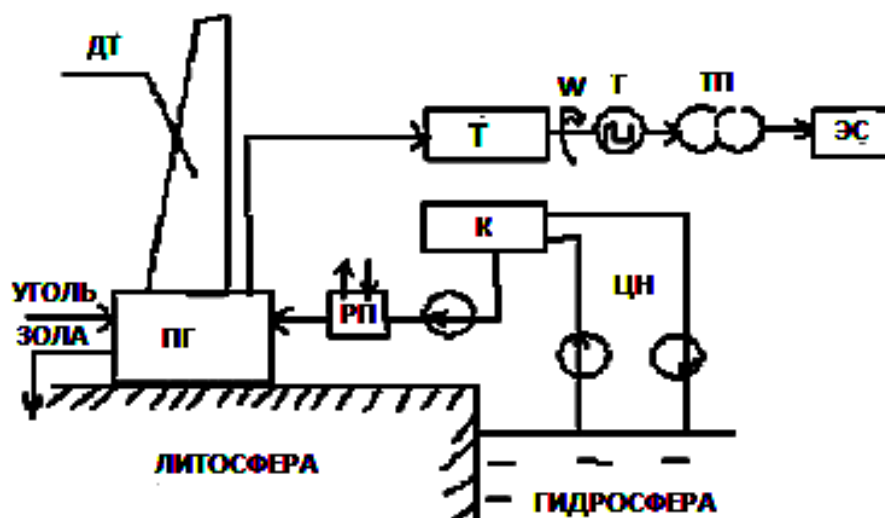
- ✓ изменение стока реки;
- ✓ изменение гидрохимического и гидротермического режима;
- ✓ изменения микроклимата в районе водохранилища;
- ✓ нарушение естественных путей миграции.

3. Экологические проблемы, обусловленные генерацией, передачей и распределением электрической энергии:

- ✓ отвод земель под опоры;
- ✓ акустические шумы;
- ✓ электромагнитные поля промышленной частоты;
- ✓ электростатические поля;
- ✓ радиопомехи;

- ✓ химические загрязнения (оксиды азота, озон, трансформаторное и турбинные масла).

4.2. ТЭС. Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой приведена на рис. 1.3.



ДТ - дымовая труба; ПГ - парогенератор; Т - турбина; Г - генератор; ТП - трансформаторная подстанция; ЭС - электросеть; К - конденсатор; ЦН - циркуляционные насосы; ПН - питательный насос; РП - регенеративный подогреватель

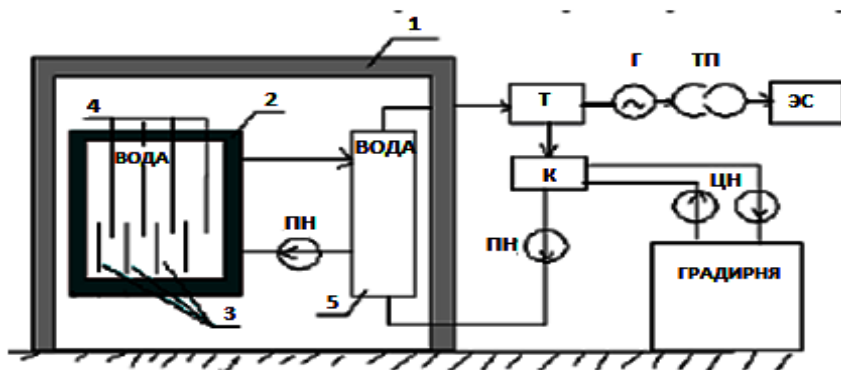
Рисунок 1.3 – Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой

Экологические проблемы ТЭС (топливо уголь):

- ✓ золошлаковые отходы;
- ✓ загрязнения атмосферы (продукты горения угля, угольная пыль со склада угля и т.п.);
- ✓ тепловое загрязнение (выбросы в атмосферу из дымовой трубы, сброс воды в прудохладитель из системы охлаждения конденсатора, градирни);
- ✓ шумовое загрязнение (тепло- и электрооборудование);
- ✓ отвод земли под ТЭС.

Экологические проблемы при производстве, передаче, распределении электрической энергии такие же, как и в п. 4.1.

4.3. АЭС. Схема взаимодействия АЭС с окружающей средой приведена на рис.1.4



1 – защитная оболочка реактора; 2 – корпус реактора; 3 – тепловыделяющие элементы; 4 – регулирующие стержни; 5 – теплообменник

Рисунок 1.4 – Схема взаимодействия АЭС с окружающей средой

5 Экологизация деятельности промышленных предприятий

Экологизация – процесс последовательного внедрения идей сохранения природы и устойчивой окружающей среды в сферы законодательства, управления, разработки технологий, экономики, образования и т.д. Он означает не только внедрение ресурсосберегающих технологий, очистных систем, принципа "загрязняющий платит", но прежде всего осознание конечности нашей планеты, суши и океана, экологического пространства и естественной биоты и существование предела антропогенной деформации естественной окружающей среды, за которым наступает экологическая катастрофа и возникает проблема выживания человека как вида.

Основные этапы экологизации:

1. Увеличение экологичности и энергетической эффективности основного оборудования.

Пути достижения:

- проведение своевременного регламентного обслуживания;
- поддержание требуемых эксплуатационных характеристик оборудования.

2. Совершенствование режимов работы, модернизация и оптимизация характеристик оборудования без изменения принципиальных основ технологии и техники.

3. Разработка и внедрение эффективных средств и технологий, направленных на интенсивное энергосбережение путём перехода на принципиально новые технологии.

4. Совершенствование технологий и средств с учётом достигнутых результатов на третьем этапе.

Критерии оценки эффективности принимаемых решений.

1. Показатели экологической эффективности определяют, на сколько снизилась техногенная нагрузка на окружающую среду, например, массовый

выброс (г/с), уровень напряженности электрического поля промышленной частоты (кВ/м) и т.п.

2. Показатели энергетической эффективности характеризуют, насколько изменилось потребление тепловой энергии, электрической энергии, сырья, топлива и т.п.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите факторы негативного влияния деятельности теплоэнергетических предприятий на окружающую природную среду и причины их порождающие.

2. Перечислите факторы негативного влияния деятельности гидроэлектростанций на окружающую природную среду и причины их порождающие.

3. Перечислите факторы негативного влияния деятельности атомных электростанций на окружающую природную среду и причины их порождающие.

4. Перечислите факторы негативного влияния электрических сетей на окружающую природную среду.

5. Перечислите основные этапы экологизации.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы
2. Изобразить схемы взаимодействия промышленных предприятий с окружающей средой
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

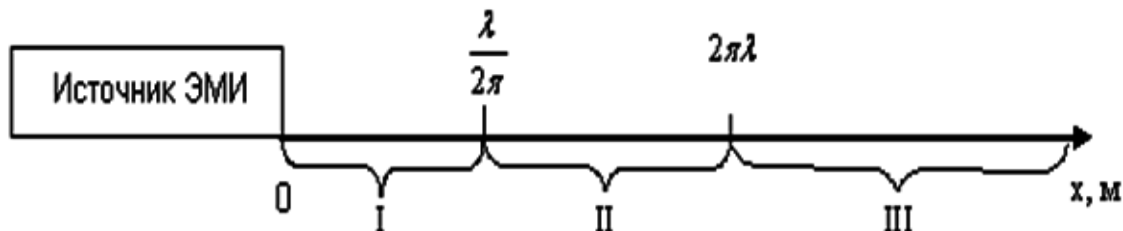
Лабораторная работа 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Содержание работы:

1. Характеристики электромагнитного поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ).
2. Влияние ЭМП ПЧ на биоорганизмы:
 - 2.1. на людей;
 - 2.2. на животных;
 - 2.3. на растения.
3. Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты.
4. Расчёт напряжённости электрического поля промышленной частоты, создаваемого ВЛЭП.
5. Требования к размещению высоковольтных ВЛЭП.
6. Мероприятия по защите населения от воздействия ЭМП ПЧ.

Цель работы: Изучить характеристики появления ЭМП промышленной частоты и мероприятия по их защите.

1 Характеристики ЭМП промышленной частоты



λ - длина волны, излучаемой источником ЭМИ; I – зона индуктивности; II – промежуточная зона (дифракции); III – волновая зона.

Рисунок 2.1 – Зоны излучения для источника ЭМП промышленной частоты (ПЧ)

В зоне индукции поле еще не сформировано. В этом случае его характеристиками являются:

- напряженность электрического поля E , В/м;
- напряженность магнитного поля H , А/м.

В промежуточной и волновой зонах поле считается сформированным и в этом случае его характеристикой является плотность потока энергии (ППЭ), Вт/м².

Для ЭМП ПЧ $f=50$ Гц и соответственно $\lambda = \frac{300000 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{50 \text{ Гц}} = 6000 \text{ км}$

В соответствии с рис. 2.1 человек для ЭМП ПЧ всегда находится в зоне индукции.

Факторы воздействия электрического поля на человека.

-ВЛЭП создают в окружающем пространстве электрическое поле, напряженность которого снижается по мере удаления от ВЛ.

-Электрическое поле вблизи ВЛЭП может оказывать вредное воздействие на человека.

Различают следующие виды воздействия:

-*непосредственное воздействие*, проявляющееся при пребывании в электрическом поле. Эффект этого воздействия усиливается с увеличением напряженности поля и времени пребывания в нем.

-*воздействие электрических разрядов* (импульсного тока), возникающих при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизированным на пневматическом ходу и протяженным проводникам или при прикосновении человека, изолированного от земли, к растениям, заземленным конструкциям и другим заземленным объектам;

-*воздействие тока, проходящего через человека*, находящегося в контакте с изолированными от земли объектами - крупногабаритными предметами, машинами и механизмами. Протяженными проводниками – тока стекания.

Кроме того, электрическое поле может стать причиной воспламенения или взрыва паров горючих материалов и смесей в результате возникновения электрических разрядов при соприкосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Степень опасности каждого из указанных факторов возрастает с увеличением напряженности электрического поля.

2 Влияние ЭМП на биоорганизмы

2.1. На людей. Биологическое влияние электрических и магнитных полей на организм людей и животных достаточно много исследовалось. Наблюдаемые при этом эффекты, если они и возникают, до сих пор не ясны и трудно поддаются определению, поэтому эта тема остается по-прежнему актуальной.

Магнитные поля на нашей планете имеют двойное происхождение - естественное и антропогенное. Естественные магнитные поля, так называемые магнитные бури, зарождаются в магнитосфере Земли. Антропогенные магнитные возмущения охватывают меньшую территорию, чем природные, зато их проявление значительно интенсивнее, а, следовательно, приносит и более ощутимый ущерб. В результате технической деятельности человек создает искусственные электромагнитные

поля, которые в сотни раз сильнее естественного магнитного поля Земли. Источниками антропогенных излучений являются: мощные радиопередающие устройства, электрифицированные транспортные средства, линии электропередачи.

Один из наиболее сильных возбудителей электромагнитных волн - токи промышленной частоты (50 Гц). Так, напряженность электрического поля непосредственно под линией электропередачи может достигать нескольких тысяч вольт на метр, а на расстоянии 100 м напряженность резко падает до нескольких десятков вольт на метр.

Исследования биологического воздействия электрического поля обнаружили, что уже при напряженности 1 кВ/м оно оказывает неблагоприятное влияние на нервную систему человека, что в свою очередь ведет к нарушениям эндокринного аппарата и обмена веществ в организме (меди, цинка, железа и кобальта), нарушает физиологические функции: ритм сердечных сокращений; уровень кровяного давления; активность мозга; ход обменных процессов и иммунную активность.

Начиная с 1972 г. появились публикации, в которых рассматривалось влияние на людей и животных электрических полей с величинами напряженности более 10 кВ/м.

Напряженность магнитного поля пропорциональна току и обратно пропорциональна расстоянию; напряженность электрического поля пропорциональна напряжению (заряду) и обратно пропорциональна расстоянию. Параметры этих полей зависят от класса напряжения, конструктивных особенностей и геометрических размеров высоковольтной ЛЭП. Появление мощного и протяженного источника электромагнитного поля приводит к изменению тех естественных факторов, при которых сформировалась экосистема. Электрические и магнитные поля могут индуцировать поверхностные заряды и токи в теле человека (рис. 2.2). Исследования показали, что максимальный ток в теле человека, индуцированный электрическим полем, намного выше, чем ток, вызванный магнитным полем. Так, вредное воздействие магнитного поля проявляется лишь при его напряженности около 200 А/м, что бывает на расстоянии 1—1,5 м от проводов фазы линии и опасно только для обслуживающего персонала при работах под напряжением. Это обстоятельство позволило сделать вывод об отсутствии биологического влияния магнитных полей промышленной частоты на людей и животных, находящихся под ЛЭП. Таким образом, электрическое поле ЛЭП является главным биологически действенным фактором протяженной электропередачи, который может оказаться барьером на пути миграции движения разных видов водной и сухопутной фауны.

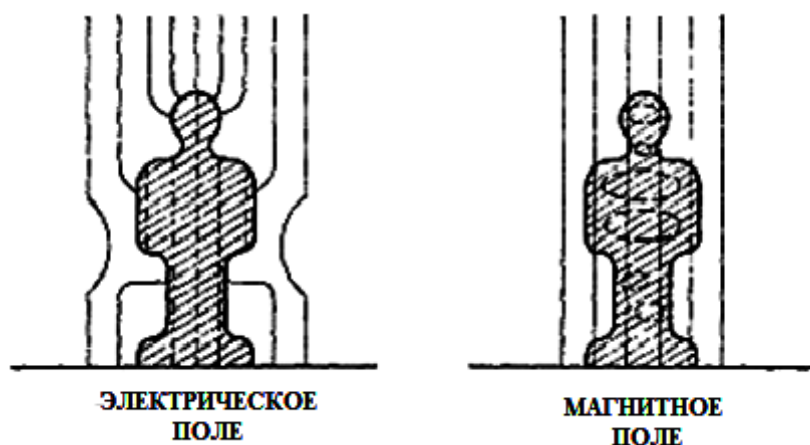


Рисунок 2.2 – Силовые линии ЭМП ПЧ, воздействующих на человека, стоящего под ВЛЭП

Исходя из конструктивных особенностей ВЛЭП (провисания провода) наибольшее влияние поля проявляется в середине пролета, где напряженность для линий сверх- и ультравысокого напряжения на уровне роста человека составляет 5-20 кВ/м и выше в зависимости от класса напряжения и конструкции линии (рис. 2.3). У опор, где высота подвеса проводов наибольшая и сказывается экранирующее влияние опор, напряженность поля наименьшая. Так как под проводами ВЛЭП могут находиться люди, животные, транспорт, то возникает необходимость оценки возможных последствий длительного и кратковременного пребывания живых существ в электрическом поле различной напряженности. Наиболее чувствительны к электрическим полям копытные животные и человек в обуви, изолирующей его от земли. Копыто животных также является хорошим изолятором. Наведенный потенциал в этом случае может достигать 10 кВ, а импульс тока через организм при касании к заземленному предмету (ветке куста, травинке) 100—200 мкА. Такие импульсы тока безопасны для организма, но неприятные ощущения заставляют копытных животных избегать трассы высоковольтных ВЛЭП в летнее время.

В действии электрического поля на человека доминирующую роль играют протекающие через его тело токи. Это определяется высокой проводимостью тела человека, где преобладают органы с циркулирующей в них кровью и лимфой. В настоящее время экспериментами на животных и людях-добровольцах установлено, что плотность тока проводимостью 0,1 мкА/см² и ниже не влияет на работу мозга, так как импульсные биотоки, обычно протекающие в мозгу, существенно превышают плотность такого тока проводимости. При $j > 1$ мкА/см² в глазах человека наблюдается мелькание световых кругов, более высокие плотности токов уже захватывают пороговые значения стимуляции сенсорных рецепторов, а также нервных и мышечных клеток, что ведет к появлению испуга, непроизвольным двигательным реакциям. В случае касания человека к изолированным от земли объектам в зоне электрического поля значительной интенсивности,

плотность тока в зоне сердца сильно зависит от состояния «подстилающих» условий (вида обуви, состояния почвы и т. д.), но уже может достигать этих величин. При максимальном токе, соответствующем $E_{max} = 15$ кВ/м (6,225 мА); известной доле этого тока, втекающего через область головы (около 1/3), и площади головы (около 100 см^2) плотность тока $j < 0,1$ мкА/см², что и подтверждает допустимость принятой в России напряженности 15 кВ/м под проводами воздушной линии.

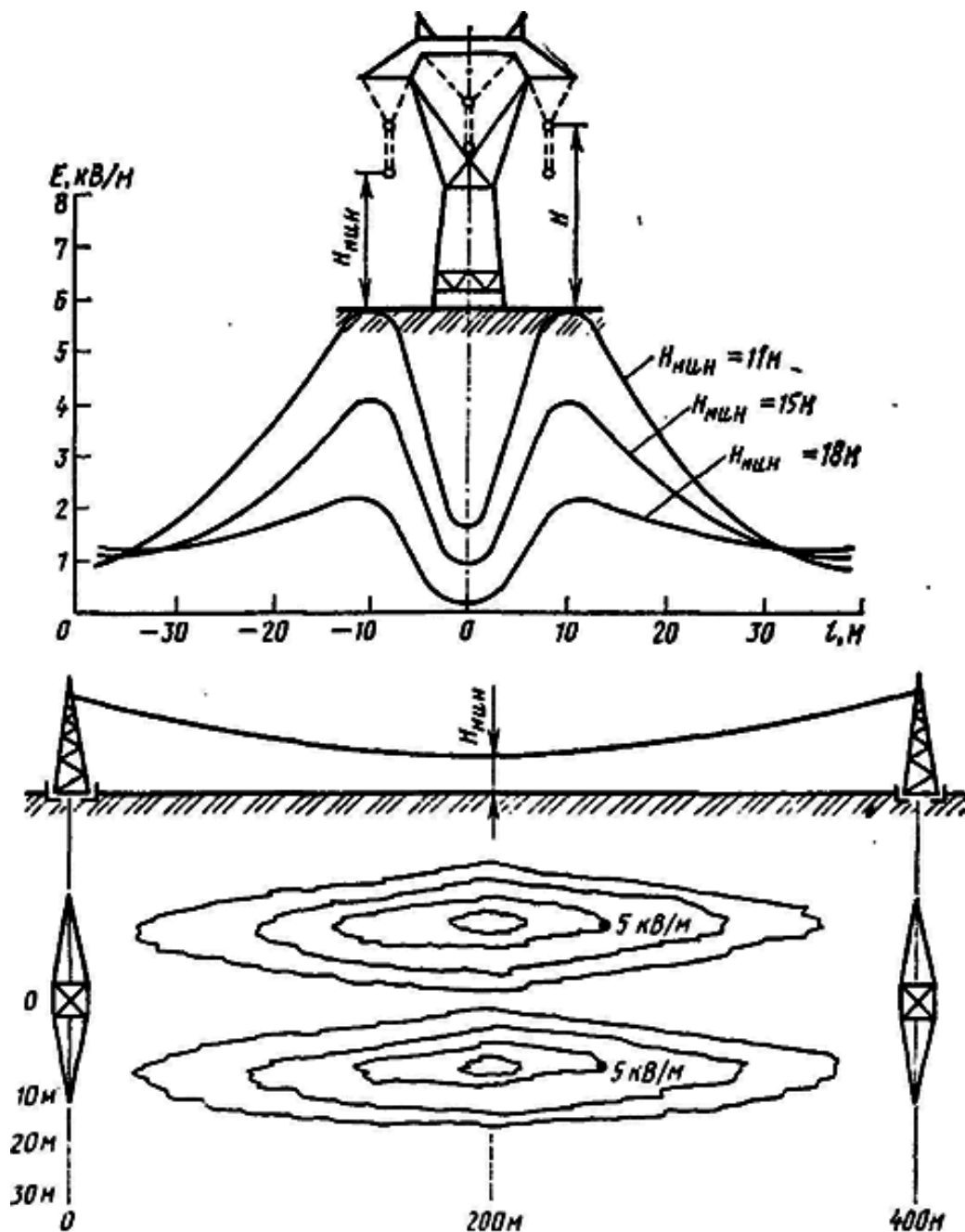


Рисунок 2.3 - Напряженность электрического поля, создаваемого высоковольтной ВЛЭП на уровне земли

Для здоровья человека проблема состоит в определении связи между плотностью тока, наведенного в тканях, и магнитной индукцией B внешнего поля. Вычисление плотности тока:

$$J_B = \pi R f B \quad (2.1)$$

осложняется тем, что его точный путь зависит от распределения проводимости γ в тканях тела.

Так, удельную проводимость мозга определяют $\gamma = 0,2$ см/м, а сердечной мышцы $\gamma = 0,25$ см/м. Если принять радиус головы 7,5 см, а сердца 6 см, то произведение γR получается одинаковым в обоих случаях. Поэтому можно давать одно представление для плотности тока на периферии сердца и мозга.

Определено, что безопасная для здоровья магнитная индукция составляет около 0,4 мТл при частоте 50 или 60 Гц. В магнитных полях (от 3 до 10 мТл; $f = (10-60)$ Гц) наблюдалось возникновение световых мерцаний, аналогичных тем, которые возникают при надавливании на глазное яблоко.

Плотность тока, индуцированного в теле человека электрическим полем с величиной напряженности E , вычисляется по формуле:

$$I_E = k f E \quad (2.2)$$

где k – коэффициент для области мозга и сердца.

Значение $k = 3 \times 10^{-3}$ см/Гц·м. По данным ученых напряженность поля, при которой вибрацию волос ощущают 5% испытуемых мужчин, составляет 3 кВ/м и для 50 % мужчин, подвергшихся испытанию, она равна 20 кВ/м. В настоящее время отсутствуют данные о том, что ощущения, вызванные действием поля, создают какое-либо неблагоприятное влияние. Что касается связи плотности тока с биологическим влиянием, то можно выделить четыре области, представленные в табл. 2.1.

Последняя область значения плотности тока относится к временам воздействия порядка одного сердечного цикла, т. е. приблизительно 1 с для человека. Для более коротких экспозиций пороговые значения выше. Для определения порогового значения напряженности поля были выполнены физиологические исследования на людях в лабораторных условиях при напряженности от 10 до 32 кВ/м. Установлено, что при напряженности 5 кВ/м 80% людей не испытывают болевых ощущений при разрядах в случае касания заземленных предметов. Именно эта величина была принята в качестве нормативной при работах в электроустановках без применения средств защиты. Зависимость допустимого времени пребывания человека в электрическом поле с напряженностью E более порогового аппроксимируется уравнением

$$lgt_{don} = 3,5 - 0,125E \quad (2.3)$$

Выполнение этого условия обеспечивает самовосстановление физиологического состояния организма в течение суток без остаточных реакций и функциональных или патологических изменений.

Таблица 2.1 – Наблюдаемые человеком эффекты в зависимости от плотности тока

J , мкА/см ²	Наблюдаемые эффекты
0,1	Нет
1,0	Мелькание световых кругов в глазах
10- 50	Острые невралгические симптомы подобные тем, которые вызываются электрическим током
более 100	Возрастает вероятность фибрилляции желудочка сердца, остановка сердечной деятельности, длительный спазм дыхательных мышц, серьезные ожоги

2.2. На животных. Исследования проводились по двум направлениям: изучение на уровне биосистемы и изучение порогов обнаруженных влияний. Среди цыплят, помещенных в поле с напряженностью 80 кВ/м, отмечалась прибавка массы, жизнеспособность, низкая смертность. Порог восприятия поля измерялся на домашних голубях. Было показано, что голуби обладают каким-то механизмом для обнаружения электрических полей малой напряженности. Генетических изменений не наблюдалось. Отмечено, что животные, пребывающие в электрическом поле большой напряженности, могут испытывать мини-шок из-за посторонних факторов, зависящих от условий эксперимента, которые могут привести к некоторому беспокойству и возбуждению испытуемых.

Общественная осведомленность о влиянии электромагнитного поля на живые организмы продолжает расти, и некоторый интерес и беспокойство в связи с этим влиянием будут приводить к продолжению соответствующих медицинских исследований, особенно на людях, проживающих вблизи воздушных линий электропередачи.

2.3. На растения. Опыты проводились в специальной камере в неискаженном поле с напряженностью от 0 до 50 кВ/м. Было выявлено небольшое повреждение ткани листьев при экспозиции от 20 до 50 кВ/м, зависящее от конфигурации растения и первоначального содержания влаги в нем. Омертвление ткани наблюдалось в частях растений с острыми краями. Толстые, с гладкой закругленной поверхностью растения не повреждались при напряженности 50 кВ/м. Повреждения являются следствием короны на выступающих частях растений. У наиболее слабых растений повреждения

наблюдались уже через (1-2) ч после экспозиции. Важно, что у сеянцев пшеницы, имеющих очень острые концы, корона и повреждения были заметны при сравнительно низкой напряженности, равной 20 кВ/м. Это был самый низкий порог появления повреждений в исследованиях. Наиболее вероятный механизм повреждения ткани растений – тепловой. Поражение ткани появляется тогда, когда напряженность поля становится достаточно высокой, чтобы вызвать коронирование, и через кончик листка течет ток короны высокой плотности. Тепло, выделяемое при этом на сопротивлении ткани листа, приводит к гибели узкого слоя клеток, которые сравнительно быстро теряют воду, высыхают и сжимаются. Однако этот процесс имеет предел и процент высохшей поверхности растения невелик.

3 Нормирование ЭМП

В соответствии с “Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты” № 2971-84 для ЭМП промышленной частоты (ПЧ) нормируется для населения только электрическая составляющая, магнитная составляющая не нормируется.

Для производственной среды нормируется и электрическая, и магнитная составляющие ЭМП ПЧ.

В качестве предельно допустимых уровней приняты следующие значения напряженности электрического поля:

- внутри жилых зданий – 0,5 кВ/м;

- на территории зоны жилой застройки - 1 кВ/м;

- в населенной местности, вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов, в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов - 5кВ/м;

- на участках пересечения ВЛЭП с автомобильными дорогами I-IV категории - 10 кВ/м;

- ненаселенной местности (незастроенные местности хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) - 15 кВ/м;

- в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения – 20кВ/м.

Предельно допустимые значения напряженности нормируются для электрического поля, не искаженного присутствием человека.

Напряженность электрического поля определяется на высоте 1,8 м и от уровня земли, а для помещений - от уровня пола.

Контроль за соблюдением предельно допустимых уровней напряженности электрического поля следует производить:

-при приемке в эксплуатацию новых зданий, сооружений и зон организованного пребывания людей вблизи ВЛЭП;

-после проведения мероприятий по снижению уровней электрического поля ВЛЭП.

В целях защиты населения от воздействия электрического поля ВЛЭП устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ). Санитарно-защитной зоной ВЛЭП является территория вдоль трассы ВЛЭП, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м.

Для вновь проектируемых ВЛЭП, а также зданий и сооружений допускается принимать границы санитарно-защитных зон вдоль трассы ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности электрического поля по обе стороны от нее на следующих расстояниях от проекции на землю крайних фазных проводов в направлении, перпендикулярном к ВЛЭП:

-20 м - для ВЛЭП напряжением 330 кВ;

-30 м - для ВЛЭП напряжением 500 кВ;

-40 м - для ВЛЭП напряжением 750 кВ;

-55 м - для ВЛЭП напряжением 1150 кВ.

4 Расчёт напряжённости электрического поля промышленной частоты, создаваемого ВЛЭП

В различных точках пространства вблизи электроустановок промышленной частоты напряжённость электрического поля имеет разные значения. Она зависит от многих факторов. Напряженность может быть измерена с помощью специальных приборов, а в некоторых случаях, например, вблизи ВЛЭП, определена расчётом.

Для этого необходимо предварительно определить емкость фазы С (Ф/м) относительно земли на единицу длины линии с горизонтальным расположением проводов:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2H_{cp}}{r_{экв} \sqrt[3]{(4H_{cp}^2 + D_0^2) \sqrt{H_{cp}^2 + D_0^2}}}}, \quad (2.4)$$

где ϵ_0 - электрическая постоянная, $\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$, Ф/м;

H_{cp} - средняя высота подвеса проводов над поверхностью земли, м;

$r_{экв}$ - эквивалентный радиус провода, $r_{экв}=0,0742$;

Напряженность E трёхфазной ВЛЭП в точке, находящейся на высоте $h = 1,8$ м от земли и расстояние x от средней фазы находится по формуле:

$$E = \frac{cU_{\Phi}}{4\pi\epsilon_0} * \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2} \quad (2.5)$$

где коэффициенты k имеют следующие значения:

$$k_1 = \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2};$$

$$k_2 = \frac{H-h}{m_A^2} - \frac{H+h}{n_A^2};$$

$$k_3 = \frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2};$$

$$k_4 = \frac{H-h}{m_B^2} - \frac{H+h}{n_B^2};$$

$$k_5 = \frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2};$$

$$k_6 = \frac{H-h}{m_C^2} - \frac{H+h}{n_C^2}$$

где m и n – отрезки, являющиеся гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников и определяются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} m_A &= \sqrt{(x+d)^2 + (H-h)^2}; & n_A &= \sqrt{(x+d)^2 + (H+h)^2} \\ m_B &= \sqrt{x^2 + (H-h)^2}; & n_B &= \sqrt{x^2 + (H+h)^2} \\ m_C &= \sqrt{(x-d)^2 + (H+h)^2}; & n_C &= \sqrt{(x-d)^2 + (H+h)^2} \end{aligned}$$

Распределение напряженности электрического поля создаваемого ВЛЭП на уровне земли приведено на рис. 3.

5 Требования к размещению высоковольтных ВЛЭП

1. Ближайшее расстояние от оси проектируемых ВЛЭП напряжением 750 -1150 кВ до границы населенных пунктов, как правило, должно быть не менее: 250 м - для ВЛЭП напряжением 750 кВ; 300 м - для ВЛЭП напряжением 1150 кВ.

2. На участках стесненной трассы ВЛЭП напряжением 750—1150 кВ (ущелья, насыпи и т. и.) допускается уменьшение расстояний, указанных в п. 1, но не менее: 40 м - для ВЛЭП напряжением 750 кВ; 55 м - для ВЛЭП напряжением 1150 кВ.

3. Допускается в исключительных случаях приближение к границам сельских населенных пунктов на расстояния, менее указанных в п. 1, или

пересечение их проектируемыми ВЛЭП напряжением (330-750) кВ при условии:

- соблюдения габаритов, обеспечивающих напряженность электрического поля под проводами ВЛЭП не более 5 кВ/м;
- удаления жилой застройки за пределы санитарно-защитной зоны;
- заземления металлических изгородей и крыш домов, расположенных в санитарно-защитной зоне.

6 Мероприятия по защите населения от воздействия ЭМП ПЧ

1. Защита расстоянием – создание СЗЗ и строгое соблюдение требований, регламентирующих её использование.

2. При организации работ в пределах СЗЗ для уменьшения уровня ЭМП промышленной частоты проводятся следующие мероприятия:

2.1. Движущиеся машины и механизмы оснащаются надёжным элементом контактом с землёй, для заземления машин и механизмов на пневматическом ходу допускается использовать металлическую цепь, закреплённую на несущей раме.

2.2. Машины и механизмы, не имеющие металлических кабин должны быть оборудованы защитными экранами, козырьками, соединёнными с корпусом. Они могут выполняться из листового металла или металлической сетки (принцип экранирования).

2.3. Для исключения электрических разрядов при контакте человека с проводниками их заземляют. Протяжённые проводники заземляют в нескольких местах и размещают перпендикулярно к воздушным линиям.

2.4. При проведении строительных работ металлические изделия заземляют в местах работы и не менее чем в двух точках в других местах (трубопроводы, ВЛ электросвязи).

3. Сохранённые в пределах СЗЗ здания защищаются заземлённым экраном. Металлические кровли надёжно заземляются в не менее чем в двух местах. При устройстве заземления величина сопротивления не нормируется.

4. Для уменьшения напряжённости ЭМП на открытых территориях устанавливаются при необходимости тросовые экранирующие устройства, а также железобетонные заборы.

5. В местах пересечения дорог с ВЛЭП устанавливаются знаки, запрещающие остановку транспорта и при необходимости, ограничивающие габаритного транспортного средства.

6. В процессе подготовки и проведения работ, вблизи высоковольтных ЛЭП лица, ответственные за проведение этих работ обязаны проводить инструктаж работающих и контролировать

выполнение мер защиты от воздействия ЭМП и соблюдение требований техники безопасности.

7. В населённых пунктах, вблизи которых проходит ВЛЭП предприятие электрических сетей совместно с органами местной исполнительной власти организуют разъяснительную работу среди населения по пропаганде мер безопасности при работах и нахождении людей вблизи ВЛЭП.

Контрольные вопросы:

1. Назовите и охарактеризуйте виды воздействия электромагнитного поля промышленной частоты на человека и окружающую природную среду.
2. Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты.
3. Методика расчета напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями электропередачи.
4. Средства, обеспечивающие снижение напряженности электрического поля промышленной частоты под воздушными линиями электропередачи.
5. Требования по размещению воздушных линий электропередачи высокого напряжения.
6. Мероприятия по защите населения от воздействия электрического поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями высокого напряжения.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы
2. Изобразить схему распределения напряженности электрического поля, создаваемого ВЛЭП на уровне земли.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 3. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Содержание работы:

1. Характеристика электромагнитного поля. Методы расчета напряженности электрического поля.

2. Методы защиты от электромагнитных полей.

Цель работы: Изучить характеристику и освоить методику расчета электромагнитного поля, изучить мероприятия по защите от ЭМП.

1 Характеристика электромагнитного поля. Методы расчета напряженности электрического поля

Источниками электромагнитных полей (ЭМП) являются: атмосферное электричество, радиоизлучения, электрические и магнитные поля Земли, искусственные источники (установки ТВЧ, радиовещание и телевидение, радиолокация, радионавигация и др.).

Источниками излучения электромагнитной энергии являются мощные телевизионные и радиовещательные станции, промышленные установки высокочастотного нагрева, а также многие измерительные, лабораторные приборы. Источниками излучения могут быть любые элементы, включенные в высокочастотную цепь.

Токи высокой частоты применяют для плавления металлов, термической обработки металлов, диэлектриков и полупроводников и для многих других целей. Для научных исследований в медицине применяют токи ультравысокой частоты, в радиотехнике – токи ультравысокой и сверхвысокой частоты. Возникающие при использовании токов высокой частоты электромагнитные поля представляют определенную профессиональную вредность, поэтому необходимо принимать меры защиты от их воздействия на организм.

Токи высокой частоты создают в воздухе излучения, имеющие ту же электромагнитную природу, что и инфракрасное, видимое, рентгеновское и гамма-излучение. Различие между этими видами энергии – в длине волны и частоте колебаний, а значит, и в величине энергии кванта, составляющего электромагнитное поле.

Электромагнитные волны, возникающие при колебании электрических зарядов (при прохождении переменных токов), называются *радиоволнами*.

Электромагнитное поле характеризуется длиной волны l , м или частотой колебания f , Гц:

$$l = cT = \frac{c}{f}, \text{ или } c = lf, \quad (3.1)$$

где $c = 3 \times 10^8$ м/с - скорость распространения радиоволн, равная скорости света;
 f - частота колебаний, Гц;
 $T = 1/f$ - период колебаний.

Интервал длин радиоволн - от миллиметров до десятков километров, что соответствует частотам колебаний в диапазоне от 3×10^4 Гц до 3×10^{11} Гц (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Спектр электромагнитных колебаний

Интенсивность электромагнитного поля в какой-либо точке пространства зависит от мощности генератора и расстояния от него. На характер распределения поля в помещении влияет наличие металлических предметов и конструкций, которые являются проводниками, а также диэлектриков, находящихся в ЭМП.

При эксплуатации электроэнергетических установок - открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных ЛЭП напряжением выше 330 кВ - в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок возникает сильное электромагнитное поле, влияющее на здоровье людей. В электроустановках напряжением ниже 330 кВ возникают менее интенсивные электромагнитные поля, не оказывающие отрицательного влияния на биологические объекты.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле. При малых частотах (в данном случае 50 Гц) электромагнитное поле можно рассматривать состоящим из двух полей (электрического и магнитного), практически не связанных между собой. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях электроустановок, а магнитное - при прохождении тока по

этим частям. Поэтому допустимо рассматривать отдельно друг от друга влияние, оказываемое ими на биологические объекты.

Установлено, что в любой точке поля в электроустановках сверхвысокого напряжения (50 Гц) поглощенная телом человека энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрического поля (в рабочих зонах открытых распределительных устройств и проводов ВЛ-750 кВ напряженность магнитного поля составляет 20-25 А/м при опасности вредного влияния 150-200 А/м).

На основании этого был сделан вывод, что отрицательное действие электромагнитных полей электроустановок сверхвысокого напряжения (50 Гц) обусловлено электрическим полем, то есть нормируется напряженность электрического поля E , кВ/м.

В различных точках пространства вблизи электроустановок напряженность электрического поля имеет разные значения и зависит от ряда факторов: номинального напряжения, расстояния (по высоте и горизонтали) рассматриваемой точки от токоведущих частей и др.

Промышленная электротермия, в которой применяются токи радиочастот для электротермической обработки материалов и изделий (сварка, плавка, ковка, закалка, пайка металлов; сушка, спекание и склеивание неметаллов), широкое внедрение радиоэлектроники в народное хозяйство позволяют значительно улучшить условия труда, снизить трудоемкость работ, добиться высокой экономичности процессов производства. Однако электромагнитные излучения радиочастотных установок, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, могут явиться причиной профессиональных заболеваний. В результате возможны изменения нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной и других систем организма человека.

Действие электромагнитных полей на организм человека проявляется в функциональном расстройстве центральной нервной системы; субъективные ощущения при этом - повышенная утомляемость, головные боли и т. п. Первичным проявлением действия электромагнитной энергии является нагрев, который может привести к изменениям и даже к повреждениям тканей и органов. Механизм поглощения энергии достаточно сложен. Возможны также перегрев организма, изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Поля сверхвысоких частот могут оказывать воздействие на глаза, приводящее к возникновению катаракты (помутнению хрусталика). Многократные повторные облучения малой интенсивности могут приводить к стойким функциональным расстройствам центральной нервной системы. Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, длительности его воздействия. Биологическое воздействие полей разных диапазонов неодинаково. Изменения, возникающие в организме под воздействием электромагнитных полей, чаще всего обратимы.

В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др. При систематическом облучении наблюдаются стойкие нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса, трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей и т. п.).

Аналогичное воздействие на организм человека оказывает электромагнитное поле промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения. Интенсивные электромагнитные поля вызывают у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и периферической крови. При этом наблюдаются повышенная утомляемость, вялость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце (обычно сопровождается аритмией), головные боли.

Предполагается, что нарушение регуляции физиологических функций организма обусловлено воздействием поля на различные отделы нервной системы. При этом повышение возбудимости центральной нервной системы происходит за счет рефлекторного действия поля, а тормозной эффект - за счет прямого воздействия поля на структуры головного и спинного мозга. Считается, что кора головного мозга, а также промежуточный мозг особенно чувствительны к воздействию поля.

Наряду с биологическим действием электрическое поле обуславливает возникновение разрядов между человеком и металлическим предметом, имеющим иной, чем человек, потенциал. Если человек стоит непосредственно на земле или на токопроводящем заземленном основании, то потенциал его тела практически равен нулю, а если он изолирован от земли, то тело оказывается под некоторым потенциалом, достигающим иногда нескольких киловольт.

Очевидно, что прикосновение человека, изолированного от земли, к заземленному металлическому предмету, равно как и прикосновение человека, имеющего контакт с землей, к металлическому предмету, изолированному от земли, сопровождается прохождением через человека в землю разрядного тока, который может вызывать болезненные ощущения, особенно в первый момент. Часто прикосновение сопровождается искровым разрядом. В случае прикосновения к изолированному от земли металлическому предмету большой протяженности (трубопровод, проволочная ограда на деревянных стойках и т. п. или большого размера металлическая крыша деревянного здания и пр.) сила тока, проходящего через человека, может достигать значений, опасных для жизни.

Исследованиями установлено, что биологическое действие одного и того же по частоте электромагнитного поля зависит от напряженности его составляющих (электрической и магнитной) или плотности потока мощности для диапазона более 300 МГц. Это является критерием для определения

биологической активности электромагнитных излучений. Для этого электромагнитные излучения с частотой до 300 МГц разбиты на диапазоны, для которых установлены предельно допустимые уровни напряженности электрической, В/м, и магнитной, А/м, составляющих поля. Для населения еще учитывают их местонахождение в зоне застройки или жилых помещений.

Согласно ГОСТ 12.1.006-84, нормируемыми параметрами в диапазоне частот 60 кГц - 300 МГц являются напряженности E и H электромагнитного поля. На рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием электромагнитного поля, предельно допустимая напряженность этого поля в течение всего рабочего дня не должна превышать нормативных значений.

Таблица 3.1 - Нормы облучения УВЧ и СВЧ

Плотность потока мощности энергии, Вт/м'	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП	Примечание
До 0,1	Не нормируется	При условии пользования защитными очками. В остальное рабочее время плотность потока энергий не должна превышать 0,1 Вт/м ²
0,1-1	Рабочий день не более 2 ч	
1-10	не более 10 мин	

В табл. 3.1 приведены предельно допустимые плотности потока энергии электромагнитных полей (ЭМП) в диапазоне частот 300 МГц-300000 ГГц и время пребывания на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием ЭМП.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле, Вт:

$$W_{\text{погл}} = \sigma S_{\text{эф}} \quad (3.2)$$

где σ – плотность потока мощности излучения электромагнитной энергии» Вт/м²;

$S_{\text{эф}}$ – эффективная поглощающая поверхность тела человека, м².

В табл. 3.2 приведено допустимое время пребывания человека в электрическом поле промышленной частоты сверхвысокого напряжения (400 кВ и выше).

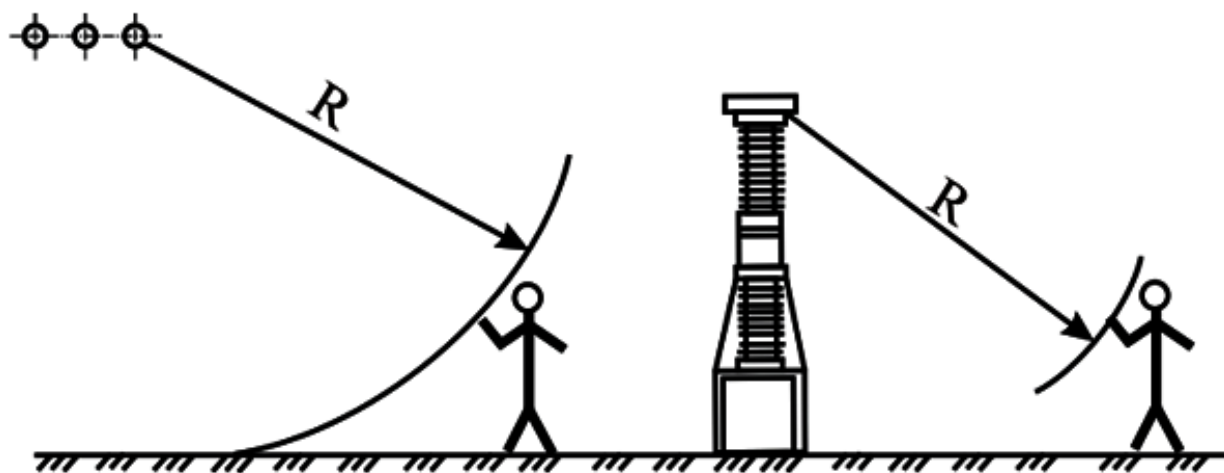
Ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле представляет собой так называемую «защиту временем».

Таблица 3.2 – Предельно допустимое время (с) напряжением 400 кВ и выше

Электрическая напряженность E , кВ/м	Допустимое время пребывания, мин	Примечание
<5	Вез ограничений (рабочий день)	Остальное время рабочего дня человек находится в местах, где напряженность электрического поля меньше или равна 5 кВ/м
5—10	<180	
10—15	<90	
15—20	<10	
20—25	<5	

Если напряженность поля на рабочем месте превышает 25 кВ/м или если требуется большая продолжительность пребывания человека в поле, чем указано в табл. 3, работы должны производиться с применением защитных средств - экранирующих устройств или экранирующих костюмов.

Пространство, в котором напряженность электрического поля равна 5 кВ/м и больше, принято называть *опасной зоной* или зоной *влияния*. Приблизительно можно считать, что эта зона лежит в пределах круга с центром в точке расположения ближайшей токоведущей части, находящейся под напряжением, и радиусом $R = 20$ м для электроустановок 400-500 кВ и $R = 30$ м для электроустановок 750 кВ (рис. 3.2). На пересечениях линий электропередачи сверхвысокого (400 -750 кВ) и ультравысокого (1150 кВ) напряжения с железными и автомобильными дорогами устанавливаются специальные знаки безопасности, ограничивающие зоны влияния этих воздушных линий.



а) источник влияния –открытое распределительное устройство или провода воздушной линии электропередачи; б) источник влияния – токоведущие части аппаратов.

Рисунок 3.2 – Радиусы опасных зон (зон влияния)

Допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленного воздействием электрического поля электроустановок сверхвысокого напряжения, составляет примерно 50-60 мкА, что соответствует напряженности электрического поля на высоте роста человека примерно 5 кВ/м. Если при электрических разрядах, возникающих в момент прикосновения человека к металлической конструкции, имеющей иной, чем человек, потенциал, установившийся ток не превышает 50-60 мкА, то человек, как правило, не испытывает болевых ощущений. Поэтому это значение тока принято в качестве нормативного (допустимого).

Для определения интенсивности электромагнитных полей, воздействующих на обслуживающий персонал, замеры проводят в зоне нахождения персонала по высоте от уровня пола (земли) до 2 м через 0,5 м.

Для определения характера распространения и интенсивности полей в цехе, на участке, в кабине, помещении (лаборатории и др.) должны быть проведены измерения в точках пересечения координатной сетки со стороной в 1 м. Измерения проводят (при максимальной мощности установки) периодически, не реже одного раза в год, а также при приеме в эксплуатацию новых установок, изменениях в конструкции и схеме установки, проведении ремонтов и т. д.

Исследования электромагнитных полей на рабочих местах должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002-84, ГОСТ 12.1.006-84 по методике, утвержденной Минздравом СССР.

Для измерения интенсивности электромагнитных полей радиочастот используется прибор **ИЭМП-1**. Этим прибором можно измерить напряженности электрического и магнитного полей вблизи излучающих установок в диапазоне частот 100 кГц-300 МГц для электрического поля и в диапазоне частот 100 кГц-1,5 МГц - для магнитного поля. С помощью данного прибора можно установить зону, в пределах которой напряженность поля выше допустимой.

Плотность потока мощности в диапазоне **УВЧ-СВЧ** измеряют прибором ПО-1, с помощью которого можно определить среднее по времени значение σ , Вт/м².

Измерения напряженности электрического поля в электроустановках сверхвысокого напряжения производят приборами типа ПЗ-1, ПЗ-1 м и др.

Измеритель напряженности электрического поля работает следующим образом: в антенне прибора электрическое поле создает э. д. с., которая усиливается с помощью транзисторного усилителя, выпрямляется полупроводниковыми диодами и измеряется стрелочным микроамперметром.

Антенна представляет собой симметричный диполь, выполненный в виде двух металлических пластин, размещенных одна над другой. Поскольку наведенная в симметричном диполе э. д. с. пропорциональна напряженности электрического поля, шкала миллиамперметра отградуирована в киловольтах на метр (кВ/м).

Измерение напряженности должно производиться во всей зоне, где может находиться человек в процессе выполнения работы. Наибольшее измеренное значение напряженности является определяющим. При размещении рабочего места на земле наибольшая напряженность обычно бывает на высоте роста человека. Поэтому замеры рекомендуется производить на высоте 1,8 м от уровня земли.

Напряженность электрического поля, кВ/м, для любой точки можно определить из выражения:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 m} \quad (3.3)$$

где τ -линейная плотность заряда провода, Кл/м;

$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{12}$ - электрическая постоянная, Ф/м;

m - кратчайшее расстояние от провода до точки, в которой определяется напряженность, м.

Это выражение предусматривает определение напряженности электрического поля уединенного бесконечно длинного прямолинейного проводника, заряженного равномерно по длине. Вводя соответствующие поправки, можно с достаточной точностью определить уровни напряженности электрического поля в заданных точках линии и подстанции сверхвысокого напряжения в реальных условиях.

2 Методы защиты от электромагнитных полей

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений:

- уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом, уменьшением мощности излучения генератора);

- рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок (действующие установки мощностью более 10 Вт следует размещать в помещениях с капитальными стенами и перекрытиями, покрытыми радиопоглощающими материалами - кирпичом, шлакобетоном, а также материалами, обладающими отражающей способностью - масляными красками и др.);

- дистанционный контроль и управление передатчиками в экранированном помещении (для визуального наблюдения за передатчиками оборудуются смотровые окна, защищенные металлической сеткой);

-экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью - алюминия, меди, латуни, стали); организационные меры (проведение дозиметрического контроля интенсивности электромагнитных излучений - не реже одного раза в 6 месяцев;

- медосмотр - не реже одного раза в год; дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, допуск лиц не моложе 18 лет и не имеющих заболеваний центральной нервной системы, сердца, глаз);

- применение средств индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки и др.).

У индукционных плавильных печей и нагревательных индукторов (высокие частоты) допускается напряженность поля до 20 В/м. Предел для магнитной составляющей напряженности поля должен быть 5 А/м. Напряженность ультравысокочастотных электромагнитных полей (средние и длинные волны) на рабочих местах не должна превышать 5 В/м.

Каждая промышленная установка снабжается техническим паспортом, в котором указаны электрическая схема, защитные приспособления, место применения, диапазон волн, допустимая мощность и т. д. По каждой установке ведут эксплуатационный журнал, в котором фиксируют состояние установки, режим работы, исправления, замену деталей, изменения напряженности поля. Пребывание персонала в зоне воздействия электромагнитных полей ограничивается минимально необходимым для проведения операций временем.

Новые установки вводят в эксплуатацию после приемки их, при которой устанавливают выполнение требований и норм охраны труда, норм по ограничению полей и радиопомех, а также регистрации их в государственных контролирующих органах.

Генераторы токов высокой частоты устанавливают в отдельных огнестойких помещениях, машинные генераторы — в звуконепроницаемых кабинах. Для установок мощностью до 30 кВт отводят площадь не менее 40 м², большей мощности - не менее 70 м². Расстояние между установками должно быть не менее 2 м, помещения экранируют, в общих помещениях установки размещают в экранированных боксах. Обязательна общая вентиляция помещений, а при наличии вредных выделений - и местная.

Помещения высокочастотных установок запрещается загромождать металлическими предметами. Наиболее простым и эффективным методом защиты от электромагнитных полей является «защита расстоянием».

Эффективность экранирования на рабочем месте, определяется из выражения

$$\mathcal{E}_x = \frac{H_x}{H_{x\varepsilon}}, \quad (3.4)$$

где H_x и $H_{x\varepsilon}$ - максимальные значения напряженности магнитной составляющей поля на расстоянии x , м от источника соответственно без экрана и с экраном, А/м.

Напряженность H_x может быть определена из выражения:

$$H_x = \frac{W I a^2 b_m}{4x^2}, \quad (3.5)$$

где w и a - число витков и радиус катушки, м;
 I - сила тока в катушке, А;
 X - расстояние от источника (катушки) до рабочего места, м;
 b_m - коэффициент, определяемый соотношением x/a
(при $x/a > 10$ $b_m = 1$).

Если регламентируется допустимая электрическая составляющая поля E_d , магнитная составляющая может быть определена из выражения:

$$H_d = 1,27 * 10^5 * \frac{E_d}{xf}, \quad (3.6)$$

где f - частота поля, Гц.

Экранирование - наиболее эффективный способ защиты.

Электромагнитное поле ослабляется экраном вследствие создания в толще его поля противоположного направления. Степень ослабления электромагнитного поля зависит от глубины проникновения высокочастотного тока в толщу экрана. Чем больше магнитная проницаемость экрана и выше частота экранируемого поля, тем меньше глубина проникновения и необходимая толщина экрана. Экранируют либо источник излучений, либо рабочее место. Экраны бывают отражающие и поглощающие.

Для защиты работающих от электромагнитных излучений применяют заземленные экраны, кожухи, защитные козырьки, устанавливаемые на пути излучения. Средства защиты (экраны, кожухи) из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких резиновых ковриков, гибких или жестких листов поролона, ферромагнитных пластин.

Для защиты от электрических полей сверхвысокого напряжения (50 Гц) необходимо увеличивать высоту подвеса фазных проводов ЛЭП. Для открытых распределительных устройств рекомендуются заземленные экраны (стационарные или временные) в виде козырьков, навесов и перегородок из металлической сетки возле коммутационных аппаратов, шкафов управления и контроля. К средствам индивидуальной защиты от электромагнитных излучений относят переносные зонты, комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, осуществляющие защиту организма человека по принципу заземленного сетчатого экрана.

Допустимые уровни напряженности электрических полей установлены в специальном ГОСТе ССБТ.

Стандарт устанавливает предельно допустимые уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц для персонала, обслуживающего электроустановки и находящегося в зоне влияния создаваемого ими ЭП, в зависимости от времени пребывания и требований к проведению контроля уровней напряженности ЭП на рабочих местах.

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП равен 25 кВ/м. Пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП напряженностью свыше 5 до 20 кВ/м включительно определяется по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2 \quad (3.7)$$

где T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

E - напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Расчет допустимой напряженности в зависимости от времени пребывания в ЭП производится по формуле:

$$E = \frac{50}{T+2} \quad (3.8)$$

Допустимое время пребывания в ЭП может быть одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность ЭП не должна превышать 5 кВ/м.

Напряженность электрического поля, создаваемого трехфазной воздушной линией электропередачи с горизонтальным расположением проводов определяется выражением:

$$E = \frac{U \cdot k}{r \cdot \ln \left(\frac{1,26 B_{np}}{r_{np.э}} \right)} \quad (3.9)$$

где E - напряженность электрического поля на расстоянии r от ближайшего провода ЛЭП, кВ/м;

U - эффективное значение фазного напряжения, кВ;

k - коэффициент, учитывающий высоту подвеса проводов H_{np} , расстояние между фазными проводами B_{np} и расстояние от проводов до исследуемой точки r ($k = 0,8...1$);

r - кратчайшее расстояние от провода до точки, в которой определяется напряженность, м.

B_{np} - расстояние между фазными проводами, м;

$r_{np.э}$ - эквивалентный радиус провода, м.

При расщепленных фазах, состоящих каждая из n проводов, эквивалентный радиус провода $r_{np.э}$ вычисляется по формуле:

$$r_{np.э} = P \cdot n \cdot \sqrt{r_{np} \cdot \alpha^{n-1}}, \quad (3.9)$$

где P - поправочный коэффициент ($P = 1$ при $n \leq 3$, $P = 1,09$ при $n = 4$);
 n - число проводов в фазе;
 r_{np} - радиус провода, м;
 α - расстояние между проводами одной фазы (шаг расщепления), м.

Задача 1. При обслуживании распределительной станции напряжением 500 кВ обслуживающий персонал подвергается воздействию электромагнитного поля промышленной частоты. Значения напряженности ЭМП в зонах А, Б и В (соответственно E_A , E_B и E_B) приведены в таблице 3. Время нахождения людей в этих зонах t_A , t_B и t_B также приведены в таблице. Требуется рассчитать допустимое время нахождения людей в этих зонах (T_A , T_B , T_B), определить возможность выполнения одним человеком последовательно нескольких работ в зонах А, Б и В в течение времени t_A , t_B и t_B .

Таблица 3.3 - Значения напряженности электрического поля в зонах А, Б и В и время нахождения людей в этих зонах

Наименование параметров	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_A , кВ/м	1	2	2	3	5	4	7	5	9
E_B , кВ/м	0,5	2	1	1	3	2	3	2	3
E_B , кВ/м	25	20	25	20	20	15	22	5	20
t_A , ч	0,5	1	1,5	1,5	2	2	3	1	1
t_B , ч	2	3	3	4	1	1	2	3	1
t_B , ч	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	1	0,5	0,5

Задача 2. Определить напряженность электрического поля от высоковольтной линии электропередачи и сравнить с нормативным значением. Сделать вывод.

Таблица 3.4 – Исходные данные для расчета.

Номер варианта	Фазное напряжение U , кВ	Расстояние между фазными проводами r , м	Радиус провода r_{np} , м	Расстояние между проводами одной фазы α_p , м	Расстояние между проводами одной фазы α_p , м
1	500	10	12	0,4	10
2	330	6	6	0,2	8
3	750	12	16	0,5	15

Номер варианта	Фазное напряжение U , кВ	Расстояние между фазными проводами r , м	Радиус провода r_{np} , м	Расстояние между проводами одной фазы α_p , м	Расстояние между проводами одной фазы α_p , м
4	500	8	14	0,3	12
5	330	6	8	0,3	10
6	750	15	16	0,6	10
7	500	10	10	0,3	8
8	500	12	12	0,5	6
9	750	16	12	0,5	13
10	330	8	8	0,2	5

Контрольные вопросы:

1. Какое вредное воздействие оказывает на организм человека электрическое поле высоковольтных линий электропередач и открытых распределительных устройств? При какой напряженности ЭП допускается пребывание людей в течение рабочего дня? Чему равен предельно допустимый уровень E , при котором пребывание людей без средств защиты не допускается?

2. Как определяется по ГОСТ 12.1.002-84 время пребывания в электрическом поле напряженностью от 5 до 20 кВ/м?

3. По какой формуле можно проверить возможность нахождения персонала в зонах с различной напряженностью электрического поля высоковольтного оборудования?

4. Какие виды экранов по ГОСТ 12.4.154-85 и индивидуальных средств защиты по ГОСТ 12.4.172-87 применяются для защиты от электрических полей промышленной частоты?

5. В каких случаях и как часто должно проводиться измерение напряженности ЭМП на рабочих местах?

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Произвести необходимые расчеты по определению допустимого времени нахождения людей в опасных зонах и напряженности электрического поля от высоковольтной линии электропередачи.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 4. АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ

Содержание работы:

1. Основные акустические характеристики шума и его источников шума.
2. Действие шума на человека.
3. Нормирование шума.

Цель работы: Изучить характеристики акустических шумов

1 Основные акустические характеристики шума и его источники

Классификация шумов, воздействующих на человека:

- ✓ *По характеру спектра шума выделяют:*
 - широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более 1 октавы;
 - тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тоны. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в 1/3 октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.
 - ✓ *По временным характеристикам шума выделяют:*
 - *постоянный шум*, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно»;
 - *непостоянный шум*, уровень которого за 8-часовой рабочий день, рабочую смену или во время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно».
- Непостоянные шумы подразделяют на:
- ✓ *колеблющийся во времени шум*, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;
 - ✓ *прерывистый шум*, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;
 - ✓ *импульсный шум*, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБА₁ и дБА, измеренные соответственно на

временных характеристиках «импульс» и «медленно», отличаются не менее чем на 7 дБ.

Классификация шумов по природе происхождения:

- ✓ шум механического происхождения - шум, возникающий вследствие вибрации поверхностей машин и оборудования, а также одиночных или периодических ударов в сочленениях деталей, сборочных единиц или конструкций в целом;
- ✓ шум аэродинамического происхождения - шум, возникающий вследствие стационарных или нестационарных процессов в газах (истечение сжатого воздуха или газа из отверстий; пульсация давления при движении потоков воздуха или газа в трубах или при движении в воздухе тел с большими скоростями, горение жидкого и распыленного топлива в форсунках и др.);
- ✓ шум электромагнитного происхождения - шум, возникающий вследствие колебаний элементов электромеханических устройств под влиянием переменных магнитных сил (колебания статора и ротора электрических машин, сердечника трансформатора и др.);
- ✓ шум гидродинамического происхождения - шум, возникающий вследствие стационарных и нестационарных процессов в жидкостях (гидравлические удары, турбулентность потока, кавитация и др.);
- ✓ воздушный шум - шум, распространяющийся в воздушной среде от источника возникновения до места наблюдения.
- ✓ структурный шум - шум, излучаемый поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок зданий в звуковом диапазоне частот.

Акустические характеристики шума.

1.1 Акустические характеристики постоянного шума.

а) Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$L = \frac{20 \lg P}{P_0}, \quad (4.1)$$

где P - среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

P_0 - исходное значение звукового давления в воздухе равно $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для октавных полос значения частоты верхней границы f_n в два раза больше, чем значения частоты f_{n-1} для нижней границы: $f_2=2f_1$; $f_3=2f_2$; ..., $f_n=2f_{n-1}$ (см. рис. 1).



Рисунок 4.1 – К пояснению термина “октавная полоса”

Для характеристики октавной полосы в практике используют не ее нижнюю и верхнюю частоты, а среднегеометрическую частоту:

$$f_{cr} = \sqrt{f_{n-1} * f_n} = f_{n-1} * \sqrt{2}, \text{ Гц.} \quad (4.2)$$

б) Допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука в дБА, измеренный на временной характеристике «медленно» шумомера, определяемый по формуле:

$$L_A = \frac{20 \lg P_A}{P_0}, \quad (4.3)$$

где P_A - среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции «А» шумомера, Па.

Уровень звука представляет собой результирующий уровень звукового давления во всем слышимом диапазоне частот (20 – 20000 Гц) с поправкой в соответствии с характеристикой А:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1 p_{iA}}, \text{ дБА}; \quad L_{piA} = L_{pi} + K_{iA}, \text{ дБ} \quad (4.4)$$

где K_{iA} – корректирующая поправка, дБ (см. таблицу 1);

L_{pi} – уровень звукового давления в i - ой октавной полосе, дБ.

Индекс «А» в формуле показывает, что введена коррекция в соответствии с характеристикой А.

Таблица 4.1 – Нижние и верхние границы частот, среднегеометрические частоты октавных полос, корректирующие поправки K_{iA}

ОКТАВА			
Нижняя граница f_n , Гц	Верхняя граница f_b , Гц	Среднегеометрическая частота f_{cr} , Гц	Корректирующая поправка K_{iA} , дБ
22	44	31.5	- 42,0
44	88	63	-26,3
88	177	135	-16,1

ОКТАВА			
Нижняя граница f_n , Гц	Верхняя граница f_b , Гц	Среднегеометрическая частота $f_{ст}$, Гц	Корректирующая поправка K_{iA} , дБ
177	355	250	-8,6
355	710	500	-3,2
710	1420	1000	0
1420	2840	2000	+1,2
2840	5680	4000	+1,0
5680	11360	8000	-1,1

1.2 Акустические характеристики непостоянного шума

1. Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА:

$$L_{Aэк} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right) dt \right), \quad \text{дБА} \quad (4.5)$$

где $P_A(t)$ – текущее значение среднеквадратического звукового давления, Па;

P_0 – пороговое значение ($2 \cdot 10^{-5}$ Па);

T – время действия шума.

1.3 Акустические характеристики источника шума

1. Уровень звуковой мощности:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}, \quad \text{дБ} \quad (4.6)$$

где W – звуковая мощность, Вт;

W_0 – пороговое значение звуковой мощности, Вт ($W_0 = 10^{-12}$ Вт).

2. Корректированные уровни звуковой мощности моделей ручных машин L_{WA} :

$$L_{WA} = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1 L_{W,ia}}, \quad \text{дБА} \quad (4.7)$$

$$L_{W,ia} = L_{W,i} + K_{iA}, \quad \text{дБ} \quad (4.8)$$

где K_{iA} – корректирующая поправка, дБ (см. таблицу);

L_{wi} – уровень звуковой мощности в i -ой октавной полосе, дБ.

3. Фактор направленности или коэффициент направленности Φ :

$$\Phi = \frac{P_r^2}{P_{cp}^2}, \quad (4.9)$$

где P_r - звуковое давление на фиксированном расстоянии r от источника шума в данном направлении, Па;

P_{cp} - звуковое давление, усредненное по всем возможным направлениям излучения при том же фиксированном расстоянии r , Па.

Этот коэффициент характеризует неравномерность излучения. Для ненаправленного источника шума $\Phi=1$.

2 Действие шума на человека

При воздействии шума на человека выделяют следующие аспекты:

1. **Медицинский** – шум приводит к ухудшению его функционального состояния. Функциональные расстройства нервной системы наступают раньше, чем снижение слуховой чувствительности. Медики отмечают следующие симптомы, обусловленные шумовым воздействием:

- ✓ снижение слуховой чувствительности;
- ✓ изменение функции пищеварения;
- ✓ сердечнососудистая недостаточность;
- ✓ нейроэндокринные расстройства.

При этом специалисты отмечают, что за счет повышения шума заболеваемость в городах увеличивается на 30 %, уменьшается продолжительность жизни на 8-10 лет, трудоспособность снижается минимум на 10 %, а эффективность отдыха – почти в два раза.

2. **Социальный** (около 60 % населения крупных городов проживает в условиях чрезмерного шума).

3. **Экономический** (шум влияет на производительность труда). Увеличение звука на 12 дБА приводит к снижению производительности труда на 1 % (при уровнях звука больше 80 дБА).

3 Нормирование шума

Нормативным правовым актом в области нормирования уровней шума являются санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки».

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления L , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими

частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Для ориентировочной оценки допускается использовать уровни звука L_A , дБА.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука $L_{A_{экв}}$, дБА, и максимальные уровни звука $L_{A_{макс}}$, дБА.

Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие настоящим санитарным нормам, табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки (по СН 2.2.4/2.1.8.562-96)

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальные уровни звука $L_{A_{макс}}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	76 69	59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23 13	35 25	50 40
2	Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
3	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференцзалы, читальные залы		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальные уровни звука L _{Амакс} , дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
	библиотек												
4	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домовинтернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	79 72	63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30	55 45
5	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	83 76	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50
6	Залы кафе, ресторанов, столовых		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
7	Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания		93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
8	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	83 76	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальные уровни звука L _{Амакс} , дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
9	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	90 83	75 67	66 57	59 49	54 44	50 40	47 37	45 35	44 33	55 45	70 60
10	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	93 86	79 71	70 61	63 54	59 49	55 45	53 42	51 40	49 39	60 50	75 65
11	Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
12	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивален тные уровни звука (в дБА)	Максима льные уровни звука L _{Амакс} , дБА	
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000			8000
	отдыха, пансионатов, домов- интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений												

Примечание.

1. Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливаются при условии обеспечения нормативной вентиляцией помещений (для жилых помещений, палат, классов - при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон).

2. Эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта, в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать на 10 дБА выше (поправка $\Delta = + 10$ дБА), указанных в позициях 9 и 10 табл. 4.2.

3. Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и др. инженерно-технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБА ниже (поправка $\Delta = - 5$ дБА), указанных в табл. 4.2 (поправку для тонального и импульсного шума в этом случае принимать не следует).

4. Для тонального и импульсного шума следует принимать поправку - 5 дБА.

Контрольные вопросы:

1. Как классифицируются шумы, воздействующие на человека?
2. Как классифицируются шумы по природе происхождения?
3. Как определить акустические характеристики постоянного шума?
4. Как определить акустические характеристики непостоянного шума?
5. Какое воздействие оказывает шум на человека?
6. Какими правовыми документами нормируется уровень шума?
7. Каким образом осуществляется оценка непостоянного шума?

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы
2. Изобразить схемы взаимодействия промышленных предприятий с окружающей средой
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 5. АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ТРАНСФОРМАТОРАМИ И ВОЗДУШНОЙ ЛИНИЕЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Содержание работы:

1. Шум, создаваемый трансформаторами.
 - 1.1 Природа шума.
 - 1.2 Расчёт уровней шума, создаваемый трансформаторами на открытой территории.
 - 1.3 Мероприятия по защите от шума, создаваемого трансформаторами.
2. Шум, создаваемый воздушной линией электропередач (ВЛЭП)
 - 2.1 Природа шума, создаваемого ВЛЭП
 - 2.2 Расчёт уровней шума, создаваемого ВЛЭП
 - 2.3 Мероприятия по защите от шума, создаваемого ВЛЭП

Цель работы: Изучить природу шума, произвести их расчет и разработать мероприятия по защите.

1 Шум, создаваемый трансформаторами (ТМ)

1.1 Природа шума

В соответствии со СНиП «Защита от шума» трансформаторы (ТМ) являются на территории жилой зоны характерным источником шума. Трансформатор состоит из обмоток и сердечника, бывают повышающие, понижающие и разделяющие. В зависимости от типовой мощности и класса напряжения в ТМ применяются следующие системы охлаждения:

-с естественной циркуляцией воздуха и масла (система охлаждения вида М);

-с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (система охлаждения вида Д);

-с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ и НДЦ);

-с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ и НМЦ).

Шумы, характерные для ТМ:

-*электромагнитный шум*. Воспринимается ухом человека как низкое гудение. Спектр частот акустических колебаний до 800 Гц и включает частоты, кратные 50 Гц.

-*аэродинамический шум*. Спектр частот акустических колебаний зависит от многих факторов, например, типа двигателей, конструкции

крыльчатки вентилятора и т.п. характерен для трансформаторов с воздушным охлаждением.

Причины возникновения шумов в ТМ

Электромагнитный шум:

-Магнитострикционный эффект – вызван периодически меняющимся магнитным потоком через сердечник, что приводит к изменению длины сердечника;

-Силы, действующие на витки обмотки ТМ в магнитном поле;

-Силы Максвелла, возникающие в стыках и шиповых соединениях сердечника ТМ.

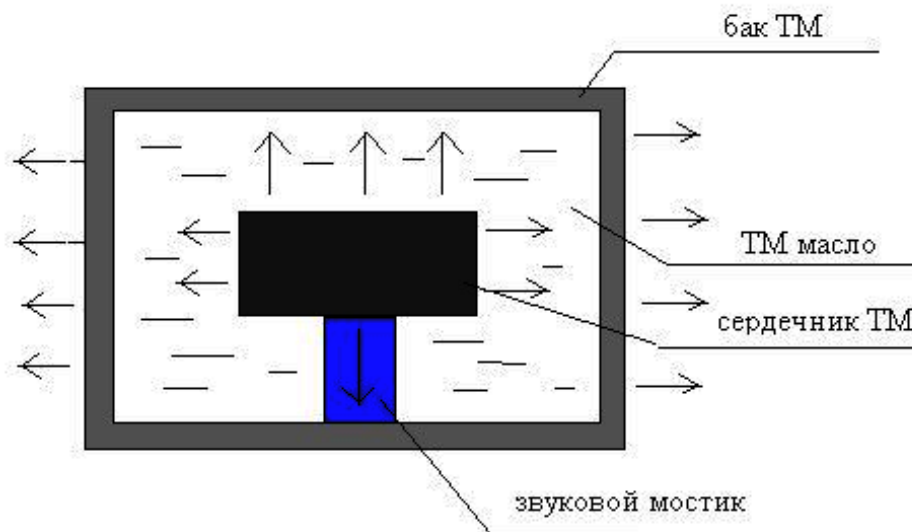


Рисунок 5.1 – Распространение звука, возникающего в сердечнике ТМ

Аэродинамический шум:

Вызван движением потока воздуха, который создается системой механической вентиляции.

1.2 Расчёт уровней шума, создаваемый трансформаторами на открытой территории

Расчет шума, создаваемого трансформатором (ТМ) производится в двух случаях:

- При проектировании новой подстанции;
- При реконструкции действующей подстанции.

При проектировании новой подстанции необходимо определить ее расположение относительно прилегаемых территорий.

При реконструкции действующей подстанции, когда увеличивается мощность силовых ТМ, необходимо определить уровень звука, создаваемый всеми источниками шума и сделать вывод о соответствии уровня шума

санитарно-гигиеническим требованиям. Если есть превышение, то необходимо разработать мероприятия по уменьшению шума.

Рассмотрим порядок расчета на примере проектировании новой подстанции.

Порядок расчета:

1. Определяем тип и количество источников шума на подстанции.
2. Определяем, как установлены трансформаторы в помещениях или на открытой территории.

3. Определяем акустические характеристики источника шума, согласно ГОСТ 12.1.024-87. СССБ. “Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы расчёта” (корректированные уровни звуковой мощности).

4. Определяем допустимые уровни звука для территории в соответствии с заданием. По СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 определяем допустимый уровень звука для соответствующей территории и времени суток.

5. Определяем минимальное расстояние от подстанции до границы территории, при этом учитываем, что трансформатор является постоянным источником шума.

Из ГОСТ 12.1.024-87 известна формула, которая устанавливает связь между уровнем звука, который создает источник шума на расстоянии R , если имеет корректированный уровень звуковой мощности равный L_{WA} , для случая $R > 30$ м (источник шума установлен на открытой территории):

$$L_{WA} = L_A + 10 \lg \frac{S}{S_0}, \text{ дБА} \quad (5.1)$$

где $S_0 = 1 \text{ м}^2$, $S = 2\pi R^2$. или

$$L_{WA} = L_A + 10 \lg 2\pi R^2. \quad (5.2)$$

Если источников более чем один, то в связи с тем, что на подстанции они размещаются достаточно близко, а до границ прилегающих территорий достаточно далеко, несколько источников шума можно заменить одним:

$$L_{WA\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0.1 * L_{WAi}}, \quad (5.3)$$

где L_{WAi} - корректированный уровень звуковой мощности для i -го источника шума, дБА;

N – количество источников шума.

С учётом того, что на границы территории должно выполняться условие $L_A = ДУ_{LA}$ (допустимый уровень звука), последнее выражение перепишем в виде

$$L_{WA\Sigma} = L_A + 10 \lg 2\pi R_{min}^2. \quad (5.4)$$

Откуда минимальное расстояние определится по формуле:

$$R_{min} = \frac{10^{0.1(L_{WA\Sigma} - L_A)}}{2\pi}. \quad (5.5)$$

1.3 Мероприятия по защите от шума, создаваемого ТМ

1. *Защита расстоянием.*

2. *Экранирование.* Принцип действия экранов основан на отражении, поглощении или рассеивании падающих на них звуковых волн. Эффективность экранов зависит от их размеров, материала, из которого они изготавливаются и частотного спектра шума, на пути которого они устанавливаются.

Если $L_A > ПДУ_{LA}$, то требуемое снижение уровня шума определяется по формуле:

$$\Delta L_{Amm} = L_A - ДУ_{LA}, \quad (5.6)$$

где L_A – расчетное значение.

Например, если для снижения шума применяются и зеленые насаждения и экран, то общее снижение уровня шума определим по формуле:

$$\Delta L_{Amp} = \Delta L_{A\text{экр}} + \Delta L_{A\text{зел}}, \quad (5.7)$$

где $\Delta L_{A\text{экр}}$ - снижение уровня звука экранами;

$\Delta L_{A\text{зел}}$ - снижение уровня звука зелеными насаждениями.

Классификация экранов:

- искусственные (зелёные насаждения, железобетонные и металлические экраны)
- естественные (насыпи, рельеф местности и т.п.).

Например, зеленые насаждения представляют собой искусственные экраны, которые позволяют снизить уровень шума, создаваемый источником шума.

При посадке полос зеленых насаждений должно быть обеспечено плотное примыкание крон деревьев между собой и заполнения пространства под кронами до поверхности земли кустарником.

Полосы зеленых насаждений должны предусматриваться из пород быстрорастущих деревьев и кустарников, устойчивых к условиям воздушной среды в городах и других населенных пунктах и произрастающих в соответствующей зоне. Высота деревьев должна быть 5 – 8 м.

Таблица 5.3 – Снижение уровня звука полосами зеленых насаждений

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы зеленых насаждений, м	Снижение уровня звука, $\Delta L_{Азел}$, дБА
Однорядная полоса при шахматной посадке деревьев внутри полосы * * * * * * * * *	10 – 15	4 – 5
	16 – 20	5 – 8
Двухрядная полоса при расстоянии между рядами 3 – 5 м	21 – 25	8 – 10

Зеленые насаждения позволяют снизить уровень шума до 12 дБА.

2 Шум, создаваемый воздушной линией электропередач (ВЛЭП)

2.1 Природа шума, создаваемого ВЛЭП

Коронный разряд, является причиной того, что ВЛЭП источник акустических шумов.

Коронный разряд (или корона) – это самостоятельный разряд, возникающий в резко неоднородных полях, в которых ионизационные процессы могут происходить только в узкой области вблизи электродов. К такого рода полям относится и электрическое поле проводов ВЛЭП.

Начальная напряженность коронного разряда определяется для провода радиусом r (см) по формуле

$$E_H = 24,5m\delta \left(1 + \frac{0,65}{(\delta r)^{0,38}} \right), \text{ кВ/см} \quad (5.8)$$

где m – коэффициент гладкости провода.

Коэффициент гладкости провода учитывает форму поверхности витого провода и для различных марок находится в пределах $m=0,82-0,94$.

При коронном разряде в результате ионизации воздуха у поверхности провода образуется объемный заряд того же знака что и полярность напряжения на проводе.

Так как объемный заряд при любой полярности провода перемещается от провода к земле, напряженность поля у поверхности провода стремится увеличиться. Однако из-за усиления при этом ионизации воздуха объемный заряд вблизи провода пополняется, и напряженность поля в итоге сохраняется равной E_H . Таким образом, вследствие непрерывного удаления объемного заряда от провода коронный разряд может поддерживаться неограниченно долго.

Виды коронного разряда:

- при больших диаметрах проводов $D > 1$ см напряженность электрического поля в окрестности провода уменьшается значительно медленнее, чем вблизи проводов малого диаметра. Поэтому зона ионизации – “чехол” короны – имеет большие размеры, и даже при начальном напряжении лавины могут достигать критической длины. Корона возникает в этом случае сразу в стримерной форме. Структура зоны ионизации дискретна, светятся многочисленные стримерные каналы.

- на проводах малых диаметров $D < 1$ см корона возникает в лавинной форме. Зона ионизации достаточно однородна, свечение сосредоточено в узком чехле.

Причины акустического шума, создаваемого коронным разрядом:

В зоне коронного разряда происходит ионизация воздуха. Движение объемного заряда от проводов к земле и создает акустический шум. Спектр частот такого шума кратен 100 Гц и воспринимается ухом человека как шипение.

В зоне коронного разряда воздух нагревается до температуры более 2000 °С. В связи с этим вокруг стримера возникают вихревые потоки, скорость воздуха в которых достигает сотен метров в секунду, что приводит возникновению акустических шумов (см. рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Образование вихревых потоков в зоне стримерной короны

На характеристики коронного разряда значительное влияние оказывают погодные условия. Атмосферные осадки усиливают напряженность электрического поля у провода, образуя на его поверхности водяные капли или ледяные выступы и острия. Начальное напряжение короны при этом резко снижается. Для оценки начальной напряженности коронного разряда коэффициент гладкости провода при инее, гололеде и изморози $m=0,6$. В условиях дождя или снега $m=0,57-0,73$.

В таблице 5.4 приведены зависимость уровня шума для ВЛЭП от класса напряжения и погодных условий.

Таблица 5.4 – Зависимость уровня шума для ВЛЭП от класса напряжения и погодных условий при $r=100$ м

Класс напряжения ВЛЭП, кВ	400	750	1050	1150
Уровень шума, создаваемый ВЛЭП:				
- при дожде, дБА	40	49	51-57	55-62
- при тумане, дБА	34	40	45	53

2.2 Расчёт уровней шума, создаваемого ВЛЭП

Уровень шума одной из фаз на расстоянии r при неблагоприятных условиях определяется по формуле:

$$L_A = 16 + 1.14E_{MAX} + 9r_0 + 15lgn - 10lgr, \text{ дБА} \quad (5.9)$$

где E_{max} – действующее значение максимальной напряженности электрического поля на поверхности провода, кВ/см;

r_0 – радиус провода, см;

n – число составляющих проводов в фазе (для расщепленной фазы);

r – расстояние от проекции крайней фазы на землю до расчетной точки, м.

Уровень шума, создаваемого ВЛЭП на расстоянии r от проекции крайней фазы на землю определяется по формуле:

$$L_{A\Sigma} = L_A + 10lgn_\phi, \text{ дБА} \quad (5.10)$$

где n_ϕ – количество фаз.

E_{max} определяется по следующей формуле

$$E_{max} = K_y E_{cp}, \quad (5.11)$$

где K_y – коэффициент, учитывающий усиление напряженности электрического поля, вследствие влияния зарядов на соседних проводах расщепленной фазы;

E_{cp} – средняя рабочая напряженность электрического поля на поверхности проводов расщепленной фазы, кВ/см.

Коэффициент, учитывающий усиление влияния напряженности электрического поля вследствие влияния зарядов соседних проводов расщепленной фазы определяется по формуле 11:

$$K_y = 1 + (n - 1) \frac{r_0}{r_p}, \quad (5.12)$$

где r_p – радиус расщепленной фазы, м.

Радиус расщепленной фазы зависит от конструкции фазы и шага расщепления, например, для ВЛЭП 500 кВ и $n=3$:

$$r_p = \frac{a}{2 \cos 30} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (5.13)$$

Средняя рабочая напряженность электрического поля находится по следующей формуле 5.14:

$$E_{cp} = \frac{U_\phi}{n r_0 \ln\left(\frac{s}{r_3}\right)}, \quad (5.14)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети, кВ;

S – среднегеометрическое расстояние между фазами, см;

r_3 – эквивалентный радиус провода, см.

Определяем эквивалентный радиус провода r_3 по формуле 5.15

$$r_3 = \sqrt[n]{n r_0 r_p^{(n-1)}}. \quad (5.15)$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами равно

$$S = \frac{D \cdot \sqrt[3]{2}}{\sqrt[3]{\left[1 + \left(\frac{D}{2 \cdot H}\right)^2\right] \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{D}{H}\right)^2}}}, \quad (5.16)$$

где H – высота подвеса провода над поверхностью земли, м;

D – расстояние между фазами ВЛЭП, м.

Если принять, что $L_A = \text{ДУ } L_A$ (предельно допустимый уровень на границе санитарно-защитной зоны определяем для ночного времени суток, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96), то граница санитарно-защитной зоны по шуму для ВЛЭП можно рассчитать по формуле

$$r = 10^{0.1(16+1.14E_{max}+9r_0+15lgn+10lgn_{\phi}-\text{ДУ}_{LA})} \quad (5.17)$$

2.3 Мероприятия по защите от шума, создаваемого ЛЭП

1. Защита расстоянием.

2. Оптимизация конструкции фазы ВЛЭП.

Применение расширенных проводов. При атмосферных осадках исключить коронирование проводов невозможно. Так как в России благоприятные погодные условия наблюдаются в течение (70 – 90) % годового времени критерий выбора диаметра провода, например, для ВЛЭП 110 и 220 кВ, из условия исключения короны в хорошую погоду определяется из условия

$$2r_0 \geq 0.011U_{ном}, \quad U_{ном} = U_{лин}, \quad (5.18)$$

где $2r_0$ – диаметр провода, см;

$U_{лин}$ – линейное напряжение ВЛЭП, кВ.

Для ВЛЭП 110 и 220 кВ $2r_0$ соответственно составят 1,2 см и 24 см. Для ВЛЭП более высокого класса необходимо использовать провода еще большего диаметра, во многих случаях превышающего диаметр, выбранный из условия передачи по линии заданной мощности.

В таких случаях целесообразно иметь провода, площадь поперечного сечения которых по проводящему материалу и диаметру независимы. Это так называемые расширенные провода. Они имеют диаметр, при котором обеспечивается необходимое снижение напряженности поля на их поверхности, а для сокращения площади поперечного сечения делаются полыми или со стеклопластиковой сердцевиной.

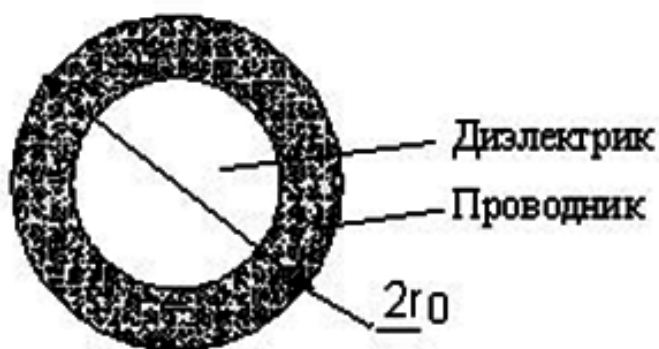


Рисунок 5.3 – Конструкция расширенного провода

Расщепленные провода фаз. В настоящее время это широко распространенное на практике решение. В этом случае каждая фаза линия состоит вместо одного провода большого диаметра из нескольких параллельных проводов относительно малого диаметра. В такой конструкции фазы удается при требуемом суммарном сечении проводов существенно уменьшить максимальную напряженность поля на их поверхности. Решающим является то, что заряд каждого провода составляет только часть общего заряда расщепленной фазы.

Наиболее существенное влияние на максимальную напряженность электрического поля оказывает радиус расщепления r_p . На рис. 4 представлена зависимость максимальной напряженности электрического поля на проводах расщепленной фазы от расстояния между проводами (шага расщепления) для ВЛЭП 500 кВ, $n=3$, провода АСО 500.

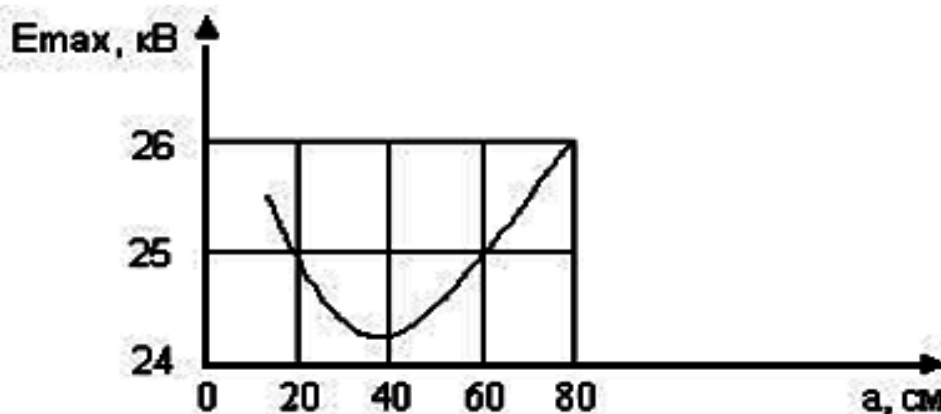


Рисунок 5.4 - Зависимость максимальной напряженности электрического поля на проводах расщепленной фазы от расстояния между проводами (шага расщепления)

Применение изолированных проводов.

Контрольные вопросы:

1. Природа возникновения шумов в силовых трансформаторах.
2. Методика расчета уровня шума, создаваемого силовыми трансформаторами.
3. Методы и средства защиты окружающей среды от акустических шумов, создаваемых силовыми трансформаторами.
4. Природа возникновения акустических шумов, создаваемых воздушными линиями электропередачи.
5. Методика расчета уровня акустического шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи.
6. Методы и средства защиты от акустических шумов, создаваемых воздушными линиями электропередачи.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы
2. Изобразить рисунки, приведенные в данной работе и дать к ним пояснения.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 6. РАДИОПОМЕХИ, СОЗДАВАЕМЫЕ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Содержание работы:

1. Радиопомехи – ЭМП радиочастотного диапазона.
2. Нормирование и измерение радиопомех.
3. Мероприятия по защите от радиопомех.

Цель работы: Изучить причины радиопомех, их расчет и мероприятия по защите

1 Радиопомехи – ЭМП радиочастотного диапазона

Причиной радиопомех является коронный разряд, который возникает на поверхности проводов в зазорах и трещинах изоляторов на заострённых элементах арматуры.

Характеристики радиопомех:

- Напряжённость электрического поля E , мкВ/м;
- Логарифмические уровни напряжённости электрического поля.

$$Y = 20 * \lg \frac{E}{E_0}, \text{ дБ} \quad (6.1)$$

где E_0 – пороговое значение, мкВ/м ($E_0 = 1$ мкВ/м).

Спектр каждого коронного разряда имеет характер «белого шума» вплоть до частот, близких к 1 МГц, далее он резко падает (рис. 6.1). Каждый коронный разряд распространяет непосредственно вокруг себя сферическое излучение, которое было выявлено на больших естественных или искусственных кистевых разрядах. Воздушная линия представляет собой для импульсных или высокочастотных волн волноводы.

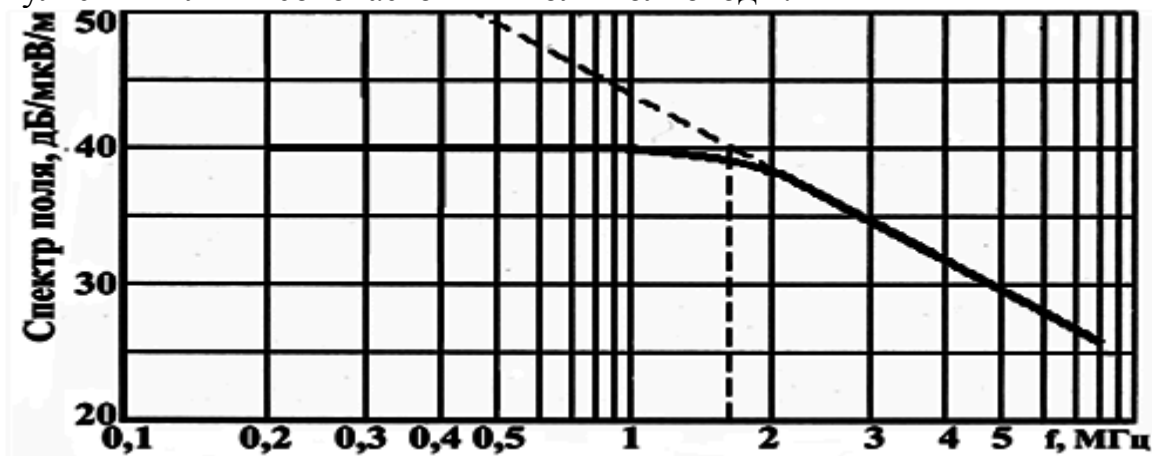


Рисунок 6.1–Спектр радиопомех (искусственный коронный разряд)

Радиопомехи, как и потери на корону, чувствительны к состоянию поверхности проводов. Так, установлено, что со временем пыль, находящаяся в воздухе, осаждается на провод и обугливается, образуя прочный и пористый нагар. Пористость нагара вызывает уменьшение коронных разрядов при дожде, поскольку он поглощает капли воды. Наблюдается явление постепенного старения проводов, при этом происходит медленное, хотя и неравномерное, убывание потерь энергии и радиопомех.

Уровень радиопомех под воздействием метеорологических условий увеличивается (рис.6.2). Однако метеорологическая статистика говорит о том, что неблагоприятные значения уровней паразитных полей получаются под линией лишь в течение незначительного периода времени за год (несколько процентов от всего времени).

Уровень помех связан с изменением подвеса провода h и расстоянием от вертикали наиболее близкого проводника y и снижается по мере удаления от линии, поскольку паразитное поле $E_{ПАР}$ имеет характер направленного униполярного поля

$$E_{нар} = \frac{E_0 h^2}{h^2 + y^2} \quad (6.2)$$

где E_0 - напряженность на поверхности провода, кВ/м.

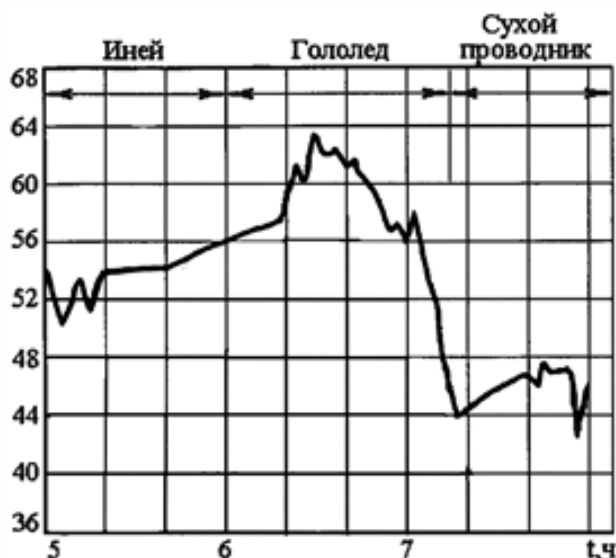


Рисунок 6.2 – Уровень радиопомех (дБ) в зависимости от метеорологических условий окружающей среды

Необходимо упомянуть о явлении экранирующего эффекта высоковольтной ВЛЭП, влияющей на уровень сигналов радиостанций. Это сказывается только на радиостанциях, расположенных в непосредственной (десятки метров) близости от линии электропередачи.

Средства, применяемые для уменьшения паразитных полей вблизи линий сверхвысокого и ультравысокого напряжений, немногочисленны. Их принцип состоит в снижении потенциала поля на поверхности проводов с целью уменьшения ударной ионизации - расщеплении фазы на несколько составляющих. При сильном ненастье паразитные радиопомехи могут превосходить допустимые пределы, поэтому применяется:

- установка антенны радиоприемников вдали от ВЛЭП и присоединение ее к приемнику экранированным кабелем;

- использование для радиопередачи самой линии, которая действует как антенна.

Источниками помех, возникающих в воздушных зазорах ЛЭП, могут быть слабонагруженные тарельчатые изоляторы, если масса изолятора недостаточна для предохранения контактирующих металлических поверхностей от окисления или на изоляторах имеются коррозированные металлические детали или неисправные соединения. При использовании гирлянд фарфоровых изоляторов искры могут создаваться разрядами; в небольших пустотах фарфора. Источниками радиопомех из-за разрядов в зазорах могут быть, разбитые изоляторы, слой краски и даже объекты, не связанные с ЛЭП, например, ближайшие металлические заборы или сточные канавы.

При использовании для ЛЭП на деревянных опорах искрение может возникать между деталями металлической арматуры, которые являются источником сильных помех для телевизионного приема, из-за усыхания или разбухания дерева, вызываемых изменением влажности воздуха. При усыхании дерева гайки и болты, используемые для крепления поперечин или крепления изолятора к опоре или поперечине, могут слегка расшатываться. Если между гайкой и болтом или шайбой, появляется коррозия, то контакт становится плохим и возникает искрение.

Другим источником телевизионных помех от ЛЭП с деревянными опорами являются скобы для прикрепления заземляющего провода к опоре. Разные участки опоры имеют разные потенциалы, и между скобами и заземляющим проводом будет проскакивать искра, особенно если между ними имеется коррозия.

Источником искрения, кроме того, может быть контакт между штыревым изолятором и фазным проводом у связки, где провод лежит в верхнем пазу, или у скобы (хомутика) в боковом пазу. Проблема состоит в наличии малых, находящихся под высоким напряжением воздушных прослоек между проводом и изолятором, которые могут перекрываться дугой.

При строительстве ЛЭП необходимо обеспечить высокое качество работ, чтобы при ее эксплуатации было обеспечено обнаружение и исправление любых повреждений ЛЭП. Особое внимание должно быть обращено на конструирование и эксплуатацию оборудования для обеспечения долговечности и надлежащего качества контактов, например, у

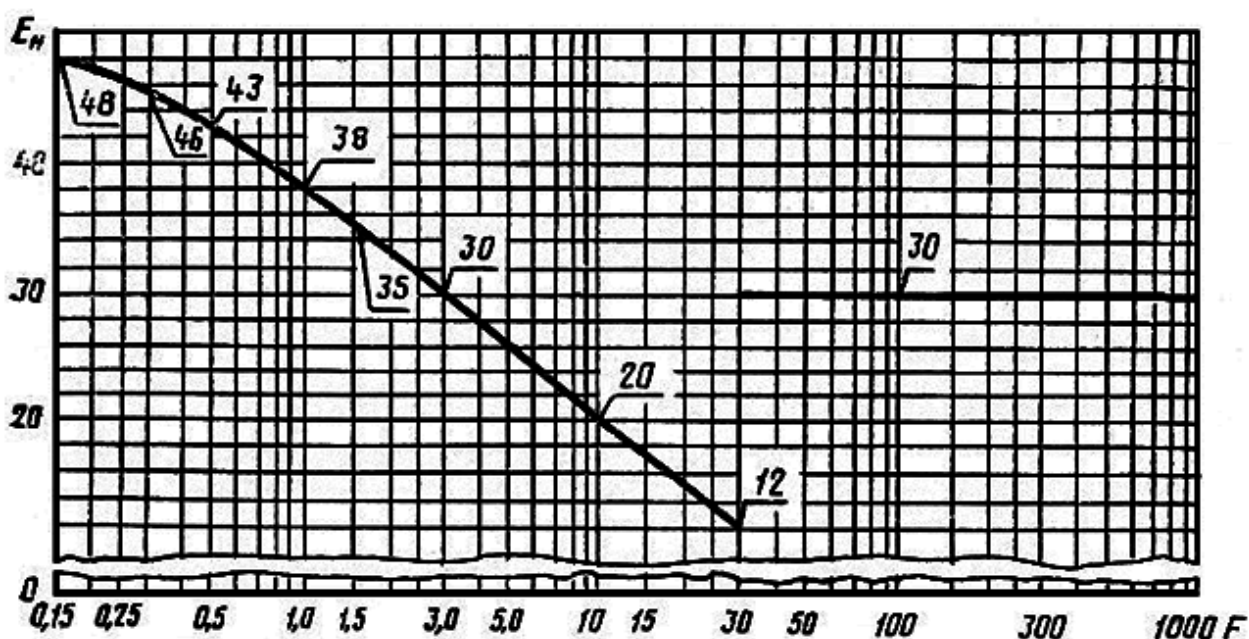
воздушных выключателей, гибких соединений, предусмотренных в конструкции выключателей, держателей плавких предохранителей и отпаек линии.

На разряды в воздушных зазорах сильное воздействие оказывает погода. В сухую погоду небольшой воздушный зазор между двумя проводящими деталями будет играть роль изолирующей прокладки, которая может быть пробита. В сырую погоду такой зазор может заполниться водой, что создает проводящую цепочку. Таким образом, помехи, вызванные разрядами в воздушном зазоре, обычно возникают в хорошую погоду. В сырую погоду они отсутствуют.

2 Нормирование и измерение радиопомех

Нормы радиопомех: 40 дБ на расстоянии 30 м от оси линии и 30 дБ на расстоянии 61 м. Указанные нормы учитываются на стадии проектирования при выборе конструкции ВЛЭП.

Квазипиковые значения напряженности поля радиопомех (в децибелах относительно 1 мкВ/м) в полосе частот 0,15-1000 МГц в соответствии с ГОСТ 22012 – 82. “Радиопомехи промышленные от линий электропередачи и электрических подстанций. Нормы и методы измерений” не должны превышать указанных на рис. 6.3.



E_n - напряженность поля радиопомех, дБ; F - частота, МГц

Рисунок 6.3 – Значения напряженности поля радиопомех (в децибелах относительно 1 мкВ/м) в полосе частот 0,15-1000 МГц

Для измерения радиопомех от ВЛЭП в полосе частот 0,15-30 МГц следует выбирать место вдоль линии в середине пролета между двумя опорами, в полосе частот 30-1000 МГц - напротив опоры.

Расстояние от места измерения до ближайшей электрической подстанции должно быть:

- не менее 10 км - на частотах ниже 0,5 МГц;
- не менее 2 км - на частотах 0,5 МГц и выше.

Не допускается проводить измерения в местах изменения направлений линий и их пересечения между собой и с другими источниками помех (например, трассами электротранспорта, магистралями с движущимся автотранспортом и т.д.).

Измерения напряженности поля радиопомех следует проводить на различных участках ВЛЭП на расстояниях, указанных в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Участки для измерения напряженности поля радиопомех, создаваемых ВЛЭП

Напряжение ВЛЭП полоса частот		Расстояние от проекции крайнего провода на землю R_n , м
(0,15-30) МГц	(30-1000) МГц	
≤ 35 кВ	≤ 220 кВ	10
110, 220 кВ	330, 500 кВ	50
≥ 330 кВ	≥ 750 кВ	100

Напряженность поля радиопомех от электрических подстанций следует измерять в нескольких точках на расстояниях, указанных в табл. 6.2.

Измерения проводят вокруг территории подстанции, при этом обязательно:

- в точках со стороны границы подстанции, наиболее близко расположенной к открытому распределительному устройству;
- в полосе частот 0,15-30 МГц - в точках, находящихся на указанных в табл. 1 расстояниях от проекции на землю крайних проводов ВЛЭП, пересекающих границы подстанции.

3 Мероприятия по защите от радиопомех

К числу важных вопросов, которые должны учитываться при разработке электрооборудования, относится *экранирование и подавление радиопомех*.

В общем случае любая искра, возникшая в каком-либо месте электросистемы, создает радиопомеху. Другими словами, если искра возникла в сети, то специалист услышит в наушниках треск или шум. Общеизвестным примером этого явления может служить шум, издаваемый

радиоприемником, если во время приема радиопередачи поблизости происходит грозовой разряд.

Наиболее распространенной причиной радиопомех является работа системы зажигания двигателей. Хотя сама по себе электрическая искра экранирована окружающими ее металлическими деталями, значительные импульсы излучаются проводами, идущими к свечам, клеммами, распределителями, катушками, прерывателями и т. п.

Все это оборудование необходимо экранировать. Под экранированием подразумевается установка экранов из металлов или подавление помех, что связано с применением глушащих или, иначе, дроссельных катушек, действие которых будет пояснено ниже.

Учитывая, что любое электрооборудование, при действии которого могут возникнуть искры, может быть источником радиопомех, следует ожидать, что таковыми явятся коллекторы электромоторов постоянного тока, регуляторы напряжения, устанавливаемые на вспомогательных генераторах, а также любое другое электрооборудование, в устройстве которого имеется реле (например, автопилот).

Способы подавления радиопомех:

- Защита расстоянием (см. табл. 6.1 и 6.2).
- Оптимизация конструкции фазы ВЛЭП:
- Применение расширенных проводов.
- Расщепленные провода фаз.

Таблица 6.2 – Точки для измерения напряженности поля радиопомех, создаваемых подстанциями

Напряжение подстанций, кВ	Расстояние, м	
	от границы территории подстанции	от проекции на землю крайнего провода любой выходящей за пределы подстанции воздушной линии, не менее
≤35	10	10
110, 220	50	50
≥330	100	100

Для уменьшения радиопомех от электромоторов и генераторов применяют конденсаторы.

Подавление помех от работы свечей зажигания достигается путем подключения подавительных сопротивлений. Этот же эффект может быть получен путем полного экранирования системы зажигания, т. е. закрытия ее со всех сторон металлическими кожухами.

Для уменьшения радиопомех можно применять фильтр помех, состоящий из заключенных в металлический кожух дроссельной катушки и конденсатора.

Если закоротить токи помех высокой частоты, то их энергия будет рассеиваться в виде теплоты. Для получения указанного эффекта и используют конденсаторы. Конденсатор, включенный последовательно в электрическую цепь постоянного тока, представляет собой бесконечно большое сопротивление. Однако для переменных токов высокой частоты конденсатор представляет весьма малое сопротивление (реактивное). В тех случаях, когда эффект, получаемый от применения только конденсатора, недостаточен, его применяют в сочетании с дроссельной катушкой.

Дроссельные катушки оказывают весьма малое сопротивление постоянному току, но имеют высокое реактивное сопротивление по отношению к переменному току высокой частоты.

Этот способ борьбы с помехами часто применяется изготовителями электродвигателей и генераторов. Контроль эффективности примененных мероприятий и соответствие их результатов стандартным требованиям производится при помощи измерителя помех (измеритель Ферриса).

Помехи, возникающие в системе зажигания двигателя, могут быть эффективно погашены посредством экранирования металлическими кожухами, которые закорачивают возникающие токи высокой частоты.

Другой способ борьбы с помехами от работы системы зажигания заключается в установке последовательно со свечами добавочных сопротивлений. Величина этих подавляющих сопротивлений должна быть порядка 15 Ом. Подавляющие сопротивления служат для подавления токов высокой частоты, возникающих при работе системы зажигания. Добавочные сопротивления практически не влияют на работу системы зажигания, так как они несопоставимы по величине с сопротивлением воздушного зазора в свече.

Контрольные вопросы:

1. Природа возникновения радиопомех.
2. Частотный спектр радиопомех.
3. Нормирование радиопомех.
4. Методика расчета уровня радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередач.
5. Методы и средства, обеспечивающие снижение уровня радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередач.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы
2. Изобразить зависимости уровня радиопомех, приведенные в данной работе и дать к ним пояснения.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 7. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ ДИАПАЗОНА

Содержание работы:

1. Краткие теоретические сведения. Действие СВЧ излучения на окружающую среду и организм человека.
2. Измерение интенсивности СВЧ излучения при различном расстоянии от источников излучения.
3. Меры защиты от СВЧ излучения.

Цель работы: Изучение способов защиты человека от электромагнитного излучения диапазона сверхвысоких частот (СВЧ).

1 Краткие теоретические сведения. действие СВЧ излучения на окружающую среду и организм человека.

Характер действия электромагнитного излучения СВЧ диапазона определяется различными факторами: плотностью потока энергии электромагнитного излучения (ЭМИ), частотой поля, характером биологической ткани. Живые биологические ткани по своим электродинамическим свойствам можно разделить на две группы: ткани с большим содержанием воды, (кровь, мышцы, кожа, печень и др.) и ткани с малым содержанием воды (жир, кость, костный мозг). Ткани с большим содержанием воды характеризуются высокой относительной диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 45-60$ на частоте 1 ГГц и $\epsilon = 35-45$ на частоте 10 ГГц), высокой проводимостью ($\sigma = 1,0-1,2$ сим/м на частоте 1 ГГц и $\sigma = 8-11$ сим/м на частоте 10 ГГц).

Ткани с малым содержанием воды характеризуются меньшими значениями диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 4,5-8$ на частоте 1 ГГц и $\epsilon = 3,5 - 6,6$ на частоте 10 ГГц) и проводимости ($\sigma = 0,05-0,09$ сим/м на частоте 1 ГГц и $\sigma = 0,5-1,0$ сим/м на частоте 10 ГГц). У всех биологических тканей наблюдается значительный рост проводимости с увеличением частоты поля, что объясняется потерями при поляризации молекул.

Таким образом, биологические ткани в диапазоне СВЧ ведут себя как материал с высокой проводимостью, занимая промежуточное положение между диэлектриками и проводниками. Их абсолютная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon - j \sigma / \omega$ является существенно комплексной. Здесь $\epsilon_0 = 10^{-9} / 36\pi$ - электрическая постоянная.

Электромагнитное поле в таких средах быстро затухает, его амплитуда убывает по экспоненциальному закону:

$$E = E_0 e^{-\alpha z}, \quad H = H_0 e^{-\alpha z}, \quad (7.1)$$

а энергия поля:

$$П = П_0 e^{-2\alpha z}. \quad (7.2)$$

Коэффициент затухания α может быть вычислен по формуле:

$$\alpha = \frac{\pi\sqrt{2\varepsilon}}{\lambda_{ш}\sqrt{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\Delta}-1}}, \quad (7.3)$$

где λ_0 - длина волны в свободном пространстве,

$\operatorname{tg}\Delta = \sigma/(\omega\varepsilon_0\varepsilon)$ - тангенс угла потерь.

Если $\operatorname{tg}\Delta \gg 1$, можно воспользоваться приближенной формулой

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_0\sigma}{2}}. \quad (7.4)$$

Для характеристики глубины проникновения поля используется величина

$$d = \frac{1}{\alpha} \quad (7.5)$$

равная глубине, на которой напряженность поля уменьшается в e раз. В табл.1 приведены значения глубины проникновения для ряда биологических тканей.

Таблица 7.1 - Глубина проникновения Δ (см) радиоволн в различные ткани

Длина волны, см.	300	150	75	30	10	3	1,23	0,9
Наименование ткани:								
Кожа	3,765	2,78	2,18	1,638	0,646	0,189	0,077	
Жир	0,45	12,53	8,52	6,42	2,45	1,1	0,342	
Мышцы	3,454	2,32	1,84	1,451		0,134		
Хрусталик глаза	9,42	4,39	4,23	2,915	0,50	0,174	0,0706	0,0378
Головной мозг	3,56	4,132	2,072	1,933	0,476	0,168	0,075	0,0378
Костный мозг	22,9	20,66	18,73	11,9	9,924	0,34	0,145	0,0730

Из таблицы 7.1 видно, что излучение миллиметрового диапазона поглощается в основном поверхностными слоями кожи, сантиметрового - кожей и подкожной клетчаткой, а дециметрового, для которого глубина проникновения составляет 10-15 см, внутренними органами. Не вся падающая энергия проникает внутрь организма, часть ЭМИ отражается от поверхности тела. Коэффициент отражения зависит от частоты поля и составляет 0,6 - 0,65 на частотах 0,3 - 1 ГГц и 0,4 - 0,45 на частотах 30 - 50 ГГц. Однако в некоторых условиях в диапазонах сантиметровых или дециметровых волн может оказаться, что подкожная жировая ткань имеет толщину, около $\lambda/4$ и играет роль согласующего трансформатора. При этом общий коэффициент отражения от поверхности тела уменьшается, а энергия, проникающая внутрь, увеличивается. Кроме того, некоторым отрицательным фактором является, то что многие части тела имеют форму, близкую к цилиндрической или сферической. Это приводит к некоторой фокусировке поля внутри тела и увеличению напряженности поля внутри его.

При импульсном или прерывистом действии электромагнитных волн наблюдается их кумулятивное действие, то есть суммарный биологический эффект оказывается приблизительно пропорциональным общей поглощенной энергии за все время облучения.

В диапазоне частот от 60 кГц до 30 МГц (высокие частоты), нормируются предельно допустимые напряженности электрического и магнитного полей (ЭП и МП) и определяются по формуле:

$$E = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{нпд}}}{T}}, \quad H = \sqrt{\frac{\mathcal{H}_{\text{нпд}}}{T}}, \quad (7.6)$$

где E - предельно допустимая напряженность электрического поля, В/м;

H - предельно допустимая напряженность магнитного поля, А/м;

T - время воздействия в течение рабочего дня, час.

$\mathcal{E}_{\text{нпд}}$ - предельно допустимая энергетическая нагрузка за рабочий день;

- для частот 0,06 до 3,0 МГц $\mathcal{E}_{\text{нпд}}$ составляет 20000 (В/м).кв.*ч.;

- для частот 0,3 до 30 МГц равна 7000 (В/м)*ч;

- для частот от 30 до 300 МГц составляет 800 (В/м) ч;

- для частот от 0,06 до 3,0 МГц равна 200 (А/м)ч.

Диапазон сверхвысоких частот простирается от 300 МГц до 300 ГГц, включая в себя дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны. Для этого диапазона характерно то, что поле формируется достаточно близко к излучателю и в пространстве, где находится человек, существует уже сформированный поток мощности, характеризуемый плотностью потока мощности Вт/м². СВЧ излучение, попадая на человека, частично отражается от его поверхности, остальное проникает вглубь тела и поглощается его тканями. Коэффициент отражения зависит от частоты поля и составляет 0,6 - 0,65 на частотах 0,3 - 1,0 ГГц и 0,40 - 0,45 на частотах 30 - 50 ГГц. Глубина проникновения поля в биологической ткани зависит от частоты поля и

характера ткани. В тканях с большим содержанием воды (мышцы, печень, кожа) поглощение поля сильнее и глубина проникновения меньше, чем в тканях с относительно небольшим содержанием воды (жир, кость, костный мозг). Излучение миллиметрового диапазона поглощается в основном поверхностными слоями кожи; сантиметрового - кожей и подкожной клетчаткой; дециметрового - внутренними органами, где глубина проникновения составляет 10 - 15 см.

Различают *тепловое* и *информационное* биологическое действие СВЧ излучения на человека

Тепловое действие проявляется в нагреве тканей. Пороговый уровень тепловой чувствительности человеческого тела составляет около 10 мВт/см². При превышении этого уровня системы терморегуляции человеческого организма не полностью выполняют свои функции и происходит перегрев клеток тканей тела. При локальном нагреве отдельных частей тела за счет кровотока тепло отводится от нагреваемого места и распределяется по всему телу, тем самым несколько нейтрализуя вредное действие СВЧ излучения.

Некоторые органы имеют очень мало кровеносных сосудов (хрусталик глаза, семенники) и их повреждение (например, катаракта глаза) может произойти при плотности потока энергии, близкой к пороговой.

В общем виде поглощенную мощность СВЧ облучения P_n можно оценить по формуле:

$$P_n = \left[1 - \frac{(\epsilon_k^{1/2} - 1)}{(\epsilon_k^{1/2} + 1)} \right] P_0 S, \quad (7.7)$$

где ϵ_k - диэлектрическая проницаемость ткани,

P_0 - плотность потока мощности у поверхности ткани (мВт/см²),

S - площадь облучаемой поверхности (см²).

Поглощенная мощность убывает с глубиной проникновения r (м) по экспоненциальному закону. Так, для электрической составляющей электромагнитного излучения имеем соотношение:

$$P_n = \left(\frac{\sigma}{2} \right) E^2 \exp\left(\frac{-2r}{\Delta} \right), \quad (7.8)$$

где Δ - величина скин-слоя для облучаемой ткани (м),

σ - проводимость ткани (1/Ом м),

E - напряженность электрической составляющей поля у поверхности ткани (В/м).

Информационное действие СВЧ излучения наблюдается при мощности ниже теплового порога. Здесь механизм определяется действием СВЧ излучения на электрическую по своей природе нервную сигнальную систему человека.

В нижней области СВЧ излучения важную роль в информационном воздействии играет низкочастотная модуляция сигнала, а в верхней части

СВЧ диапазона (мм диапазон) - основное информационное действие оказывает высокочастотная составляющая на уровне клетки, где она играет роль объемного резонатора. Электромагнитное поле действует как стрессор, вызывая повышенную утомляемость, чувство разбитости, головную боль. Наблюдается уменьшение частоты сердечных сокращений, повышение кровяного давления. Проявляется синергетическое действие СВЧ излучения, т.е. человек хуже переносит другие неблагоприятные факторы: шум, вибрацию, повышенную температуру и т.д. Информационное действие СВЧ излучения на человека проявляется начиная с плотности потока энергии десятки мкВт/см².

При импульсном или прерывистом действии электромагнитных волн наблюдается их кумулятивное действие, то есть суммарный биологический эффект оказывается приблизительно пропорциональным общей поглощенной энергии за все время облучения.

Предельно-допустимые уровни облучения, согласно ГОСТ 12.1.006-84 (с измен.1), устанавливаются с учетом всех особенностей действия СВЧ излучения. Нормируются предельно - допустимая плотность потока энергии $ППЭ_{пду}$ и предельно - допустимая энергетическая нагрузка $ЭН_{пду}$, падающая на человека за рабочий день.

Для безопасности жизнедеятельности населения предельный уровень ППЭ при непрерывном облучении составляет - 10 мкВт/см²;

Для персонала, работающего с источниками СВЧ излучения, устанавливается $ЭН_{пду}=2$ Вт·час/м² (200 мкВт·час/см²) для всех видов облучения. Предельно допустимая плотность потока энергии определяется по формуле:

$$ППЭ_{пду} = \left(\frac{K \cdot ЭН_{пду}}{T} \right), \quad (7.9)$$

где T - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, час;

K - коэффициент ослабления биологической эффективности.

- $K=1$ - для всех случаев воздействия, кроме облучения от вращающихся и сканирующих антенн;

- $K=10$ - для облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой сканирования не более 1 Гц скважностью не менее 50;

- $K=12,5$ - для случаев локального непрерывного облучения кистей рук при работе с полосковыми СВЧ - устройствами при условии, что облучение других частей тела не превышает 10 мкВт/см².

В любом случае, даже при кратковременном действии ППЭ не должна превышать 1000 мкВт/см². В противном случае необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты.

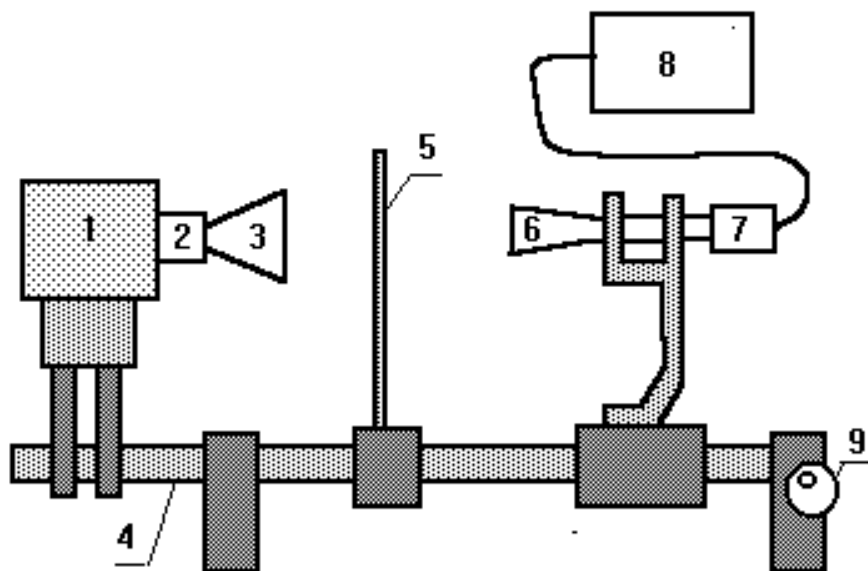
2 Измерение интенсивности СВЧ излучения при различных расстояниях от источников излучения

Для контроля за уровнем излучения в производственных помещениях, используются разработанные специально для этих целей приборы ПО-1 ПЗ-9, ПЗ-19, ПЗ-20, позволяющие измерять в диапазоне до 300 МГц напряженность электрического и магнитного полей, а на более высоких частотах плотность потока энергии.

Схема установки представлена на рис.7.1. Исследования рекомендуется проводить в 3-х сантиметровом диапазоне волн СВЧ. Сигнал СВЧ от генератора на диоде Ганна 1 через ферритовый вентиль 2 излучается через рупорную антенну 3. Вся конструкция укреплена на выдвижной штанге 4.

Включения генератора осуществляется тумблером "сеть" на источнике питания. При этом вольтметр на передней панели прибора должен показывать напряжение на диоде Ганна равное 8,5 В.

Измерение плотности потока энергии СВЧ излучения производится прибором ПЗ-9. Он включает в себя измерительную приемную антенну 6, термисторную головку 7 и измеритель мощности 8. Расстояние между излучающей и приемной антеннами может изменяться с помощью ходового винта, вращаемого рукояткой 9 и посредством выдвижной штанги 4. Между излучающей и приемной антеннами могут располагаться защитные экраны 5 различных типов: из фанеры; фанеры, покрытой слоем резины; из радиопоглощающего материала ХВ4, из металлической сетки.



1 - Генератор на диоде Ганна, 2 - ферритовый вентиль, 3 - излучающая антенна, 4- выдвижная штанга, 5 - экран, 6 - приемная антенна, 7 - термисторный преобразователь, 8 - термисторный мост, 9 - рукоятка для перемещения приемной антенны.

Рисунок 7.1 – Схема измерительной установки.

Прибор ПЗ-9 предназначен для измерения плотности потока энергии СВЧ излучения в диапазоне от 300 МГц до 37,5 ГГц. В его комплект входят

несколько сменных измерительных антенн различных диапазонов волн, соответствующие им термисторные преобразователи и термисторный мост Я2М-20А. В данной установке используется рупорная антенна П6-17А и термисторный преобразователь М5-38 с рабочим диапазоном частот 5,64-16,7 ГГц.

Прибор ПЗ-9 работает следующим образом. СВЧ излучение улавливается приемной антенной и подается на термисторный преобразователь, подключенный к термисторному мосту, с помощью которого производится измерение мощности. Внешний вид передней панели прибора показан на рис.7.2.

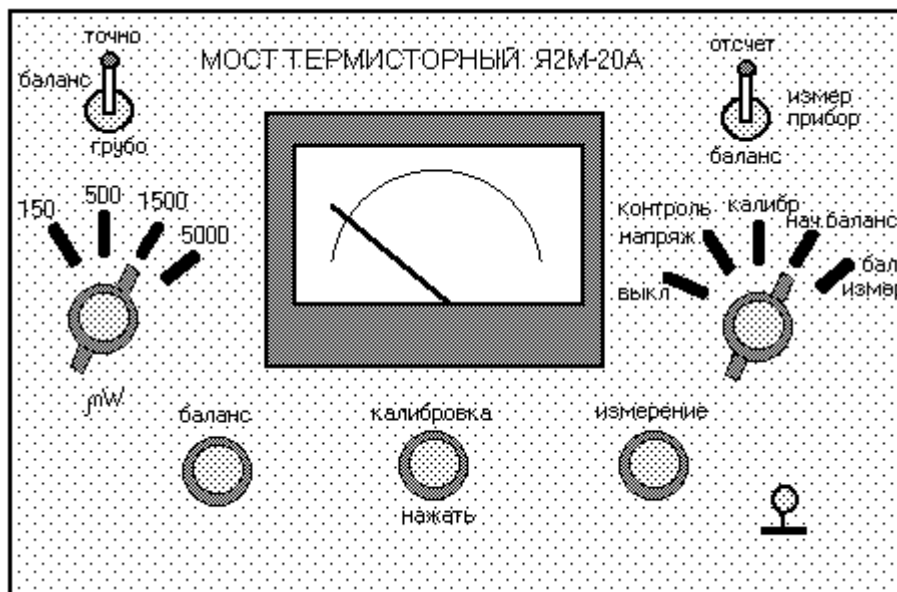


Рисунок 7.2 – Передняя панель прибора ПЗ-9.

Упрощенная принципиальная схема представлена на рис.7.3. Основной измерительной схемой является двойной уравновешенный мост. На диагональ внешнего моста М1 подается постоянное напряжение от источников Е1 и Е2 включенных таким образом, что токи от них, через термистор текут во встречных направлениях. Кроме этого, на термистор подается переменное напряжение частотой 50 кГц от генератора Г1 для подогрева термистора, чтобы его сопротивление поддерживалось постоянным независимо от температуры окружающей среды.

В процессе подготовки прибора к работе перед измерением СВЧ мощности осуществляется калибровка и начальный баланс двойного моста. Для этого к термистору подводится постоянное напряжение от источника Е1 и переменное напряжение от генератора Г. Сначала ручкой калибровка ток через термистор от источника Е1 устанавливается таким образом, чтобы на термисторе выделялась постоянная мощность 5,5 мВт. Затем в режиме начальный баланс ручкой баланс регулируется напряжение подогрева термистора от ВЧ генератора с таким расчетом, чтобы его сопротивление R_T стало равным 240 Ом, для этого термистор включен в одно из плеч моста М2, который при требуемом значении должен быть сбалансированным.

Индикатором баланса моста является измерительный прибор ИП1, включенный в диагональ моста. Все остальные резисторы схемы отрегулированы таким образом, что мост М1 при этом также оказывается сбалансированным.

При подаче СВЧ энергии сопротивление термистора изменяется в мосты оказываются разбалансированными, что регистрируется прибором ИП1. Переключатель рода работ прибора переводится в положение баланс измерений. При этом включается источник компенсации E , ток которого уменьшает мощность постоянного тока, рассеиваемую в термисторе, т.к. токи от источников E_1 и E_2 направлены навстречу друг другу. Ток от источника E_2 устанавливается таким, чтобы снова сбалансировать мост, но уже при включенной СВЧ энергии. После этого тумблер измерительный прибор переводится в положение отсчет и прибором ИП2 измеряется ток от источника E_2 . Однозначная функциональная связь между измеряемой мощностью и током через термистор от источника компенсации E_2 , соответствующим вторичному балансу моста позволяет проградуировать шкалу измерительного прибора в значениях измеряемой мощности.

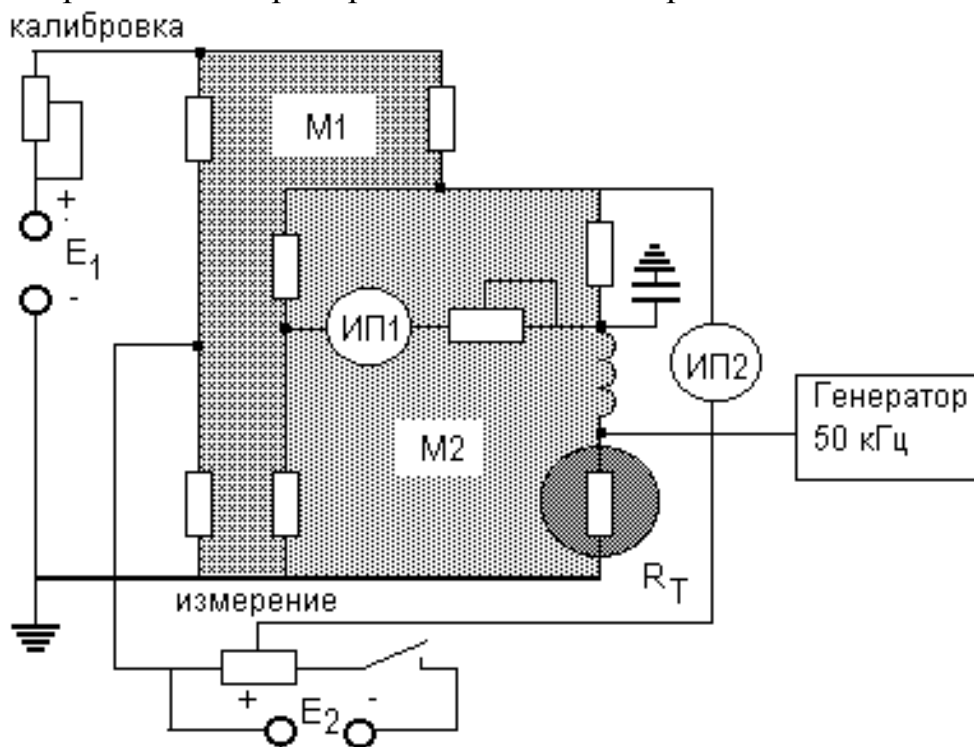


Рисунок 7.3 – Упрощенная принципиальная схема термисторного моста

3 Меры защиты от СВЧ излучения

Меры защиты от СВЧ излучения делят на:

- организационные,
- технические;
- индивидуальные.

Организационные меры принимаются при организации производства, рабочего места и режима труда работы. Существуют "защита расстоянием"

от источника излучения до рабочего места и "защита временем" пребывания человека в электромагнитном поле. "Защита расстоянием" основана на том, что $ППЭ$ источника излучения в дальней зоне убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, то есть:

$$ППЭ = \frac{P}{(4\pi r^2)}. \quad (7.10)$$

где P - излучаемая мощность, Вт.

Из условия $ППЭ = ППЭ_{\text{ДДУ}}$ находится расстояние $r_{\text{доп}}$ от источников излучения до рабочего места, где облучение будет допустимым.

$$r_{\text{доп}} \geq \left[\frac{P}{4\pi ППЭ_{\text{ДДУ}}} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7.11)$$

Для защиты населения от СВЧ излучения телецентров, радиопередающих центров, радиолокационных станций организуются санитарно - защитные зоны.

Защита ограничением времени пребывания человека в рабочей зоне используется при отсутствии других возможностей снизить интенсивность излучения до допустимого уровня.

К коллективным мерам защиты относится экранирование аппаратуры, источников излучения и производственных помещений, использование радио - поглощающих покрытий. Конструкция дверей шкафов с аппаратурой, смотровых и вентиляционных отверстий, фланцевых соединений волноводных линий передачи СВЧ мощности должна обеспечивать персонал от излучения. В производственных помещениях для защиты персонала используются сплошные экраны, полностью окружающие источник излучения, а также экраны - ширмы, защищающие рабочее место. Конструкции экранов и используемые материалы должны обеспечивать надежную защиту персонала от облучения, не нарушая нормальной работы аппаратуры. Степень ослабления экрана определяется материалом конструкции и зависит от частоты излучения. Экранирующее действие применяемых материалов основано на поглощении части проходящей через них энергии (композиционные материалы), либо на отражающих свойствах (металлы).

Наилучшими экранирующими свойствами обладают сплошные металлические экраны из меди, алюминия. Толщина экрана Δ в мкм, которая ослабляет мощность потока СВЧ энергии в e^{-2} раз, называется толщиной скин-слоя:

$$\Delta = 503 / (f \cdot \sigma)^{1/2} \quad (7.12)$$

где σ - проводимость металла (для меди $\sigma = 58$ МСм/м, для алюминия $\sigma = 35$ МСм/м),

f - частота СВЧ сигнала, МГц.

Ослабление потока СВЧ мощности χ для сплошного металлического экрана толщиной d вычисляется по следующим формулам:

- для тонкого экрана, $d < 0,5\Delta$:

$$\chi = -10 \cdot \lg(60\pi\sigma d^2).$$

- для толстого экрана, $d > 2\Delta$:

$$\chi = -10 \cdot \lg(30\pi\sigma\Delta).$$

Экранирующими свойствами обладают металлические сетки. Их преимущество состоит в том, что они просматриваются, вентилируются. Для расчета ослабления поля сетчатыми экранами при нормальном падении волны и направлении вектора электрической напряженности параллельно проволокам сетки одного из направлений можно пользоваться формулой:

$$\chi = 10 * \lg 1 + 4 \left[\left(\frac{b}{\lambda} \right) \cdot \ln \left(\frac{b}{\pi D} \right) \right]^2 \quad (7.13)$$

где b - шаг сетки (размер ячейки),

D - диаметр проволоки сетки,

λ - длина волны СВЧ излучения.

В случаях, когда экраны могут исказить распределение поля и нарушить нормальную работу радиоустановки (например, при измерении характеристик антенн), должны применяться радиопоглощающие экраны и покрытия. В радиотехнической практике применяются радиопоглощающие покрытия на основе проводящей резины, пенополиуретана (поролон), пенополистирола (пенопласта) с электропроводящими добавками. Для уменьшения коэффициента отражения поверхность таких покрытий делается гофрированной или пористой.

Для защиты персонала в зоне облучения конструкция зданий должна обеспечивать достаточное ослабление электромагнитных волн. В этом отношении наилучшими являются железобетонные стены. Кирпичные и деревянные стены ослабляют СВЧ излучение слабее. Кирпичная стена толщиной 70 см. ослабляет излучение сантиметрового диапазона волн на 20 дБ. Наличие окон существенно снижает экранирующее действие стен. Тем не менее окно с двойным остеклением ослабляет излучение на 6 - 7 дБ. Для защиты населенных пунктов от мощных радиостанций используют лесонасаждения, обеспечивающие затухание от 3 до 10 дБ.

Индивидуальные средства защиты используются в тех случаях, когда организационные и коллективные меры защиты оказываются недостаточными. К индивидуальным средствам защиты относятся: защитная одежда из специальной ткани с металлическими нитями и защитные очки с металлической сеткой или стеклом, покрытым светопроводящим слоем металла. Защитная одежда и очки должны обеспечивать ослабление поля в СВЧ диапазона на 20-30 дБ.

Для контроля за уровнем излучения в производственных помещениях, используются разработанные специально для этих целей приборы ПО-1 ПЗ-9, ПЗ-19, ПЗ-20, позволяющие измерять в диапазоне до 300 МГц напряженность электрического и магнитного полей, а на более высоких частотах плотность потока энергии.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит биологическое действие СВЧ излучения?
2. При каких уровнях ППЭ проявляется тепловое действие ЭВМ?
3. В чем состоит информационное действие электромагнитных волн?
4. Назовите нормируемые параметры электромагнитного излучения.
5. Каковы нормы предельно допустимых уровней электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне?
5. Чем определяется применение тех или иных способов и средств защиты?
7. Каковы основные организационные меры защиты персонала и населения от электромагнитных излучений?
8. Каковы недостатки "защиты временем пребывания" персонала в рабочей зоне? Какими путями можно осуществить эту задачу?
9. Что относится к коллективным мерам защиты от электромагнитных излучений?
10. Назначение защитных экранов. Чем определяется их эффективность?
11. Достоинства и недостатки сетчатых и сплошных экранов.
12. Каковы основные технические приемы позволяющие уменьшить до безопасного уровня излучения ЭМВ из смотровых вентиляционных отверстий аппаратуры, из фланцевых соединений, дверец, щелей и др. элементах аппаратуры?
13. Для чего и из какого материала используются радиопоглощающие покрытия?
14. В каких случаях необходимы индивидуальные средства защиты от электромагнитного СВЧ излучения?

Содержание отчета:

1. Название, цель работы
2. Изобразить зависимости уровня помех от СВЧ излучения, приведенные в данной работе и дать к ним пояснения.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 8. ОДНОФАЗНЫЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Содержание работы:

1. Общие сведения;
2. Сети напряжением 35, 6 кВ с изолированной нейтралью;
3. Импульсные помехи, обусловленные переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях.

Цель работы: Изучение закономерностей возникновения импульсных помех в электроэнергетической системе (ЭЭС) при однофазных замыканиях на корпус с изолированной нейтралью.

1 Общие сведения

Рассмотрим электроэнергетическую систему с изолированной нейтралью (рис.8.1). Металлическое замыкание одной фазы на корпус приводит повышению напряжения на здоровых фазах до линейного напряжения, а ток замыкания I ограничен емкостью сети относительно корпуса:

$$I = 3\omega U_{\phi} C_{\phi} \quad (8.1)$$

где: I - ток замыкания, А; мкФ

C_{ϕ} - емкость сети относительно корпуса, мкФ; $C_{\phi} < 10$ мкФ и в большинстве случаев не превышает 5 А.

ω - круговая частота тока в сети:

$\omega = 2\pi f = 314$ рад/с для частоты $f = 50$ Гц.

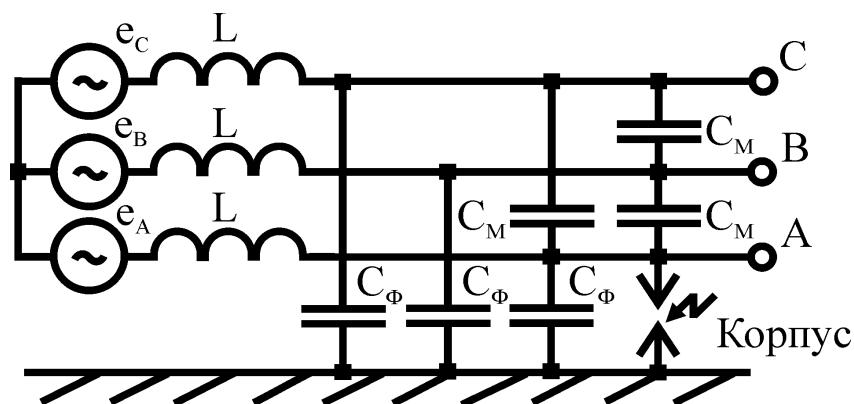


Рисунок 8.1 – Схема для расчета импульсных процессов при однофазном замыкании на корпус

Более опасным является однофазное замыкание на корпус через перемежающуюся дугу. При нарушении изоляции кабеля возможно приближение жилы кабеля к элементам корпуса на расстояние, достаточное для пробоя промежутка между жилой и корпусом.

Если электрическая прочность промежутка между жилой кабеля и корпусом близка к амплитудному значению напряжения на нем, то возможно возникновение замыкания через перемежающуюся дугу. При этом дуга периодически зажигается и гаснет, ток замыкания представляет собой последовательность импульсов с паузами между импульсами (рис. 8.2).

При первом зажигании дуги между поврежденной фазой А и корпусом напряжение u_A падает до нуля за доли микросекунды, т.е. возникает помеха с амплитудой e_A (момент $t=0$ на рис. 8.2), после чего возникает колебательный процесс в контуре, образованном емкостью сети и индуктивностью кабелей и генераторов, а ток изменяется по синусоидальному закону с высокой частотой и в момент t_1 переходит через ноль. При этом дуга гаснет и начинается выравнивание зарядов фазных емкостей, в результате чего на нейтрали устанавливается напряжение:

$$u_N = \frac{u_A(t_q) + u_B(t_1) + u_C(t_1)}{3} \quad (8.2)$$

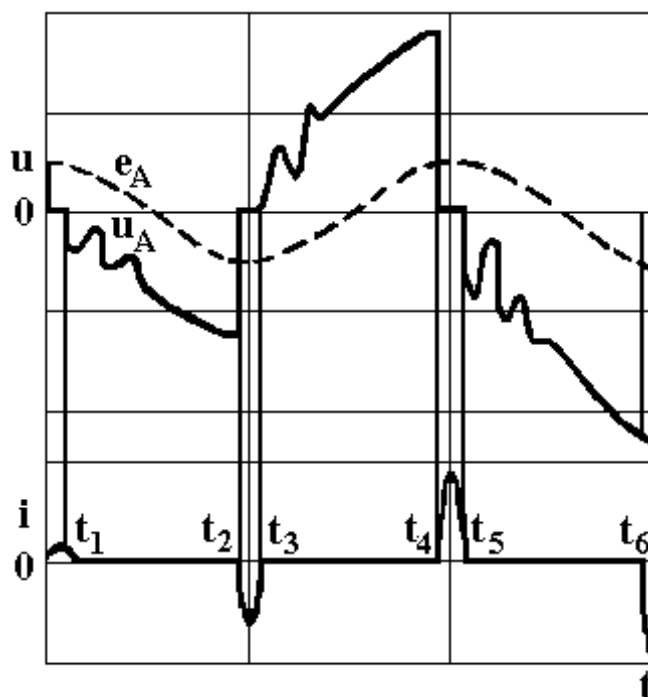


Рисунок 8.2 – Изменения напряжения и тока в сети при однофазном замыкании на корпус

Для наиболее неблагоприятного случая, когда фазное значение e_A близко к амплитуде $U_{\phi.M}$; имеем:

$$u_A(t_1) = 0; u_B(t_1) = u_C(t_1) = -2,45U_{\phi.M}; u_N = -1,63U_{\phi.M} \quad (8.3)$$

Через полпериода рабочей частоты в момент t_2 напряжение на дуговом промежутке фазы А равно $-2,63U_{\phi.M}$. Дуга вновь загорится и фазное напряжение u_A за доли микросекунды изменится от значения $u_A = e_A + u_{N.YCT}$ до 0. Этот скачок напряжения может рассматриваться как помеха с амплитудой равной $|e_A + u_{N.YCT}|$, которое в данном случае может достигнуть $2,63U_{\phi.M}$. Напряжение нейтрали изменится до $U_{\phi.M}$.

В момент перехода высокочастотного тока через ноль (момент t_3) дуга гаснет, а напряжения u_B и u_C достигают максимальных значений порядка $4U_{\phi.M}$.

С каждым последующим циклом зажигание - погасание дуги возрастает, напряжение смещения нейтрали $u_{N.YCT}$, а следовательно, и амплитуда создаваемых импульсных помех. При определенных напряжениях дуга начинает повторно зажигаться во время переходного процесса, что ограничивает величину напряжения на нейтрали.

Установлено, что для этих условий $U_{N.YCT} < 2U_{\phi.M}$ и, следовательно, амплитуда импульсных помех на поврежденной фазе не превышает $3U_{\phi.M}$.

Замыкание одной фазы ЭЭС на корпус через перемещающуюся дугу приводит к возникновению импульсных помех и перенапряжений во всей ЭЭС. Амплитуда помех зависит от параметров ЭЭС, емкости относительно корпуса, межфазной емкости и от свойств дуги.

2 Сети напряжением 6-35 кВ с изолированной нейтралью

Режим изолированной нейтрали используют при напряжении до 1 кВ только в электроустановках с повышенными требованиями безопасности (взрывоопасные установки и др.). При напряжении 6...35 кВ такой режим нейтрали рекомендован ПУЭ во всех электроустановках.

Причина широкого распространения режима работы с изолированной нейтралью заключается в том, что в такой сети замыкание одной фазы на землю не является КЗ. Сеть с изолированной нейтралью может эксплуатироваться до нескольких часов с замыканием фазы на землю. Ток замыкания на землю получается во много раз меньше, чем ток междуфазных КЗ. Это главное достоинство сети с изолированной нейтралью. В такой сети обычно нет необходимости в применении специальных быстродействующих защит от замыкания на землю, т. е. не требуются дополнительные затраты на выполнение и эксплуатацию защиты.

Таким образом, в сети с изолированной нейтралью при наличии однофазного замыкания (о чем сигнализируют приборы контроля изоляции) продолжают работать электроприемники. Это возможно, так как при однофазных замыканиях линейное (междуфазное) напряжение изменяется и все электроприемники получают энергию бесперебойно. Но при всяком однофазном замыкании в сети с изолированной нейтралью напряжения

неповрежденных фаз по отношению к земле возрастают до линейных, а это способствует возникновению второго замыкания на землю в другой фазе. Образовавшееся двойное замыкание на землю создает серьезную опасность для людей. Следовательно, любая сеть с наличием в ней однофазного замыкания должна рассматриваться как находящаяся в аварийном состоянии, так как общие условия безопасности при таком состоянии сети резко ухудшаются.

Так, наличие «земли» увеличивает опасность поражения электрическим током при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Человек при этом оказывается под воздействием линейного напряжения сети. Поэтому однофазные замыкания на землю или на корпус должны устраняться в кратчайший срок.

На рис. 3 приведена упрощенная схема с изолированной нейтралью при замыкании на землю фазы А. В месте замыкания проходит ток замыкания на землю $\dot{I}_{3.3}$. Он обусловлен емкостями фаз сети C_B, C_C относительно земли. Значение этого тока невелико и обычно не превышает 100 А.

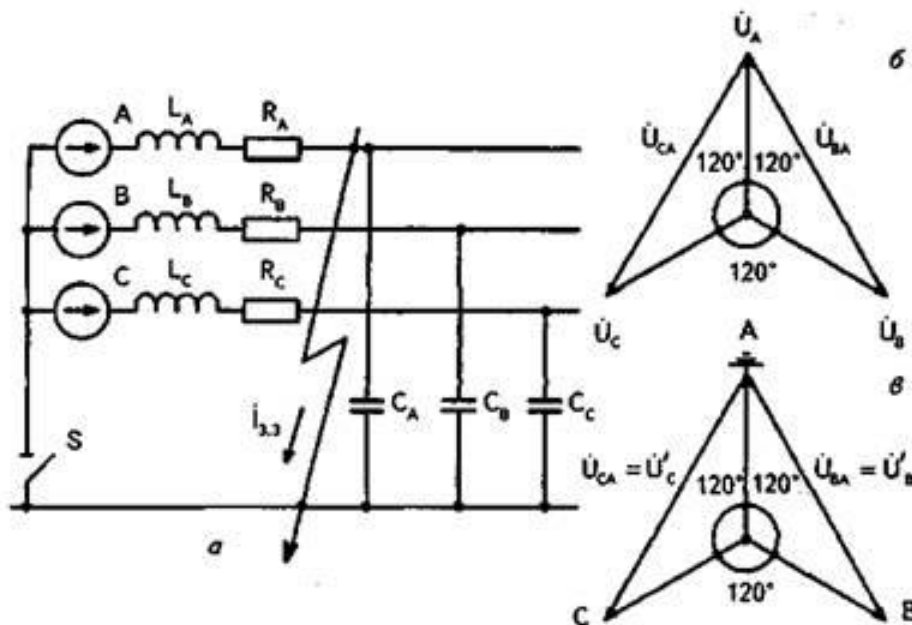


Рисунок 8.3 – Упрощенная схема с изолированной нейтралью при замыкании на землю фазы А

В нормальном режиме (рис. 8.3) напряжения фаз относительно земли одинаковы и составляют $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$, где U_L — линейное напряжение. При замыкании фазы А на землю потенциал фазы А становится равным нулю, т.е. потенциалу земли (рис. 8.3). Напряжения поврежденных фаз В и С относительно фазы А останутся такими же, как и в нормальном режиме, потому что линейные напряжения не изменяются. Таким образом, напряжения фаз В и С относительно земли возрастают до линейных, $\dot{U}_B = \dot{U}_C = U_L$ (увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз), т. е. коэффициент замыкания на землю равен $\sqrt{3}$. При этом увеличивается возможность перехода замыкания на землю в

двойное, которое является коротким замыканием и сопровождается большим током.

В сети с изолированной нейтралью изоляция фаз относительно земли выбирается по линейному напряжению, чтобы сеть могла длительно работать с замыканием на землю.

Правила технической эксплуатации (ПТЭ) электрических станций и сетей Российской Федерации допускают работу воздушных и кабельных линий с замыканием на землю при изолированной нейтрали сети до устранения повреждения. При этом к отысканию места повреждения следует приступать немедленно и ликвидировать повреждение в кратчайший срок из-за опасности поражения током людей и животных.

Фазные напряжения в сети с изолированной нейтралью при замыканиях на землю могут превышать линейные напряжения, что обусловлено возникновением, так называемой перемежающейся электрической дуги. Термин «перемежающаяся» означает, что электрическая дуга горит неустойчиво: загорается на некоторое время, затем гаснет и, спустя интервал времени, загорается вновь. Переходные процессы, возникающие в электрической схеме сети (рис. 1, а) с учетом перемежающейся дуги, приводят к появлению перенапряжений, которые могут достигать $(3,0+3,5)U$, где U — амплитуда фазного напряжения в нормальном режиме. Такое часто приводит к пробое изоляции, особенно электродвигателей напряжением выше 1 кВ.

Наличие перенапряжений, обусловленных перемежающейся электрической дугой, является основным недостатком сети с изолированной нейтралью. Этот недостаток объясняет обилие предложений по оптимизации режима нейтрали городских электрических сетей.

Основным способом снижения перенапряжений при замыкании на землю, согласно ПТЭ, является компенсация емкостного тока замыкания на землю, что достигается с помощью специальных дугогасящих реакторов (катушек индуктивности), которые включают между нейтралью сети и заземлителем. В соответствии с ПТЭ, компенсация $I_{3,3}$ производится, если его значение больше приведенных ниже (табл. 8.1).

Таблица 8.1 – Характеристика параметров сети

Номинальное напряжение сети, кВ	6	10	35
Ток $I_{3,3}$, А	30	20	10

Некомпенсированные токи в месте замыкания на землю могут обеспечить неустойчивое горение электрической дуги, т. е. в итоге привести к появлению перенапряжений. Особенно опасно замыкание на землю в сетях с воздушными линиями на железобетонных и металлических опорах, т. к. ток $I_{3,3}$ может вывести из строя заземляющие устройства и несущие металлические части опор. Поэтому в сетях напряжением 6—35 кВ с

воздушными линиями на указанных опорах допустимое значение тока замыкания на землю составляет 10 А.

Ток в месте замыкания на землю вычисляется по приближенной формуле:

$$I_{зз} \approx U \left(\frac{l_B}{350} + \frac{l_K}{10} \right) A \quad (8.4)$$

где U - линейное напряжение, кВ;

l_B - суммарная длина воздушных линий сети, км;

l_K - суммарная длина кабельных линий сети, км.

3 Импульсные помехи, обусловленные переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях

Возникновение импульсных помех в цепях вторичной коммутации связано со следующими видами возмущений в первичных цепях:

- короткие замыкания на землю в цепях высокого напряжения;
- коммутации разъединителями, короткозамыкателями и выключателями в цепях высокого напряжения;
- работа разрядников.

При коммутациях и коротких замыканиях на землю в результате переходного процесса в цепях высокого напряжения происходит разряд емкостей оборудования и шин на землю, и через заземлитель проходит импульсный ток высокой частоты. На заземляющем устройстве оборудования и в месте короткого замыкания происходит импульсный подъем потенциала. Этот потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход устройств систем релейной защиты и технологического управления.

Для определения значений импульсных помех проводят имитационные испытания. Имитацию высокочастотной составляющей тока короткого замыкания осуществляют при помощи генератора высокочастотных импульсов (ГВЧИ).

Один вывод генератора подключают к заземляющему проводнику оборудования, к которому приходят кабели от устройств систем релейной защиты и технологического управления, а второй вывод генератора заземляют на расстоянии не менее 50 м от данного оборудования. В заземление оборудования подают импульсный ток (колебательный затухающий импульс амплитудой до 10А с декрементом колебаний 3-5, частотой колебаний 0,5; 1,0 и 2,0 МГц). При этом проводят измерения импульсных помех на входах устройств автоматических и автоматизированных систем технологического управления. Также измеряют импульсный потенциал заземляющего устройства и определяют импульсное

сопротивление заземления оборудования. Потенциал измеряют относительно точки, удаленной от места ввода тока на расстояние не менее 50 м в противоположном направлении от точки заземления генератора.

Высокая частота обуславливает резко неравномерное распределение потенциала на заземляющем устройстве. Чем меньше удельное сопротивление грунта, тем быстрее спадает потенциал на заземляющем устройстве по мере удаления от места ввода тока. На расстоянии 50 м от точки ввода импульсного тока потенциал падает более чем в 10 раз даже при сопротивлении грунта 500 Ом·м.

На реальных объектах частота колебаний импульсных помех может изменяться от десятков килоггерц до десятков мегагерц. Измерения при трех указанных частотах позволяют установить зависимость уровня импульсных помех от частоты.

Результаты измерений при имитации импульсных помех приводятся к реальному значению высокочастотной составляющей тока короткого замыкания. Реальный ток определяют путем расчета переходного процесса на шинах распределительного устройства при коммутациях и КЗ на землю.

Приближенную оценку можно выполнить следующим образом. Полученное при измерениях напряжение умножают на коэффициент пересчета:

$$K_{\text{пер реал измер}} = I_{\text{реал}} / I_{\text{измер}} , \quad (8.5)$$

где $I_{\text{реал}}$ - реальный ток с оборудования в контур заземления при коммутациях или однофазном коротком замыкании на землю;

$I_{\text{измер}}$ – ток, полученный при измерениях в данных точках подключения ГВЧИ.

При коммутациях первичного оборудования и при однофазном КЗ по ошиновке распределительного устройства протекают импульсные токи. Электромагнитные поля от этих токов взаимодействуют с кабелями цепей вторичной коммутации и в результате этого взаимодействия в них наводятся импульсные помехи. Наибольший уровень полевых помех может быть при возникновении КЗ на шинах высокого напряжения.

На объекте проводят имитации коммутационных процессов при помощи генератора высокочастотных импульсов и контрольного провода, проложенного по трассе прокладки вторичных кабелей.

Определяют реальный коэффициент экранирования помех соседними кабелями. Проводят измерения помех на кабелях защит и на контрольном проводе при реальных коммутациях, сопоставляют полученные результаты с результатами расчетов. При расхождении результатов расчета и измерений вносят коррективы в расчетную схему. После проведения расчетов окончательно определяют максимальные значения помех рассматриваемого типа. В общем случае на вход устройств автоматических и

автоматизированных систем технологического управления приходит суммарная импульсная помеха, обусловленная скачком потенциала на земле и электромагнитным полем. Обычно на реальных объектах одна из этих составляющих существенно выше другой. Поэтому имитация импульсных помех, приходящих по земле и обусловленных электромагнитным полем, может проводиться отдельно. В тех случаях, когда эти помехи соизмеримы по амплитуде, имитируют импульсные помехи одновременно.

Контрольные вопросы:

1. Физика процесса возникновения импульсных помех и перенапряжений при однофазном замыкании.
2. Методика расчета напряжения смещения нейтрали и импульсных помех.
3. Зависимость амплитуды импульсных помех от параметров ЭЭС и свойств дуги.
4. Методы и средства снижения импульсных помех при однофазном замыкании.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы.
2. Изобразить зависимости уровня помех от СВЧ излучения, приведенные в данной работе и дать к ним пояснения.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 9. ИЗМЕРЕНИЕ И РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Содержание работы:

1. Краткие теоретические сведения. Основные понятия.
2. Измерение электромагнитного поля.
3. Последовательность расчёта напряжённости МП в нормальном режиме.

Цель работы: Измерение электрических и магнитных полей промышленной частоты; расчёт магнитных полей промышленной частоты; знакомство с измерителем электрических и магнитных полей ПЗ-70.

1 Краткие теоретические сведения. Основные понятия

В отечественных энергосистемах производство, передача и потребление электроэнергии производятся преимущественно на частоте 50 Гц. Работа электроустановок невозможна без существования электромагнитного поля (ЭМП), изменяющегося во времени также с частотой 50 Гц.

Поскольку длина волны ЭМП промышленной частоты (ПЧ) велика и составляет $\lambda = \frac{c}{f} \approx \frac{3000000 \text{ км/с}}{50 \text{ Гц}} = 6000 \text{ км}$, то измерение параметров такого поля (вблизи электроустановки) производится в зоне так называемого ближнего поля (ближе длины волны), где электрическая и магнитная компоненты практически независимы друг от друга. По этой причине нормирование и расчёт параметров ЭМП на частоте 50 Гц осуществляется отдельно для его электрической и магнитной составляющих.

Уровень электрического поля (ЭП) ПЧ определяется, главным образом, величиной напряжения электроустановки. Для характеристики данной компоненты поля используется параметр напряжённости ЭП, обозначаемый E и измеряемый в В/м. Величина напряжённости ЭП ПЧ нормируется по условиям безопасности для человека в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП ПЧ на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП T рассчитывается по эмпирической формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (9.1)$$

где E – напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

T – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Воздействие ЭП ПЧ на технические средства не нормируется.

Магнитное поле (МП) ПЧ создается током, протекающим через силовое оборудование. Для характеристики данной компоненты поля могут быть использованы два параметра: магнитная индукция (B , Тл) или напряжённость магнитного поля (H , А/м). Эти физические величины связаны между собой соотношением:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu}, \quad (9.2)$$

где $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;
 μ – магнитная проницаемость среды.

При этом в немагнитных средах ($\mu=1$) 1 А/м \approx 1,25 мкТл, 1 мкТл \approx 0,8 А/м. МП ПЧ нормируются по условиям безопасности для человека в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 и по их воздействию на технические средства в соответствии с ГОСТ Р 50648-94.

Согласно первому документу устанавливаются предельно допустимые уровни напряженности МП ПЧ для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл. 9.1).

Таблица 9.1 – ПДУ воздействия периодического МП частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м]/В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Отдельно нормируется напряжённость МП при кратковременном воздействии МП ПЧ.

Степени жесткости испытаний технических средств на помехоустойчивость к МП ПЧ в соответствии с ГОСТ Р 50648-94 приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2 – Степени жесткости и нормируемые уровни испытаний при воздействии МП ПЧ

Степень жесткости	Напряженность МП, А/м	
	МП постоянной интенсивности	Кратковременное МП (длительность 1-3 с)
1	1	-
2	3	-
3	10	-
4	30	300
5	100	1000
Специальная	По согласованию между потребителем и производителем	

Расчет МП ПЧ входит в обязательный объем работ по определению электромагнитной обстановки на объектах энергетики. Согласно СО 34.35.311-2004, СТО 56947007-29.240.043-2010 и СТО 56947007-29.240.044-2010, непосредственные измерения напряженности МП частотой 50 Гц проводят в нормальных режимах при помощи измерителя МП в местах установки устройств автоматизированных систем технологического управления (АСТУ) и на распределительных устройствах (РУ) вдоль трассы прокладки кабелей.

Для режимов коротких замыканий (КЗ) на шинах РУ уровень напряженности МП определяют расчетным путем. Рассматривают режим КЗ на шинах РУ вблизи места установки устройств АСТУ.

Приближенные оценки проводят по формуле:

$$H = \frac{I_K}{2\pi r}, \quad (9.3)$$

где r – расстояние до шин, по которым проходит ток короткого замыкания I_K

В тех случаях, когда вблизи места установки устройств АСТУ размещены реакторы или трансформаторы, измеряют напряженность МП в нормальном режиме и пересчитывают для условий протекания токов КЗ. Для нескольких реакторов искомую напряженность МП определяют методом суперпозиции напряженности полей от каждого реактора с учетом фазового сдвига токов.

Напряженность МП, создаваемого трансформатором, много меньше, чем напряженность поля, создаваемого реактором. МП трансформатора, в основном, сосредоточено в магнитопроводе. Воздействие магнитного поля трансформатора на АСТУ может представлять опасность лишь в непосредственной близости от трансформатора. Расчет напряженности МП вблизи трансформатора представляет сложную задачу. В этом случае определяют напряженность МП экспериментально.

2 Измерение электромагнитного поля

Электромагнитное поле рекомендуется измерять специальными приборами. Внешний вид измерителя представлен на рис.9.1.



Рисунок 9.1 - Измеритель электромагнитного поля ПЗ-70 с набором антенн

Прибор ПЗ-70 предназначен для контроля уровня низкочастотных ЭМП, включая поля ПЧ 50 Гц и поля персональных ЭВМ (ПЭВМ) в помещениях и на рабочих местах при аттестации рабочих мест по условиям труда и при проведении производственного контроля.

Возможности прибора:

- измерение напряженности переменных ЭП в пространстве;
- измерение магнитной индукции (плотность магнитного потока) переменных МП в пространстве;
- измерение напряженности переменных ЭП и МП от экрана монитора.

Прибор ПЗ-70 осуществляет индикацию трех пространственных координат поля и автоматическое вычисление вектора в реальном масштабе времени, что может быть использовано для электромагнитного мониторинга, контроля пространственного распределения полей и динамики изменения этих полей во времени.

Прибор состоит из измерительного блока и сменных антенн, которые размещены в пластиковом кейсе:

- изотропные электрические антенны - для измерения переменных ЭП на рабочих местах с ПЭВМ и на рабочих местах персонала, обслуживающего электротехнические системы и установки, создающие ЭП частотой 50 Гц;
- изотропные магнитные антенны - для определения уровня переменных МП на рабочих местах с ПЭВМ и на рабочих местах персонала, обслуживающего электротехнические системы и установки, создающие МП частотой 50 Гц;

-дисковая антенна - для измерения переменных ЭП, создаваемых видеомониторами ПЭВМ.

Диапазон измеряемых значений напряженности ЭП на частоте 50 Гц – 50 В/м ... 10000 В/м, МП на частоте 50 Гц – 100 нТл ... 20000 нТл.

3 Последовательность расчёта напряжённости МП в нормальном режиме

Рассчитать напряжённость МП ПЧ в точке М в ОПУ, расположенном под ошиновкой воздушной линии 10 кВ. Схема расположения проводов ВЛ приведена на рис. 9.2, а, б.

Режим работы линии электропередачи симметричный, фазный ток в нормальном режиме равен $I_{раб}$. Коэффициент экранирования МП металлоконструкциями ОПУ равен α_3 . Ток при трёхфазном КЗ, протекающий через ВЛ, равен $I_K^{(3)}$. Ток двухфазного КЗ (в той же точке, что и трёхфазное КЗ) на фазах, указанных в задании, определить самостоятельно (использовать допущение, что сопротивления прямой и обратной последовательностей сети равны друг другу, КЗ происходит на холостом ходу).

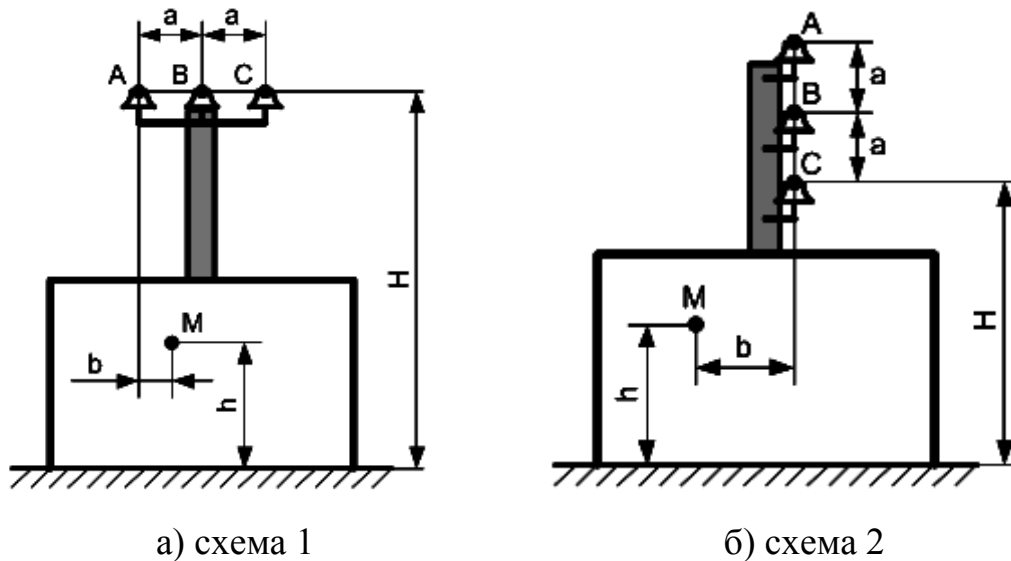


Рисунок 9.2 – Схема расположения проводов ВЛ 10 кВ над ОПУ

Определить аналитически напряжённость МП и построить векторные диаграммы в режимах:

- в нормальном режиме работы;
- при трёхфазном КЗ;
- при двухфазном КЗ на указанных в задании фазах.

Варианты заданий приведены в табл. 3. Последовательность расчёта напряжённости МП в нормальном режиме (на примере схемы 1, рис. 9.2,а):

Зададимся аргументом тока фазы А, равным нулю, тогда:

$$\dot{I}_A = I_{раб}, \quad (9.4)$$

а токи фаз В и С при условии симметрии токов в нормальном режиме:

$$\dot{I}_B = I_{pa\bar{b}} e^{-j120^\circ}; \quad (9.5)$$

$$\dot{I}_C = I_{pa\bar{b}} e^{-j120^\circ}. \quad (9.6)$$

1. Расстояния от фазных проводов до точки М в ОПУ (для определённости $b < a$, рис. 2, а) по теореме Пифагора:

$$r_A = \sqrt{b^2 + (H - h)^2}; \quad (9.7)$$

$$r_B = \sqrt{(a - b)^2 + (H - h)^2}; \quad (9.8)$$

$$r_C = \sqrt{(2a - b)^2 + (H - h)^2}. \quad (9.9)$$

2. Выражения для расчёта векторов напряжённости МП от каждой фазы:

$$\dot{H}_A = \frac{\dot{I}_A}{2\pi r_A}; \dot{H}_B = \frac{\dot{I}_B}{2\pi r_B}; \dot{H}_C = \frac{\dot{I}_C}{2\pi r_C}. \quad (9.10)$$

3. Результирующая напряжённость МП в точке М без учёта экранирования определяется методом суперпозиции:

$$\dot{H}_{\delta/2} = \dot{H}_A + \dot{H}_B + \dot{H}_C. \quad (9.11)$$

4. Построить диаграмму для векторов напряжённости МП в точке М без учёта экранирования.

5. Коэффициент экранирования равен:

$$a_\delta = 20 \lg \left| \frac{\dot{H}_{\delta/2}}{\dot{H}_\delta} \right|,$$

где \dot{H} – вектор напряжённости МП с учётом экранирования.

6. Окончательно напряжённость МП с учётом экранирования равна:

$$H_\delta = \frac{H_\delta}{10^{a_\delta/20}}.$$

Расчёт напряжённости МП при трёх- и двухфазном КЗ выполняется аналогично, также с построением векторных диаграмм.

Таблица 9.3 – Варианты заданий для расчёта напряжённости МП ПЧ

Вариант	a, м	b, м	H, м	h, м	I _{раб} , А	I _к ⁽³⁾ , кА	aЭ, дБ	Фазы, на которых возникает двухфазное КЗ
1	1	0,5	10	2	1000	20	10	СА
2	1	0,8	10	2	800	20	10	АВ
3	1	0,8	8,8	2	800	28	10	АВ
4	0,8	0,8	8,8	1,6	800	28	20	АВ
5	0,8	0,4	8,8	1,6	1500	28	20	ВС
6	0,8	0,4	9	1,6	1500	16	20	ВС
7	0,9	0,4	9	1,2	1500	16	15	ВС
8	0,9	1	9	1,2	1800	16	15	СА
9	0,9	1	9,5	1,2	1800	25	15	СА
10	0,85	1	9,5	1	1800	25	30	СА
11	0,85	0,9	9,5	1	1200	25	30	АВ
12	0,85	0,9	7,9	1	1200	18	30	АВ
13	1,05	0,9	7,9	1,4	1200	18	25	АВ
14	1,05	0,6	7,9	1,4	2000	18	25	ВС
15	1,05	0,6	8	1,4	2000	22	25	ВС
16	1,1	0,6	8	1,8	2000	22	35	ВС
17	1,1	0,2	8	1,8	1400	22	35	СА
18	1,1	0,2	10,5	1,8	1400	14	35	СА
19	0,8	0,2	10,5	0,8	1400	14	40	СА
20	0,8	1,5	10,5	0,8	900	14	40	АВ
21	0,8	1,5	9,2	0,8	900	19	40	АВ

Контрольные вопросы:

1. Почему ЭП и МП ПЧ нормируются и рассчитываются отдельно друг от друга?
2. От чего зависит напряжённость МП проводника с током?
3. Каким условием или условиями определяется допустимое значение напряжённости ЭП ПЧ?
4. Каким условием или условиями определяется допустимое значение напряжённости МП ПЧ?
5. Мероприятия по защите людей и технических средств от ЭП и МП ПЧ.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы
2. краткие теоретические сведения по теме лабораторной работы;
3. результаты расчётов напряженности магнитного поля промышленной частоты для своего варианта в трёх режимах:
 - в нормальном режиме работы;
 - при трёхфазном КЗ;
 - при двухфазном КЗ на указанных в задании фазах;
4. Вывод о степени жёсткости испытаний технических средств на устойчивость к магнитным полям, определённым расчётным путём в нормальном режиме, при трёхфазном и двухфазном КЗ.

Лабораторная работа 10. НАВЕДЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КАБЕЛЬНОЙ ТРАССЕ

Содержание работы:

1. Краткие теоретические сведения. Основные понятия.
2. Расчетно-графическое задание.

Цель работы: Изучение электромагнитных связей цепей в кабельной трассе и возникновения наведенных напряжений.

1 Краткие теоретические сведения. Основные понятия

Возникновение наведенных напряжений в цепях информационных кабелей за счет электромагнитных связей с силовыми кабелями трассы предлагается изучить по учебнику.

Электрическая связь преобладает в несимметричных неэкранированных цепях (рис.9.1). Напряжение u_1 , приложенное к цепи 1 относительно корпуса, вызывает появление на цепи 2 напряжения:

$$u_2 = \frac{C_{12}}{C_{12}+C_2} * u_1 \quad (9.1)$$

или при наличии подключенной к кабелю нагрузки с емкостью C_H :

$$u_2 = \frac{C_{12}}{C_{12}+C_2+C_H} * u_1 \quad (9.2)$$

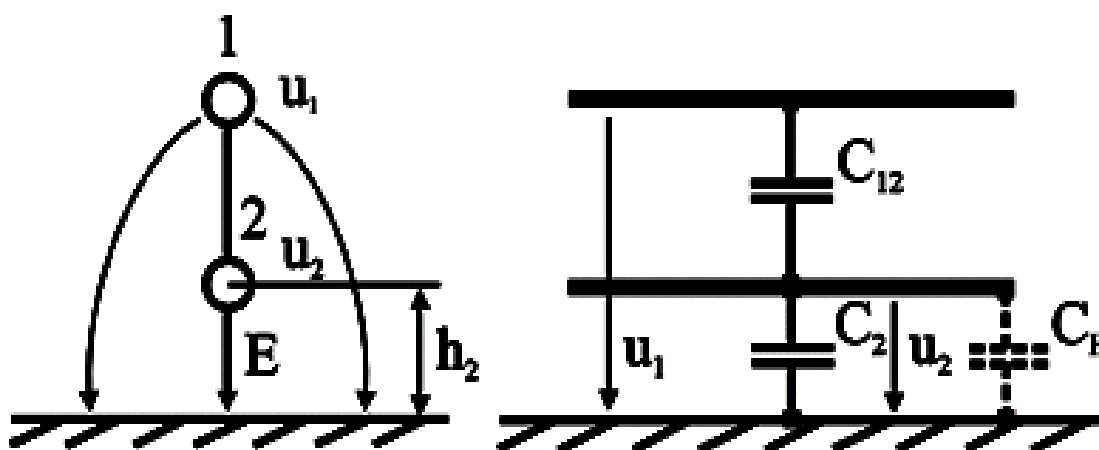


Рисунок 9.1 - Электрическая связь цепей кабелей в трассе

Взаимная емкость C_{12} и емкость цепи 2 C_2 относительно корпуса определяются геометрией цепей. Несимметрия цепей в информационном

кабеле приводит к появлению напряжения между жилами. Напряжение u_2 повторяет по форме напряжение u_1 (табл.9.2). Для проводников 1 и 2, находящихся в соседних неэкранированных кабелях при условии их соседней прокладки по корпусу, напряжение u_2 может достигать $0,3u_1$. Если проводники 1 и 2 находятся внутри многожильного кабеля, то напряжение u_2 может превышать $0,7u_1$.

Наведенное напряжение между проводниками u_{22} определяется как разность напряжений, наведенных на проводниках 2 и 2':

$$u_{22} = u_2 - u_2' \quad (9.3)$$

Значения напряжений u_2, u_2' определяются по формулам вида (1 и 2). При равенстве емкостей между проводником 1 и каждым проводником кабеля 2 и равенстве емкостей проводников 2 относительно корпуса наведенное напряжение $u_{22}=0$.

На практике всегда имеется некоторая несимметрия расположения проводников в кабеле и напряжение u_{22} может составлять $(0,05-0,1)u_2$. В случае замыкания жилы 2' на корпус $u_{22} = u_2$.

Магнитная связь преобладает для случаев экранированных цепей. Проводник с током несимметричных помех i_1 создает магнитное поле, изменение которого создает наведенную ЭДС e_2 в контуре, образованном проводником 2 и корпусом (рис.9.2).

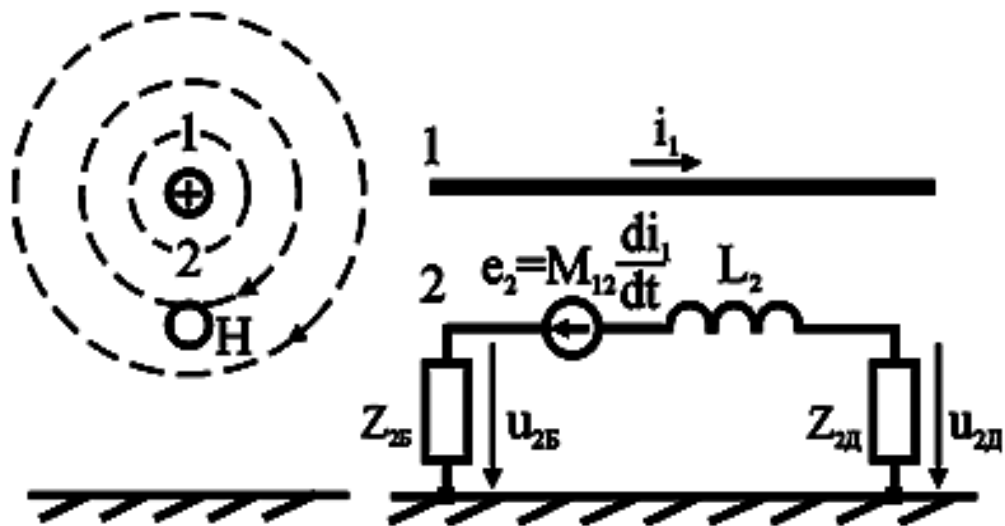


Рисунок 9.2 - Магнитная связь цепей кабелей в трассе

ЭДС e_2 может быть выражено через взаимную индуктивность M_{12} контуров 1 и 2 по формуле

$$e_2 = M_{12} \frac{di_1}{dt} \quad (9.4)$$

Если цепь 2 является заземленной на концах оплеткой, то по ней будет протекать ток. Значение импульсного тока i_3 в экране кабеля 2 при протекании тока i_1 в кабеле 1 может быть оценено по формуле 5:

$$i_3 = i_1 \frac{M_{13}}{M_{13} + L_3} \quad (9.5)$$

где M_{13} – взаимная индуктивность проводника 1 с экраном кабеля 2;

L_3 – собственная индуктивность экрана, которые определяются геометрией цепей.

Напряжение u_2 пропорционально производной тока i_1 в проводнике 1 (табл. 2). Взаимная индуктивность может иметь значение порядка 10^{-5} - 10^{-6} Гн. Скорость изменения тока микросекундных импульсных помех в силовых кабелях имеет значение 10^7 - 10^8 А/с. Напряжение u_2 , наведенное через индуктивную связь, может достигать сотен вольт при соседнем расположении кабелей. При прокладке кабелей вплотную по корпусу ток в экране может достигать $0,3 i_1$.

Магнитная связь симметричных цепей приводит к возникновению в паре жил цепи 2 ЭДС e_{22} при изменении тока i_{11} в паре жил первой цепи:

$$e_{22} = M_{1122} \frac{di_{11}}{dt}. \quad (9.6)$$

Протекание тока i_3 по оплетке кабеля создает на внутренней жиле относительно оплетки напряжение:

$$u_2 < M_{32} \frac{di_3}{dt} + R_3 i_3, \quad (9.7)$$

где M_{32} - индуктивность связи жил и оплетки; R_3 -активное сопротивление оплетки.

Параметры электрической и магнитной связи цепей могут быть определены в соответствии со схемами и формулами приведенными в табл. 9.2.

2 Расчетно-графическое задание

Рассчитать и построить временные графики наведенного напряжения в цепи 2 экранированного и неэкранированного кабелей при действии несимметричной и симметричной импульсной помехи в цепи 1 с амплитудами напряжения 1000 В и тока 10 А, длительностью 10 мкс и фронтом 1 мкс. Параметры электромагнитной связи цепей и длина совместной прокладки приведены в табл. 9.1. Емкость C_2 считать одинаковой для экранированного и неэкранированного кабелей.

Таблица 9.1 – Варианты расчетно-графического задания

Вариант	Кабель 1 неэкранированный			Кабель 2 экранированный				l, м
	C_{12} , пФ /м	M_{12} , мкГн /м	C_2 , пФ /м	C_{12} , пФ /м	$M_{Э2}$, нГн /м	$R_{Э}$, мОм /м	M_{1122} нГн	
1	60	0,2	120	0,3	4	4	30	10
2	60	0,2	120	0,3	4	4	30	20
3	30	0,1	100	0,2	10	6	20	10
4	30	0,1	120	0,1	10	6	20	20
5	10	0,1	80	0,1	3	2	10	20
6	10	0,05	50	0,1	3	2	10	40
7	40	0,1	150	0,3	2	2	30	10
8	40	0,1	120	0,3	2	2	30	20
9	20	0,2	150	0,2	1	1	20	10
10	20	0,2	120	0,1	1	1	20	20
11	60	0,3	100	0,1	4	3	15	20
12	60	0,3	200	0,1	4	3	15	40
13	30	0,1	100	0,2	5	1	10	100
14	30	0,05	120	0,2	5	1	10	150

Параметры электрической и магнитной связи цепей могут быть определены в соответствии со схемами и формулами, приведенными в табл. 9.2.

Концы кабелей разделаны и подготовлены к подключению приборов. В состав установки также входит генератор импульсных напряжений ГИ и осциллограф И

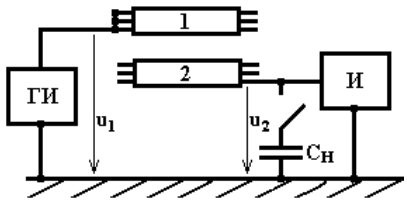
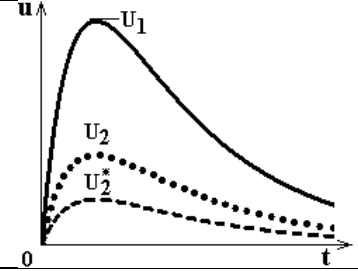
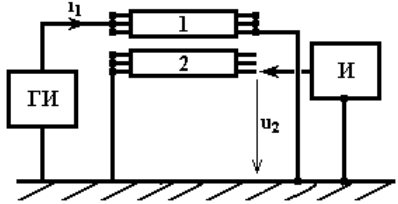
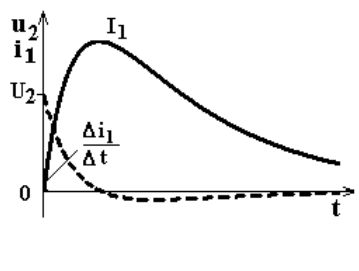
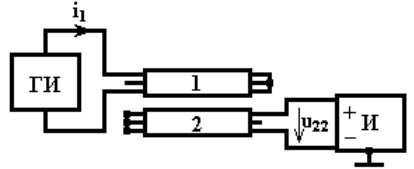
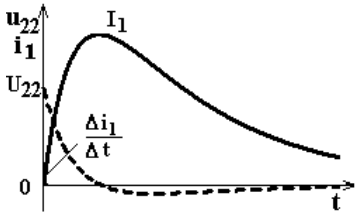
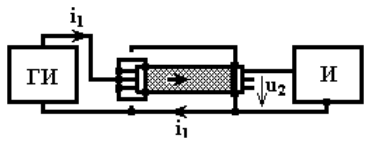
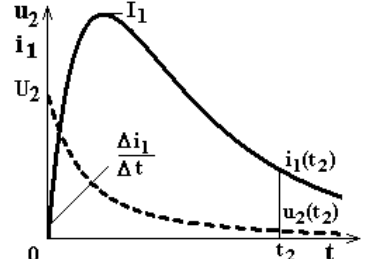
Емкость связи C_{12} можно определить на основе результатов измерения осциллографом амплитуды U_1 импульса, создаваемого в цепи 1 генератором ГИ, и амплитуды напряжения, наведенного в цепи 2 относительно корпуса при подключенном и отключенном эталонном конденсаторе емкостью C_H (соответственно U_2^* и U_2). Форма наводки должна совпадать с формой генерируемого импульса (строка 1 табл. 9.2).

$$C_{12} = \frac{C_H}{\frac{U_1}{U_2} - \frac{U_1}{U_2^*}} \quad (9.8)$$

$$C_2 = C_{12} * \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) C_u, \quad (9.9)$$

где C_H - емкость щупа осциллографа.

Таблица 9.2 - Параметры электрической и магнитной связи цепей

Схема измерений	Осциллограмма
<p style="text-align: center;">Емкостная связь</p> 	<p style="text-align: center;">Осциллограмма</p> 
<p style="text-align: center;">Взаимная индуктивность несимметричных цепей</p> 	
<p style="text-align: center;">Взаимная индуктивность симметричных цепей</p> 	
<p style="text-align: center;">Параметры оплетки</p> 	

Взаимная индуктивность M_{12} несимметричных цепей определяется по результатам измерения максимальной скорости изменения импульсного тока $(di_1/dt)_m$, создаваемого в цепи 1 генератором ГИ, и амплитуда напряжения U_2 , наведенного в цепи 2 относительно корпуса. Осциллограмма наведенного напряжения по форме соответствует производной тока (строка 2 табл. 2).

$$M_{12} = \frac{U_2}{\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m}. \quad (9.10)$$

Взаимная индуктивность M_{1122} симметричных цепей определяется по результатам измерения максимальной скорости изменения тока $(di_1/dt)_m$, создаваемого в цепи 1, и амплитуды симметричного напряжения U_{22} наведенного в цепи 2 тока (строка 3 табл. 9.2).

$$M_{1122} = \frac{U_2}{\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m}. \quad (9.11)$$

Параметры оплетки определяются при подаче в оплетку импульса тока i_1 по осциллограмме напряжения, наведенного на внутренних жилах относительно оплетки. Испытуемый кабель длиной 1 м помещается внутри медной трубы. Соединение внутренних жил и оплетки выполняется в соответствии со схемой, приведенной в последней строке таблицы 9.2. Для определения параметра $M_{э2}$ измеряют амплитуду наведенного напряжения, а для определения сопротивления оплетки $R_э$ используют значения наведенного напряжения и тока в оплетке в момент $t_2 \gg t_\Phi$, когда ток изменяется медленно и наводкой от магнитной связи можно пренебречь.

$$M_{э2} = \frac{U_2}{\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m}. \quad (9.12)$$

$$R_э = \frac{u_2(t_2)}{i_1(t_2)} \quad (9.13)$$

Контрольные вопросы:

1. Электрическая связь цепей.
2. Магнитная связь цепей.
3. Связь симметричных и несимметричных цепей.
4. Возникновение наведенных напряжений при протекании тока по оплетке кабеля.
5. Методика измерения параметров электрической (емкостной) связи.
6. Методика измерения параметров магнитной (индуктивной) связи.
7. Методика измерения параметров оплетки кабеля.
8. Зависимость параметров связи от конструкции и прокладка кабелей.
9. Способы снижения наведенных напряжений.

Содержание отчета:

1. Схема экспериментальной установки с указанием типа и длины кабелей трассы.
2. Осциллограммы, поясняющие сделанные выводы (табл.2)..
3. Результаты расчетов.
4. Заключение, содержащее подробные выводы о результатах расчетов.

Лабораторная работа 11. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Содержание работы:

1. Краткие теоретические сведения
2. Порядок выполнения работы

Цель работы:

- ознакомиться с устройством заземления на стендовой установке;
- научиться пользоваться измерительными приборами и получить навыки определения сопротивления заземления;
- произвести расчет заземления по заданию преподавателя.

1 Краткие теоретические сведения

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) предусматривают следующие термины и определения:

- заземлением какой-либо части электроустановки или другой установки называется преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством;
- защитное заземление – заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности;
- рабочее заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки;
- заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников;
- заземлителем называется проводник (электрод) или совокупность металлических соединений между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей;
- заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляющие части с заземлителем.

Заземление электроустановок следует выполнять: при напряжении 380 В и выше переменного тока; 440 В и выше постоянного – во всех случаях; при номинальном напряжении от 42 до 380 В переменного и от 110 до 440 В постоянного тока – при работах в условиях повышенной опасности и особо опасных.

Различают искусственное и естественное заземление.

На рис. 11.1, а представлена схема искусственного заземления электроустановки 1, состоящая из вертикальных заземлителей 3, металлических соединенных полос 2. вертикальные заземлители выполняются длиной не более 2,5 м и изготавливаются из стального проката в виде уголка 60'60 и 50'50 или из стальных труб толщиной не менее 2,5 мм.

В качестве соединительной полосы используется полосовая сталь толщиной 4 мм и более, сечением не менее 48 мм. Глубина заложения вертикальных заземлителей и полос $h_m = 0,5 \dots 0,8$ м от поверхности земли. Расстояние между вертикальными заземлителями определяется из условия $a = 2l$.

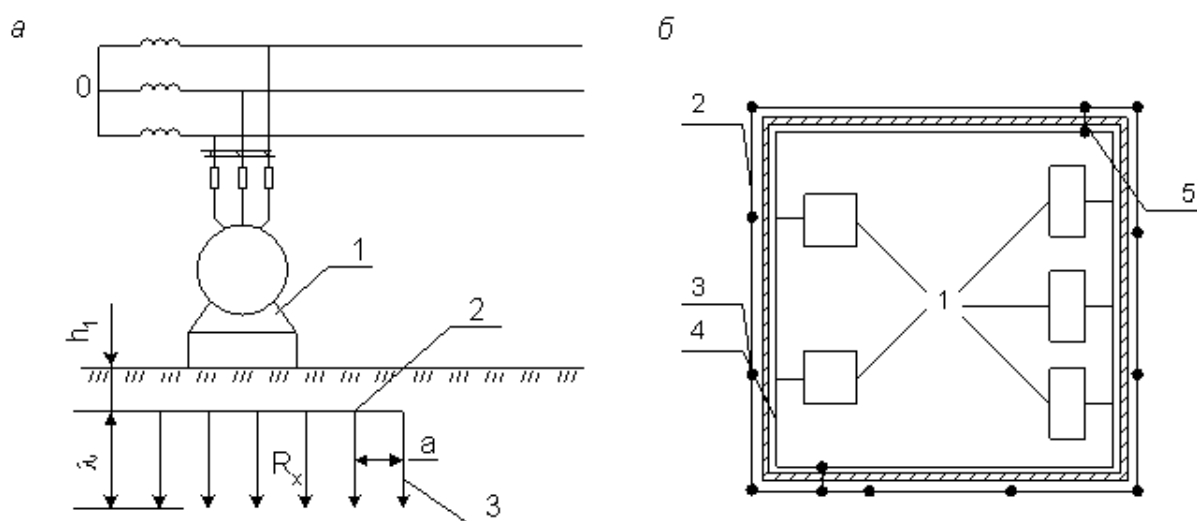
В производственных помещениях (рис. 11.1, б) дополнительно прокладывается видимый контур по стене на высоте 0,3 м от пола, который соединяется с заземлением 2 не менее чем в двух точках 5. Электроустановки подключаются к видимому контуру параллельно.

Контроль сопротивления заземления электроустановок производится прибором М416 (измеритель сопротивления заземления). При измерении прибор следует располагать в непосредственной близости от измеряемого заземлителя R_x , так как при этом на результате измерения сказывается сопротивление

проводов, соединяющих прибор с заземлением.

Стержни, образующие вспомогательный заземлитель и потенциальный электродзонд, устанавливаются на расстояниях, указанных на рис. 11.2 и 11.3.

Во избежание увеличения переходного сопротивления заземлителя и зонда стержни следует забивать в грунт прямыми ударами, стараясь не раскачивать их. Сопротивление вспомогательного заземлителя и зонда не должно превышать величин, указанных в паспорте прибора.



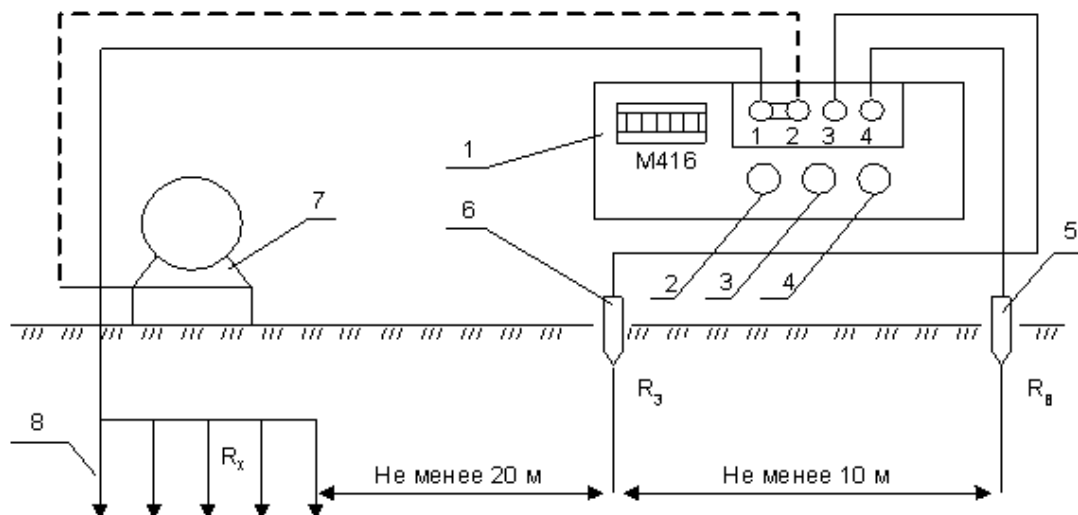
а – электроустановки; б – группы электроустановок; 1 – электроустановка; 2 – соединительная полоса; 3 – вертикальный заземлитель; 4 – видимый контур заземления; 5 – соединитель видимого контура.

Рисунок 11.1 - Схема заземления

Практически для большинства типов грунтов, за исключением грунтов с высоким удельным сопротивлением, сопротивление вспомогательных заземлителей не превышает $R_B + R_3 < 1000$ Ом.

Для повышения точности измерения следует уменьшить сопротивление вспомогательных заземлителей путем увлажнения почвы вокруг них или увеличения их количества.

Дополнительные стержни вбиваются на расстоянии не менее 2–3 м друг от друга. Все стержни, образующие контур зонда или вспомогательного заземления, соединяются между собой электрически.



1 – прибор М416; 2 – кнопка контроля; 3 – реохорд; 4 – переключатель; 5 – вспомогательный электрод; 6 – зондирующий электрод; 7 – электроустановка; 8 – заземление

Рисунок 11.2 - Подключение измерителя сопротивления заземления

Измерение производится по схеме, приведенной на рис. 11.2. В результаты измерения входит сопротивление провода, соединяющего зажим I и R_x .

Поэтому такое включение используется, когда не требуется особой точности измерения, т.е. при сопротивлении заземления до 1 Ом.

При точных измерениях перемычку с клемм 1 и 2 снимают и прибор подключают по четырехзажимной схеме (на рис. 11.2 дополнительный проводник показан пунктиром), что позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов.

Для сложных заземлителей, выполненных в виде контура с протяженным периметром, подключение прибора выполняется по четырехзажимной схеме, показанной на рис. 11.3.

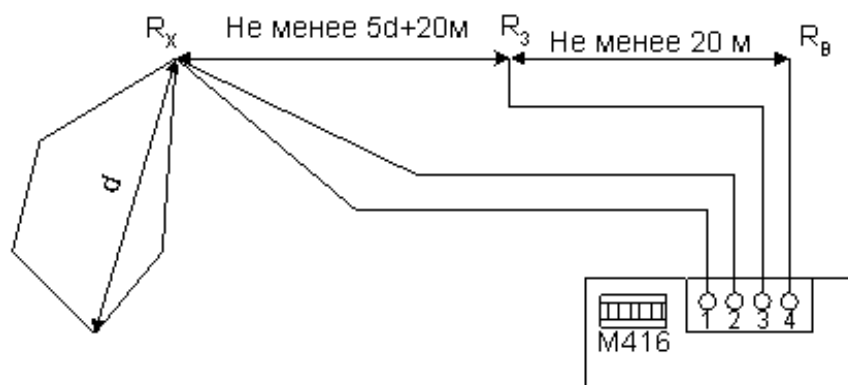


Рисунок 11.3 - Подключение прибора по четырехзажимной схеме и сложному (контурному) заземлителю

2 Порядок выполнения работы

10.2.1. Измерение сопротивления заземления

- > Подготовить измеритель сопротивления заземления к работе:
 - расположить прибор на ровной поверхности;
 - установить переключатель в положение «контроль 5 Ом», нажать кнопку и, вращая реохорд, добиться установки стрелки индикатора на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть показание $5 \pm 0,3$ Ом, что говорит об исправности прибора.
 - > В соответствии с рис. 10.2 собрать схему.
 - > Переключатель 1 установить в положение "X₁".
 - > Нажать кнопку и, вращая ручку реохорда, добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулю.
 - > Результат измерения равен произведению показателя шкалы реохорда на «множитель», если полученное сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель установить в положение "X₅", "X₂₀" или "X₁₀₀" и повторить предыдущую операцию.
 - > Определить сопротивление вспомогательного электрода R_6 , для чего на лабораторной установке клеммы R_x и R_6 поменять местами, повторить ту же операцию.
 - > Привести схему в соответствие с рис. 11.2.
 - > Определить сопротивление зондирующего электрода R_3 , предварительно поменяв на лабораторной установке клеммы R_x и R_3 местами.
 - > Результаты измерений представить в виде табл. 11.1.
- Таблица 11.1 – Результаты измерений

$R_x, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_{\text{дон}}, \text{ Ом}$

Примечание. Допустимое сопротивление заземления принимается в соответствии с выполняемым вариантом по табл. 11.2.

Таблица 11.2 – Варианты и дополнительные данные для расчета заземления

Вариант	Длина заземлителя, см	Диаметр заземлителя, см	Глубина забивки, см	Род грунта	Форма заземления	Климатическая Зона	$R_{доп}$, Ом
1	180	4	50	Суглинок	Контур	1	1,5
2	200	5	70	Глина	Ряд	3	6,0
3	500	6	80	Чернозем	Контур	2	4,0
4	200	5	70	Песок	Ряд	1	8,0
5	300	6	80	Суглинок	Контур	3	2,0
6	180	4	50	глина	Ряд	2	5,0

11.2.2. Расчет заземления

- > Расчет заземления выполняется согласно заданному варианту.
- > Определить сопротивление одиночного трубчатого заземлителя $R_{тр}$ по формуле

$$R_{тр} = \frac{P_{расч}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h_m + 3l}{4h_m + l} \right), \quad (11.1)$$

Или

$$R_{тр} = \frac{0.366 p_{расч}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h_m + 0.75l}{4h_m + 0.25l} \right), \quad (11.2)$$

где $P_{расч}$ – расчетное значение удельного сопротивления однородного грунта, $P_{расч} = P_{табл} K_n$;

h_m – глубина забивки, м;

$P_{табл}$ – удельное сопротивление грунта (определяется по табл. 11.3);

K_n – коэффициент, зависящий от климатической зоны (табл. 11.4);

l и d – соответственно, длина и диаметр заземлителя.

Таблица 11.3 – Удельное сопротивление однородного грунта (приближенное значение)

Вид грунта	Удельное сопротивление грунта для предварительных расчетов, Ом·см
Глина	0,5·10 ⁴
Чернозем	2,0·10 ⁴
Суглинок	1,0·10 ⁴
Песок	5,0·10 ⁴

Таблица 11.4 – Значения повышающего коэффициента K_n по климатическим зонам для нормальной влажности грунта

Тип заземлителя	Значение по климатическим зонам		
	1	2	3
Стержневые электроды длиной 1,8–5 м при глубине залегания 0,5–0,8 м	2,0...1,4	1,8...1,3	1,4...1,2

> Определить число заземлителей

$$n = \frac{R_{mp}}{R_{дон}} \quad (11.3)$$

> Уточнить число заземлителей с учетом коэффициента использования заземления

$$n = \frac{R_{mp}}{R_{дон}\eta_u} \quad (11.4)$$

где η_u – коэффициент использования заземлителя определяется по табл. 10.5.

> Определить общее сопротивление вертикальных заземлителей $R_{mp,рас}$, Ом,

$$R_{mp,рас} = \frac{R_{mp}}{n_3} \quad (11.5)$$

> Определить длину полосы L , см, соединяющей трубы:
– для заземлителей, расположенных в ряд,

$$L = 1.5a(n_3 * 1); \quad (11.6)$$

– для заземлителей, расположенных по контуру,

$$L = 1.5an_3 . \quad (11.7)$$

Таблица 11.5 – Коэффициент использования η_u для вертикальных заземлителей

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных в ряд		
Отношение расстояния к длине a/ℓ	Число труб, n	η_u	Отношение расстояния к длине a/ℓ	Число труб, n	η_u
2	2	0,910	2	4	0,780
	3	0,860		6	0,730
	5	0,810		10	0,680
	10	0,740		20	0,630
	15	0,690		40	0,580
	20	0,670		60	0,550

> Определить сопротивление полосы R_n , уложенной на глубину,

$$R_n = \frac{p_{расч}}{2L} \ln \frac{2L^2}{bh_m}; \quad R_n = \frac{0.366p_{расч}}{l} \lg \frac{2L^2}{bh_m},$$

где b – ширина полосы, см, принимается равной диаметру заземляющих труб, т. е. $b=d$.

> Определить сопротивление полосы R_n с учетом экранирования, Ом,

$$R_n = \frac{R_N}{\eta_u}, \quad (10.9)$$

где η_u – коэффициент использования полосы, определяется по табл. 10.6.

> Определить сопротивление растеканию сложного заземления, Ом,

$$R_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{R_{тр.рас}} + \frac{1}{R_n}}. \quad (11.10)$$

Таблица 11.6 – Коэффициент использования η_u заземлителя для полосы

Отношение расстояния между заземлителями к их длине a/l	Для заземлителей, расположенных в ряд		Для заземлителей, расположенных по контуру	
	Число труб n	Коэффициент использования η_u	Число труб n	Коэффициент использования η_u
2	4	0,890	4	0,550
	5	0,860	5	0,480
	8	0,790	8	0,430
	10	0,750	10	0,400
	20	0,569	20	0,320
	30	0,460	30	0,300
	50	0,360	50	0,280
	60	0,270	60	0,270

> Результаты расчета представить в виде табл. 11.7.

Таблица 11.7 - Результаты расчета

Число заземлителей	Длина полосы, см	Сопротивление одного заземлителя, Ом	Сопротивление полосы, Ом	Коэффициент использования	Общее

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое защитное заземление?
2. В каких случаях производится заземление электроустановок?
3. Дайте классификацию заземляющих устройств.
4. Каким прибором производится контроль сопротивления заземлителя?
5. Что такое заземляющее устройство?
6. Покажите конструкцию искусственных заземлителей.
7. Электроустановка подключения к сети с изолированной нейтралью, в которой произошло замыкание одной из фаз на корпус электроустановки, которой касается человека. Электроустановка заземлена. Определите величину тока, проходящего через человека.
8. В чем заключается принцип нормирования защитного заземления.
9. Каков порядок расчета защитного заземления.
10. Объясните методику измерения сопротивления защитного заземления.

Содержание отчета:

- 1 Название, цель работы.
- 2 Произвести расчет заземления по заданию преподавателя.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Лабораторная работа №12. Отвод земель под электрические сети

Содержание работы:

1. Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи (ВЛЭП).
2. Изъятие земель в постоянное и временное пользование.

Цель работы:

- ознакомиться с Рекомендациями по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи;
- ознакомиться с порядком расчета изъятия земель в постоянное и временное пользование;
- произвести расчет заземления по заданию преподавателя.

1 Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи

Выбор трассы ВЛЭП, в т.ч. новых участков трассы ВЛЭП, подлежащей техническому перевооружению (реконструкции), производится на основании сравнения конкурирующих вариантов. При этом учитываются:

- природные особенности территории;
- состояние природной среды (загрязнение атмосферы, агрессивность грунта, подземных вод и т.д.);
- современное хозяйственное использование территории;
- ценность территории (природоохранная, культурная, национальная, особо охраняемые природные объекты и пр.);
- возможный ущерб, причиняемый природной и социальной среде, а также возможные изменения в окружающей природной среде в результате сооружения ВЛЭП и последствия этих изменений для природной среды, жизни и здоровья населения;

Трасса ВЛЭП выбирается, по возможности, кратчайшей, с учетом условий отчуждения земли, вырубki просек в насаждениях (под насаждениями понимаются естественные и искусственные древостои и кустарники, а также сады и парки), комплексного использования охранной зоны и приближения к дорогам и существующим ВЛЭП.

При выборе трассы ВЛЭП обходятся, как правило, населенные пункты, промышленные предприятия, массивы орошаемых, осушенных и других мелиорированных земель, многолетние плодовые насаждения и виноградники, участки с высоким естественным плодородием почв и другие приравненные к ним земельные угодья, зоны санитарной охраны курортов, заповедники, памятники истории и культуры.

Выбор трассы ВЛЭП на территориях с загрязненной атмосферой производится с учетом перспективного плана развития действующих или

сооружения новых промышленных предприятий (и их очистных сооружений), являющихся источниками загрязнения атмосферы, а также плана развития сельского хозяйства с точки зрения применения химических удобрений и химической обработки посевов.

Трассы ВЛЭП, как правило, выбираются в обход залегания полезных ископаемых.

Выбор места установки опор производится с учетом рельефа, грунтовых условий, условий строительства, монтажа и эксплуатации.

Количество типов опор, примененных при проектировании ВЛЭП, обосновывается с учетом расхода материалов и обеспечения единой технологии строительства и эксплуатации.

Не рекомендуется применять типы опор, используемые в единственном числе, за исключением опор больших переходов и ответвительных опор.

На участках трассы, проходящих по землям, занятым сельскохозяйственными культурами, на больших переходах в населенной местности и в местах стесненных подходов к электростанциям и подстанциям рекомендуется применять двухцепные и многоцепные свободностоящие опоры.

Выбор высоты и типа опор ВЛЭП, устанавливаемых на обрабатываемых землях, производится, исходя из условия наименьшего изъятия земель сельскохозяйственного назначения.

При прохождении ВЛЭП, сооружаемых на стальных опорах, по массивам орошаемых и осушенных земель, земельным участкам, занятым сельскохозяйственными культурами или обладающими высоким плодородием почв, зонам санитарной охраны курортов, заповедникам, вблизи памятников культуры и истории в целях сохранения природного ландшафта и земельных угодий, а также в стесненных условиях рекомендуется применять конструкции свободностоящих опор, обеспечивающих возможность их монтажа методом наращивания.

Выбор конструкции фазы (подвеска новых проводов большего сечения или дополнительных проводов в фазе) производится на основании технического обоснования.

2. Изъятие земель в постоянное и временное пользование

Под «землей, отводимой в постоянное пользование» понимается земля, отводимая, во-первых, под опоры воздушных линий электропередач, а во-вторых, под трансформаторные подстанции.

Площадь таких земель определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{ПП}} = F_{\text{ТП}} + F_{\text{ОВЛ}} \quad (12.1)$$

где $F_{\text{ТП}}$ – площадь, отводимая в постоянное пользование под одну подстанцию;

$F_{\text{ОВЛ}}$ – площадь, отводимая в постоянное пользование под ВЛЭП.

Отвод земли под ТП производится в соответствии с нормами отвода земель, табл.12.1. В общем случае площадь, отводимая под ТП, определяется по формуле:

$$F_{ТП} = \sum_{i=1}^N F_{ТПi}, \quad (12.2)$$

где N - число трансформаторных подстанций;

$F_{ТПi}$ - площадь земли, отводимая под i -ую трансформаторную подстанцию.

Рассмотрим отвод земли под опоры ВЛЭП. На рис. 12.1 приведен контур основания стальной опоры и полоса земли вокруг внешнего контура опоры.

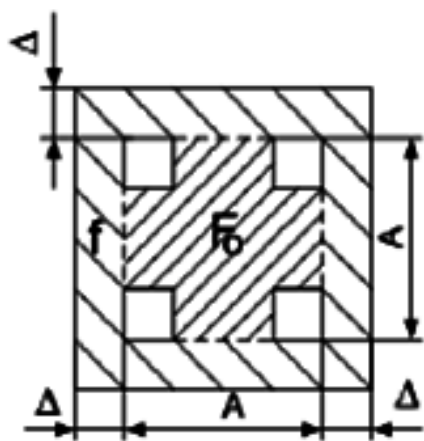


Рисунок 12.1 – Контур основания стальной опоры и полоса земли вокруг внешнего контура опоры.

Величина Δ зависит от категории земли. Для земель сельскохозяйственного назначения $\Delta = 1,5$ м, для остальных $\Delta = 1$ м.

Для анкерно-угловой опоры отводимая площадь рассчитывается по формуле:

$$F_{АУ} = (A_{АУ} + 2\Delta) \cdot (B_{АУ} + 2\Delta), \quad (12.3)$$

где: $A_{АУ}$ – длина основания анкерно-угловой опоры;

$B_{АУ}$ – ширина основания анкерно-угловой опоры.

Для промежуточной опоры:

$$F_{П} = (A_{П} + 2\Delta) \cdot (B_{П} + 2\Delta) \quad (12.4)$$

где: A_{Π} – длина основания промежуточной опоры;

B_{Π} – ширина основания промежуточной опоры.

Общая площадь отводимая для ВЛЭП определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{ОБЛ}} = n_{\text{АУ}} \cdot F_{\text{АУ}} + n_{\Pi} \cdot F_{\Pi} , \quad (12.5)$$

где $n_{\text{АУ}}$, n_{Π} – количество анкерно-угловых и промежуточных опор соответственно.

В соответствии с действующими нормами площадь, отводимая под временное пользование для ВЛЭП будет складываться из полосы земли, предоставляемой для строительство ВЛ ($F_{\text{СВЛ}}$) и земельных участков предоставляемых для монтажа опор ($F_{\text{ВМО}}$):

$$F_{\text{ВП}} = F_{\text{СВЛ}} + F_{\text{ВМО}}. \quad (12.6)$$

Схема расположения опор ВЛЭП представлена на рисунке 12.2.

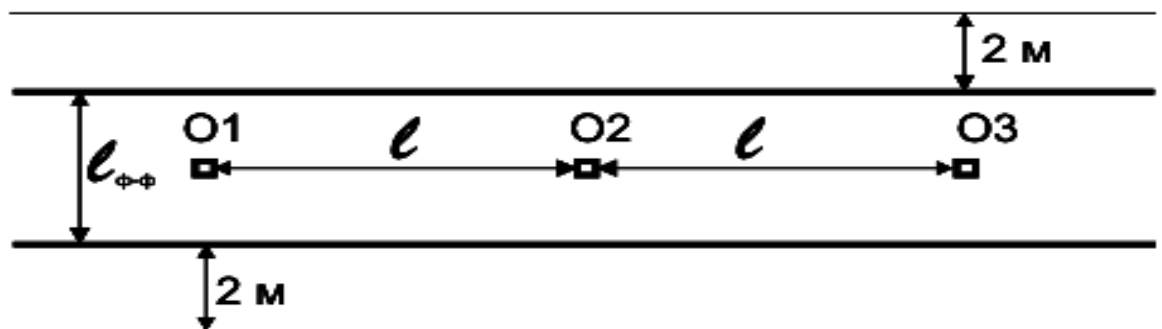


Рисунок 12.2 – К расчету площади земель, отводимых во временное пользование

Принимаем l габаритно максимальному размеру. От проекции крайних фаз добавляем по 2 м с каждой стороны. l_{ϕ} – расстояние между крайними фазами опоры.

$$F_{\text{СВЛ}} = l \cdot (n_{\text{АУ}} + n_{\Pi-1}) \cdot (l_{\phi} + 4) \quad (12.7)$$

$$F_{\text{ВМО}} = n_{\text{АУ}} \cdot F_{\text{МПАУ}} + n_{\Pi} \cdot F_{\text{МПП}} \quad (12.8)$$

где $F_{\text{МПАУ}}$, $F_{\text{МПП}}$ – площади земель, отводимых под монтаж анкерно-угловых и промежуточных опор соответственно.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы
2. Определить отвод земель под электрическую сеть в соответствии с заданным вариантом:
 - 1) в постоянное пользование;
 - 2) во временное пользование.

Воздушная линия проходит по землям сельскохозяйственного назначения.

При выполнении задания принять следующие допущения: опоры размещены по отношению друг к другу на одном и том же расстоянии и это расстояние принимается равным наибольшему расстоянию для промежуточных опор по справочным данным. Привести эскизы опор, используемых в задаче (промежуточная + анкерно-угловая).

Исходные данные для задачи

Номер варианта (предпоследняя цифра зачет. книжки)	Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Номер варианта (последняя цифра зачет. книжки)	Комплектная трансформаторная подстанция блочная КТПБ	
		Шифр	Кол-во	Шифр	Кол-во		Площадь КТПБ, м	Кол-во КТПБ
0	35	П35-1	73	У35-1+5	9	0	36x39	2
1	35	П35-1	88	У35-2+5	13	1	36x39	4
2	110	П110-3	132	У110-1+9	8	2	36x54	10
3	110	П110-4	115	У110-2+9	12	3	36x54	8
4	110	ПБ110-1	68	УБ110-1	9	4	36x54	6
5	110	ПБ110-2	96	УБ110-23	13	5	36x54	4
6	110	ПБ110-8	122	УБ110-25	8	6	36x54	2
7	220	П220-1	201	У220-1+9	12	7	51x72	2
8	220	П220-2	222	У220-2+9	6	8	51x72	4
9	220	П220-3	156	УБ220-3	4	9	51x72	6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаталов, А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / А.Ф. Шаталов, И.Н. Воротников, И.И. Боровлев; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 200 с.
2. Шваб Адольф. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора/ Под ред. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Воротников, И. Н. Исследование методов измерения электрической емкости на постоянном токе / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко // Методы и средства повышения эффективности технологических процессов АПК: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. – г. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного ун-та. – 2013. – С. 66 – 68.
4. Воротников, И. Н. Способы измерения электрической емкости по параметрам переходного процесса / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. - № 10. – С. 60 – 65.
5. Baraton R., Cahout J., Hutzler V. Three dimensional computation of the electric fields induced in human body by magnetic fields. 8-ISH, Jokohama, 1993.
6. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Уч. пособие/ Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Н. Новгород: НГТУ, 2004.
7. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б.И. Давыдов, В.С. Тихончук, В.В. Антипов; Под ред. Ю.Г. Григорьева. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Шевель Д.М. Электромагнитная безопасность: – К.: ВЕК+, 2002.
10. Афанасьев А.А., Долотко В.И., Карнишин В.В. и др. Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники. – Фрязино.: Циклон-тест, 1999.
11. Салтыков В.М., Салтыкова О.А., Салтыков А.В. Влияние характеристик дуговых сталеплавильных печей на качество напряжения в системах электроснабжения. Под общ. ред. В.М. Салтыкова. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
12. В. П. Бобров, В.Г. Гольдштейн, Ф.Х. Халилов. Перенапряжения и защита от них в электрических сетях 110 – 750 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 2005.

13. ГОСТ 12.1.002-84. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля.
14. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
15. ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
16. VDE 0848-2 -92 (Нормы разработаны Немецким союзом электротехников – VDE, Германия).
17. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. Стандарт организации СО 34.35.311-2004. – М.: Издательство МЭИ, 2004.
18. Салтыков В.М., Салтыкова О.А. и др. Целесообразность учета электромагнитных излучений в экологическом состоянии городов. Сборник материалов IV Международной науч.-практ. конференции «Экономика, экология и общество России в 21-м столетии». – С. Петербург, СПбГТУ и МВШУ, 2002.