

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой БЖД

\_\_\_\_\_ А.Б. Булгаков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

## Электроэнергетика и охрана окружающей среды

### УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для специальностей 140203 “Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем”, 140204 “Электрические станции”, 140205 “Электроэнергетические системы и сети” и 140211 “Электроснабжение”

Составитель: Булгаков А.Б., доцент кафедры БЖД, канд. техн. наук

Благовещенск 2007 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
инженерно-физического факультета  
Амурского государственного  
университета

А.Б. Булгаков

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Охрана окружающей среды в энергетике» для студентов очной и заочной сокращенной форм обучения специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере». - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 82 с.

Учебно-методический комплекс составлен в соответствии с учебными планами для специальностей 140203 “Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем”, 140204 “Электрические станции”, 140205 “Электроэнергетические системы и сети” и 140211 “Электроснабжение” и включает наименование тем, цели и задачи дисциплины, содержание лекционных, семинарских и практических занятий, задания к практическим занятиям, перечень и темы промежуточных форм контроля знаний, вопросы к зачету, список рекомендуемой литературы, учебно-методические материалы по дисциплине.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа дисциплины	4
2. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине	22
3. Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы	22
4. Методические рекомендации по выполнению практических занятий по дисциплине	22
4.1. Рекомендуемые темы практических занятий по дисциплине	22
4.2. Рекомендуемые задания для выполнения практических занятий	22
4.3. Рекомендуемые формы проведения практических занятий	22
5. Содержание курса лекций по дисциплине	23
Тема 1. Введение в дисциплину “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”	23
Тема 2. Отвод земли под электрические сети	27
Тема 3. Эстетическое воздействие электрических сетей на окружающую среду	30
Тема 4. Акустические шумы, создаваемые электроустановками	30
Тема 5. Электромагнитные поля промышленной частоты	41
Тема 6. Радиопомехи, создаваемые линиями электропередач	50
Тема 7 Влияние установок сверхвысокого напряжения на состав атмосферного воздуха	53
Тема 8. Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей	53
Тема 9. Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду	53
6. Методические указания по выполнению домашних заданий, контрольных работ (самостоятельная работа студентов)	59
7. Перечень программных продуктов, реально используемых в практической деятельности выпускников	82
8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов	82
9. Комплекты заданий для практических работ, контрольных работ, домашних заданий	82
10. Фонд расчетно-графических работ и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”	82
11. Вопросы к зачету по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”	82
12. Карта обеспеченности дисциплины “Электроэнергетика и охрана окружающей среды” кадрами профессорско-преподавательского состава	82

Федеральное агентство по образованию РФ  
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УНР  
Е.С. Астапова  
подпись, И.О.Ф

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”  
(наименование дисциплины)

для специальностей 140203 “Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем”; 140204 “Электрические станции”; 140205 “Электроэнергетические системы и сети”; 140211 “Электроснабжение”

±

(шифр и наименование специальности)

Курс – <u>3</u> (дневная форма обучения) Лекции – <u>18</u> (час.) Практические занятия – <u>18</u> (час.) Лабораторные занятия – <u>нет</u> Самостоятельная работа – <u>36</u> (час.) Расчетно-графическая работа – 1 Всего часов – <u>72</u> (час.)	Семестр <u>6</u> (дневная форма обучения) Экзамен – <u>нет</u> Зачет – <u>6</u> сем.
Курс – <u>3</u> (заочная форма обучения) Лекции – <u>6</u> (час.) Практические занятия – <u>4</u> (час.) Лабораторные занятия – <u>нет</u> Самостоятельная работа – <u>62</u> (час.) Контрольная работа – 1 (аудиторная) Всего часов – <u>72</u> (час.)	Семестр <u>10</u> (заочная форма обучения) Экзамен – <u>нет</u> Зачет – <u>10</u> сем.
Курс – <u>2</u> (заочная сокращенная форма обучения) Лекции – <u>6</u> (час.) Практические занятия – <u>4</u> (час.) Лабораторные занятия – <u>нет</u> Самостоятельная работа – <u>62</u> (час.) Контрольная работа – 1 (аудиторная) Всего часов – <u>72</u> (час.)	Семестр <u>3</u> (заочная сокращенная форма обучения) Экзамен – <u>нет</u> Зачет – <u>3</u> сем.

Составитель А.Б. Булгаков, доцент, канд. техн. наук  
Факультет инженерно-физический  
Кафедра БЖД

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании \_\_\_\_\_

(Государственного образовательного стандарта ВПО или типовой программы)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры БЖД

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.Б. Булгаков

Рабочая программа одобрена на заседании УМС 140203, 140204, 140205, 140211

(наименование специальности)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Председатель \_\_\_\_\_  
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от \_\_\_\_\_  
протокол № \_\_\_\_\_ .

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись \_\_\_\_\_ Ф.И.О. \_\_\_\_\_

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМУ  
\_\_\_\_\_ Г.Н. Торопчина  
(подпись, И.О.Ф.)

СОГЛАСОВАНО  
Председатель УМС факультета  
\_\_\_\_\_ (подпись, И.О.Ф.)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий выпускающей кафедрой  
\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## **1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе**

### **1.1. Цель преподавания дисциплины**

Цель изучения дисциплины является подготовка студентов к практической и научно-исследовательской деятельности в области защиты окружающей среды и решения экологических проблем, возникающих в электроэнергетике.

### **1.2 Задачи изучения дисциплины**

Задачи дисциплины:

- дать представления о видах негативного влияния деятельности основных видов генерирующих станций (АЭС, ГЭС, ТЭЦ) на окружающую среду;
- дать представления об экологических проблемах, возникающих при производстве, передаче и распределении электрической энергии;
- дать навыки оценки негативного влияния работы электроустановок на окружающую среду;
- ознакомить с принципами, методами и средствами, обеспечивающими экологическую безопасность энергоустановок.

### **1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо при изучении данной дисциплины**

Дисциплина "Электроэнергетика и охрана окружающей среды" базируется на знаниях, полученных студентами при изучении социально-экономических, естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин.

## **2. Содержание дисциплины**

### **2.1. Федеральный компонент**

В учебный план дисциплина введена решением Ученого Совета АмГУ от 08 февраля 2001 г. протокол № 6.

### **2.2. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий**

Тема 1. Введение в дисциплину "Электроэнергетика и охрана окружающей среды"

Цель и задачи дисциплины. Предмет изучения. Основные термины и определения. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы. Качество среды обитания человека. Законодательство об охране окружающей природной среды в Российской Федерации. Международное сотрудничество в области охраны окружающей природной среды. "Экологизация" деятельности энергетических предприятий.

Традиционные и альтернативные источники производства электрической и тепловой энергии. Этапы технологии производства тепловой и электрической энергии. Схемы взаимодействия ТЭС, ГЭС и АЭС с окружающей средой. Негативные факторы деятельности энергетических предприятий.

Тема 2. Отвод земель для электрических сетей

Нормативная база под отвод земель для электрических сетей. Отвод земель в постоянное (бессрочное) пользование. Отвод земель во временное пользование. Нормы отвода земель

для линий электропередачи. Особенности отвода земель под опоры воздушных линий, располагаемых на пахотных землях. Нормы отвода земель для подстанций.

Тема 3. Эстетическое воздействие воздушных линий электропередачи на природный ландшафт

Формы негативного влияния воздушных линий на естественный ландшафт. Мероприятия для уменьшения визуального воздействия воздушных линий на окружающую среду. Международный и отечественный опыт решения данной проблемы.

Тема 4. Акустические шумы, создаваемые объектами электроэнергетики

Влияние шумов на окружающую природную среду. Основные характеристики акустических шумов. Акустические характеристики источников шума. Предельно допустимые уровни шумов для окружающей среды.

Акустические шумы, создаваемые силовыми трансформаторами. Природа возникновения шумов. Частотный спектр шумов. Нормирование акустических характеристик для силовых трансформаторов (по ГОСТ 12.2.024-87). Расчет уровня шума, создаваемого силовыми трансформаторами. Методы и средства защиты окружающей среды от акустических шумов, создаваемых силовыми трансформаторами: защита расстоянием; звуковые экраны (стенки, зеленые насаждения).

Акустические шумы, создаваемые воздушными линиями электропередачи. Природа возникновения. Частотный спектр шумов. Расчет уровня шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи. Методы и средства защиты окружающей среды от акустических шумов, создаваемых воздушными линиями: защита расстоянием; выбор сечения провода фазы (расширенные провода); расщепленные провода; исключение одного из звеньев в цепи "водяная капля – неустойчивость – коронный разряд – шум".

Тема 5. Электромагнитные поля промышленной частоты

Характеристика электромагнитных полей. Виды воздействия электромагнитных полей промышленной частоты на человека и окружающую природную среду. Предельно допустимые уровни электрических полей промышленной частоты. Оценка напряженности электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи. Способы ограничения напряженности электрического поля под воздушными линиями. Требования по размещению воздушных линий высокого напряжения. Мероприятия по защите населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями высокого напряжения.

Тема 6. Радиопомехи, создаваемые воздушными линиями электропередачи Природа возникновения радиопомех. Частотный спектр радиопомех. Нормирование радиопомех. Оценка уровня радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередачи. Мероприятия по снижению радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередачи.

Тема 7. Влияние установок сверх высокого напряжения на состав атмосферного воздуха

Причины образования озона и оксидов азота. Влияние оксидов азота и озона на человека и окружающую природную среду. Нормирование содержания озона и оксидов азота в атмосфере. Результаты отечественных и зарубежных исследований в этой области.

Тема 8. Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей

Назначение заземлителей в электроустановках. Электрическое сопротивление заземлителей. Способы снижения удельного сопротивления грунта, в котором устанавливаются заземлители. Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей, и их решение.

Тема 9. Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду  
 Виды энергетических масел, используемых в энергетике. Воздействие масел на окружающую природную среду. Нормирование содержания паров и аэрозолей масел в воздухе, воде и почве. Мероприятия по защите окружающей среды от энергетических масел.

### 2.3. Практические и семинарские занятия

#### 1. Практическое занятие "Схемы взаимодействия ТЭС, ГЭС и АЭС с окружающей природной средой"

Рассматриваются схемы взаимодействия ТЭС, ГЭС и АЭС с окружающей средой. Обсуждаются факторы негативного влияния объектов энергетики на окружающую среду.

Рекомендуемая литература:

1. Канаев А.А., Копп И.З. Взаимодействие энергетики и окружающей среды. - Л.: Знание, 1980. - 36 с.

2. Справочное пособие по экологической оценке. Инструкция по экологической оценке проектов в области энергетики. Технический документ Всемирного банка № 154. - Вашингтон: Всемирный банк.

#### 2. Практическое занятие "Отвод земель под электрические сети"

Рассматривается методика определения отвода под электрические сети во временное и постоянное пользование. Для усвоения и закрепления методики студент самостоятельно для своего варианта проводит расчет отвода земли под электрическую сеть.

#### ЗАДАНИЕ к практическому занятию N 2

Определить отвод земель под электрическую сеть в соответствии с заданным вариантом:  
 - в постоянное пользование;  
 - во временное пользование.

Исходные данные приведены в таблице 1.

**Таблица 1 - Исходные данные для расчета отвода земель под электрические сети**

№ вар.	Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Трансформаторная подстанция	
		Шифр опоры	Количество опор	Шифр опоры	Количество опор	Схема электрических соединений	Количество ТП
1	35	П35-1	40	У35-1+5	8	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением 35 кВ.	2
2	35	П35-1	60	У35-1+5	10	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением 110 кВ.	2
3	35	П35-1	80	У35-1+5	14	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением	2



№ вар.	Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Трансформаторная подстанция	
		Шифр опоры	Количество опор	Шифр опоры	Количество опор	Схема электрических соединений	Количество ТП
						ем (150-220) кВ.	
4	35	П35-2	40	У35-2+5	7	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением 35 кВ.	2
5	35	П35-2	60	У35-2+5	9	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением 110 кВ.	2
6	35	П35-2	80	У35-2+5	15	Блок линия – трансформатор с выключателем и низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением (150-220) кВ.	2
7	330	П330-3	40	У330-1+14	6	Блок линия – трансформатор с 6 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 330/110/6-35 кВ.	2
8	330	П330-2	60	У330-2+14	8	Блок линия – трансформатор с 6 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 330/110/6-35 кВ.	2
9	110	П110-3	80	У110-1+9	10	Четырехугольная с 9 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 330/110/6-35 кВ.	2
10	110	П110-4	80	У110-2+9	9	Четырехугольная с 9 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 330/110/6-35 кВ.	2
11	220	П220-3	60	У220-1+9	7	Четырехугольная с низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением (150-220) кВ.	2
12	220	П220-2	60	У220-2+9	8	Четырехугольная с низшим напряжением (6-10) кВ. Трансформатор двухобмоточный напряжением (150-220) кВ.	2
13	110	П110-3	65	У110-1+9	7	Четырехугольник с 10 ячейками 220 кВ и 8 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
14	110	П110-4	65	У110-2+9	10	Четырехугольник с 10 ячейками 220 кВ и 8 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
15	220	П220-3	70	У220-1+9	11	Четырехугольник с 10 ячейками 220 кВ и 8 ячейками 110 кВ. Трансфор. трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
16	220	П220-2	70	У220-2+9	8	Четырехугольник с 10 ячейками 220 кВ и 8 ячейками 110 кВ. Трансформатор трехобмоточный	2

№ вар.	Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Трансформаторная подстанция	
		Шифр опоры	Количе- ство опор	Шифр опоры	Количе- ство опор	Схема электрических соединений	Количе- ство ТП
						напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	
17	500	ПОГ-1150-1	60	ПН750-1	9	Трансформатор-шина с 10-ячейками 500 кВ и 15 ячейками 220 кВ. Две группы автотрансформаторов и 2 синхронных компенсатора. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
18	500	УБМ-22	80	ПН750-1	8	Трансформатор-шина с 10-ячейками 500 кВ и 15 ячейками 220 кВ. Две группы автотрансформаторов и 2 синхронных компенсатора. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
19	220	П220-3	90	У220-1+9	10	Трансформатор-шина с 10-ячейками 500 кВ и 15 ячейками 220 кВ. Две группы автотрансформаторов и 2 синхронных компенсатора. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
20	220	П220-2	90	У220-2+9	12	Трансформатор-шина с 10-ячейками 500 кВ и 15 ячейками 220 кВ. Две группы автотрансформаторов и 2 синхронных компенсатора. Трансформатор трехобмоточный напряжением 500/220/110/6-10 кВ.	2
21	220	П220-3	85	У220-1+9	12	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2
22	220	П220-2	80	У220-2+9	9	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2
23	110	П110-3	85	У110-1+9	13	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2
24	110	П110-4	85	У110-2+9	5	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2

№ вар.	Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Трансформаторная подстанция	
		Шифр опоры	Количество опор	Шифр опоры	Количество опор	Схема электрических соединений	Количество ТП
						точный напряжением 150-220 кВ.	
25	35	П35-2	70	У35-2+5	7	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2

Рекомендуемая литература:

1. Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38-750 кВ. № 14278тм-т1.
2. Правила определения размеров земельных участков для размещения воздушных линий электропередачи и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 г. № 486.
3. Электротехнический справочник/ Под ред. проф.. МЭИ.: Т. 3. Кн. 1 (любой год издания).
4. Зеличенко А.С. Смирнов Б.И. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения. - М.: Энергоиздат, 1981. - 336 с.

*3. Практическое занятие “Расчет минимального расстояния от трансформаторной подстанции до границы жилой застройки по акустическим шумам”*

Рассматривается методика определения минимального расстояния от трансформаторной подстанции до границы жилой застройки по акустическим шумам. Для усвоения и закрепления методики студент самостоятельно для своего варианта проводит определение минимального расстояния от трансформаторной подстанции до границы жилой застройки по акустическим шумам.

ЗАДАНИЕ к практическому занятию N 3

На территории подстанции открыто установлены N трансформаторов.

Определить минимальное расстояние от подстанции до территории, на которой выполняются санитарно-гигиенические требования по шуму, если известен тип трансформатора. Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные

№ варианта	Количество трансформаторов N	Вид системы охлаждения *	Типовая мощность трансформатора *, МВ*А	Класс напряжения *, кВ	Тип территории **
1	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	160	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев
2	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	125	110	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам

№ варианта	Количество трансформаторов N	Вид системы охлаждения *	Типовая мощность трансформатора *, МВ*А	Класс напряжения *, кВ	Тип территории **
3	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	125	10-110	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям поликлиник, амбулаторий, диспансеров
4	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	125	150	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
5	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	80	110	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям детских дошкольных учреждений
6	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	125	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий
7	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	63	220	Территории, непосредственно прилегающие к площадкам отдыха на территории больниц и санаториев
8	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	200	110	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
9	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	250	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
10	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	400	220	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
11	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	500	330	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
12	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	400	110	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
13	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	250	110	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
14	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	200	220	Территории, непосредственно прилегающие к

№ варианта	Количество трансформаторов N	Вид системы охлаждения *	Типовая мощность трансформатора *, МВ*А	Класс напряжения *, кВ	Тип территории **
		видов ДЦ, НДЦ)			жилым домам
15	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	125	220	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
16	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	80	110	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
17	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ, НДЦ)	80	220	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам
18	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	80	150	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий
19	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	80	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий
20	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д)	63	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
21	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	200	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев
22	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	250	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев
23	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	400	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев
24	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	630	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям домов отдыха, пансионатов
25	2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	1000	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев

\* - в соответствии с ГОСТ 12.2.024-87. ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные;

\*\* - в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Рекомендуемая литература:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

2. ГОСТ 12.2.024-87. ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные.

3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

4. Снижение шума в зданиях и жилых районах/ Г.Л. Осипов и др. - М.: Стройиздат, 1987. - 558 с.

*4. Практическое занятие "Расчет уровня шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи (ВЛ), и границ ее санитарно-защитной зоны (СЗЗ) по шуму "*

Рассматривается методика расчета уровня шума, создаваемого ВЛ, и границы ее СЗЗ по шуму. Для усвоения и закрепления методики студент самостоятельно для своего варианта проводит определение уровня шума, создаваемого ВЛ, и границы ее СЗЗ по шуму.

#### ЗАДАНИЕ к практическому занятию N 4

Определить уровни звука, создаваемые ВЛ 500 кВ в соответствии с исходными данными для Вашего варианта, на разных расстояниях  $r$  от ее проекции крайней фазы на землю в середине пролета. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними  $d=10,5$  м. Фазы расщепленные, состоящие из трех проводов АС-330 радиусом  $r_0=1,26$  см с шагом расщепления  $a$ . Высота подвеса проводов на опоре  $H_n=22$  м, габарит линии  $H_0=8,65$  м, средняя высота подвеса проводов над землей  $H_{cp}=13,1$  м. Грозозащитные тросы изолированы от опор, т.е. влияние их на электрическое поле проводов не учитывается. Построить зависимость  $L_A(r)$ . Определить границу СЗЗ ВЛ по шуму для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы. Исходные данные приведены в таблице 3.

Рассчитать и построить зависимость максимальной напряженности электрического поля  $E_{max}$  от  $a$  (от 10 см до 85 см). Определить минимальное значение  $E_{max}$ . Для этого значения определить границу СЗЗ ВЛ по шуму для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы.

Таблица 3 – Исходные данные

Вариант	Шаг расщепления $a$ , см	Вариант	Шаг расщепления $a$ , см
1	10	14	49
2	13	15	52
3	16	16	55
4	19	17	58
5	22	18	61
6	25	19	64
7	28	20	67
8	31	21	70
9	34	22	73
10	37	23	76
11	40	24	79
12	43	25	82
13	46	26	85

Рекомендуемая литература:

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.

2. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 360 с.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

*5. Практическое занятие "Расчет уровня напряженности электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ), создаваемого воздушной линией класса X, и определение ее СЗЗ для ЭП ПЧ"*

Рассматривается методика расчета уровня напряженности ЭП ПЧ, создаваемого воздушной линией класса X, и определение ее СЗЗ для ЭП. Для усвоения и закрепления методики студент самостоятельно для своего варианта проводит определение уровня напряженности ЭП ПЧ, создаваемого воздушной линией класса X, и определение ее СЗЗ для ЭП ПЧ.

**ЗАДАНИЕ к практическому занятию N 5**

Определить напряженность электрического поля на высоте  $h=1,8$  м от земли на разных расстояниях  $r$  от оси для ВЛ 500 кВ в середине пролета с параметрами, определенными в задании к 4-ому практическому занятию. Построить зависимость  $E(r)$ . Определить границы и размер СЗЗ ВЛ по ЭП ПЧ для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы. Исходные данные приведены в таблице 3.

Рекомендуемая литература:

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
3. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты. N 2971-84.

*6. Практическое занятие "Расчет маслоприемника, маслоотвода и маслоборника под маслонеполненные силовые трансформаторы"*

Рассматривается методика расчета маслоприемника, маслоотвода и маслоборника под маслонеполненные силовые трансформаторы. Для усвоения и закрепления методики студент самостоятельно для своего варианта проводит расчет маслоприемника, маслоотвода и маслоборника под маслонеполненные силовые трансформаторы.

**Задание к практическому занятию N 6**

На ОРУ установлен маслонеполненный силовой трансформатор. Масса трансформаторного масла в трансформаторе равна  $M$ . Габариты трансформатора  $A*B$ . Исходные данные приведены в таблице 5.

1. Описать конструкцию маслоприемника.
2. Определить габариты маслоприемника.

Таблица 5 – Данные для расчета маслоприемника

№ Варианта	Трансформатор	Масса трансформаторно- го масла в трансформа- торе М, кг	Габариты трансформатора		
			Длина А, мм	Ширина В, мм	Высота Н, мм
1	ТМН-1000/35	2650	3700	1550	1900
2	ТМН-1600/35	2850	3700	1550	2000
3	ТМ-2500/10	2300	3500	2260	2330
4	ТМ-4000/15	3800	3900	3650	2450
5	ТМН-6300/10	4650	4300	3700	2550
6	ТМН-6300/20	5350	4250	3420	2350
7	ТМС-1000/10	1000	2450	1150	1700
8	ТМНС-6300/10	5000	4125	3610	2350
9	ТДНС-10000/35	8300	5400	2980	2990
10	ТДНС-16000/35	10500	6100	3080	3240
11	ТРДНС-25000/10	16000	6600	4300	3340
12	ТРДНС-32000/35	15500	6600	4300	3340
13	ТРДНС-40000/35	18500	6800	4500	3500
14	ТРДНС-63000/35	23000	7000	4600	3900
15	ТМН-6300/35	5350	4250	3420	2350
16	ТМ-4000/10	4200	3900	3630	2450
17	ТМ-6300/10	5150	4270	3650	2550
18	ТДНС-10000/35	8300	5400	2980	2990
19	ТРНДС-32000/35	15500	6600	4300	3340
20	ТДНС-25000/35	16000	6600	4300	3340
21	ТДНС-16000/35	10500	6100	3080	3240
22	ТРДНС-25000/10	16000	6600	4300	3340
23	ТРДНС-32000/35	15500	6600	4300	3340
24	ТРДНС-40000/35	18500	6800	4500	3500
25	ТРДНС-63000/35	23000	7000	4600	3900

Рекомендуемая литература:

1. Правила устройств электроустановок (7-ая редакция).
2. Гольстрем В.А., Иваненко А.С. Справочник энергетика промышленных предприятий. Киев: Техника, 1977.

#### 2.4. Расчетно-графическая работа (дневная форма обучения).

По темам практических занятий 2-6 студенты дневной формы обучения выполняют РГР. Вариант задания для студента дневной формы обучения соответствует номеру в списке группы.

Требования к оформлению РГР:

1. При оформлении РГР придерживаться основных требований изложенных в стандарте АмГУ. Правила оформления дипломных и курсовых работ (проектов). **Нормоконтроль проходить не требуется.**

2. РГР оформляется на листах формата А 4. Текст может быть рукописный или машинописный. Рукописный текст должен быть написан аккуратно, синей или черной пастой через два интервала.

3. В тексте обязательны ссылки на источники информации, перечень которых обязательно приводится в конце РГР с указанием авторов, названия статьи или книги, названия периодического издания и его номера (для статьи) или места и наименования издательства (для книги), года издания, страниц.

4. При решении задач с помощью прикладных программ, листинг программы должен быть приведен в приложении к РГР.



5. После рецензирования, если нет замечаний, РГР допускается к защите. Иначе возвращается на доработку.

## **2.5. Контрольная работа (заочная и заочная сокращенная формы обучения)**

Студентами заочной сокращенной формы обучения выполняется контрольная работа (КР), которая включает в себя задачи по практическим занятиям 2-6 и один теоретический вопрос.

Вариант задания по задачам соответствует двум последним номерам зачетной книжки студента. Если цифра получается более 25, то необходимо отнимать 25 до тех пор, пока не будет определен вариант от 1 до 25. Например, если номер Вашей зачетки составляет 003496, то Ваш вариант  $(96 - 75) = 21$ .

Вариант задания по теоретическому вопросу соответствует двум последним номерам зачетной книжки студента. Вопрос выбирать из п. 2.8. Если цифра получается более 41, то необходимо отнимать 41. Например, если номер Вашей зачетки составляет 003496, то  $(96 - 41) = 55$ ,  $(55 - 41) = 14$  и Ваш вариант № 14.

Требования к оформлению КР:

1. При оформлении КР придерживаться основных требований изложенных в стандарте АмГУ. Правила оформления дипломных и курсовых работ (проектов). **Нормоконтроль проходить не требуется.**

2. КР оформляется на листах формата А 4. Текст может быть рукописный или машинописный. Рукописный текст должен быть написан аккуратно, синей или черной пастой через два интервала.

3. В тексте обязательны ссылки на источники информации, перечень которых обязательно приводится в конце КР с указанием авторов, названия статьи или книги, названия периодического издания и его номера (для статьи) или места и наименования издательства (для книги), года издания, страниц.

4. При решении задач с помощью прикладных программ, листинг программы должен быть приведен в приложении к КР.

5. После рецензирования, если нет замечаний, КР допускается к защите. Иначе возвращается на доработку.

## **2.6. Самостоятельная работа студентов**

1. Студенты дневной формы обучения выполняют одну индивидуальную РГР.
2. Студенты заочной и сокращенной заочной форм обучения выполняют одну контрольную работу (аудиторная).

## **2.7. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний (для дневной формы обучения)**

1. Первый промежуточный контроль по темам:
  - схемы взаимодействия энергопредприятий с окружающей средой;
  - отвод земель под электрические сети;
  - эстетическое воздействие воздушных линий электропередачи на природный ландшафт;
  - акустические шумы, создаваемые объектами электроэнергетики.
2. Второй промежуточный контроль:
  - электромагнитные поля промышленной частоты;
  - радиопомехи, создаваемые воздушными линиями электропередачи;

- влияние установок сверх высокого напряжения на состав атмосферного воздуха;
- экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей.

## **2.8. Вопросы к зачету (вопросы к контрольной работе студентов заочной и сокращенной заочной форм обучения)**

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 виды отвода земель под электрические сети. Приведите примеры.
6. Какие документы определяют нормы отвода земель для электрических сетей.
7. Перечислите и охарактеризуйте факторы эстетического воздействия воздушных линий электропередачи на естественный природный ландшафт.
8. Природа возникновения шумов в силовых трансформаторах.
9. Методика расчета уровня шума, создаваемого силовыми трансформаторами.
10. Методы и средства защиты окружающей среды от акустических шумов, создаваемых силовыми трансформаторами.
11. Природа возникновения акустических шумов, создаваемых воздушными линиями электропередачи.
12. Методика расчета уровня акустического шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи.
13. Методы и средства защиты от акустических шумов, создаваемых воздушными линиями электропередачи.
14. Перечислите и охарактеризуйте аспекты воздействия шума на человека и окружающую природную среду.
15. Назовите и охарактеризуйте виды воздействия электромагнитного поля промышленной частоты на человека и окружающую природную среду.
16. Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты.
17. Методика расчета напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями электропередачи.
18. Средства, обеспечивающие снижение напряженности электрического поля промышленной частоты под воздушными линиями электропередачи.
19. Требования по размещению воздушных линий электропередачи высокого напряжения.
20. Мероприятия по защите населения от воздействия электрического поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями высокого напряжения.
21. Природа возникновения радиопомех.
22. Частотный спектр радиопомех. Нормирование радиопомех.
23. Методика расчета уровня радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередач.
24. Методы и средства, обеспечивающие снижение уровня радиопомех, создаваемых воздушными линиями электропередач.
25. Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей, и их решение.
26. Воздействие трансформаторных масел на окружающую природную среду и человека.
27. Нормирование содержания паров и аэрозолей масел в воздухе, воде и почве.

28. Мероприятия по защите окружающей природной среды от трансформаторного масла.
29. Устройство маслоприемников без отвода масла.
30. Устройство маслоприемников с отводом масла.
31. Устройство маслосборников.
32. Устройство маслоотводов.
33. Методика расчета маслоприемников без отвода для ОРУ.
34. Методика расчета маслоприемников с отводом масла на ОРУ.
35. Методика расчета маслоприемников для ЗРУ и подстанций.
36. Методика расчета маслосборника.
37. Причины образования озона и оксидов азота в электроустановках высокого и сверхвысокого напряжения.
38. Влияние оксидов азота и озона на человека и окружающую природную среду. Нормирование содержания озона и оксидов азота в атмосфере.
39. Перечислите и охарактеризуйте факторы негативного влияния на окружающую природную среду электрических сетей.
40. Перечислите и охарактеризуйте факторы специфического воздействия электрических сетей на окружающую среду?
41. Перечислите и охарактеризуйте факторы неспецифического воздействия электрических сетей на окружающую среду?

### **3. Учебно-методические материалы по дисциплине**

#### **3.1. Список рекомендуемой литературы**

##### Основная

1. Экология энергетики: учеб. пособие: доп. УМО / под общ. ред. В. Я. Путилова. - М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2003. - 716 с.
2. Электроэнергетика и природа/ Под ред. Г.Н. Лялика, А.Ш. Резниковского. - М.: Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.

##### Дополнительная

1. Чехов В.И. Экологические аспекты передачи электроэнергии. – М.: Изд-во МЭИ, 1991.
2. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. - Л.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие. – М.: Энергия, 1979.
4. Канаев А.А., Копп И.З. Взаимодействие энергетики с окружающей средой. - Л.: Знание, 1980.
5. Зеличенко А.С., Смирнов Б.И. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения. - М.: Энергоиздат, 1981.
6. Периодические издания: газета “Зеленый мир”; журнал "Электричество"; журнал "Электрические станции"; журнал "Энергетика" АН РФ; журнал "Промышленная энергетика"; журнал “Проблемы окружающей среды и природных ресурсов”; журнал “Экологические системы и приборы”; журнал “Экология и промышленность России”; журнал “Экология производства”; журнал “Экология промышленного производства”; журнал “Экос”; журнал “Энергия: экономика, техника, экология”.

#### 4. Тематический план лекций и практических занятий

№ темы	Наименование темы	РГР (КР) (№ тем)		Учебная нагрузка								
		ДФО	ЗФО, СЗФО – 4 года	Лекции			Практические занятия			Самостоятельная работа		
				ДФО	ЗФО	СЗФО – 4 года	ДФО	ЗФО	СЗФО – 4 года	ДФО	ЗФО	СЗФО – 4 года
1	Введение в дисциплину "Электроэнергетика и охрана окружающей среды"			2			2			2	5	5
2	Отвод земли для электрических сетей	+	+	2	2	2	2	1	1	2	5	5
3	Эстетическое воздействие воздушных линий на естественный природный ландшафт			1						2	5	5
4	Акустические шумы, создаваемые электроустановками	+	+	6			8	1	1	2	5	5
5	Электромагнитные поля промышленной частоты	+	+	4			4	1	1	2	5	5
6	Радиопомехи, создаваемые линиями электропередач			1						2	5	5
7	Установки сверх высокого напряжения как источник образования озона и оксидов азота			0,5	4	4				2	5	5
8	Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей			0,5						2	3	3
9	Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду	+	+	1			2	1	1	2	5	5
10	Подготовка к зачету									6	7	7
Всего часов		12 ч (СРС)	12 ч (СРС)	18	6	6	18	4	4	36	62	62

ДФО - дневная форма обучения; ЗФО - заочная форма обучения;  
СЗФО – сокращенная заочная форма обучения;  
СРС – самостоятельная работа студента.

## 5. Основные критерии оценки знаний студентов по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”

Студенты обязаны сдать зачет в строгом соответствии с учебным планом, а также утвержденной программы, едиными для всех форм обучения.

Зачет по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды” служит формой контроля усвоения дисциплины в целом.

К зачету допускаются студенты, выполнившие и сдавшие расчетно-графическую работу (контрольную работу).

Сроки проведения зачета устанавливаются графиком учебного процесса, утвержденным проректором по учебной работе.

Знания, умения и навыки обучающегося определяются оценками «зачтено» и «не зачтено». Критерии приведены в таблице.

Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«зачтено»	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов
«не зачтено»	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы

## 2. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине

№ темы	Наименование темы	Контрольное время выполнения индивидуального задания для РГР	Контрольное время для самостоятельной проработки теоретических вопросов по изучаемым темам	Контрольные точки проверки самостоятельной проработки теоретических вопросов по изучаемым темам и выполнения РГР
1	Введение в дисциплину "Электроэнергетика и охрана окружающей среды"	-	1 неделя	а) 1-ая контрольная точка б) зачетная контрольная работа
2	Отвод земли для электрических сетей	3 неделя	3неделя	
3	Эстетическое воздействие воздушных линий на естественный природный ландшафт	-	3неделя	
4	Акустические шумы, создаваемые электроустановками	7 неделя и 9 неделя	5-7 недели	а) зачетная контрольная работа б) 16-17 недели представление и защита РГР
5	Электромагнитные поля промышленной частоты	13 неделя	9-11 недели	
6	Радиопомехи, создаваемые линиями электропередач	-	13 неделя	
7	Влияние установок сверх высокого напряжения на состав атмосферного воздуха	-	13 неделя	
8	Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей	-	15неделя	
9	Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду	15 неделя	17 неделя	

### 3. Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы

Методические рекомендации для выполнения студентами самостоятельной работы изложены в рабочей программе "Охрана окружающей среды в энергетике" п.п. 2.3 – 2.8 и п. 3.

#### 4. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных заданий к практическим занятиям

##### 4.1. Рекомендуемые темы практических занятий по дисциплине

Рекомендуемые темы практических занятий приведены в рабочей программе п. 2.3.

##### 4.2. Рекомендуемые задания для выполнения практических занятий

Рекомендуемые задания для выполнения практических занятий приведены в рабочей программе п. 2.3.

##### 4.3. Рекомендуемые формы проведения практических занятий

Первое практическое занятие рекомендуется проводить в виде семинарского занятия. Преподаватель в диалоге со студентами рассматривает схемы взаимодействия АЭС, ТЭС и ГЭС с окружающей средой. Обсуждаются факторы негативного влияния объектов энергетики на окружающую среду.

На практических занятиях по темам 2-6 преподаватель знакомит студентов с методами расчета. Для закрепления материала, каждый студент выполняет индивидуальное задание, используя нормативные документы.

## 5. Содержание курса лекций по дисциплине

### Тема 1. Введение в дисциплину «Электроэнергетика и охрана окружающей среды»

#### План

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

#### 1. Основные положения

Цель: дать теоретические и практические знания для решения экологических проблем при производстве передачи 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, передачи 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.

Виды ущерба:

1. Экологический
2. Экономический
3. Социальный

Загрязнения окружающей среды – привнесение в окружающую среду новых, не характерных для неё физических, химических, биологических агентов, а так же 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 ВЛЭП напряжением 110 кВ и выше);
  - магнитное поле;
  - акустический шум (для ВЛЭП 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». 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.

## 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.

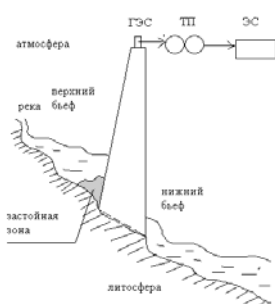
### 4. Схема взаимодействия промышленных предприятий с окружающей средой



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

ВЫХОД: товар, отходы, энергетические загрязнения.

#### 4.1. ГЭС



ТП – трансформаторная подстанция (повышающая)

ЭС – электрическая сеть

Рисунок 1 - 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:

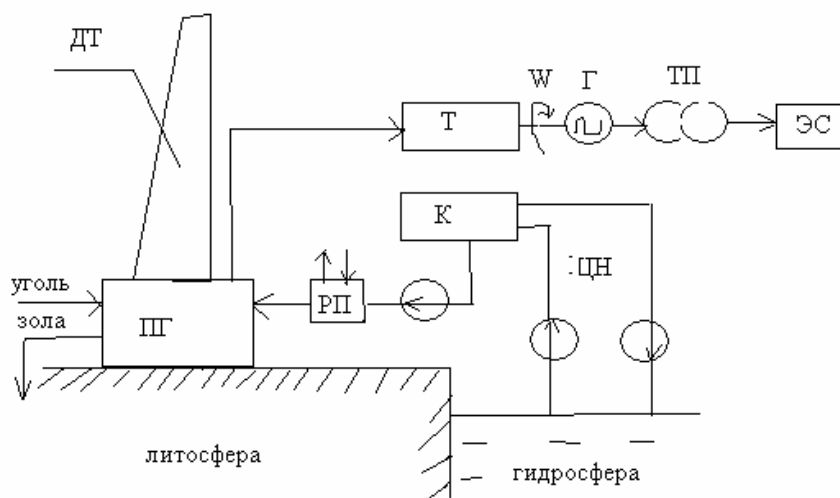
- изменение стока реки;
- изменение гидрохимического и гидротермического режима;
- изменения микроклимата в районе водохранилища;
- нарушение естественных путей миграции.

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).

ла).

#### 4.2. ТЭС



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 2 - Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой

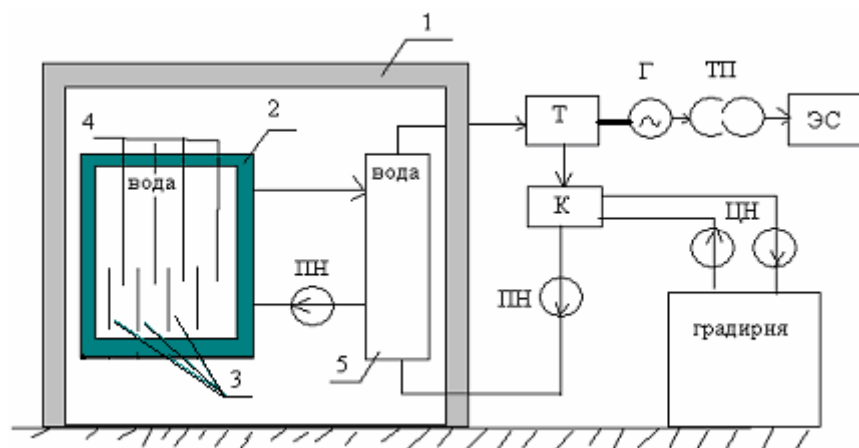
Экологические проблемы ТЭС (топливо уголь):

- 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 пруд-охладитель 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



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

Рисунок 3 - Схема взаимодействия АЭС с окружающей средой

Экологические проблемы АЭС:

- радиоактивные отходы (твердые и жидкие);
- радиоактивное загрязнение, вследствие аварии.

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

### 5. Экологизация деятельности промышленных предприятий.

Экологизация – это процесс проникновения идей и проблем экологии в другие области знаний и техники.

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, на сколько изменилось потребление тепловой энергии, электрической энергии, сырья, топлива и т.п.

## **Тема 2. Отвод земель под электрические сети**

### **План**

1. Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи (ВЛЭП).

2. Изъятие земель в постоянное и временное пользование.

3. Защита от гибели птиц в районах их расселения и на путях их миграции.

### **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 ВЛ 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 ВЛ.

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 ВЛ, 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:

$$F_{\text{ПП}} = F_{\text{ТП}} + F_{\text{ОВЛ}},$$

где  $F_{\text{ТП}}$  – площадь, отводимая в постоянное пользование под одну подстанцию;

$F_{\text{ОВЛ}}$  – площадь, отводимая в постоянное пользование под ВЛ.

Отвод земли под ТП производится в соответствии с нормами отвода земель, табл.4. В общем случае площадь, отводимая под ТП, определяется по формуле:

$$F_{\text{ТП}} = \sum_{i=1}^N F_{\text{ТП}i},$$

где  $N$  - число трансформаторных подстанций;

$F_{\text{ТП}i}$  – площадь земли, отводимая под  $i$ -ую трансформаторную подстанцию.

Рассмотрим отвод земли под опоры ВЛ. На рис. 1 приведен контур основания стальной опоры и полоса земли вокруг внешнего контура опоры.

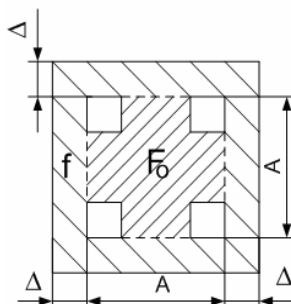


Рисунок 1 – Контур основания стальной опоры и полоса земли вокруг внешнего контура опоры

Величина  $\Delta$  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:

$$F_{AV} = (A_{AV} + 2\Delta)(B_{AV} + 2\Delta),$$

где  $A_{AV}$  – длина основания анкерно-угловой опоры;  
 $B_{AV}$  – ширина основания анкерно-угловой опоры.  
 Для промежуточной опоры:

$$F_{II} = (A_{II} + 2\Delta)(B_{II} + 2\Delta),$$

где  $A_{II}$  – длина основания промежуточной опоры;  
 $B_{II}$  – ширина основания промежуточной опоры.  
 Общая площадь отводимая для ВЛ определяется по следующей формуле:

$$F_{OBL} = n_{AV}F_{AV} + n_{II}F_{II},$$

$n_{AV}$ ,  $n_{II}$  – количество анкерно-угловых и промежуточных опор соответственно.

В соответствии с действующими нормами площадь, отводимая под временное пользование для ВЛ будет складываться из полосы земли, предоставляемой для строительство ВЛ ( $F_{СВЛ}$ ) и земельных участков предоставляемых для монтажа опор ( $F_{ВМО}$ ):

$$F_{ВЛ} = F_{СВЛ} + F_{ВМО}.$$

Схема расположения опор ВЛ представлена на рисунке 2.

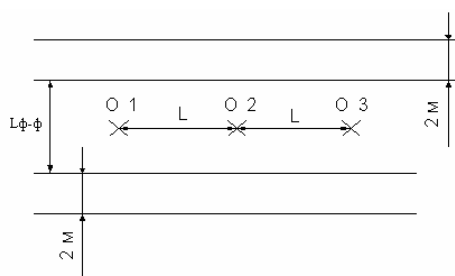


Рисунок 2 – расчету площади земель, отводимых во временное пользование  
 Принимаем  $l$  габаритно максимальному размеру. От проекции крайних фаз добавляем по 2 м с каждой стороны.  $l_{\phi}$  – расстояние между крайними фазами опоры.

$$F_{СВЛ} = l(n_{AV} + n_{II-1})(l_{\phi} + 4),$$

$$F_{ВМО} = F_{МПAV}n_{AV} + F_{МПII}n_{II},$$

где  $F_{МПAV}$ ,  $F_{МПII}$  – площади земель, отводимых под монтаж анкерно-угловых и промежуточных опор соответственно.

### 3. Защита от гибели птиц в районах их расселения и на путях их миграции.

Для предотвращения гибели птиц в районах прохождения ВЛ следует предусмотреть:

- закрытие верхних отверстий полых стоек железобетонных опор наголовниками;
- установку противоптичьих заградителей на траверсах и тросостояках опор ВЛ 35-220 кВ в местах массового расселения крупных птиц и на путях их миграции.

### **Тема 3. Эстетическое воздействие электрических сетей на окружающую среду**

Одним из факторов специфического воздействия ВЛЭП на окружающую среду является нарушение эстетики ландшафта (для природоохраняемых и рекреационных территорий, вблизи памятников истории и культуры).

В соответствии с «Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше» (приказ Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 284) при прохождении ВЛЭП по территории заповедников, национальных парков, курортов, пригородных зон отдыха, а также вблизи памятников истории и культуры рекомендуется выполнение мероприятий, направленных на уменьшение визуального воздействия ВЛЭП на естественные ландшафты.

Мероприятия по уменьшению визуального воздействия ВЛЭП на естественные ландшафты:

- выбор трассы ВЛЭП с наименьшим ущербом для окружающей среды, т.е. изменение трассы ВЛЭП на отдельных участках для выноса опор с сельскохозяйственных угодий, удаления ВЛЭП от памятников истории и культуры;
- использование принципа экранирования (используются естественные возможности ландшафта для экранирования);
- маскировка ВЛЭП (старение проводов, чтобы они не отражали естественный свет и не были видны на большом расстоянии; окраска опор под цвет который маскирует их на естественном фоне; конструкция опор; конструкция изоляторов (окраска, форма, размеры) и т.п.);
- реконструкция существующих ВЛЭП путем замены их на двухцепные или ВЛЭП более высокого напряжения.

### **Тема 4. Акустические шумы, создаваемые электроустановками**

#### План

1. Основные акустические характеристики шума и его источников шума
2. Действие шума на человека
3. Нормирование шума
4. Шум, создаваемый трансформаторами
- 4.1. Природа шума
- 4.2. Расчёт уровней шума, создаваемый трансформаторами на открытой территории
- 4.3. Мероприятия по защите от шума, создаваемого трансформаторами
5. Шум, создаваемый воздушной линией электропередачи (ВЛЭП)
- 5.1. Природа шума, создаваемого ВЛЭП
- 5.2. Расчёт уровней шума, создаваемого ВЛЭП
- 5.3. Мероприятия по защите от шума, создаваемого ВЛЭП

#### **1. Основные акустические характеристики шума и его источников**

*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 дБА 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. Акустические характеристики постоянного шума:

1.1. 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:

$$L = 20 \lg P / P_0,$$

где  $P$  - среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

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

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



Рисунок 1 – К пояснению понятия “Октавная полоса”

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

$$f_{CF} = \sqrt{f_{n-1} \cdot f_n} = f_{n-1} \cdot \sqrt{2}, \text{ Гц.}$$

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

$$L_A = 20 \lg P_A / P_0,$$

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:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0,1L_{piA}}, \text{ дБА}$$

$$L_{p,iA} = L_{pi} + K_{iA}, \text{ дБ}$$

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

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

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

Таблица 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 $f_{сг}$ , Гц	Корректирующая поправка $K_{iA}$ , дБ
22	44	31,5	- 42,0
44	88	63	-26,3
88	177	135	-16,1
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
11360		16000	-6,6

2. Акустические характеристики постоянного шума:

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

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

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

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

$T$  – время действия шума.



## 2.2. Максимальные уровни звука $L_{\text{Амакс}}$ , дБА.

*Акустические характеристики источника шума*

1. Уровень звуковой мощности:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}, \text{ дБ}$$

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  $L_{WA}$ :

$$L_{WA} = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1L_{w,iA}}, \text{ дБА}$$

$$L_{w,iA} = L_{w,i} + K_{iA}, \text{ дБ},$$

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

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

3. Фактор направленности или коэффициент направленности  $\Phi$ :

$$\Phi = \frac{\rho_r^2}{\rho_{cp}^2},$$

где  $\rho_r$  – звуковое давление на фиксированном расстоянии  $r$  от источника шума в данном направлении, Па;

$\rho_{cp}$  – 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 окружающую среду 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;
- сердечно-сосудистая 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 1-2 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

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  $L_{АЭКВ}$ , дБА, и максимальные уровни звука  $L_{Амакс}$ , 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.

Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки следует принимать по табл. 2.

Таблица 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

№ п/п	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			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
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 библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55	
4	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов 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	
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 отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60	

#### 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. 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 кондициони-

рования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и др. инженерно-технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБА ниже (поправка  $\Delta = - 5$  дБА), указанных в табл.23 (поправку для тонального и импульсного шума в этом случае принимать не следует).

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

#### 4. Шум, создаваемый трансформаторами (ТМ)

##### 4.1. Природа шума, создаваемого ТМ

В соответствии со СНиП «Защита от шума» ТМ являются на территории жилой зоны характерным источником шума. ТМ состоит из обмоток и сердечника. ТМ 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

1. Электромагнитный шум:

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

1.2. Силы, действующие на витки обмотки ТМ в магнитном поле;

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

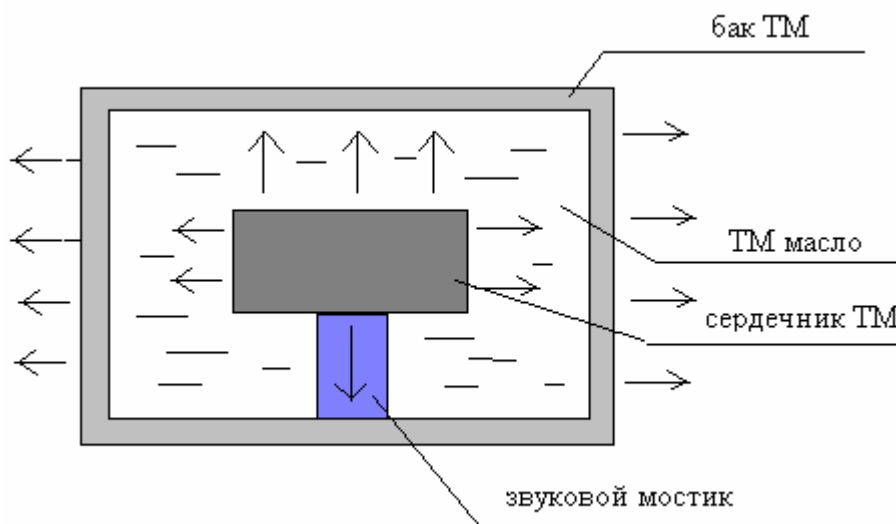


Рисунок 2 – Распространение звука, возникающего в сердечнике ТМ

2. Аэродинамический шум:

2.1. Вызван движением потока воздуха, который создается системой механической вентиляции.

## 4.2. Расчёт уровней шума, создаваемый трансформаторами на открытой территории

Расчет шума, создаваемого ТМ может возникнуть в двух случаях:

1. При проектировании новой подстанции;
2. 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. СССР. "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):

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

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

или

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

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

$$L_{WA\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{WAi}},$$

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

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

Откуда минимальное расстояние определится по формуле

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

### 4.3. Мероприятия по защите от шума, создаваемого ТМ.

1. Защита расстоянием (см. пункт 4.2).

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

$$\Delta L_{Амм} = L_A - ДУ_{L_A},$$

где  $L_A$  – расчетное значение.

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

$$\Delta L_{Агр} = \Delta L_{Аэкр} + \Delta L_{Азел},$$

где  $\Delta L_{Аэкр}$  - снижение уровня звука экранами;

$\Delta L_{Азел}$  - 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 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
	21 – 25	8 – 10
Двухрядная полоса при расстоянии между рядами 3 – 5 м	21 – 25	8 – 10

Зеленые насаждения позволяют снизить уровень шума до 12 дБА.

## 5. Шум, создаваемый ВЛЭП

### 5.1. 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

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

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  $E_n$ . Таким образом, вследствие непрерывного удаления объемного заряда от провода коронный разряд может поддерживаться неограниченно долго.

Виды коронного разряда:

1. 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.

2. 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:

1. 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.

2. В зоне коронного разряда воздух нагревается до температуры более  $2000^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим вокруг стримера возникают вихревые потоки, скорость воздуха в которых достигает сотен метров в секунду, что приводит к возникновению акустических шумов (см. рис. 3).



Рисунок 3 – 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 в (1) коэффициент гладкости провода при инее, гололеде и изморози  $m=0,6$ . В условиях дождя или снега  $m=0,57-0,73$ .

В таблице 4 приведены зависимость уровня шума для ВЛЭП от класса напряжения и погодных условий.

Таблица 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

## 5.2. Расчёт уровней шума, создаваемого ВЛЭП

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

$$L_A = 16 + 1,14E_{MAX} + 9r_0 + 15 \lg n - 10 \lg r, \text{ дБА} \quad (2)$$

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:

$$L_{A\Sigma} = L_A + 10 \lg n_\phi, \text{ дБА}$$

где  $n_\phi$  – количество фаз.

В формуле (2) неизвестной величиной является  $E_{max}$ , которая определяется по следующей формуле

$$E_{max} = K_y E_{cp},$$

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

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

где  $r_p$  – радиус расщепленной фазы, м.

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

$$r_p = \frac{a}{2 \cos 30} = \frac{a}{\sqrt{3}}.$$

Средняя рабочая напряженность электрического поля находится по следующей формуле:

$$E_{cp} = \frac{U_\phi}{nr_0 \ln\left(\frac{S}{r_3}\right)}$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение сети, кВ;

$S$  – среднегеометрическое расстояние между фазами, см;

$r_3$  – эквивалентный радиус провода, см.

Определяем эквивалентный радиус провода  $r_3$  по формуле

$$r_3 = \sqrt[n]{nr_0 r_p^{(n-1)}}.$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами равно

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

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

$D$  – расстояние между фазами, м.

Если принять, что  $L_A = \Delta U_{L_A}$  (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

$$r = 10^{0.1(16+1.14E_{\max}+9r_0+151g_n+101g_{n\phi}-\Delta U_{L_A})}.$$

### 5.3. Мероприятия по защите от шума, создаваемого ЛЭП

1. Защита расстоянием (см. пункт 5.2).

2. Оптимизация конструкции фазы ВЛЭП

2.1. 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

$$2r_0 \geq 0.011U_{ном}, U_{ном} = U_{лин},$$

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 слу-



чаях 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 делают полыми или со стеклопластиковой сердцевиной.

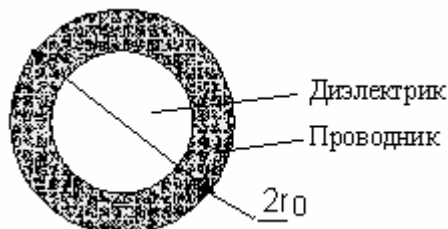


Рисунок 4 – Конструкция расширенного провода

### 2.2. Расщепленные провода фаз.

В настоящее время это широко распространенное на практике решение. Оно было предложено в 1910 году академиком В.Ф. Миткевичем. В этом случае каждая фаза линии 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. 5 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.

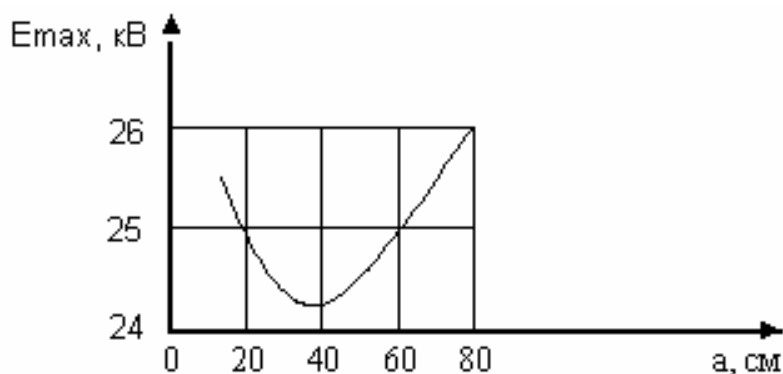


Рисунок 5 - Зависимость максимальной напряженности электрического поля на проводах расщепленной фазы от расстояния между проводами (шага расщепления)

### 2.3. Применение изолированных проводов.

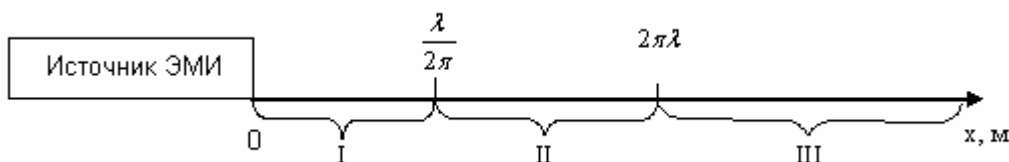
## Тема 5. Электромагнитные поля промышленной частоты

### План

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 ЭМП ПЧ.
4. Расчёт напряжённости электрического поля промышленной частоты, создаваемого ВЛЭП
5. Требования к размещению высоковольтных ВЛЭП.
6. Мероприятия по защите населения от воздействия ЭМП ПЧ.

### 1. Характеристики ЭМП промышленной частоты



- $\lambda$  - длина волны, излучаемой источником ЭМП;  
 I – зона индуктивности;  
 II – промежуточная зона (дифракции);  
 III – волновая зона.

Рисунок 1 – Зоны излучения для источника ЭМП

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/м<sup>2</sup>.

Для ЭМП ПЧ  $f=50$  Гц и соответственно  $\lambda = \frac{300000 \frac{км}{с}}{50 Гц} = 6000 км$ . В соответствии с рис.

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.

## 2.1. 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).

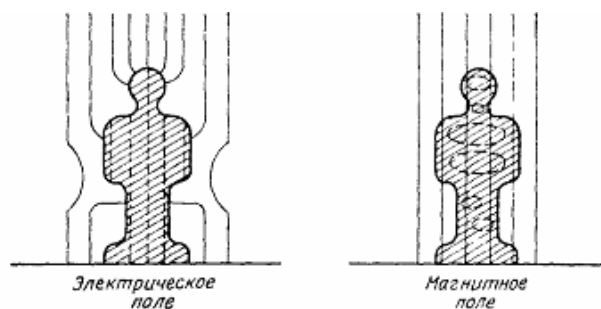


Рисунок 2 – Силовые линии ЭМП ПЧ, воздействующих на человека, стоящего под ВЛЭП

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 ВЛЭП. 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.

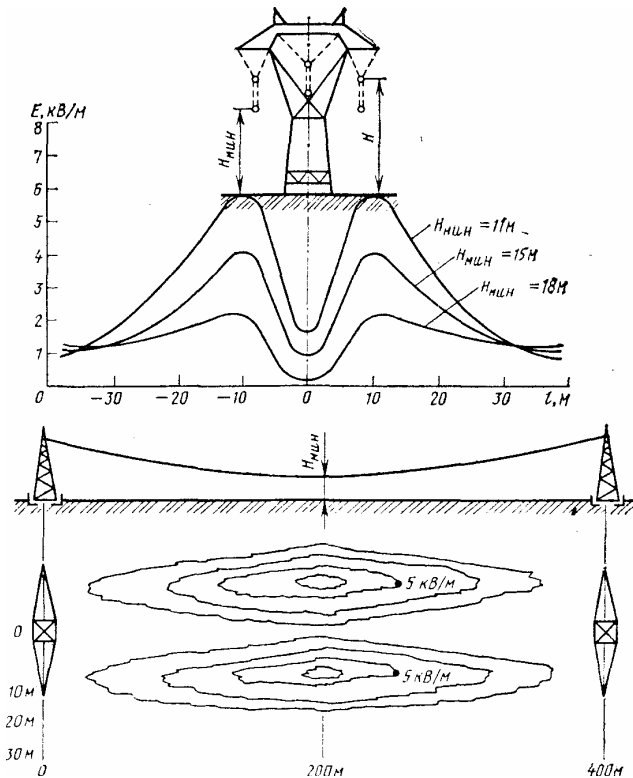


Рис. 3 - Напряженность электрического поля создаваемого ВЛЭП 380 кВ на уровне земли

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. 3). У опор, где высота подвеса проводов наибольшая и сказывается экранирующее влияние опор, напряженность поля наименьшая. Так как под проводами ЛЭП 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 ЛЭП 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  $0,1 \text{ мкА/см}^2$  и ниже не влияет на работу мозга, так как импульсные биотоки, обычно протекающие в мозгу, существенно превышают плотность такого тока проводимости. При  $j > 1 \text{ мкА/см}^2$  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, непровольным 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  $E_{\text{max}} = 15 \text{ кВ/м}$  ( $6,225 \text{ мА}$ ); известной доле этого тока, втекающего через область головы (около  $1/3$ ), и площади головы (около  $100 \text{ см}^2$ ) плотность тока  $j < 0,1 \text{ мкА/см}^2$ , что и подтверждает допустимость принятой в СССР напряженности  $15 \text{ кВ/м}$  под проводами воздушной линии.

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

Вычисление плотности тока

$$J_{\text{в}} = \pi R \gamma j B$$

осложняется тем, что его точный путь зависит от распределения проводимости  $\gamma$  в тканях тела.

Так, удельную проводимость мозга определяют  $\gamma = 0,2 \text{ см/м}$ , а сердечной мышцы  $\gamma = 0,25 \text{ см/м}$ . Если принять радиус головы  $7,5 \text{ см}$ , а сердца  $6 \text{ см}$ , то произведение  $\gamma R$  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  $0,4 \text{ мТл}$  при частоте  $50$  или  $60 \text{ Гц}$ . В магнитных полях (от  $3$  до  $10 \text{ мТл}$ ;  $f = (10-60) \text{ Гц}$ ) 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:

$$J_{\text{в}} = k f E$$

где  $k$  – коэффициент для области мозга и сердца.

Значение  $k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ см/Гц}\cdot\text{м}$ . По данным ученых Германии напряженность поля, при которой вибрацию волос ощущают  $5\%$  испытуемых мужчин, составляет  $3 \text{ кВ/м}$  и для  $50\%$  мужчин, подвергшихся испытанию, она равна  $20 \text{ кВ/м}$ . 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. 1.

Последняя область значения плотности тока относится к временам воздействия порядка одного сердечного цикла, т. е. приблизительно  $1 \text{ с}$  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  $32 \text{ кВ/м}$ . Установлено, что при напряженности  $5 \text{ кВ/м}$   $80\%$  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

$$\lg t_{\text{дон}} = 3,5 - 0,125 E$$

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

Таблица 1 – Наблюдаемые человеком эффекты в зависимости от плотности тока

$J, \text{мкА/см}^2$	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 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 – 5 кВ/м;

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

в 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 – 20 кВ/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. 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 отнесенных 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:

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

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

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

$r_{\text{экв}}$  – эквивалентный радиус провода, он рассчитан в третьей расчетно-графической работе,  $r_{\text{экв}} = 0,0742$  м.

Напряженность трёх фазной ВЛ Е в точке, находящейся под средней фазой на высоте  $h = 1,8$  м от земли и на расстоянии  $x$  от средней фазы по горизонтали находится по формуле:

$$E = \frac{CU_{\phi}}{4\pi\epsilon_0} \times \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2},$$

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:

$$m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H-h)^2}$$

$$n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H+h)^2}$$

$$m_B = \sqrt{x^2 + (H-h)^2}$$

$$n_B = \sqrt{x^2 + (H+h)^2}$$

$$m_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H-h)^2}$$

$$n_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H+h)^2}$$

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 так же 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 нахождения людей вблизи ВЛЭП.

## Тема 6. Радиопомехи, создаваемые линиями электропередач

Радиопомехи – ЭМП радиочастотного диапазона.

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

Характеристики радиопомех:

1. Напряженность электрического поля  $E$ , мкВ/м;

2. Логарифмические уровни напряженности электрического поля

$$Y = 20 * \lg E/E_0, \text{ дБ}$$

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. 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.

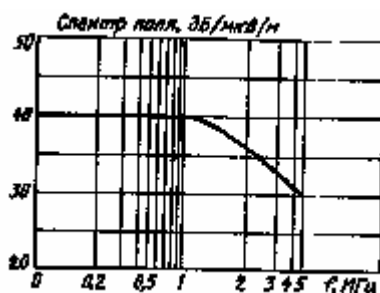


Рисунок 1 – Спектр радиопомех (искусственный коронный разряд)

Радиопомехи, как и потери на корону, чувствительны к состоянию поверхности проводов. Так, установлено, что со временем пыль, находящаяся в воздухе, осажается 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. 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  $E_{\text{пар}}$  имеет характер направленного униполярного поля, убывающего по закону, близкому к

$$E_{\text{пар}} = E_0 h^2 / (h^2 + y^2),$$

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

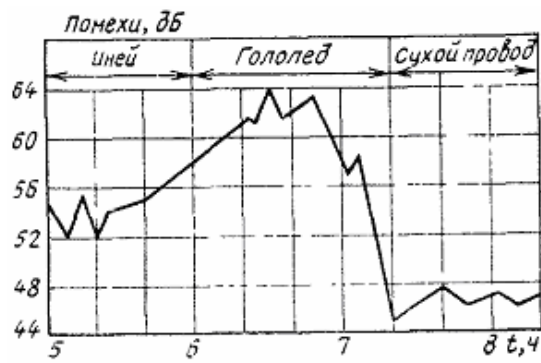


Рисунок 2 – Уровень радиопомех в зависимости от метеорологических условий окружающей среды

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.

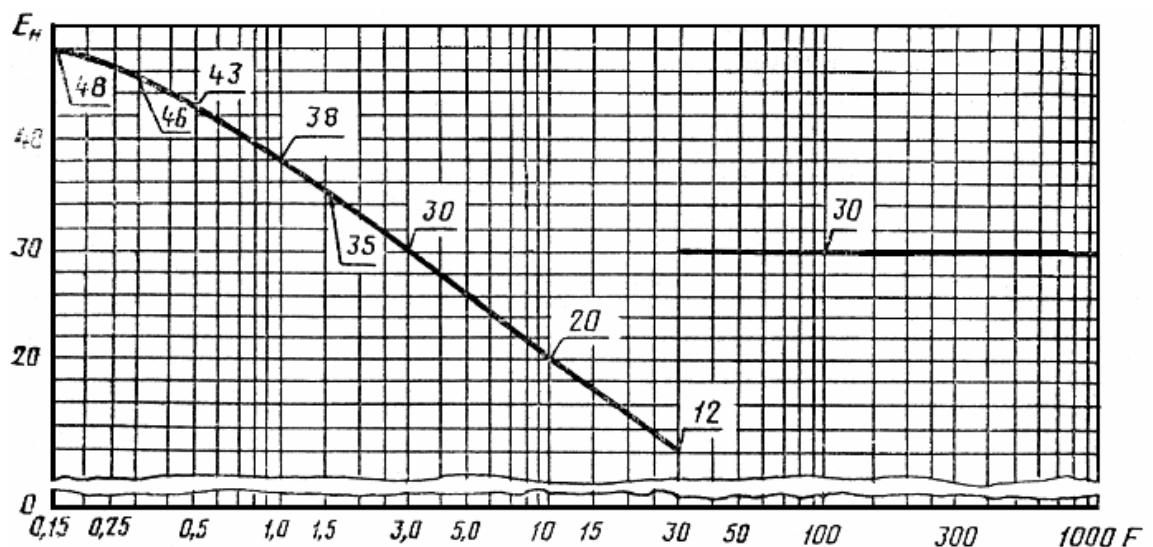
Средства, применяемые для уменьшения паразитных полей вблизи линий сверхвысокого и ультравысокого напряжений, немногочисленны. Их принцип состоит в снижении потенциала поля на поверхности проводов с целью уменьшения ударной ионизации - расщеплении фазы на несколько составляющих. При сильном ненастье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

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.

#### Нормирование радиопомех

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. 3.



$E_n$  - напряженность поля радиопомех, дБ;  $F$  - частота, 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 электро-транспорта, магистралями с движущимся автотранспортом и т.д.).

Измерения напряженности поля радиопомех следует проводить на различных участках ВЛЭП на расстояниях, указанных в табл. 1.

Таблица 1 – Участки для измерения напряженности поля радиопомех, создаваемых ВЛЭП

Напряжение ВЛЭП, кВ, в полосе частот, МГц		Расстояние от проекции крайнего провода на землю $R_n$ , м
0,15-30	30-1000	
$\leq 35$	$\leq 220$	10
110, 220	330, 500	50
$\geq 330$	$\geq 750$	100

Напряженность поля радиопомех от электрических подстанций следует измерять в нескольких точках на расстояниях, указанных в табл. 2.

Таблица 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
$\leq 35$	10	10
110, 220	50	50
$\geq 330$	100	100

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.

Мероприятия по защите от радиопомех

1. Защита расстоянием (см. табл. 1 и 2).

2. Оптимизация конструкции фазы ВЛЭП:

2.1. Применение расширенных проводов.

2.3. Расщепленные провода фаз.

## **Тема 7. Влияние установок сверхвысокого напряжения на состав атмосферного воздуха**

Коронирование проводов и деталей линейной арматуры на ВЛЭП сверхвысокого напряжения особенно 750 кВ и выше сопровождается выделением озона и оксидов азота из окружающего провод воздуха (см. рис.). Это происходит по двум причинам. Во-первых, в области коронного разряда идет ионизация воздуха, что в конечном итоге приводит к образованию озона. И, во-вторых, в зоне коронного разряда высокая температура ( $T > 2000$  °С) при которой происходит окисление атмосферного азота с образованием оксида азота, а затем диоксида азота. При наличии паров воды в атмосферном воздухе образуется азотная кислота.

На практике концентрации выше перечисленных загрязнителей атмосферного воздуха существенно меньше их ПДК.

В таблице приведены ПДК озона, диоксида азота и азотной кислоты в соответствии с ГН 2.1.6.1338-03 “Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест”

Таблица - ПДК озона, диоксида азота и азотной кислоты в соответствии с ГН 2.1.6.1338-03

№ п/п	Наименование вещества	№ CAS	ПДК <sub>МР</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Показатель опасности
4	Азота диоксид	10102-44-0	0,085	2	рефл.-рез.
5	Азотная кислота	7697-37-2	0,4	2	рефл.-рез.
387	Озон	10028-15-6	0,16	1	рез.

## **Тема 8. Экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей**

Заземлитель это металлическая конструкция, которая непосредственно находится в контакте с землей и обеспечивает режим работы электрической сети (рабочее заземление), снижение напряжения прикосновения в аварийных ситуациях в электроустановках (защитное заземление) или отведение тока молнии в землю (молниезащита).

При этом для заземлителей нормируется сопротивление растеканию тока, которое в основном обусловлено удельным сопротивлением грунта, в котором установлены заземлители. Для того чтобы уменьшить удельное сопротивление грунта используют солевые растворы, которыми проливают грунт в местах размещения заземлителей. Помимо этого понижается температура промерзания грунта, что так же ведет к уменьшению удельного сопротивления грунта.

Таким образом, можно выделить следующие экологические проблемы, связанные с устройством и эксплуатацией заземлителей:

- химическое загрязнение почвы;
- электрический ток.

Решить первую проблему можно, например, путем использования выносных заземлителей. Для решения второй проблемы необходимо широко внедрять современные средства автоматики и релейной защиты, обладающие высокой чувствительностью и селективностью.

## **Тема 9. Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду**

### План

1. Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду.
2. Открытые распределительные устройства.
3. Закрытые распределительные устройства и подстанции.
4. Расчет маслоприемника для ОРУ

## 1. Влияние энергетических масел на человека и окружающую природную среду

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 трансформаторное масло имеет характеристики, приведенные в таблице.

Попадая в окружающую среду трансформаторное масло, является химическим загрязнителем гидросферы и почв.

Таблица – ПДК трансформаторного масла в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
633. Масла минеральные нефтяные <sup>+</sup>	5	а	III	

Условные обозначения:

а - аэрозоль;

+ - требуется специальная защита кожи и глаз.

## 2. Открытые распределительные устройства (ПУЭ, п. 4.2.69, 7 ред.)

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях маслонаполненных силовых трансформаторов (реакторов) с количеством масла более 1 т в единице должны быть выполнены маслоприемники, маслоотводы и маслосборники с соблюдением следующих требований:

1) габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформатора (реактора) не менее чем на 0,6 м при массе масла до 2 т; 1 м при массе от 2 до 10 т; 1,5 м при массе от 10 до 50 т; 2 м при массе более 50 т. При этом габарит маслоприемника может быть принят меньше на 0,5 м со стороны стены или перегородки, располагаемой от трансформатора (реактора) на расстоянии менее 2 м.

2) объем маслоприемника с отводом масла следует рассчитывать на единовременный прием 100 % масла, залитого в трансформатор (реактор).

Объем маслоприемника без отвода масла следует рассчитывать на прием 100 % объема масла, залитого в трансформатор (реактор), и 80 % воды от средств пожаротушения из расчета орошения площадей маслоприемника и боковых поверхностей трансформатора (реактора) с интенсивностью 0,2 л/с·м<sup>2</sup> в течение 30 мин;

3) устройство маслоприемников и маслоотводов должно исключать переток масла (воды) из одного маслоприемника в другой, растекание масла по кабельным и др. подземным сооружениям, распространение пожара, засорение маслоотвода и забивку его снегом, льдом и т.п.;

4) маслоприемники под трансформаторы (реакторы) с объемом масла до 20 т допускается выполнять без отвода масла. Маслоприемники без отвода масла должны выполняться заглубленной конструкции и закрываться металлической решеткой, поверх которой должен быть насыпан слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной не менее 0,25 м, либо непористого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм. Уровень полного объема масла в маслоприемнике должен быть ниже решетки не менее чем на 50 мм.

Удаление масла и воды из маслоприемника без отвода масла должно предусматриваться передвижными средствами. При этом рекомендуется выполнение простейшего устройства для проверки отсутствия масла (воды) в маслоприемнике;

5) маслоприемники с отводом масла могут выполняться как заглубленными, так и незаглубленными (дно на уровне окружающей планировки). При выполнении заглубленного телеприемника устройство бортовых ограждений не требуется, если при этом обеспечивается объем маслоприемника, указанный в п. 2.

Маслоприемники с отводом масла могут выполняться:

с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м;

без металлической решетки с засыпкой гравия на дно маслоприемника толщиной слоя не менее 0,25 м.

Незаглубленный маслоприемник следует выполнять в виде бортовых ограждений маслonaполненного оборудования. Высота бортовых ограждений должна быть не более 0,5 м над уровнем окружающей планировки.

Дно маслоприемника (заглубленного и незаглубленного) должно иметь уклон не менее 0,005 в сторону приемка и быть засыпано чисто промытым гранитным (либо другой непористой породы) гравием или щебнем фракцией от 30 до 70 мм. Толщина засыпки должна быть не менее 0,25 м.

Верхний уровень гравия (щебня) должен быть не менее чем на 75 мм ниже верхнего края борта (при устройстве маслоприемников с бортовыми ограждениями) или уровня окружающей планировки (при устройстве маслоприемников без бортовых ограждений).

Допускается не производить засыпку дна маслоприемников по всей площади гравием. При этом на системах отвода масла от трансформаторов (реакторов) следует предусматривать установку огнепреградителей;

б) при установке маслonaполненного электрооборудования на железобетонном перекрытии здания (сооружения) устройство маслоотвода является обязательным;

7) маслоотводы должны обеспечивать отвод из маслоприемника масла и воды, применяемой для тушения пожара, автоматическими стационарными устройствами и гидрантами на безопасное в пожарном отношении расстояние от оборудования и сооружений: 50 % масла и полное количество воды должны удаляться не более чем за 0,25 ч. Маслоотводы могут выполняться в виде подземных трубопроводов или открытых кюветов и лотков;

8) маслосборники должны предусматриваться закрытого типа и должны вмещать полный объем масла единичного оборудования (трансформаторов, реакторов), содержащего наибольшее количество масла, а также 80 % общего (с учетом 30-минутного запаса) расхода воды от средств пожаротушения. Маслосборники должны оборудоваться сигнализацией о наличии воды с выводом сигнала на щит управления. Внутренние поверхности маслоприемника, ограждений маслоприемника и маслосборника должны быть защищены маслостойким покрытием.

### **3. Закрытые распределительные устройства и подстанции (ПУЭ, п. 4.2.102 и п. 4.2.103, 7 ред.)**

В закрытых отдельно стоящих, пристроенных и встроенных в производственные помещения ПС, в камерах трансформаторов и других маслonaполненных аппаратов с массой масла в одном баке до 600 кг при расположении камер на первом этаже с дверями, выходящими наружу, маслосборные устройства не выполняются.

При массе масла или негорючего экологически безопасного диэлектрика в одном баке более 600 кг должен быть устроен маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла, или на удержание 20 % масла с отводом в маслосборник.

При сооружении камер над подвалом, на втором этаже и выше (см. также 4.2.118), а также при устройстве выхода из камер в коридор под трансформаторами и другими маслonaполненными аппаратами должны выполняться маслоприемники по одному из следующих способов:

1) при массе масла в одном баке (полюсе) до 60 кг выполняется порог или пандус для удержания полного объема масла;

2) при массе масла от 60 до 600 кг под трансформатором (аппаратом) выполняется маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла, либо у выхода из камеры - порог или пандус для удержания полного объема масла;

3) при массе масла более 600 кг:

маслоприемник, вмещающий не менее 20 % полного объема масла трансформатора или аппарата, с отводом масла в маслосборник. Маслоотводные трубы от маслоприемников под трансформаторами должны иметь диаметр не менее 10 см. Со стороны маслоприемни-

ков маслоотводные трубы должны быть защищены сетками. Дно маслоприемника должно иметь уклон 2 % в сторону приямка;

маслоприемник без отвода масла в маслосборник. В этом случае маслоприемник должен быть перекрыт решеткой со слоем толщиной 25 см чистого промытого гранитного (либо другой непористой породы) гравия или щебня фракцией от 30 до 70 мм и должен быть рассчитан на полный объем масла; уровень масла должен быть на 5 см ниже решетки. Верхний уровень гравия в маслоприемнике под трансформатором должен быть на 7,5 см ниже отверстия воздухоподводящего вентиляционного канала. Площадь маслоприемника должна быть более площади основания трансформатора или аппарата.

#### 4. Расчет маслоприемника и маслосборника для ОРУ

##### Маслоприемник

1. Габариты маслоприёмника должны выступать за габариты трансформатора не менее чем на:

- 0,6 м при массе трансформаторного масла до 2 т;
- 1 м при массе трансформаторного масла от 2 до 10 т;
- 1,5 м при массе трансформаторного масла от 10 до 50 т;
- 2 м при массе трансформаторного масла более 50 т.

Габариты маслоприёмника определяем по рисунку, следовательно, они найдутся по формуле:

$$C_{МП} = B + 2\Delta,$$

$$D_{МП} = A + 2\Delta,$$

где А, В – габариты трансформатора, м;

$\Delta$  – это величина, на которую габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформатора, зависит от массы трансформаторного масла.

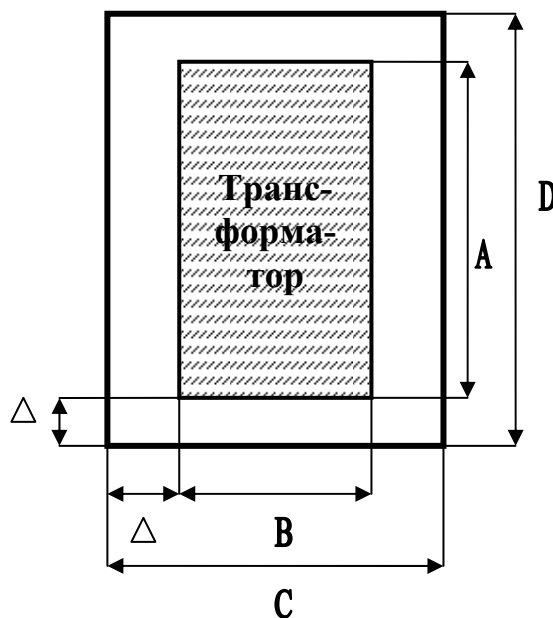


Рисунок 1 – Габариты маслоприёмника

2. Объем маслоприемника с отводом масла следует рассчитывать на одновременный приём 100 % масла, залитого в трансформатор. Объем маслоприемника без отвода масла следует рассчитывать на приём 100 % масла, залитого в трансформатор и 80 % воды от



средств пожаротушения из расчёта орошения площади маслоприёмника и боковых поверхностей трансформатора с интенсивностью  $0,2 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$  в течение 30 минут.

Маслоприемники под трансформаторы с объемом до 20 тонн, допускается выполнять без отвода масла.

Рассчитываем объём маслоприёмника, необходимого для размещения трансформаторного масла:

$$V_{\text{МПТМ}} = \frac{M}{\rho},$$

где  $\rho$  - плотность трансформаторного масла,  $\rho = 0,88-089 \text{ г/см}^3$ .

Объём, необходимый для размещения 80 % воды от средств пожаротушения из расчёта орошения площади маслоприёмника и боковых поверхностей трансформатора определяются по следующей формуле:

$$V_{\text{воды}} = 0.8 \cdot i \cdot t \cdot (S_{\text{МП}} + S_{\text{БПТ}}),$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент интенсивности пожаротушения,  $K_{\text{п}}=0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$ ;

$t$  – время пожаротушения,  $t=1800 \text{ с}$ ;

$S_{\text{БПТ}}$  – площадь боковых поверхностей трансформатора,  $\text{м}^2$ .

$$S_{\text{БПТ}} = 2(A + B)H,$$

$$S_{\text{МП}} = C_{\text{МП}} \cdot D_{\text{МП}},$$

Общий объём, таким образом, будет складываться из объёмов под трансформаторное масло и под средства пожаротушения:

$$V_{\text{МП}} = V_{\text{МПТМ}} + V_{\text{МПН}_2\text{O}}$$

где  $V_{\text{МП}}$  – объём маслоприёмника,  $\text{м}^3$ .

Высота маслоприёмника, необходимая для размещения трансформаторного масла и средств пожаротушения будет равна:

$$h_{\text{МП(ТН+H}_2\text{O)}} = \frac{V_{\text{ПН}}}{S_{\text{МП}}},$$

Маслоприёмники без отвода масла должны выполняться с заглублённой конструкцией, и закрываться металлической решеткой, поверхность которого должна быть насыпана слоем чистого гравия или промытого гранитного щебня, толщиной не менее 0,25 м, либо непористого щебня другой породы с частицами (30 – 70) мм. Уровень полного объёма масла в маслоприёмнике должен быть ниже решётки не менее, чем на 50 мм (рисунок).

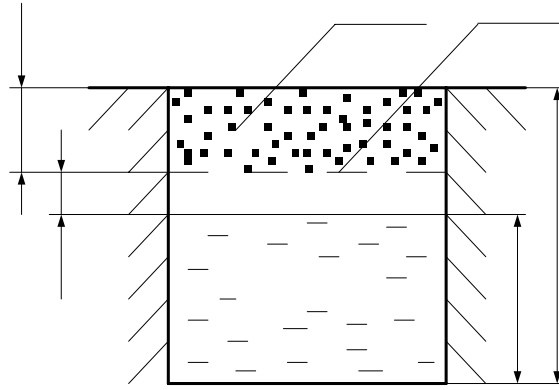


Рисунок 8 – Маслоприёмник

Высота маслоприёмника равна:

$$h_{МП} = h_{МП(ТМ+H_2O)} + h_2 + h_B,$$

#### Маслосборник

Маслосборники должны предусматриваться закрытого типа и должны вмещать полный объём масла единичного оборудования трансформаторов, реакторов, содержащего наибольшее количество масла, а так же 80% общего (с учётом 30 минутного запаса воды под средства пожаротушения):

$$V_{МСБ} = V_{ТМ} + 0,8 * V_{H_2O}, \text{ м}^3;$$

$$V_{ТМ} = M_{ТМ} / \rho_{ТМ}, \text{ м}^3;$$

$$V_{H_2O} = I_{п} * t_{п} * (S_{МП} + S_{БПТ}), \text{ м}^3;$$

$$I_{п} = 0,2 \text{ л/с*м}^2;$$

$$t_{п} = 30 \text{ мин.}$$

**6. Методические указания по выполнению домашних заданий, контрольных работ (самостоятельная работа студентов)** изложены в рабочей программе дисциплины и материалах данного УМКД.

При выполнении индивидуальных заданий необходимо руководствоваться источниками, которые приведены в рабочей программе “Охрана окружающей среды в энергетике” п. 2.3 и ниже приведенными примерами. Необходимые для выполнения источники преподаватель в электронном виде представляет студентам через их старосту группы.

### Примеры выполнения задач к расчетно-графической (контрольной) работе

#### ЗАДАЧА № 1

Определить отвод земель под электрическую сеть в соответствии с заданным вариантом:  
 - в постоянное пользование;  
 - во временное пользование.

Воздушная линия проходит по землям сельскохозяйственного назначения.

При выполнении задания примем 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, например, “Электротехнический справочник/ Под ред. проф.. МЭИ.: Т. 3. Кн. 1 (любой год издания)”.

Исходные данные для задачи

Класс ВЛ, кВ	Промежуточные опоры		Анкерные угловые опоры		Трансформаторная подстанция	
	Шифр опоры	Количество опор	Шифр опоры	Количество опор	Схема электрических соединений	Количество ТП
110	П110-3	85	У110-1+9	13	Со сборными шинами с 9 ячейками 220 кВ, 9 ячейками 110 кВ и 10 ячейками 35 кВ; двумя трансформаторами 220/110/6 кВ и двумя трансформаторами 110/35 кВ. Трансформатор трехобмоточный напряжением 150-220 кВ.	2

#### Порядок решения задачи № 1

##### 1. Отвод земель в постоянное пользование

В соответствии с условиями задачи в постоянное пользование земля будет отводиться под промежуточные и анкерные опоры и трансформаторные подстанции.

Площадь земельных участков  $F$ , предоставляемых под опоры (включая оттяжки) воздушных ЛЭП в постоянное (бессрочное) пользование, определяется по формуле /1/:

$$F = n(F_0 + f), \quad (1)$$

где  $F_0$  - площадь земли, занимаемая одной опорой в границах внешнего контура,  $m^2$ ;

$n$  – количество опор, шт.;

$f$  - площадь полосы земли вокруг внешнего контура опоры,  $m^2$ .

Сумма  $F_0 + f$  находится по следующей формуле (см. рис. 1):

$$F_0 + f = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (A + 2 \cdot \Delta), \quad (2)$$

где  $A$  – сторона основания опоры,  $m$ ;

$\Delta$  – отступ от опоры, м.

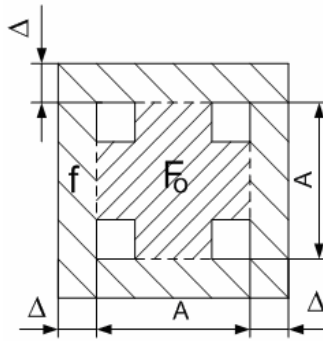


Рисунок 2 – Основные размеры

Величина  $\Delta$  зависит от категории земель. Для земель сельскохозяйственного назначения  $\Delta=1,5$  м, для остальных категорий  $\Delta=1$  м.

Площадь земли, отводимая под промежуточные опоры,  $m^2$  :

$$F_{mn} = n_n \cdot (F_{0n} + f) \quad (3)$$

Площадь земли, отводимая под анкерные угловые опоры,  $m^2$  :

$$F_{nau} = n_{au} \cdot (F_{0au} + f) \quad (4)$$

Площадь земли, занимаемая всеми опорами,  $m^2$  :

$$F_{ПВЛ} = F_{mn} + F_{nau} \quad (5)$$

Площадь земли, отводимая под подстанции,  $m^2$  :

$$F_{ППС} = \sum_i^{n_{nc}} F_{ПСi} \quad (6)$$

где  $n_{nc}$  - количество подстанций;

$F_{ПСi}$  - площадь земли, отводимая под  $i$ -ую подстанцию.

Площадь земельных участков  $F_{ПЭС}$ , предоставляемых под электрические сети в целом в постоянное пользование,  $m^2$  :

$$F_{нэс} = F_{ПВЛ} + F_{ППС} \quad (7)$$

На рис. 2 приведены эскизы опор П 110-3 (промежуточная) и У 110-1+9 (анкерно-угловая) /2/.

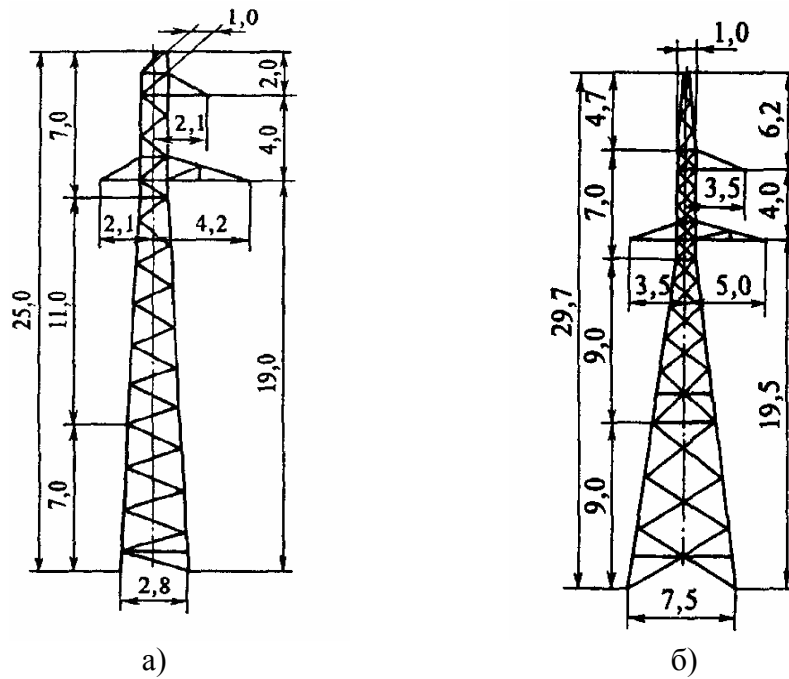


Рисунок 2 – Опоры: а) П 110-3; б) У 110-1+9

По данным /1, 2/ размеры основания опор и площадь земли, отводимую под одну трансформаторную подстанцию, соответственно равны:

$$A_{\Pi} = 2,8 \text{ м}; A_{\text{АУ}} = 7,5 \text{ м}; F_{\text{ПЭС}} = 36000 \text{ м}^2.$$

Площадь земли, отводимая под промежуточные опоры:

$$F_{\text{ПП}} = (2,8+2 \cdot 1,5) \cdot (2,8+2 \cdot 1,5) \cdot 85 = 2859,4 \text{ м}^2$$

Площадь земли, отводимая под анкерные угловые опоры:

$$F_{\text{АУ}} = (7,5+2 \cdot 1,5) \cdot (7,5+2 \cdot 1,5) \cdot 13 = 1433,25 \text{ м}^2$$

Площадь земли, занимаемая всеми опорами:

$$F_{\text{ПВЛ}} = 2859,4 + 1433,25 = 4292,65 \text{ м}^2$$

Площадь земли, отводимая под подстанции:

$$F_{\text{ППЭС}} = 2 \cdot 36000 = 72000 \text{ м}^2$$

Площадь земельных участков  $F_{\text{ПЭС}}$ , предоставляемых под электрические сети в постоянное пользование:

$$F_{\text{ПЭС}} = 4292,65 + 72000 = 76292,65 \text{ м}^2$$

## 2. Отвод земель во временное пользование

Ширина полос земель, предоставляемых на период строительства воздушных линий электропередачи, сооружаемых на унифицированных типовых опорах при принятых в условиях задачи допущениях определяется по формуле /3/ (см. рис.3):

$$F_{ВЛ} = (n_{АУ} + n_{П} - 1) \cdot L \cdot (L_{\phi-\phi} + 4), \quad (7)$$

где  $n_{АУ}$  – количество анкерных угловых опор;

$n_{П}$  – количество промежуточных опор;

$L$  – длина габаритного пролета, м;

$L_{\phi-\phi}$  – расстояние между фазами ЛЭП, м.

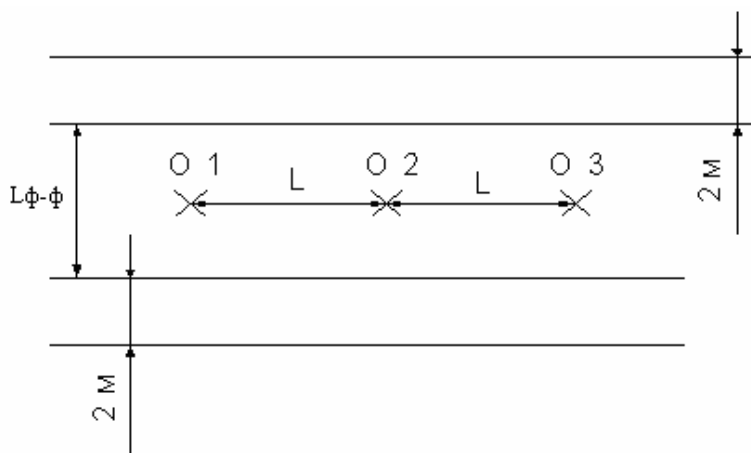


Рисунок 3 – Полоса земли, предоставляемая под строительство воздушной линии

Площадки земельных участков, предоставляемых во временное пользование для монтажа унифицированных и типовых опор (нормальной высоты) воздушных линий электропередачи в местах их размещения (дополнительно к полосе предоставляемых земель, указанных в табл.1.), должны быть не более приведенных в /1/.

Площадь земельных участков, предоставляемых под монтажные площадки:

$$F_{МП} = n_{АУ} \cdot F_{МП АУ} + n_{П} \cdot F_{МП П}, \quad (8)$$

где  $F_{МП АУ}$  – площадь земельных участков, отводимых под монтажные площадки анкерных угловых опор,  $m^2$ ;

$F_{МП П}$  – площадь земельных участков, отводимых под монтажные площадки промежуточных опор,  $m^2$ .

Площадь земельных участков  $F_{ВЭС}$ , предоставляемых под электрические сети во временное пользование,  $m^2$ :

$$F_{ВЭС} = F_{ВЛ} + F_{МП}. \quad (9)$$

В соответствии с /1, 2/  $L$ ,  $L_{\phi-\phi}$ ,  $F_{МП АУ}$  и  $F_{МП П}$  равны:

$$L = 440 \text{ м}; \quad L_{\phi-\phi} = 6,3 \text{ м}; \quad F_{МП АУ} = 800 \text{ м}^2; \quad F_{МП П} = 560 \text{ м}^2.$$

Ширина полос земель, предоставляемых на период строительства воздушных линий электропередачи, сооружаемых на унифицированных типовых опорах, равна:

$$F_{ВЛ} = (85 + 13 - 1) \cdot 440 \cdot (6,3 + 4) = 439604 \text{ м}^2.$$

Площадь земельных участков, предоставляемых под монтажные площадки, равна:

$$F_{МП} = 13 \cdot 800 + 85 \cdot 560 = 58000 \text{ м}^2.$$

Площадь земли, предоставляемой под электрическую сеть во временное пользование равна:

$$F_{ВЭС} = 439604 + 58000 = 497604 \text{ м}^2.$$

Таким образом, площади земельных участков, отводимых под электрическую сеть в постоянное и во временное пользование соответственно равны:

$$F_{ПЭС} = 76292,65 \text{ м}^2;$$

$$F_{ВЭС} = 497604 \text{ м}^2.$$

#### Рекомендуемая литература к задаче № 1

1. Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38-750 кВ. № 14278ТМ-Т1.
2. Электротехнический справочник/ Под ред. проф.. МЭИ.: Т. 3. Кн. 1 (любой год издания).
3. Правила определения размеров земельных участков для размещения воздушных линий электропередачи и опор линий связи, обслуживающих электрические сети. Постановление правительства РФ от 11 августа 2003 г. № 486.

#### ЗАДАЧА № 2

На территории подстанции открыто установлены N трансформаторов.

Определить минимальное расстояние от подстанции до территории, на которой выполняются санитарно-гигиенические требования по шуму, если известен тип трансформатора.

#### Исходные данные для задачи

Количество трансформаторов N	Вид системы охлаждения	Типовая мощность трансформатора, МВ*А	Класс напряжения, кВ	Тип территории
2	Трансформатор с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ)	400	220	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев

#### Порядок решения задачи № 2

На рис. 1 приведена схема размещения трансформаторной подстанции по отношению к рассматриваемой территории.

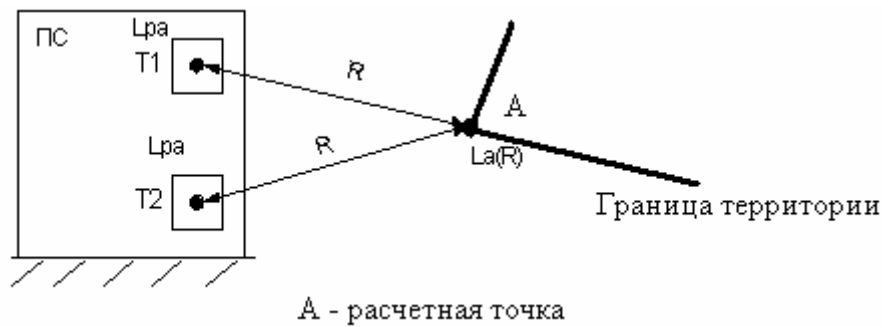


Рисунок 1 – Схема размещения трансформаторной подстанции по отношению к рассматриваемой территории

Уровень шума  $L_A$ , создаваемый источником шума с скорректированным уровнем звуковой мощности равным  $L_{PA}$ , на расстоянии  $R$  от источника определяется по формуле /1/:

$$L_A(R) = L_{PA} - 10 \lg(2 \cdot \pi \cdot R^2). \quad (1)$$

С учетом того, что трансформаторы располагаются по отношению друг к другу на небольшом расстоянии по сравнению с расстоянием  $R$ , то два источника шума можно рассматривать, как один с скорректированным уровнем звуковой мощности равны:

$$L_{PA\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{PAi}} \quad (2)$$

Для рассматриваемой территории в соответствии с /2/ определяем допустимый уровень звука  $ДУ_{LA}$  для времени суток с 23<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>.

Если принять равным  $ДУ_{LA} = L_A$ , то  $R = R_{\min}$ .

Тогда с учетом вышесказанного формулу можно переписать в следующем виде

$$ДУ_{LA} = L_{PA\Sigma} - 10 \lg(2 \cdot \pi \cdot R_{\min}^2). \quad (3)$$

Из формулы (3) минимальное расстояние будет равно

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(L_{PA\Sigma} - ДУ_{LA})}}{2 \cdot \pi}}. \quad (4)$$

В соответствии с /1/ для трансформатора с  $S_{НОМ} = 400$  МВ·А,  $U_{НОМ} = 220$  кВ с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ, НМЦ) скорректированный уровень звуковой мощности  $L_{PA} = 111$  дБА. Скорректированный уровень звуковой мощности для двух трансформаторов равен

$$L_{PA\Sigma} = 10 \lg(2 \cdot 10^{0,1 \cdot 111}) = 114 \text{ дБА.}$$

Согласно /2/ допустимый уровень звука для рассматриваемой территории в период времени с 23<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup> составляет 35 дБА.



Подставляя полученные значения в формулу (4) определим минимальное расстояние от подстанции до территории:

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(114-35)}}{2 \cdot \pi}} = 3555,6 \text{ м.}$$

#### Рекомендуемая литература к задаче № 2

1. ГОСТ 12.2.024-87. ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

#### ЗАДАЧА № 3

Определить уровни звука, создаваемые ВЛ 500 кВ в соответствии с исходными данными, на разных расстояниях  $R$  от ее проекции крайней фазы на землю в середине пролета. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними  $D_0=10,5$  м. Фазы расщепленные, состоящие из трех проводов АС-330 радиусом  $r_0=1,26$  см с шагом расщепления  $a=76$  см. Высота подвеса проводов на опоре  $H_{\text{п}}=22$  м, габарит линии  $H_0=8,65$  м, средняя высота подвеса проводов над землей  $H_{\text{ср}}=13,1$  м. Грозозащитные тросы изолированы от опор, т.е. влияние их на электрическое поле проводов не учитывается. Определить границу СЗЗ ВЛ по шуму для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы.

Рассчитать и построить зависимость максимальной напряженности электрического поля  $E_{\text{max}}$  от  $a$  (от 10 см до 85 см). Определить минимальное значение  $E_{\text{max}}$ . Для этого значения определить границу СЗЗ ВЛ по шуму для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы о влиянии шага расщепления на размер СЗЗ.

#### Порядок решения задачи № 3

Уровень звука, создаваемый одной фазой ВЛ, определяется по формуле /1/

$$L_A(R) = 16 + 1,14 \cdot E_{\text{max}} + 9 \cdot r_0 + 15 \cdot \lg(n) - 10 \cdot \lg(R), \quad (1)$$

где  $E_{\text{max}}$  – максимальная напряженность электрического поля на поверхности провода, кВ/см;

$r_0$  – радиус провода, см;

$n$  – количество проводов в расщепленной фазе;

$R$  – расстояние от проекции провода на землю до расчетной точки, м;

Уровень звука, создаваемый воздушной ЛЭП, определяется по формуле

$$L_{A\Sigma} = L_A(R) + 10 \cdot \lg n_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{ф}}$  – количество фаз линии.

Максимальная напряженность электрического поля на поверхности провода равна

$$E_{\text{max}} = K_{\text{у}} \cdot E_{\text{ср}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{у}}$  – коэффициент, учитывающий усиление напряженности электрического поля вследствие влияния зарядов на составных проводах расщепленной фазы;

$E_{cp}$  – средняя напряженность электрического поля на поверхности провода, кВ/см.

Коэффициент, учитывающий усиление напряженности электрического поля вследствие влияния зарядов на составных проводах расщепленной фазы рассчитывается по формуле

$$K_y = 1 + (n - 1) \cdot \frac{r_0}{r_p}, \quad (4)$$

где  $r_p$  – радиус расщепленной фазы, см.

Для ВЛ 500 кВ провода в расщепленной фазе располагаются в вершине равностороннего треугольника с шагом расщепления равным  $a$ . Для этого случая радиус расщепленной фазы определяется по следующей формуле

$$r_p = \frac{a}{\sqrt{3}}, \quad (5)$$

где  $a$  – шаг расщепления, см;

Средняя напряженность электрического поля на поверхности провода определяется по формуле

$$E_{cp} = \frac{U_\phi}{n \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{S}{r_\varepsilon}\right)}, \quad (6)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение сети, кВ;

$S$  – среднегеометрическое расстояние между фазами, см;

$r_\varepsilon$  – эквивалентный радиус провода, см.

Эквивалентный радиус определяется по формуле

$$r_\varepsilon = \sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot r_p^{n-1}} \quad (7)$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами:

$$S = \frac{\sqrt[3]{2} \cdot D_0}{\sqrt[3]{\left(1 + \left(\frac{D_0}{2H_0}\right)^2\right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{D_0}{H_0}\right)^2}}}, \quad (8)$$

где  $D_0$  – расстояние между фазами, м;

$H_0$  – высота подвеса провода над поверхностью земли, м.

Для рассматриваемой территории в соответствии с [2] определяем допустимый уровень звука  $ДУ_{LA}$  для времени суток с 23<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>.

Если принять равным  $ДУ_{LA} = L_A$ , то  $R = R_{min}$ .

Тогда формулу (2) можно записать в следующем виде

$$ДУ_{LA} = L_A(R_{min}) + 10 \cdot \lg n_\phi \quad (9)$$

или

$$ДУ_{LA} = 16 + 1,14 \cdot E_{max} + 9 \cdot r_0 + 15 \cdot \lg n - 10 \cdot \lg R_{min} + 10 \cdot \lg n_\phi. \quad (10)$$

Из формулы (10) минимальное расстояние, а соответственно размер санитарно-защитной зоны равен

$$R_{\min} = 10^{0,1 \cdot (16 + 1,14 \cdot E_{\max} + 9 \cdot r_0 + 15 \cdot \lg n + 10 \cdot \lg n_{\phi} - \Delta Y_{LA})} \quad (11)$$

Согласно [2] для территорий жилой зоны допустимый уровень звука  $\Delta Y_{LA}$  в период с 23<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup> составляет 45 дБА.

Подставляем исходные данные и решаем задачу в числах.

Фазное напряжение линии:

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{500}{\sqrt{3}} = 288,68 \text{ кВ}.$$

Радиус расщепленной фазы:

$$r_p = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{76}{\sqrt{3}} = 43,88 \text{ см}.$$

Коэффициент усиления:

$$K_y = 1 + (n - 1) \cdot \frac{r_0}{r_p} = 1 + (3 - 1) \cdot \frac{1,26}{43,88} = 1,0574.$$

Эквивалентный радиус провода:

$$r_{\text{Э}} = \sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot r_p^{n-1}} = \sqrt[3]{3 \cdot 1,26 \cdot 43,88^{3-1}} = 19,38 \text{ см}.$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами:

$$S = \frac{\sqrt[3]{2} \cdot D_0}{\sqrt[3]{\left(1 + \left(\frac{D_0}{2 \cdot H_0}\right)^2\right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{D_0}{H_0}\right)^2}}} = \frac{\sqrt[3]{2} \cdot 10,5}{\sqrt[3]{\left(1 + \left(\frac{10,5}{2 \cdot 8,65}\right)^2\right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{10,5}{8,65}\right)^2}}} = 10,25 \text{ м} = 1025 \text{ см}$$

Средняя напряженность:

$$E_{\text{ср}} = \frac{U_{\phi}}{n \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{S}{r_{\text{Э}}}\right)} = \frac{288,68}{3 \cdot 1,26 \cdot \ln\left(\frac{1025}{19,38}\right)} = 19,25 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

Максимальная напряженность электрического поля на поверхности провода:

$$E_{\max} = K_y \cdot E_{\text{ср}} = 1,0574 \cdot 19,25 = 20,35 \text{ кВ/см}.$$

Минимальное расстояние от воздушной ЛЭП до территории жилой зоны, на котором выполняются санитарно-гигиенические требования по шуму:

$$R_{\min} = 10^{0,1 \cdot (16 + 1,14 \cdot E_{\max} + 9 \cdot r_0 + 15 \cdot \lg n + 10 \cdot \lg n_{\phi} - DV_{LA})} =$$

$$= 10^{0,1 \cdot (16 + 1,14 \cdot 20,35 + 9 \cdot 1,26 + 15 \cdot \lg 3 + 10 \cdot \lg 3 - 45)} = 55,81 \text{ м}$$

График зависимости  $L_A(R)$  имеет вид:

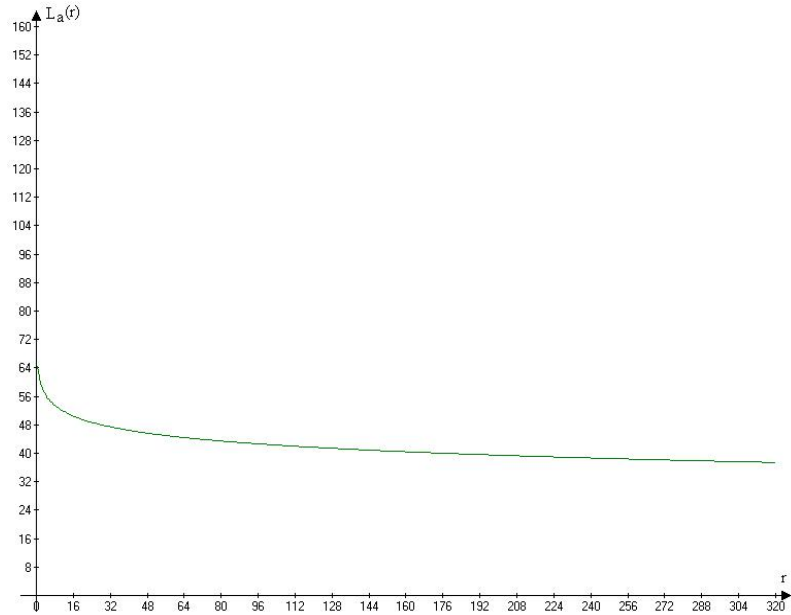


Рисунок 1 – График зависимости  $L_A(R)$

Определим размер санитарно-защитной зоны для оптимального шага расщепления. Для определения оптимального шага расщепления выразим максимальную напряженность электрического поля через шаг расщепления  $a$ :

$$E_{\max} = K_y \cdot E_{CP} = \left( 1 + (n-1) \cdot \frac{r_0}{r_p} \right) \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{n \cdot r_0 \cdot \ln \left( \frac{S}{r_{\Sigma}} \right)} \right) =$$

$$= \left( 1 + (n-1) \cdot \frac{r_0 \cdot \sqrt{3}}{a} \right) \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{n \cdot r_0 \cdot \ln \left( \frac{S}{\sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot r_p^{n-1}}} \right)} \right) =$$

$$= \left( 1 + (3 - 1) \cdot \frac{r_0 \cdot \sqrt{3}}{a} \right) \cdot \left( \frac{U_\phi}{3 \cdot r_0 \cdot \ln \left( \frac{S}{\sqrt[3]{3 \cdot r_0 \cdot \left( \frac{a}{\sqrt{3}} \right)^2}} \right)} \right) \cdot \quad (12)$$

Подставляя найденные ранее значения, получим:

$$E_{\max}(a) = \left( 1 + \frac{2,52 \cdot \sqrt{3}}{a} \right) \cdot \left( \frac{288,68}{3,78 \cdot \ln \left( \frac{1025}{\sqrt[3]{1,26 \cdot a^2}} \right)} \right) \cdot \quad (13)$$

На рисунке 2 представлен график полученной зависимости  $E_{\max}(a)$ , построенный по формуле (14) с помощью программно-вычислительного комплекса Mathcad.

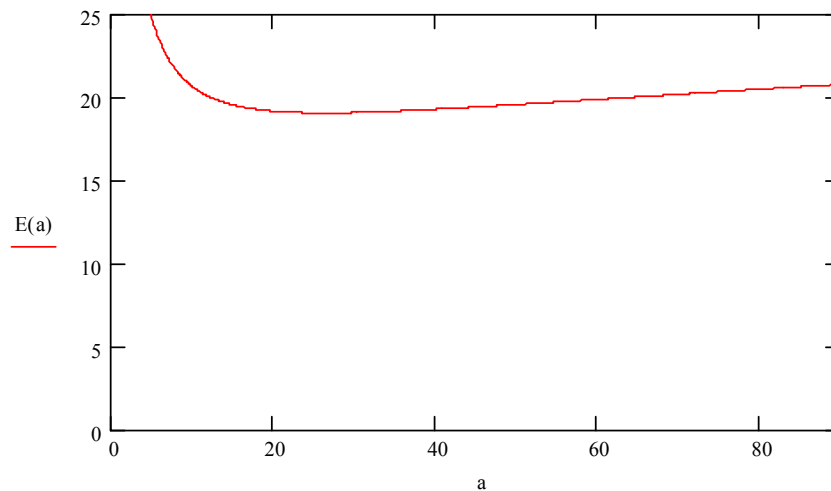


Рисунок 2 – График зависимости  $E_{\max}(a)$

Оптимальным значением шага расщепления  $a_{\text{опт}}$  принимается такое, при котором максимальная напряженность электрического поля становится минимальной, в рассматриваемом случае получим:

$$\min (E_{\max}(a)) = 19,044 \frac{\text{кВ}}{\text{см}} \text{ при } a_{\text{опт}} = 25,856 \text{ см.}$$

Определим границу санитарно-защитной зоны линии по шуму для найденного минимального значения  $E_{\max}$ :

$$R'_{\min} = 10^{0,1 \cdot (16 + 1,14 \cdot 19,044 + 9 \cdot 1,26 + 15 \cdot \lg 3 + 10 \cdot \lg 3 - 45)} = 39,61 \text{ м.}$$

Таким образом, принятие оптимального шага расщепления приводит к уменьшению границы санитарно-защитной зоны для воздушной линии по шуму на 29 %:

$$\Delta R = \frac{R_{\min} - R'_{\min}}{R_{\min}} \cdot 100\% = \frac{55,81 - 39,61}{55,81} \cdot 100\% = 29\%.$$

#### Рекомендуемая литература к задаче № 3

1. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 360 с.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

#### ЗАДАЧА №4

Определить напряженность электрического поля на высоте  $h=1,8$  м от земли на разных расстояниях  $r$  от оси для ВЛ 500 кВ в середине пролета. Построить зависимость  $E(r)$ . Определить границы и размер СЗЗ ВЛ по ЭП ПЧ для случая ее прохождения вблизи территории селитебной зоны. Сделать выводы. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними  $d=10,5$  м. Фазы расщепленные, состоящие из трех проводов АС-330 радиусом  $r_0=1,26$  см с шагом расщепления  $a=76$  см. Высота подвеса проводов на опоре  $H_{п}=22$  м, габарит линии  $H_0=8,65$  м, средняя высота подвеса проводов над землей  $H_{ср}=13,1$  м. Грозозащитные тросы изолированы от опор, т.е. влияние их на электрическое поле проводов не учитывается.

#### Порядок решения задачи № 3

Напряженность электрического поля, создаваемого ВЛЭП, можно разложить на две составляющие – горизонтальную и вертикальную, которые соответственно равны /1/ (см. рис. 1):

$$E_x = \frac{C \cdot U_{\phi}}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2}, \quad (1)$$

$$E_y = \frac{C \cdot U_{\phi}}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \sqrt{(2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2}, \quad (2)$$

где  $k_1, k_2, \dots, k_6$  – коэффициенты;

$C$  – емкость фазы трехфазной линии относительно земли на единицу длины линии, Ф/м;

$U_{\phi}$  – фазное напряжение линии, кВ;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м ( $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ).

Искомая напряженность электрического поля трехфазной ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (3)$$

или

$$E = \frac{C \cdot U_{\phi}}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2}, \quad (4)$$

Значение  $C$  определяется по формуле

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0}{\ln \frac{2 \cdot H_{cp} \cdot d}{r \sqrt[3]{(4 \cdot H_{cp}^2 + d^2) \sqrt{H_{cp}^2 + d^2}}}}, \quad (5)$$

где  $H_{cp}$  – средняя высота подвеса проводов над поверхностью земли, м;  
 $d$  – расстояние между фазными проводами, м;  
 $r$  – эквивалентный радиус провода, м.

Эквивалентный радиус провода рассчитывается по формуле

$$r = P \sqrt[3]{r_0 \cdot a^{n-1}}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество проводов в расщепленной фазе;

$P$  – поправочный коэффициент, при  $n = 3$   $P = 1$ ;

$a$  – шаг расщепления, см.

Коэффициенты  $k_1, k_2 \dots k_6$  вычисляются соответственно по формулам:

$$k_1 = \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2}; \quad (7)$$

$$k_2 = \frac{H_0 - h}{m_A^2} + \frac{H_0 + h}{n_A^2}; \quad (8)$$

$$k_3 = \frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2}; \quad (9)$$

$$k_4 = \frac{H_0 - h}{m_B^2} + \frac{H_0 + h}{n_B^2}; \quad (10)$$

$$k_5 = \frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2}; \quad (11)$$

$$k_6 = \frac{H_0 - h}{m_C^2} + \frac{H_0 + h}{n_C^2}. \quad (12)$$

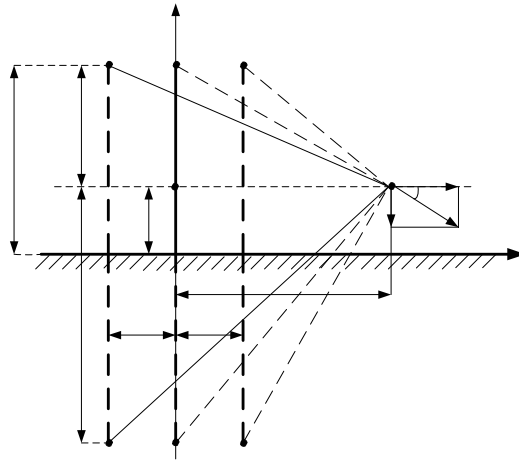


Рисунок 1 – К расчету напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого воздушной линией, у поверхности земли на высоте  $h$

Отрезки  $m$  и  $n$  являются гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (рис. 1) и определяются следующими уравнениями:

$$m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H_0 - h)^2}, \quad n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H_0 + h)^2}, \quad (13)$$

$$m_B = \sqrt{x^2 + (H_0 - h)^2}, \quad n_B = \sqrt{x^2 + (H_0 + h)^2}, \quad (14)$$

$$m_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H_0 - h)^2}, \quad n_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H_0 + h)^2}, \quad (15)$$

где  $x$  – расстояние от оси линии до расчетной точки, м;

$H_0$  – габарит линии, м;

$h$  – высота расчетной точки, м.

Подставляем исходные данные и решаем задачу в числах.

Предварительно определяем емкость фазы относительно земли:

$$r = 1 \cdot \sqrt[3]{0,0126 \cdot 0,76^{3-1}} = 0,194 \text{ м}$$

$$C = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{\ln \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 10,5}{0,194 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 13,1^2 + 10,5^2)} \sqrt{13,1^2 + 10,5^2}}} = 1,36 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}$$

Высота расчетной точки принимаем равным 1,8 м /2/.

Ниже приведены расчеты напряженности электрического поля для  $x=0$  м и  $x=45$  м.

1. Расчетная точка находится под средней фазой ( $x = 0$ )

Находим отрезки  $m$  и  $n$ :

$$m_A = m_C = \sqrt{10,5^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 12,54 \text{ м};$$

$$n_A = n_C = \sqrt{10,5^2 + (8,65 + 1,8)^2} = 14,81 \text{ м};$$



$$m_B = 8,65 - 1,8 = 6,85 \text{ м};$$

$$n_B = 8,65 + 1,8 = 10,45 \text{ м}.$$

Определяем коэффициенты k:

$$k_1 = \frac{10,5}{12,54^2} - \frac{10,5}{14,81^2} = 1,89 \cdot 10^{-2};$$

$$k_2 = \frac{8,65 - 1,8}{12,54^2} + \frac{8,65 + 1,8}{14,81^2} = 9,12 \cdot 10^{-2};$$

$$k_3 = 0;$$

$$k_4 = \frac{8,65 - 1,8}{6,85^2} + \frac{8,65 + 1,8}{10,45^2} = 0,242;$$

$$k_5 = \frac{-10,5}{12,54^2} - \frac{-10,5}{14,81^2} = -1,89 \cdot 10^{-2};$$

$$k_6 = \frac{8,65 - 1,8}{12,54^2} + \frac{8,65 + 1,8}{14,81^2} = 9,12 \cdot 10^{-2}.$$

Горизонтальная составляющая напряженности:

$$E_x = \frac{1,36 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \sqrt{(2 \cdot 1,89 \cdot 10^{-2} - 0 + 1,89 \cdot 10^{-2})^2 + 3(0 + 1,89 \cdot 10^{-2})^2} =$$

$$= 2,312 \text{ кВ/м}.$$

Вертикальная составляющая:

$$E_y = \frac{1,36 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times$$

$$\times \sqrt{(2 \cdot 9,12 \cdot 10^{-2} - 0,242 - 9,12 \cdot 10^{-2})^2 + 3(0,242 - 9,12 \cdot 10^{-2})^2} = 10,64 \text{ кВ/м}.$$

Суммарная напряженность:

$$E = \sqrt{2,312^2 + 10,64^2} = 10,89 \text{ кВ/м}.$$

2. Расчетная точка находится на расстоянии  $x = 45$  м от оси воздушной линии.

Находим отрезки m и n:

$$m_A = \sqrt{(45 + 10,5)^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 55,92 \text{ м}$$

$$n_A = \sqrt{(45+10,5)^2 + (8,65+1,8)^2} = 56,48 \text{ м}$$

$$m_B = \sqrt{45^2 + (8,65-1,8)^2} = 45,52 \text{ м}$$

$$n_B = \sqrt{45^2 + (8,65+1,8)^2} = 46,2 \text{ м}$$

$$m_C = \sqrt{(45-10,5)^2 + (8,65-1,8)^2} = 35,2 \text{ м}$$

$$n_C = \sqrt{(45-10,5)^2 + (8,65+1,8)^2} = 36 \text{ м}$$

Определяем коэффициенты k:

$$k_1 = \frac{45+10,5}{55,92^2} - \frac{45+10,5}{56,48^2} = 3,5 \cdot 10^{-4}$$

$$k_2 = \frac{8,65-1,8}{55,92^2} + \frac{8,65+1,8}{56,48^2} = 5,5 \cdot 10^{-3}$$

$$k_3 = \frac{45}{45,52^2} - \frac{45}{46,2^2} = 6,35 \cdot 10^{-4}$$

$$k_4 = \frac{8,65-1,8}{45,52^2} + \frac{8,65+1,8}{46,2^2} = 8,2 \cdot 10^{-3}$$

$$k_5 = \frac{45-10,5}{35,2^2} - \frac{45-10,5}{36^2} = 1,22 \cdot 10^{-3}$$

$$k_6 = \frac{8,65-1,8}{35,2^2} + \frac{8,65+1,8}{36^2} = 0,014$$

Горизонтальная составляющая напряженности:

$$E_x = \frac{1,36 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times$$

$$\times \sqrt{(2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4} - 6,35 \cdot 10^{-4} - 1,22 \cdot 10^{-3})^2 + 3(6,35 \cdot 10^{-4} - 1,22 \cdot 10^{-3})^2} = 0,054 \text{ кВ/м.}$$

Вертикальная составляющая:

$$E_y = \frac{1,36 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times$$

$$\times \sqrt{(2 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} - 8,2 \cdot 10^{-3} - 0,014)^2 + 3(8,2 \cdot 10^{-3} - 0,014)^2} = 0,445 \text{ кВ/м.}$$

Суммарная напряженность:

$$E = \sqrt{0,054^2 + 0,445^2} = 0,448 \text{ кВ/м}$$

На рисунке 2 представлен график полученной зависимости  $E(R)$ , построенный по формуле (3) с помощью программно-вычислительного комплекса Mathcad, а в таблице 1 некоторые значения  $E(R)$ .

Таблица 1 – Значения  $E(r)$

$r, \text{ м}$	0	10	10,5	20	30	36,08	40
$E(r), \text{ кВ/м}$	10,89	13,03	13,211	5,623	1,755	1	0,729

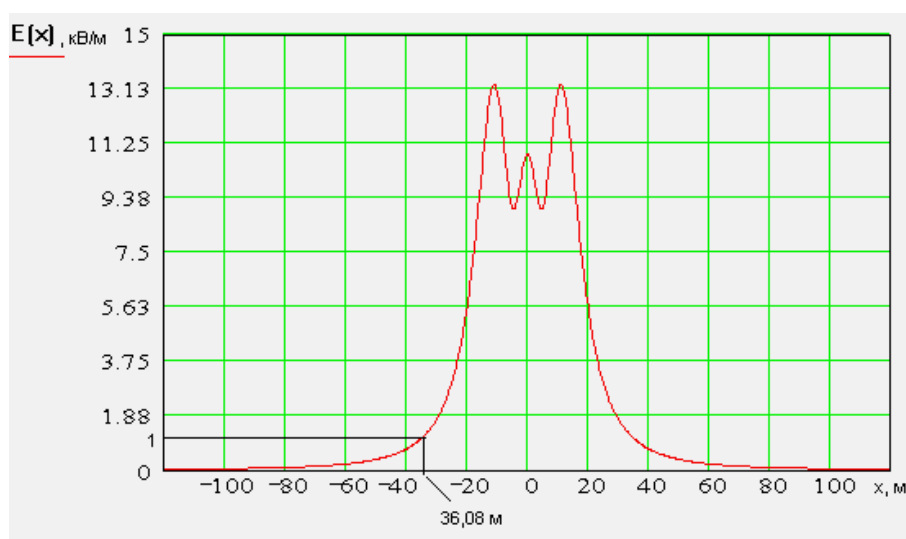


Рисунок 2 – График зависимости  $E(R)$  для  $a=76 \text{ см}$

Для территории селитебной зоны предельно допустимый уровень напряженности электрического поля составляет 1 кВ/м [2]. Согласно графику, напряженность поля принимает значение 1 кВ/м на расстоянии 36,08 м от оси воздушной линии.

Границы санитарно-защитной зоны для воздушной линии по электрическому полю промышленной частоты равна [2]

$$L_{СЗЗ} = 36,08 - d = 36,08 - 10,5 = 25,58 \text{ м.}$$

Проведем аналогичные расчеты для оптимального шага расщепления. Как известно из третьей задачи  $a_{\text{опт}} = 25,86 \text{ см}$ .

$$r = 1 \cdot \sqrt[3]{0,0126 \cdot 0,25856^{3-1}} = 0,094 \text{ м}$$

$$C = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{\ln \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 10,5}{0,094 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 13,1^2 + 10,5^2) \sqrt{13,1^2 + 10,5^2}}}} = 1,154 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}$$

1. Расчетная точка находится под средней фазой ( $x = 0$ )

Находим отрезки  $m$  и  $n$ :

$$m_A = m_C = \sqrt{10,5^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 12,54 \text{ м};$$

$$n_A = n_C = \sqrt{10,5^2 + (8,65 + 1,8)^2} = 14,81 \text{ м};$$

$$m_B = 8,65 - 1,8 = 6,85 \text{ м};$$

$$n_B = 8,65 + 1,8 = 10,45 \text{ м}.$$

Определяем коэффициенты  $k$ :

$$k_1 = \frac{10,5}{12,54^2} - \frac{10,5}{14,81^2} = 1,89 \cdot 10^{-2};$$

$$k_2 = \frac{8,65 - 1,8}{12,54^2} + \frac{8,65 + 1,8}{14,81^2} = 9,12 \cdot 10^{-2};$$

$$k_3 = 0;$$

$$k_4 = \frac{8,65 - 1,8}{6,85^2} + \frac{8,65 + 1,8}{10,45^2} = 0,242;$$

$$k_5 = \frac{-10,5}{12,54^2} - \frac{-10,5}{14,81^2} = -1,89 \cdot 10^{-2};$$

$$k_6 = \frac{8,65 - 1,8}{12,54^2} + \frac{8,65 + 1,8}{14,81^2} = 9,12 \cdot 10^{-2}.$$

Горизонтальная составляющая напряженности:

$$E_x = \frac{1,154 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \sqrt{(2 \cdot 1,89 \cdot 10^{-2} - 0 + 1,89 \cdot 10^{-2})^2 + 3(0 + 1,89 \cdot 10^{-2})^2} =$$

$$= 1,968 \text{ кВ/м}.$$

Вертикальная составляющая:

$$E_y = \frac{1,154 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times \\ \times \sqrt{(2 \cdot 9,12 \cdot 10^{-2} - 0,242 - 9,12 \cdot 10^{-2})^2 + 3(0,242 - 9,12 \cdot 10^{-2})^2} = 9,018 \text{ кВ/м.}$$

Суммарная напряженность:

$$E = \sqrt{1,968^2 + 9,018^2} = 9,23 \text{ кВ/м.}$$

2. Расчетная точка находится на расстоянии  $x = 45$  м от оси воздушной линии.  
Находим отрезки  $m$  и  $n$ :

$$m_A = \sqrt{(45 + 10,5)^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 55,92 \text{ м;}$$

$$n_A = \sqrt{(45 + 10,5)^2 + (8,65 + 1,8)^2} = 56,48 \text{ м;}$$

$$m_B = \sqrt{45^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 45,52 \text{ м;}$$

$$n_B = \sqrt{45^2 + (8,65 + 1,8)^2} = 46,2 \text{ м;}$$

$$m_C = \sqrt{(45 - 10,5)^2 + (8,65 - 1,8)^2} = 35,2 \text{ м;}$$

$$n_C = \sqrt{(45 - 10,5)^2 + (8,65 + 1,8)^2} = 36 \text{ м.}$$

Определяем коэффициенты  $k$ :

$$k_1 = \frac{45 + 10,5}{55,92^2} - \frac{45 + 10,5}{56,48^2} = 3,5 \cdot 10^{-4};$$

$$k_2 = \frac{8,65 - 1,8}{55,92^2} + \frac{8,65 + 1,8}{56,48^2} = 5,5 \cdot 10^{-3};$$

$$k_3 = \frac{45}{45,52^2} - \frac{45}{46,2^2} = 6,35 \cdot 10^{-4};$$

$$k_4 = \frac{8,65 - 1,8}{45,52^2} + \frac{8,65 + 1,8}{46,2^2} = 8,2 \cdot 10^{-3};$$

$$k_5 = \frac{45 - 10,5}{35,2^2} - \frac{45 - 10,5}{36^2} = 1,22 \cdot 10^{-3};$$

$$k_6 = \frac{8,65 - 1,8}{35,2^2} + \frac{8,65 + 1,8}{36^2} = 0,014.$$

Горизонтальная составляющая напряженности:

$$E_x = \frac{1,154 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times$$

$$\times \sqrt{(2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4} - 6,35 \cdot 10^{-4} - 1,22 \cdot 10^{-3})^2 + 3(6,35 \cdot 10^{-4} - 1,22 \cdot 10^{-3})^2} = 0,053 \text{ кВ/м.}$$

Вертикальная составляющая:

$$E_y = \frac{1,154 \cdot 10^{-11} \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \times$$

$$\times \sqrt{(2 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} - 8,2 \cdot 10^{-3} - 0,014)^2 + 3(8,2 \cdot 10^{-3} - 0,014)^2} = 0,428 \text{ кВ/м.}$$

Суммарная напряженность:

$$E = \sqrt{0,053^2 + 0,428^2} = 0,432 \text{ кВ/м.}$$

На рисунке 3 представлен график полученной зависимости  $E(R)$ , построенный по формуле (3) с помощью программно-вычислительного комплекса Mathcad, а в таблице 2 некоторые значения  $E(R)$ .

Таблица 2 – Значения  $E(r)$  для  $a_{\text{опт}}$

r, м	0	10	10,5	20	30	34,2	40
$E(r)$ , кВ/м	9,23	11,069	11,223	4,777	1,491	1	0,619

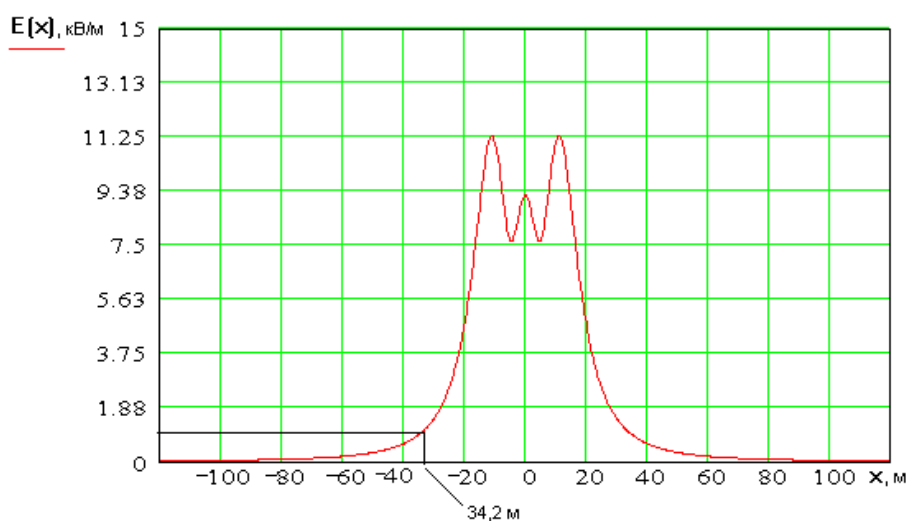


Рисунок 3 – График зависимости  $E(R)$  для  $a=25,86$  см

Напряженность электрического поля принимает значение 1 кВ/м на расстоянии 34,2 м от оси воздушной линии.

Границы санитарно-защитной зоны для воздушной линии по электрическому полю промышленной частоты равна

$$l'_{СЗЗ} = 34,2 - d = 34,2 - 10,5 = 23,7 \text{ м}$$

$$\Delta l = \frac{l_{СЗЗ} - l'_{СЗЗ}}{l_{СЗЗ}} \cdot 100 = \frac{36,08 - 34,2}{36,08} \cdot 100 = 5,2 \%$$

Таким образом, для оптимального шага расщепления размер санитарно-защитной зоны для воздушной линии по электрическому полю промышленной частоты уменьшается на 5,2 % по сравнению с исходным значением -  $a=76$  см.

#### Рекомендуемая литература к задаче № 4

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
2. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты. N 2971-84.

#### ЗАДАЧА №5

На ОРУ установлен маслонаполненный силовой трансформатор. Масса трансформаторного масла в трансформаторе равна М. Габариты трансформатора А\*В.

1. Описать конструкцию маслоприемника.
2. Определить габариты маслоприемника.

#### Исходные данные для расчета

Трансформатор	Масса трансформаторного масла в трансформаторе М, кг	Габариты трансформатора		
		Длина А, мм	Ширина В, мм	Высота Н, мм
ТРДНС-32000/35	15500	6600	4300	3340

#### Порядок решения задачи № 3

В соответствии с п. 4.2.69 ПУЭ (7-я редакция), если в трансформаторе (реакторе) масса трансформаторного масла меньше 20 тонн, то маслоприемник допускается выполнять без отвода масла. По условию данной задачи масса трансформаторного масла равна 15,5 т, следовательно, выполняем маслоприемник без отвода масла заглубленной конструкции. Маслоприемник закрывается металлической решеткой, поверх которой должен быть насы-

пан слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной не менее 0,25 м, либо непористого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм.

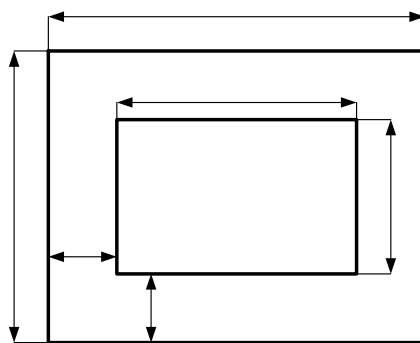


Рисунок 1 – Габаритные размеры трансформатора и маслоприемника

Габариты маслоприемника при массе трансформаторного масла от 10 до 50 тонн должны выступать за габариты трансформатора не менее чем на  $\Delta=1,5$  м (см. рис.1).

1. Определяем габариты маслоприемника:

$$V = A + 2\Delta = 6600 + 2 \cdot 1500 = 9600 \text{ мм} = 9,6 \text{ м}; \quad (1)$$

$$\Gamma = B + 2\Delta = 4300 + 2 \cdot 1500 = 7300 \text{ мм} = 7,3 \text{ м}. \quad (2)$$

Площадь маслоприемника:

$$S_{МП} = (A + 2\Delta) \cdot (B + 2\Delta) = 9,6 \cdot 7,3 = 70,08 \text{ м}^2. \quad (3)$$

2. Определяем объем маслоприемника

Объем маслоприемника без отвода масла следует рассчитывать на прием 100 % объема масла, залитого в трансформатор, и 80 % воды от средств пожаротушения из расчета орошения площадей маслоприемника и боковых поверхностей трансформатора с интенсивностью  $0,2 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 30 минут:

$$V_{МП} = V_{TM} + 0,8V_{H_2O}, \quad (4)$$

где  $V_{TM}$  – объем трансформаторного масла,  $\text{м}^3$ ;

$V_{H_2O}$  – объем воды от средств пожаротушения,  $\text{м}^3$ .

Объем трансформаторного масла определяем по формуле

$$V_{TM} = \frac{M_{TM}}{\rho_{TM}}, \quad (5)$$

где  $M_{TM}$  – масса трансформаторного масла, кг;

$\rho_{TM}$  – плотность трансформаторного масла,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ( $\rho_{TM} = (880 - 890) \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

Принимаем для расчетов  $\rho_{TM} = 880 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Объем воды от средств пожаротушения определяем по формуле

$$V_{H_2O} = I \cdot t \cdot (S_{МП} + S_{БТ}), \quad (6)$$



где  $I$  – интенсивность пожаротушения, л/(с·м<sup>2</sup>) ( $I = 0,2$  л/(с·м<sup>2</sup>) =  $0,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>));  
 $t$  – нормативное время пожаротушения, мин ( $t = 30$  мин = 1800 с);  
 $S_{БТ}$  – площадь боковой поверхности трансформатора, м<sup>2</sup>.

Площадь боковой поверхности трансформатора равна

$$S_{БТ} = 2 \cdot (A + B) \cdot H = 2 \cdot (6,6 + 4,3) \cdot 3,34 = 72,812 \text{ м}^2. \quad (7)$$

Объем трансформаторного масла:

$$V_{ТМ} = \frac{15500}{880} = 17,6 \text{ м}^3$$

Объем воды от средств пожаротушения:

$$V_{H_2O} = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 \cdot (70,08 + 72,812) = 51,44 \text{ м}^3$$

Объем маслоприемника для приема 100 % трансформаторного масла и 80 % воды:

$$V_{МП} = 17,6 + 0,8 \cdot 51,44 = 58,752 \text{ м}^3$$

3. Определяем глубину маслоприемника

$$h_{МП} = h_{ТМ+H_2O} + h_{Г} + h_{В} = \frac{V_{МП}}{S_{МП}} + h_{Г} + h_{В}, \quad (8)$$

где  $h_{ТМ+H_2O}$  – толщина слоя трансформаторного масла и воды, м;

$h_{Г}$  – толщина слоя гравия, м;

$h_{В}$  – толщина воздушного промежутка, м.

В соответствии с требованиями ПУЭ принимаем  $h_{Г} = 0,25$  м,  $h_{В} = 0,05$  м, тогда глубина маслоприемника равна:

$$h_{МП} = \frac{58,752}{70,08} + 0,25 + 0,05 = 1,14 \text{ м}.$$

Конструкция маслоприемника приведена на рис. 2.

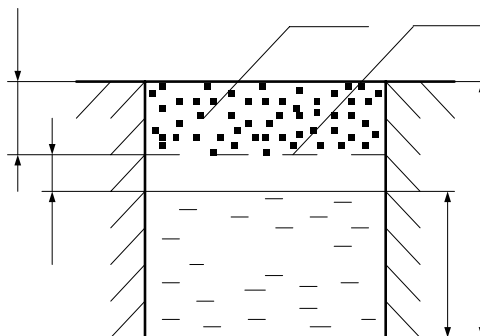


Рисунок 2 – Конструкция маслоприемника

**7. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников.**

Информационно-правовые системы “Гарант”, “Консультант плюс”, программно-вычислительный комплекс “Mathcad”.

**8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов** изложены в рабочей программе дисциплины и материалах данного УМКД.

**9. Комплекты заданий для практических работ, контрольных работ, домашних заданий** изложены в рабочей программе дисциплины и материалах данного УМКД.

**10. Фонд расчетно-графических работ и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”** изложены в рабочей программе дисциплины и материалах данного УМКД.

**11. Вопросы к зачету по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды”** приведены в рабочей программе.

**12. Карта обеспеченности дисциплины “Электроэнергетика и охрана окружающей среды” кадрами профессорско-преподавательского состава.**

1. Лекции по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды” читает доцент, кандидат технических наук Булгаков Андрей Борисович.

2. Практические занятия по дисциплине “Электроэнергетика и охрана окружающей среды” проводит доцент, кандидат технических наук Булгаков Андрей Борисович.

Андрей Борисович Булгаков,  
доцент кафедры БЖД АмГУ, канд. техн. наук

Электроэнергетика и охрана окружающей среды: УМКД

---

Изд-во АмГУ. Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_. Усл. печ. л.  
\_\_\_\_\_, уч. изд. л. \_\_\_\_\_. Тираж 100. Заказ \_\_\_\_\_.  
Отпечатано в типографии АмГУ.