

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А.»
(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
САРАТОВСКИЙ КОЛЛЕДЖ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИКИ

«СОГЛАСОВАНО»
Решением П(Ц)МК
Протокол № _____
от «__» _____ 20__ г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора по УР
_____ С.В. Клюквина
«__» _____ 20__ г.

***Методические рекомендации для студентов по
проведению лабораторно-практических занятий***

МДК 02.02

***Устройство и техническое обслуживание сетей
электроснабжения
для специальности «Электроснабжение (по отраслям)»***

Саратов 2018

Разработал преподаватель СКМ и Э ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.» Мелехина Т.М.

Данные методические рекомендации предназначены для студентов 3 курса, специальности **13.02.07 «Электроснабжение» (по отраслям)** (базовой подготовки).

по дисциплине: МДК 02.02 Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения

Данное пособие не содержит сведения экстремистского характера и не несет террористическую угрозу.

Данное пособие может быть использовано при дистанционном обучении

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Цель лабораторно-практических занятий.....	5
<i>Организация</i> лабораторно-практического занятия.....	7
Структура лабораторно-практического занятия.....	10
Список рекомендуемой литературы	11
Техника безопасности при работах. в лаборатории	11

Введение

Лабораторные работы и практические занятия, как виды учебных занятий, направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений и составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки. Семинар является видом практических занятий.

В процессе лабораторной работы или практического занятия обучающиеся выполняют одну или несколько лабораторных работ, одно или несколько практических заданий под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала.

Выполнение обучающимися лабораторных работ/ практических занятий проводится с целью:

- формирования практических умений в соответствии с требованиями к уровню подготовки обучающихся, установленными рабочей программой дисциплины/ профессионального модуля по конкретным разделам/ темам дисциплин или междисциплинарных курсов;
- обобщения, систематизации, углубления, закрепления полученных теоретических знаний;
- совершенствования умений применять полученные знания на практике, реализации единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развития интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- выработки таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива при решении поставленных задач при освоении общих компетенций.

– **Цель лабораторно-практических занятий**

В результате освоения учебной дисциплины «Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения» обучающийся должен уметь;

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;
- контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе;
- сетей;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать;

ОК 1	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 2	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 3	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие
ОК 4	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 5	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального культурного контекста
ОК 6	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей
ОК 7	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях
ОК 8	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности
ОК 9	Использовать информационные технологии в

	профессиональной деятельности
ОК 10	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках
ОК 11	Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере
ПК 2.1	Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей.
ПК 2.2	Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии.
ПК 2.3	Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем.
ПК 2.4	Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения.
ПК 2.5	Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Организация лабораторно-практического занятия

Лабораторная работа как вид учебного занятия должна проводиться в специально оборудованных учебных лабораториях. Продолжительность лабораторной работы - не менее двух академических часов. Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности обучающихся, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или специально оборудованных лабораториях.

В соответствии с требованиями ФГОС СПО реализация ППСЗ должна обеспечивать выполнение обучающимися лабораторных работ и практических занятий, включая как обязательный компонент *практические занятия с использованием персональных компьютеров*.

Выполнению лабораторных работ/практических занятий предшествует проверка знаний обучающихся - их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные работы/практические занятия могут носить репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие *репродуктивный характер*, отличаются тем, что при их проведении обучающиеся пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие *частично-поисковый характер*, отличаются тем, что при их проведении обучающиеся не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и они требуют от обучающихся самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературе и др.

Работы, носящие *поисковый характер*, характеризуются тем, что обучающиеся, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания, должны решить новую для них проблему.

При планировании лабораторных работ/практических занятий необходимо находить оптимальное соотношение репродуктивных, частично-поисковых и поисковых работ, чтобы обеспечить высокий уровень интеллектуальной деятельности.

Формы организации обучающихся при проведении лабораторных работ/практических занятий - фронтальная, групповая и индивидуальная.

При *фронтальной форме* организации занятий все обучающиеся выполняют одновременно одну и ту же работу.

При *групповой форме* организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек.

При *индивидуальной форме* организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Для повышения эффективности проведения лабораторных работ/практических занятий рекомендуется:

- разработка сборников задач, заданий и упражнений;
- разработка контрольно-диагностических материалов для контроля за подготовленностью обучающихся к лабораторным работам или практическим занятиям, в том числе в форме педагогических тестовых материалов для автоматизированного контроля;
- подчинение методики проведения лабораторных работ и практических занятий ведущим дидактическим целям с соответствующими установками обучающимся;
- использование в практике преподавания поисковых лабораторных работ, построенных на проблемной основе;
- применение коллективных и групповых форм работы, максимальное использование индивидуальных форм с целью повышения ответственности каждого обучающегося за самостоятельное выполнение полного объема работ;
- проведение лабораторных работ и практических занятий на повышенном уровне трудности с включением в них заданий, связанных с выбором обучающимися условий выполнения работы, конкретизацией целей, самостоятельным отбором необходимого оборудования;

- подбор дополнительных задач и заданий для обучающихся, работающих в более быстром темпе, для эффективного использования времени, отводимого на лабораторные работы и практические занятия.

Структура лабораторно-практического занятия

Лабораторно-практическое занятие №

Тема:

Цель (дидактическая):

Характер работы:

Форма:

Содержание:

Материально-техническое обеспечение:

Задание 1.

Задание 2.

Пример выполнения:

Критерии оценки:

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Южаков Б.Г. Монтаж, наладка, обслуживание и ремонт электрических установок. - М.: 2017.
2. Петров Е.Б. Электрические подстанции./Методическое пособие по дипломному и курсовому проектированию. - М.: «Маршрут», 2017.
3. Почаевец В.С. Электрооборудование и аппаратура электрических подстанций.
Иллюстрированное учебное пособие. - М.: УМК МПС России, 2017.
4. Ерохин Е.А. Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание контактной
сети и воздушных линий: Учебник для профессиональной подготовки работников. - М. 2017.
5. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок.- М.: Высшая школа, 2017

Дополнительная литература:

6. Южаков Б.Г. Технология и организация обслуживания и ремонта устройств электроснабжения. - М.: Маршрут, 2017.
7. Правила устройства электроустановок. Разделы 1, 6, 7. 7-е изд. - С-Пб.: ЦОТПБСП, 2017
8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок - ПОТ РМ-16 С-Пб.: ЦОТПБСП, 2016
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.
Госэнергонадзор Минэнерго России. - С.-Пб.: ООО «БАРС», 2016.

Федеральный портал «Российское образование» edu.ru.

Техника безопасности при работах в лаборатории электрического и электромеханического оборудования машин

Лабораторные стенды и агрегаты в лаборатории электрического и электромеханического оборудования являются действующими электроустановками, отдельные элементы которых находятся под напряжением. Необходимо помнить, что многие элементы схемы лабораторной установки доступны для прикосновения, а вращающиеся части, хотя и имеют защитные устройства, все же не исключают «захвата» одежды или механического удара. Поэтому студенты в лаборатории должны соблюдать исключительную осторожность и *правила техники безопасности*:

- 1) студент, находясь в лаборатории, должен быть предельно дисциплинированным и внимательным; беспрекословно выполнять все указания преподавателей и лаборантов; находиться непосредственно у исследуемой лабораторной установки;
- 2) запрещается подходить к другим установкам, распределительным щиткам и пульпам и делать на них какие-либо включения или переключения; включать установку в сеть, если кто-нибудь касается ее неизолированной токоведущей части; производить в ней какие-либо присоединения, если установка находится под напряжением; во время работы электрической машины касаться вращающихся частей или наклоняться к ним близко; оставлять без наблюдения лабораторную установку или отдельные ее приборы под напряжением;
- 3) при перемещениях движков и рукояток пускорегулирующей аппаратуры необходимо следить за тем, чтобы рука была в соприкосновении только с изолированной рукояткой;
- 4) одежда не должна иметь свободно свисающих концов шарфов, косынок, галстуков и т.п., а прическа или головной убор должны исключать возможность «свисания» прядей волос;

- 5) если схема содержит конденсаторы, то после ее отключения необходимо разрядить конденсаторы , замкнув накоротко их выводы;
- 6) при работе с лабораторной установкой, находящейся под напряжением, студенты должны стоять на изоляционных резиновых ковриках;
- 7) о всех замеченных случаях неисправности в работе установок и нарушении правил техники безопасности студент должен немедленно доложить преподавателю;
- 8) если произошел несчастный случай, лабораторную установку следует немедленно отключить, оказать пострадавшему первую помощь, одновременно сообщив об этом преподавателю.

Инструктаж по технике безопасности должен быть зафиксирован в специальном журнале, где каждый студент после изучения правил техники безопасности должен расписаться.

**Практические занятия, выполняемые по дисциплине «МДК
02.02. Устройство и техническое обслуживание электрических
сетей»
3 курс**

Лабораторно-практические работы	Наименование работы	Кол. часов	Страница
Практическая работа №1	Составление графика ППР оборудования электрических подстанций	4	
Практическая работа №2	Расследование при отказе оборудования и заполнение акта	4	
Практическая работа №3	Расчет времени на текущий ремонт электрооборудования	4	
Практическая работа №4	Допуск к работе по текущему ремонту силовых трансформаторов	4	
Практическая работа №5	Выбор и проверка силовых выключателей	4	
Лабораторная работа №1	Проверка технического состояния силового трансформатора	2	
Лабораторная работа №2	Текущий ремонт трансформатора тока	4	
Лабораторная работа №3	Текущий ремонт трансформатора напряжения	4	
Лабораторная работа №4	Составление дефектной ведомости при капитальном ремонте силового трансформатора	4	

Практическая работа1

Тема: Электрический расчет кабельной линии.

Цели и задачи урока: Освоить методику расчета кабельной линии.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Задание.

Кабельная линия трехфазного тока напряжением 10кВ, проложена в земле, питает две нагрузки, которые показаны на рисунке 1. Выбрать площадь сечения кабеля, если известно $T_{max1} = T_{max2} = 6000$ ч; t земли равна 4-10°C. Потери напряжения не должны превышать 6%. Оценить потери мощности, КПД и потери энергии в кабельной линии.

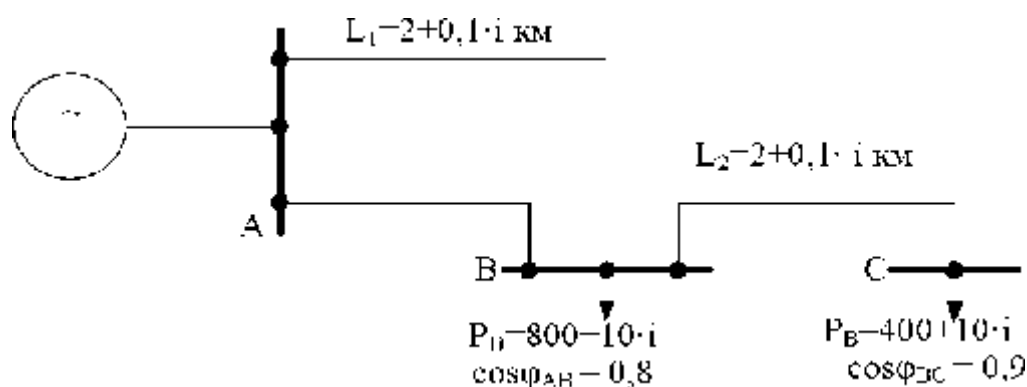


Рис. 1 - схема питания нагрузки кабельной линией

Ход урока:

Определяем реактивные мощности нагрузок, кВар

$$Q_B = ?$$

$$Q_C = P \tan \phi$$

Определяем токи в А нагрузок по формуле

$$; = \frac{S_B \cdot \sqrt{P_B^2 + Q_B^2}}{J \cdot 3 \cdot U_H \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3} \quad ($$

$$J = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3} +$$

Выбираем кабель ААБ для прокладки в земле. Нагрузка на кабели на участке АВ схемы.

$$I_{AB} = \frac{\sqrt{(P_B + P_c)^2 + (Q_B + Q_c)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3} \quad ZQ \text{ rA}$$

Выбираем кабель по длительно допустимой нагрузки. Исходим при этом из режима, когда на участке АВ один кабель отключён и вся нагрузка покрывается одним кабелем. Из таб. 1 выбираем трёхжильный кабель. Для выбранного кабеля выписываем значение допустимого тока $I_{дон}$. Производим проверку. Должно соблюдаться условие $I_{дон} \geq I_{AB}$ — (дв. Расчётная температура земли $+10^\circ\text{C}$, а нагрузка на кабели при температуре земли равна $+15^\circ\text{C}$. Коэффициент на температуру земли $\kappa_m = 1,04$

Таблица 1 - токовая нагрузка трёхжильного кабеля

Площадь сечения жил кабеля	Допустимая нагрузка при ин=10кВ I, А
16	75
25	90
35	115
50	140
70	165
95	205
120	240
150	275

С учётом температурного коэффициента должно соблюдаться условие

$$I_{дон} \geq I_{AB}$$

$$I_{дон} \geq I_{AB} = \kappa_m \cdot I_{AB}$$

Расчёт на параллельную укладку кабелей не ведём, так как при включенных двух кабелях нагрузка каждого будет составлять 50% от I_{AB}

$$\frac{I_{AB}}{2} = 0,5 \cdot I_{AB}$$

Производим выбор кабеля по экономической плотности тока. Для алюминиевого кабеля с бумажной изоляцией при $T_{max} > 5000$ ч имеем $j_{эк} = 1,2$ Л/лш². Исходя из экономической плотности тока, участок АВ должен иметь два кабеля.

$$S_{экAB} = \frac{I_{3K}^{AB}}{j}$$

В соответствии с полученным значением S_{3KAB} выбираем кабель по таблице 2.1.

Принимаем $r_{оав} = 0,62$ Ом/км., $r_{овс} = 1,24$ Ом/км., $x_{оав} = 0,09$ Ом/км., $x_{овс} = 0,096$ Ом/км.,

Определяем сопротивление участков по формулам

$$R_{AB} = R_{оAB}, R_{BC} = R_{овс} * k, R_{AB} = R_{оAB}, \\ k R_{BC} = R_{овс},$$

Пренебрегая ёмкостной проводимостью кабелей, находим потерю напряжения на фазу по формуле

Линейную потерю напряжения определяем по формуле, В

$$\Delta U_{л} = T \Delta U_{ф}.$$

В процентах по отношению к номинальному напряжению

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{л}}{U_N} \cdot 100.$$

ИЛИ

Следует отметить, что потеря напряжения определялась при одном отключении кабеля на участке АВ и в пренебрежении ёмкостной

$$\Delta P_{\Sigma} = 10^{-3} \left(\frac{P_1^2 \cdot r_{AB}}{U_H^2} + \frac{Q_B^2 \cdot r_{AB}}{U_H^2} + \frac{P_2^2 \cdot r_{BC}}{U_H^2} + \frac{Q_C^2 \cdot r_{BC}}{U_H^2} \right); \quad (2.14)$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = 10^{-3} \left(\frac{P_1^2 \cdot x_{AB}}{U_H^2} + \frac{Q_B^2 \cdot x_{AB}}{U_H^2} + \frac{P_2^2 \cdot x_{BC}}{U_H^2} + \frac{Q_C^2 \cdot x_{BC}}{U_H^2} \right). \quad (2.15)$$

проводимостью кабельной сети.

Определяем потерю мощности по формулам, кВт

Полную мощность, поступающую в сеть от источника А определяем по формуле

$$= P_v + jQ_z = P_{\text{в}} + P_c + AP^{\wedge} + j(Q_B + Q_c^{\wedge} Q_y).$$

КПД сети, %

$$\eta = \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{с}}} \cdot 100.$$

Определяем время наибольших потерь, ч

$$m_{\text{нб}} = (0,124 + T_{\text{max}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760.$$

Тогда годовая потеря энергии в линии трёхфазного тока определится по формуле кВтч/год

$$\Delta L = AP_x \cdot m_{\text{нб}}.$$

Содержание отчета:

1. Отчет на листах формата А4 в соответствии с Положением «Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль».
2. В практической работе необходимо отразить следующее:
 - А) Название практической работы.
 - Б) Цель практической работы.
 - В) Задание.
3. Выполненная практическая работа, в соответствии с заданием.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы:

1. Как расшифровывается маркировка выбранной кабельной линии?
2. Какая изоляция применяется для кабельной линии?
3. Сооружение кабельной траншеи.

Рекомендуемая литература

1. Мамошин Р.Р., Зимакова А.Н. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: транспорт, 1980 (не переиздавался).

Практическая работа 2

Тема: Электрический расчет воздушной линии

Цели и задачи урока- Освоить методику электрического расчета воздушной линии

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства ой линии.

Задание: рассчитать линию электропередачи (ЛЭП).

Таблица 2 - Исходные данные

Вариант	Максимальная мощность нагрузки в конце линии P , кВт	Коэффициент мощности $\cos(\varphi)$	Номинальное напряжение линии U , кВ	Длина линии l , км	Время использования максим. нагрузки $T_{\max}$, ч/год	Материал
1	2500	0,93	35	10	4700	алюминий
2	1900	0,9	35	12	4300	медь
3	2700	0,92	35	10	3700	медь
4	3600	0,9	10	15	4400	алюминий
5	6000	0,92	35	25	5800	алюминий
6	5300	0,93	35	25	3000	стале-алюминий
7	2000	0,9	35	10	4500	алюминий
8	2400	0,92	10	10	4200	медь
9	3500	0,93	10	15	3700	стале-алюминий
10	3200	0,9	10	15	3200	стале-алюминий

Ход урока-Рассчитать линию электропередачи (ЛЭП) - это значит определить:

- сечение провода и сформировать марку;
- потери мощности;
- потери напряжения.

Сечение провода, соответствующее минимальной стоимости передачи электроэнергии, называют экономическим. Правилами устройства электроустановок для определения расчетного экономического сечения q_{3R} рекомендуется метод экономической плотности тока. Для проведения

электрического расчета воздушной линии необходимо иметь структурную схему ЛЭП, указав на ней исходные данные (рис.2).

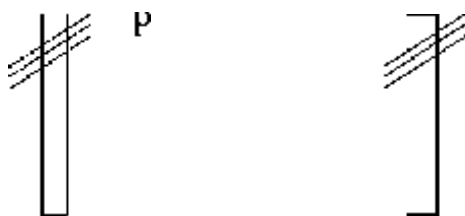


Рис.2 - Структурная схема ЛЭП

Максимальный рабочий ток линии рассчитывается по формуле (1), А

$$A_{\text{аб.макс}} = \dots$$

Для расчета экономического сечения проводника необходимо, используя табл. 1, определить плотность тока $j^{\wedge}$ (по материалу проводника и по числу часов использования максимума нагрузки за год $T_{\text{макс}}$).

Таблица 3 - Нормированные значения плотности тока

Проводник	Плотность тока $j^{\wedge}$ А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки за год $T_{\text{макс}}$, ч/год		
	1000-3000	3000-5000	Более 5000
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0

Экономическое сечение проводника рассчитывается по формуле (2)

$$- \frac{L_{\text{аб.макс}}}{C_{\text{эк}} \sim \dots}$$

Для выбора проводника (по сечению и допустимому току), согласно ПУЭ, используются данные из табл. 2

$$\frac{Y}{I_{\text{доп}}} > \frac{Y_{\text{эк}}}{I_{\text{раб.макс}}}$$

где q - сечение проводника, мм²;
 $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток, А.

Таблица 4 - допустимый ток на неизолированные провода

Сечение провода, мм ²	Допустимый ток для провода марки, А				
	А	АС	АСО	АСУ	М

4	-	-	-	-	50/25
6	-	-	-	-	70/35
10	-	80/50	-	-	95/60
16	105/75	105/75	-	-	130/100
25	135/105	130/100	-	-	180/135
35	170/130	175/135	-	-	220/170
50	215/165	210/165	-	-	270/215
70	265/210	265/210	-	-	340/270
95	320/255	330/260	-	-	415/225
120	375/300	380/305	-	375	485/395
150	440/355	445/365	450/365	450	570/465
185	500/410	510/425	505/420	515	640/530
240	590/490	610/505	605/505	610	760/685
300	680/570	690/585	690/580	705	880/740
400	815/690	835/715	825/710	850	1050/895
500	980/820	-	945/815	-	-
600	1070/930	-	1050/1075	-	-
700	-	-	1220/1075	-	-

Примечание: в зависимости от конструкции провода имеют следующие обозначения:

А - алюминиевый; АС - сталеалюминиевый; АСО - сталеалюминиевый облегченной конструкции; АСУ - сталеалюминиевый усиленной конструкции; М - медный.

Оптимальная длина ЛЭП определяется из предложенного диапазона по формулам (3), (4), (5)

$$D_{\text{ЛЭП}} = (0,3 \dots 1) \times l_{\text{пер}};$$

$$D_{\text{дЭП}} = I U_{\text{пер}};$$

ДлЭП_{мин} 0,3[_{пер}, где $U_{пер}$ - напряжение передачи, кВ.

Для определения потери напряжения необходимо рассчитать активное сопротивление провода на единицу длины (6)

$$z_0 = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{Ом/ км})$$

где γ - удельная проводимость для алюминиевых проводников, принимается 30 м/(Ом мм²), для медных - 50 м/(Ом мм²).

Потери напряжения в ЛЭП (7)

$$\Delta U_{ЛЭП} \% = \frac{z_0 l}{U_{пер}^2} (P_{ЛЭП} \cos \phi_{ЛЭП} + Q_{ЛЭП} \sin \phi_{ЛЭП})$$

где $\cos \phi_{ЛЭП}$ - коэффициент мощности ЛЭП;

x_0 - индуктивное сопротивление на единицу длины ЛЭП, для воздушной линии принимается 0,4 Ом/км, для кабельной - 0,08 Ом/км.

Чтобы перевести потери напряжения из процентов в киловольты, можно

$$\Delta U_{ЛЭП} (\text{кВ}) = \frac{\Delta U_{ЛЭП} (\%) \cdot U_{пер}}{100}$$

Потери мощности в ЛЭП рассчитываются по формуле

$$\Delta S_{ЛЭП} = \left(\frac{S_{пер}}{U_{пер}} \right)^2 \times \frac{L_{ЛЭП}}{1000} \times \sqrt{\left(\frac{r_0}{3} \right)^2 + x_0^2}$$

использовать формулу

Содержание отчета:

1. Отчет на листах формата А4 в соответствии с Положением «Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль».

2. В практической работе необходимо отразить следующее:

А) Название практической работы.

Б) Цель практической работы.

В) Задание.

3. Выполненная практическая работа, в соответствии с заданием.

4. Ответы на контрольные вопросы.

5. Вывод.

Контрольные вопросы:

1. Как расшифровывается маркировка выбранной воздушной линии?

2. Что называется экономическим сечением провода?

3.Чему равна наибольшая величина допустимых потерь напряжения в ЛЭП от номинального значения?

4.От чего зависит коэффициент мощности ЛЭП?

Практическое занятие №3

Тема :Расчет ЛЭП и выбор неизолированных проводов

Цели и задачи урока: Освоить методику расчета линий электропередачи.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Ход урока:

Рассчитать линию электропередачи (ЛЭП) — это значит определить:

- сечение провода и сформировать марку;
- потери мощности;
- потери напряжения.

• Сечение провода, соответствующее минимальной стоимости передачи электроэнергии (**ЭЭ**), называют **экономическим**.

ПУЭ (правила устройства электроустановок) рекомендуют для определения расчетного экономического сечения ($S_{ЭК}$) **метод экономической плотности тока**.

$$S_{ЭК} = I_{м.р.} / j_{ЭК}.$$

где $S_{ЭК}$ — экономическое сечение провода, $мм^2$;

$I_{м.р.}$ — максимальный расчетный ток в линии при нормальном режиме работы, А.

Для трехфазной сети

$$I = S_{пер.} / \sqrt{3} * V_{пер.}$$

$j_{ЭК}$. — экономическая плотность тока, $А/мм^2$; принимается на основании опыта эксплуатации.

$$j_{ЭК} = F(T_{м}, \text{вид проводника}),$$

где $T_{м}$ — время использования максимальной нагрузки за год, час.

Проводник — неизолированные провода	Тм, час		
	1000...3000	3000... 5000	5000... 8700
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0

Полученное расчетное экономическое сечение ($S_{ж}$) приводят к ближайшему стандартному значению.

Если получено большое сечение, то берется несколько параллельных проводов (линий) стандартного сечения так, чтобы суммарное сечение было близко к расчетному.

- Формируется марка провода, указывается допустимый ток.
- Оптимальное расстояние передачи ($L_{лэп}$, км) приближенно определяется из соотношения

$$L_{лэп.} = (0,3 \dots 1) V_{пер} ,$$

- Потери мощности в ЛЭП определяются по формулам

$$\Delta P_{лэп} = \left(\frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 R_{лэп}; \quad \Delta Q_{лэп} = \left(\frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 X_{лэп},$$

где $\Delta P_{\text{ЛЭП}}$ — потери активной мощности в ЛЭП, МВт;
 $\Delta Q_{\text{ЛЭП}}$ — потери реактивной мощности в ЛЭП, Мвар;
 $S_{\text{пер}}$ — полная передаваемая мощность, МВ А;
 $U_{\text{пер}}$ — напряжение передачи, кВ;
 $R_{\text{млп}}, X_{\text{млп}}$ — полное активное и индуктивное сопротивление, Ом;
 $n_{\text{ЛЭП}}$ — число параллельных линий.

$$\Delta S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{\Delta P^2_{\text{ЛЭП}} + \Delta Q^2_{\text{ЛЭП}}}$$

• Сопротивления в ЛЭП определяются из соотношений

$$R_{\text{ЛЭП}} = \frac{1}{n_{\text{ЛЭП}}} r_0 L_{\text{ЛЭП}}; \quad X_{\text{ЛЭП}} = x_0 L_{\text{ЛЭП}}$$

Где r_0, x_0 — удельные сопротивления, Ом/км.

Значение активного сопротивления на единицу длины определяется для воздушных, кабельных и других линий при рабочей температуре

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S}$$

где γ — удельная проводимость, м/(Ом мм²).

Так как чаще всего длительно допустимая температура проводников 65 или 70 °С, то без существенной ошибки принимают

$\gamma = 50$ м/(Ом мм²) для медных проводов,

$\gamma = 30$ м/(Ом мм²) для алюминиевых проводов;

S' — сечение проводника (одной жилы кабеля), мм².

Значение индуктивного сопротивления на единицу длины с достаточной точностью принимается равным

$x_0 = 0,4$ Ом/км для воздушных ЛЭП ВН;

$x_0 = 0,08$ Ом/км для кабельных ЛЭП ВН.

• Потери напряжения в ЛЭП определяются из соотношения

$$\Delta V = (10^2 / n_{\text{ЛЭП}}) P_{\text{пер.ЛЭП}} L (r_0 + x_0 \tan \phi_{\text{ЛЭП}})$$

где $\Delta V_{\text{ЛЭП}}$ — потеря напряжения в одной ЛЭП, %;

$P_{\text{ЛЭП}}$ — передаваемая по линии активная мощность, МВт;

$L_{\text{млп}}$ — протяженность ЛЭП, км;

r_0, x_0 — активное и индуктивное сопротивления на единицу длины ЛЭП;

$V_{\text{ЛЭП}}$ — напряжение передачи, кВ.

Для перевода % в кВ применяется соотношение

$$\Delta V_{\text{ЛЭП}} = V_{\text{пер}} \Delta V_{\text{ЛЭП}} \cdot 10^{-2}$$

1. соответствует требованиям ГОСТа?

Практическая работа №4

Тема: Определение места расположения ГПП (ЦРП)

Цель и задачи урока- научиться определять ЦЭН потребителей и составлять электрическую схему питания потребителей на ситуационном плане.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Раздаточный материал:

- исходные данные для определения местоположения предприятия;
- таблица с вариантами исходных данных (табл. 6).

Ход урока:

Краткие теоретические сведения

Подстанция (главная понижающая - ГПП, центральная распределительная - ЦРП, трансформаторная - ТП) является одним из основных звеньев системы электроснабжения предприятия. Поэтому оптимальное размещение подстанций на территории предприятия - важнейший вопрос при построении рациональных систем электроснабжения. Сначала разрабатывается генеральный план проектируемого объекта, на котором указываются центры электрических нагрузок (ЦЭН) каждого цеха. Выбирается масштаб нагрузок и определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок. Радиусы активных нагрузок определяются для выбора рационального места расположения питающей подстанции ГПП (ЦРП), а реактивных - для рационального размещения компенсирующих устройств. Высоковольтная линия (ВЛ) и кабельная линия, связывающая потребителей

электроэнергии с подстанцией (ГПП или ЦРП), координаты которой мы находим, принимается прямолинейной.

Определить место расположения подстанции - значит найти координаты центра нагрузок. По исходным данным построить оси X и Y генплана и нанести центры электрических нагрузок каждого цеха.

С учетом размеров территории генплана выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую, приняв оптимальный радиус

$$m_a = \frac{P_{\text{нм}}}{\pi R_{\text{нм}}^2}; \quad m_p = \frac{Q_{\text{нм}}}{\pi R_{\text{нм}}^2}$$

$$m_a = \frac{P_{\text{нб}}}{\pi R_{\text{нб}}^2}; \quad m_p = \frac{Q_{\text{нб}}}{\pi R_{\text{нб}}^2}.$$

где m - масштаб нагрузок, кВт/км² или квар/км²;

$P_{\text{нм}}, Q_{\text{нм}}$ - наименьшая мощность цеха, кВт или квар;

$R_{\text{нм}}$ - наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, км.

Величина m округляется и принимается как для активных, так и для реактивных нагрузок.

Во всех цехах определить радиусы кругов активных и реактивных нагрузок (28)

$$= \sqrt{\frac{Q}{\pi m_p}} \quad (28)$$

где R_a и R_p - радиусы реактивной и активной нагрузок, км;

P и Q - активная и реактивная нагрузки цехов, кВт; m_a и m_p - масштаб нагрузок активной и реактивной, кВт/км². Если даны только P и $\cos(p)$, то (29)

$$Q = P \tan p. \quad (29)$$

Условные координаты ЦЭН для всего предприятия (30)

$$v = \sum p_i x_i \quad (30)$$

$$\mathbf{A}^{\mathbf{aO}}_{\mathbf{Zjj}=\mathbf{f}^{\mathbf{i}}_i} \quad \mathbf{D}$$

$$y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

$A(X_{a0}, Y_{a0})$ - местоположение ГПП;

$$x_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i x_i}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

$$P_0 \cdot E_{\Sigma} \cdot Q_i$$

$B(X_{p0}, W$ - местоположение ККУ,

где X_{a0}, Y_{a0} - координаты ЦЭН активных, км;

* p_0, Y_{p0} - координаты ЦЭН реактивных, км;

ККУ - комплектное компенсирующее устройство;

ГПП - главная понижающая подстанция.

Таблица 5 - исходные данные

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	P1, кВт (ВД)	cos ^φ 1	P2, кВт (X2,Y2)	cos ^φ 2	P3, кВт (X3,Y3)	cos ^φ 3	P4, кВт (X4,Y4)	cos ^φ 4	P5, кВт (X5,Y5)	cos ^φ 5
1	25	0,7	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9
	0Д; 0,4		0,5; 1,4		1,5; 1,2		2,4; 1,0		1,5; 0,5	
2	160	0,7	100	0,75	63	0,8	40	0,85	25	0,9
	0,5; 0,5		0,5; 1,2		1,6; 1,3		2,5; 1,2		1,6; 1,7	
3	100	0,85	25	0,7	40	0,75	64	0,8	160	0,9
	0,5; 1,5		1,5; 1,2		2,6; 1,0		1,6; 0,7		0,5; 0,5	
4	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7
	0,5; 1,4		1,4; 1,5		2,7; 1,2		1,8; 0,8		0,6; 0,7	
5	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7	40	0,75
	0,4; 0,9		1,2; 1,6		2,6; 1,3		1,8; 0,6		0,7; 0,9	
6	250	0,72	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83
	0,7; 1,0		1,5; 1,8		1,6; 0,8		1,9; 2,0		0,5; 2,0	
7	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72
	0,5; 0,5		0,6; 1,6		1,5; 0,5		1,7; 1,2		2,6; 1,0	
8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8
	0,4; 0,6		0,6; 1,5		1,5; 0,6		1,8; 1,3		2,5; 1,2	
9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	400	0,9
	0,6; 0,7		0,6; 1,2		1,6; 0,7		1,8; 1,4		2,4; 1,5	
10	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	630	0,9	400	0,85
	0,7; 0,8		0,6; 1,4		1,6; 0,6		1,7; 1,5		2,5; 1,4	
11	160	0,85	100	0,7	25	0,75	40	0,8	63	0,9
	0,6; 0,5		0,6; 1,2		1,5; 0,4		1,5; 1,2		2,6; 0,6	
12	100	0,7	63	0,9	25	0,75	40	0,8	160	0,85
	0,5; 0,6		0,5; 1,4		1,3; 0,5		1,3; 1,4		2,7; 0,8	

Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Таблица 6 - сводная ведомость нагрузок цехов

Параметры	Номер цеха
-----------	------------

	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт					
R _а , км					
cos<φ					
tan<φ					
Q, квар					
R _р , км					

Порядок выполнения:

1. По заданным исходным данным построить оси X и Y генплана, нанести центры электрических нагрузок каждого цеха.
2. С учетом размеров территории генплана выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую, приняв оптимальный радиус.
3. Определить радиусы кругов активных и реактивных нагрузок всех цехов.
4. Определить условные координаты ЦЭН всего предприятия.
5. Составить картограмму нагрузок, нанести все необходимые данные.
6. Внести результаты расчетов в сводную табл. 6.

Содержание отчета:

1. Исходные данные.
2. Картограмма нагрузок на генеральном плане. Расчет масштабов нагрузок.
3. Расчет радиусов кругов активных и реактивных нагрузок всех цехов.
4. Определение условных координат ЦЭН всего предприятия.
5. Картограмма нагрузок с нанесенными на нее координатами местоположений ГПП и ККУ.
6. Сводная ведомость.
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните, что означает понятие «определение местоположения ГПП». С какой целью рассчитываются радиусы активных и реактивных нагрузок?
1. Для чего вычерчивается генеральный план с картограммой нагрузок?
2. Дайте определение картограммы нагрузок предприятия.

Практическая работа №5

Тема: Составление схемы и плана распределительных сетей напряжением 10 кВ.

Цель и задачи урока- освоить методику составления схемы и плана распределительных сетей напряжением 10 кВ.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Раздаточный материал с исходными данными:

- координаты и категории потребителей;
- координата центра энергетических нагрузок (взять из практической работы 4).

Краткие теоретические сведения

Центральная распределительная подстанция (ЦРП) получает электрическую энергию от районных сетей 10 кВ по двум независимым линиям и распределяет ее от шин 10 кВ по трансформаторным подстанциям (ТП) потребителей.

При выборе схемы питания трансформаторных подстанций должна быть учтена категория потребителей:

для первой - используются радиальная, двухлучевые с односторонним и с двусторонним питанием, трехлучевая с двусторонним питанием;

для второй - петлевые и кольцевые, допускаются двулучевые;

для третьей - одиночные магистрали с односторонним питанием и петлевые.

Для размещения ЦРП необходима площадь определенных размеров свободная от застройки и подземных коммуникаций, а также необходимы определенные почвенно-геологические условия. ЦРП необходимо

располагать как можно ближе к точке ЦЭН.

Для питания электроприемников первой категории на подстанции устанавливаются два трансформатора, второй и третьей категорий - обычно один.

Магистраль для питания ТП 1, 2, 3, 10, 12 - 16, 17-21 получают питание от различных территориально удаленных распределительных пунктов РП1 и РП2.

Ход урока::

1. Вычертить план распределительных сетей напряжением 10 кВ, где указать всех потребителей согласно их координатам (в масштабе).
2. Указать на плане точку ЦЭН.
3. Вычертить ЦРП как можно ближе к точке ЦЭН.
4. Указать на линиях маркировку и их длину.

Содержание отчета:

1. Исходные данные.
2. План распределительных сетей напряжением 10 кВ с указанием всех потребителей согласно их координатам.
3. Указание ЦРП на плане.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение РП и ЦРП согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ).
2. Что учитывается при выборе схемы питания трансформаторных подстанций.
3. Назовите схемы питания трансформаторных подстанций для потребителей первой, второй и третьей категории.

Практическая работа 6

Тема: Выбор компенсирующего устройства

Цели и задачи урока- Освоить методику выбора компенсирующего устройства по справочным данным и определения точки его присоединения на шинопроводе.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Задание: выбрать КУ.

Таблица 7 - исходные данные

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Присоединенная мощность S_{np} , кВА	400	1000	1600	2500	600	1000	400	2500	600
Доля асинхронной и сварочной нагрузки d	25%	20%	24%	23%	21%	22%	26%	19%	23,5%
Коэффициент загрузки трансформатора k_z	0,8-0,9								

Краткие теоретические сведения

Электрическая энергия, вырабатываемая на электростанции и потребляемая различными электроприемниками, подразделяется на активную и реактивную. Активная энергия обеспечивает полезную работу электроприемников и превращается в них в механическую, тепловую, световую и другие виды энергии, а реактивная энергия никакой полезной работы не производит, затрачивается на создание магнитных потоков в асинхронных двигателях, трансформаторах и других электротехнических установках.

Компенсация реактивных нагрузок промышленных предприятий осуществляется с помощью поперечной емкостной компенсации, когда конденсаторные установки присоединены к сетевым устройствам параллельно основным назначением данной компенсации является повышение коэффициента мощности и при установке конденсаторов приводит к повышению уровню напряжения.

Реактивная мощность конденсатора рассчитывается по формуле, квар

$$Q = (0.2 + 0.5d) \times S_{\text{пр}} / c_3,$$

где d - доля установленной мощности асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов в составе приемников электроэнергии низкого напряжения;

$S_{\text{пр}}$ - присоединенная мощность трансформаторов, кВА;

c_3 - коэффициент загрузки трансформаторов.

Мощность компенсирующего устройства определяется по следующей шкале:

Таблица 8

(?к, квар	До 50	50-120	120-190	190-260	260-380	Более 380
QR, квар	0	75	150	225	300	450

Конденсаторная установка выбирается из табл. 9.

Таблица 9 - основные данные конденсаторных установок

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар
УКБ -0,38-50УЗ	0,38	50
УК-0,38-75УЗ	0,38	75
УК-0,38-150УЗ	0,38	150
УКБ-0,38-150УЗ	0,38	150

УКБН-0,38-150У3	0,38	150
-----------------	------	-----

УКБ-0,38-225УЗ	0,38	225
УКБ-0,38-300УЗ	0,38	300
УК-10,5-450П(Л)УЗ	10	450
УК-10,5-900П(Л)УЗ	10	900
УК-10,5-1125П(Л)УЗ	10	1125

Примечание: УК - установка конденсаторная; Б - бесшкафного исполнения; Л (П) - левое (правое) расположение вводной ячейки; Н - параметр автоматического регулирования (напряжение); УЗ - для умеренного климата и внутренней установки.

Точки присоединения конденсатора на шинопроводе, м

$$L_{ш} = l_0 + (1 - Q_K/2Q) \times l,$$

где l_0, l - длины магистральной и распределительной частей шинопровода, м;

Q_K - мощность конденсатора, квар;

Q - суммарная реактивная мощность шинопровода, квар.

Контрольные вопросы:

1. С какой целью устанавливаются компенсирующие устройства?
2. Назовите электрические аппараты, при работе которых возникает реактивная энергия?
3. Как расшифровывается маркировка выбранной конденсаторной батареи?

Тема: Расчет потерь мощности и электроэнергии в трансформаторе

Цель и задачи урока- Освоить методику расчета потерь мощности и электроэнергии в трансформаторе

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Ход урока:

- Общую величину потерь ($ДР_T$) активной мощности (кВт) в трансформаторе определяют по формуле

$$ДР^Д^+ДР^2,$$

где $ДР_{СТ}$ — потери в стали, кВт; при $P_{ном}$ от нагрузки не зависят, а зависят только от мощности трансформатора;

ДР_{об} — потери в обмотках, кВт; при номинальной нагрузке трансформатора зависят от нагрузки

$$Д^об \sim Д^кз \text{ (потери КЗ, кВт); } ДР_{СТ} \ll ДР_{ХХ};$$

K_3 — коэффициент загрузки трансформатора, отн. ед. Это отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности:

$$K_3 = \frac{S_{\phi}}{S_r}.$$

- Общую величину потерь ($Д0_T$) реактивной мощности (квар) в

трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta P_0 = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{рас}} K_3^2,$$

где $\Delta P_{\text{ст}}$ — потери реактивной мощности на намагничивание, квар.
Намагничивающая мощность не зависит от нагрузки,

$$\Delta P_{\text{СТ}} \sim I_X X^2 N_T \cdot 10^{-3};$$

$\Delta P_{\text{рас}}$ — потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке,

$$\Delta P_{\text{рас}} = \frac{I_{\text{хх}}^2}{S_N} \cdot W_{\text{ср}} \cdot 10^{-3},$$

$I_{\text{хх}}$ — ток холостого хода трансформатора, %;

$U_{\text{кз}}$ — напряжение короткого замыкания, %;

S_N — номинальная мощность трансформатора, кВ А.

Значения $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{об}}$, $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{об}}$ берут по данным каталогов для конкретного трансформатора.

- На основании потерь мощности можно определить потери электроэнергии. Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях **времени использования потерь (т)** и **времени использования максимальной нагрузки (Г_м)**.

Время максимальных потерь (т) — условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год.

Время использования максимума нагрузки (Г_м) — условное число часов, в течение которых работа с максимальной нагрузкой передает за год столько энергии, сколько при работе по действительному графику.

$\gamma = F(\cos \varphi, G_m)$ определяется по графику (рис. 1.4.1).

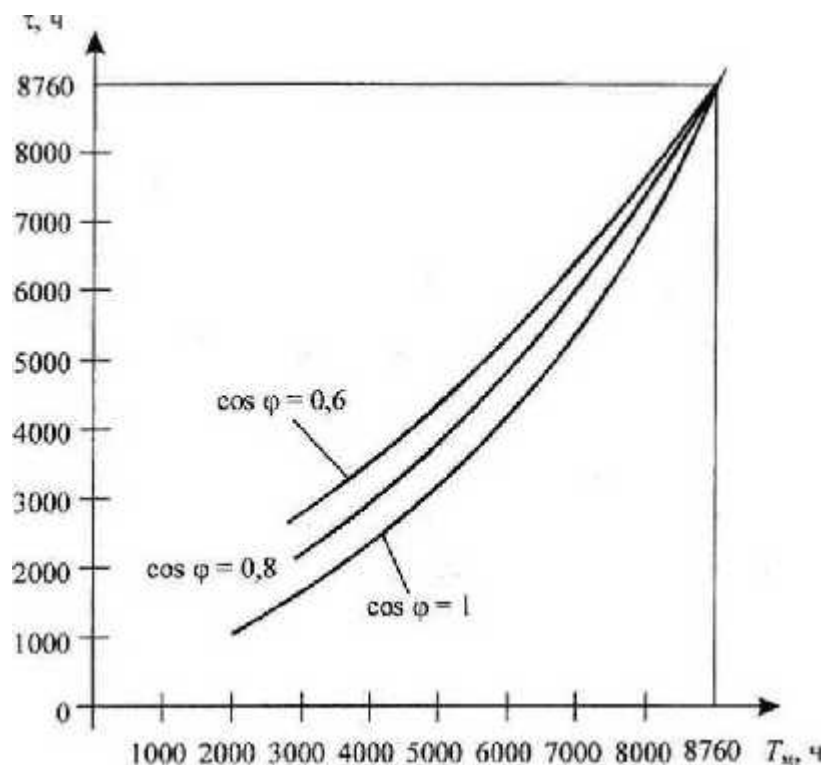


Рис. 1. График зависимости $\tau = F(\cos \varphi, T_u)$

Общая потеря активной энергии (кВт • ч) в трансформаторе определяется по формуле

$$A_{\text{акт}} = \Delta P_{\text{акт}} \cdot T_{\text{акт}} = \Delta P_{\text{акт}} \cdot \tau$$

Общая потеря реактивной энергии (кварч) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta Q_{\text{рт}} = \Delta P_{\text{р}} \cdot T_{\text{акт}} \cdot \tau \cdot 10^2.$$

Пример

Дано: Трансформатор — ЭС-Бл.

ТД 80000-220/10,5

$\Delta P_{\text{xx}} = 79$ кВт

$\Delta P_{\text{кз}} = 315$ кВт

$u_{\text{н}} = 11\%$

$i_{\text{xx}} = 0,45\%$

$K_3 = 0,99$

$\cos \varphi = 0,8$

$T_{\text{м}} = 5000$ ч

$t = 5500$ ч

Требуется:

- определить потери мощности за год (ΔP_T , Δ^T , $\Delta^* S_T$);
- определить потери энергии за год (ΔW_{aT} , $\Delta W_{p.T}$, $\Delta W_{\Gamma T}$).

Решение:

- Определяются потери активной мощности в трансформаторе

$$ДР_Т = 2^{\wedge} + Д7'_{об}Л: ^2 = 79 + 315 - 0,99^2 = 387,7 \text{ кВт} * 3,9 - 10^2 \text{ кВт};$$

$$ДР_{СТ} \sim - 79 \text{ кВт};$$

$$\wedge \ll \wedge, = 315 \text{ кВт}.$$

- Определяются потери реактивной мощности в трансформаторе

$$Д0Т = Л(?_{ст} + Д\xi?_{рас}K^2 = 3,6 \cdot 10^2 + 88 \cdot 10^2 \cdot 0,99^2 = 89,9 \blacksquare 10^2 \text{ квар};$$

$$Д0_{ст} \ll \wedge_{нт}^{402} = 0,45 - 80000 - 10^{-2} = 360 \text{ квар};$$

$$ЛС_{рас} \sim u_n S_M \cdot 10^{-2} = 11 \cdot 80000 \cdot 10^{-2} = 88 \cdot 10^2 \text{ квар}.$$

- Определяются полные потери мощности в трансформаторе

$$Д\xi = 7AP_T^2 + A_{CT}^2 = 7(3,9 \cdot 10^2)^2 + (89,9 \cdot 10^2)^2 = 90,1 \blacksquare 10^2 \text{ кВ А}.$$

- Определяются потери активной энергии в трансформаторе

$$Д\wedge_T = Д\wedge_{ст} + Д\wedge_{об} = ДР_{ст} / + ДР_{об} \wedge^2_T =$$

$$= ДР\wedge / + ДР_{ю} \wedge^2_T = 79 \cdot 5500 + 315 \cdot 0,99 \blacksquare 3500 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

По графику рис. 1. определяется

$$т = F(\text{costp}, T_M) = \Gamma(0,8; 5000) = 3500 \text{ ч}.$$

- Определяются потери реактивной энергии в трансформаторе

$$\mathbf{AI'p.t = 5нт(4x\wedge + \ll k3\wedge 'c) - 10'^2 =}$$

$$= 80000 \cdot (0,45 \cdot 5500 + 11 \cdot 0,99^2 - 3500) \cdot 10^2 = 32,2 \cdot 10^6 \text{ квар} \cdot \text{ч}.$$

- Определяются полные потери энергии в трансформаторе

$$ДИ; = 7A\gg \xi + ДИД = 7(1,5 \cdot 10^6)^2 + (32,2 \cdot 10^6)^2 = 34,5 \cdot 10^6 \text{ кВ-А-ч}.$$

Ответ: Годовые потери в блочном трансформаторе электростанции:

$$ДР_Т = 3,9 \cdot 10^2 \text{ кВт};$$

$$ДИ\wedge_{ат} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кВт ч};$$

$$Д0_Т = 89,9 \cdot 10^2 \text{ кВт};$$

$$Д = 32,2 \cdot 10^6 \text{ квар} \cdot \text{час};$$

$$Д5_Т = 90,1 \cdot 10^2 \text{ кВ-А};$$

$$Д = 34,5 \cdot 10^6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{час}.$$

Таблица 10 Индивидуальные задания

Вариант	Трансформатор (место установки)	кз	cos ф	Гм, Ч	Лч	Дополнительные сведения
1	2	3	4	5	6	7
1	УРП	РПЗ-3		3000	4000	УРП — узловая рас- пределительная под-
2	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		8000	4500	
3	ЭС-Бл.	РПЗ-1		3500	5000	

4	УРП	РПЗ-3	7500	5500	станция;
5	ЭС-ГРУ	РПЗ-1	4000	6000	ЭС — электростанция;
6	ЭС-Бл.	РПЗ-1	7000	6500	ГРУ — генераторное
7	УРП	РПЗ-3	4500	7000	распределительное
8	ЭС-ГРУ	РПЗ-1	6500	7500	устройство;
9	ЭС-Бл.	РПЗ-1	5000	8000	Бл. — блочный

Практическая работа №8

Выбор сечения кабеля по допустимому току (нагреву)

Цели и задачи урока-Научиться выбирать сечение кабеля для линий электропередач питания тяговых подстанций по допустимому току (нагреву).

Краткие теоретические сведения

Проектирование каких-либо электросетей бытового или промышленного назначения необходимо начинать с расчета подходящего сечения кабеля, от этого параметра зависит очень многое, и в первую очередь - надежность и работоспособность электросети. Насколько хорошо просчитана электросеть и насколько правильно подобранно сечение кабеля зависят потери мощности в проектируемой сети, которые бывают достаточно значительны, если неправильно выбрать сечение кабеля. Помимо этого, существует вероятность перегрева кабеля и его разрушение.

Главными критериями, которые учитываются во время проектирования и подбора сечения, это величина токовой нагрузки, напряжение сети, мощность потребителя электроэнергии. Проектирование электросети и выбор кабелей всегда начинается с определения свойств электрооборудования, которое будет находиться в этой сети и потреблять электроэнергию. Если на участке сети будет находиться несколько потребителей электричества, то для выбора сечения кабеля для данного участка их мощности складываются. После определения потребляемой мощности для каждого участка проектируемой сети, рассчитывают допустимую токовую нагрузку. Для расчета нагрузки, используется упрощенная

формула, в которой находится напряжение сети и мощность потребления для данного участка сети.

После просчета токовой нагрузки и определения ее длительности, необходимо выяснить условия, при которых будет использоваться электросеть, температура и способ прокладки электрической сети (открытый или закрытый).

После того, как допустимый ток и время нагрузки просчитаны, учтены условия эксплуатации и прокладки электросети, можно начать выбор сечения кабеля. Выбор кабелей электросети осуществляется по таблицам длительного допустимого тока нагрузки, где принимается во внимание и способ прокладки кабелей. Конечно, достаточно сложно подобрать кабель, точно подходящий расчетному току нагрузки, в подобных случаях сечение кабеля всегда берут с запасом.

Задание

Выбрать сечение кабеля для линий электропередач питания тяговых подстанций по допустимому току (нагреву).

Проанализировать проделанную работу.

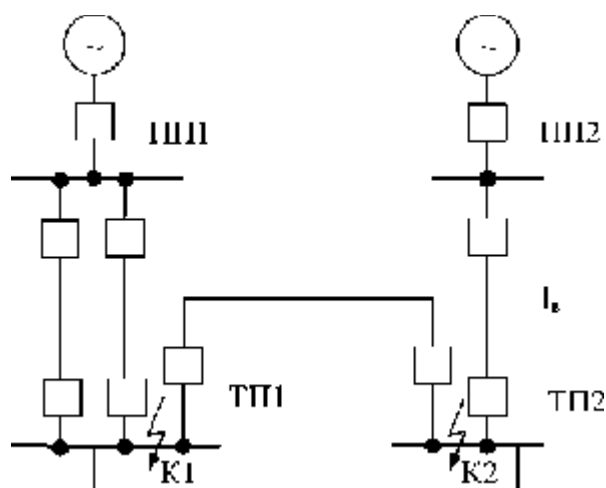


Схема питания тяговых подстанций представлена в соответствии с рисунком

Тяговая подстанция ТП1 питается от понижающей подстанции ПП1 по двум кабельным линиям проложенным в земле 1_з. Тяговая подстанция ТП2 питается от понижающей подстанции ПП2 по одной воздушной линии 1_в. Тяговые подстанции ТП1 и ТП2 соединены одиночным соединительным кабелем (при расчёте мощностей тяговых подстанций не учитывать).

Исходные данные для расчёта, выбираются в соответствии с последней цифрой в порядковом номере по списку, в таблице 11.

Таблица 11 - Исходные данные для расчёта

Рисунок - Схема питания тяговых

Вариант	Номинальное напряжение сети U, кВ	Тяговая подстанция ТП1			Тяговая подстанция ТП2			Длина кабельной линии в земле 1 _з , км	Длина воздушной кабельной линии 1 _в , км	Продолжительность использования максимума нагрузки Т _м , ч/год
		Количество трансформаторов шт.	Полная номинальная мощность трансформатора S _{н1} , кВА	Коэффициент мощности cosφ ₁	Количество трансформаторов n ₂ , шт.	Полная номинальная мощность трансформатора S _{н2} , кВА	Коэффициент мощности cosφ ₂			
1	10	14	160	0,970	5	160	0,990	1	10	о о о о о о
2		14	160	0,975	5	250	0,985	1	9,5	
3		8	250	0,980	2	400	0,980	1,5	9	
4		8	250	0,985	2	630	0,975	2	8,5	
5		5	400	0,990	1	1000	0,970	2,5	8	
6		10	400	0,970	10	160	0,990	3	7,5	
7		7	630	0,975	10	250	0,985	3,5	7	
8		7	630	0,980	4	400	0,980	4	6,5	
9		4	1000	0,985	4	630	0,975	4,5	6	
0		4	1000	0,990	2	1000	0,970	5	5,5	

При выборе кабелей и проводов принять:

- для не чётных вариантов температуру среды при прокладке в земле +20⁰С и расстояние между кабелями 100 мм, при прокладке в воздухе +35⁰С;

- для чётных вариантов температуру среды при прокладке в земле $+25^{\circ}\text{C}$ и расстояние между кабелями 200 мм, при прокладке в воздухе $+30^{\circ}\text{C}$.

Ход работы

Сечение проводников линий электропередачи должно быть таким, чтобы провода не перегревались при любой нагрузке в нормальном рабочем и послеаварийном режиме.

Выбор сечения проводников по нагреву сводится к сравнению расчётного тока I_p , А, с длительно допустимыми токами нагрузки $I_{\text{доп}}$, А, для стандартных сечений с учётом марки кабеля и температурных условий

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K_T \cdot K_p, \quad (1)$$

где K_T - поправочный температурный коэффициент, вводимый, если температура земли отличается от $+15^{\circ}\text{C}$, а воздуха - $+25^{\circ}\text{C}$ (ПУЭ, издание 7, таблица 1.3.3);

K_p - поправочный коэффициент на прокладку, вводимый, если количество работающих рядом кабелей больше одного, т.к. ухудшаются условия их охлаждения (ПУЭ, издание 7, таблица 1.3.26).

Расчетный ток в линии в послеаварийном режиме (работа одного кабеля) I_p , А, определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

где S_p - расчётная полная мощность приёмника, кВА;

U_n - номинальное напряжение сети, кВ.

Расчётная полная мощность приёмника S_p , кВА, определяется по формуле

$$S_p = \sum_{n=1}^N I_n \quad (3)$$

где $S_{nп}$ - номинальная полная мощность n-го приёмника, кВА.

Допустимые длительные токовые нагрузки для трёхжильных кабелей,

прокладываемых в земле, представлены в таблице 1 2.

Таблица 1 2 - Допустимые длительные токовые нагрузки для трёхжильных кабелей, прокладываемых в земле

Сечение токоведущей жилы, мм ²	Допустимые длительные токовые нагрузки для трёхжильных кабелей, прокладываемых в земле, А, при марке кабеля											
	С резиновой или пластмассовой изоляция в свинцовой оболочке						С бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке					
	медные жилы			алюминиевые жилы			медные жилы			алюминиевые жилы		
	3 кВ	6 кВ	10 кВ	3 кВ	6 кВ	10 кВ	3 кВ	6 кВ	10 кВ	3 кВ	6 кВ	10 кВ
4	48	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-
6	58	-	-	44	-	-	70	-	-	55	-	-
10	77	70	-	59	55	-	95	80	-	75	60	-
16	100	92	-	77	70	-	120	105	95	90	80	75
25	130	122	-	100	90	-	160	135	120	125	105	90
35	158	147	-	121	110	-	190	160	150	145	125	115
50	192	175	225	147	130	170	235	200	180	180	155	140
70	273	215	275	178	160	210	285	245	215	220	190	165
95	280	260	326	212	195	253	340	295	265	260	225	205
120	321	295	370	241	220	288	390	340	310	300	260	240
150	363	335	413	274	250	322	435	390	355	335	300	275
185	406	380	466	308	285	364	490	440	400	380	340	310
240	468	445	537	355	335	422	570	510	460	440	390	355

Допустимые длительные токовые нагрузки для голых проводов, прокладываемых вне помещений, представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Допустимые длительные токовые нагрузки для голых проводов, прокладываемых вне помещений

Сечение токоведущей жилы, мм ²	Сечение (алюминий/сталь), мм ²	Допустимые длительные токовые нагрузки для голых проводов, прокладываемых вне помещений, А, при марке провода		
		М (медные)	А (алюминиевые)	АС (сталеалюминиевые)
10	10/1,8	95	-	84
16	16/2,7	133	105	111
25	25/4,2	183	135	142
35	35/6,2	223	170	175
50	50/8	275	215	210
70	70/11	337	265	265
95	95/16	422	320	330
120	120/19	485	375	390
	120/27			375
150	150/19	570	440	450
	150/24			450
	150/34			450
185	185/24	650	500	520
	185/29			510
	185/43			510
240	240/32	760	590	605
	240/39			610
	240/56			610

Допустимые температуры нагрева для проводов и кабелей при нормированной температуре среды кабели представлены в таблице 14.

Таблица 14 - Допустимые температуры нагрева для проводов и кабелей при нормированной температуре среды

Нормированная температура	Допустимые температуры нагрева для проводов и кабелей, °С, при марке					
	С резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой оболочке	С бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке				Голые провода
		3 кВ	6 кВ	10 кВ	20 и 35 кВ	
жилы	+65	+80	+65	+60	+50	+70
земли	+15	+15	+15	+15	+15	-
воздуха	+25	+25	+25	+25	+25	+25

Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток в зависимости от температуры земли и воздуха кабели представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток для кабелей, неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

Условная температура θ среды, °С	Нормированная температура θ жил, °С	Поправочные коэффициенты при расчётной температуре среды θ °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,75	0,47
	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле кабели представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле

Расстояние между кабелями, мм	Поправочные коэффициенты при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Пример выполнения расчёта

Исходные данные для расчёта:

- номинальное напряжение сети $U_n = 10$ кВ;
- количество трансформаторов ТП1 $n_1 = 2$ шт;
- полная номинальная мощность трансформаторов ТП1 $S_{n1} = 1000$ кВА;
- коэффициент мощности ТП1 $\cos\phi_1 = 0,900$;
- количество трансформаторов ТП2 $n_2 = 2$ шт;
- полная номинальная мощность трансформаторов ТП2 $S_{n2} = 400$ кВА;
- коэффициент мощности ТП2 $\cos\phi_2 = 0,900$;
- длина кабельной линии в земле $l_3 = 5$ км;
- длина воздушной кабельной линии $l_в = 6$ км;
- продолжительность использования максимума нагрузки $T_m = 3000-5000$

ч/год.

При выборе кабелей и проводов принять температуру среды при прокладке в земле $+20^{\circ}\text{C}$ и расстояние между кабелями 100 мм, при прокладке в воздухе $+30^{\circ}\text{C}$.

Схема питания тяговых подстанций представлена в соответствии с рисунком

Для кабельной линии в земле.

Расчётная полная мощность приёмника

$$S_p = 1000 \cdot 2 = 2000 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{2000}{73 \cdot 10} = 115,47 \text{ А.}$$

Расчетный ток в линии в послеаварийном режиме (работа одного кабеля)

Допустимые длительные токовые нагрузки на кабели представлены в таблице 2.

Выбираем кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А.}$

Допустимые температуры нагрева кабелей и проводов при нормированной температуре среды кабели представлены в таблице 4.

Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток в зависимости от температуры земли и воздуха кабели представлены в таблице 5.

При температуре земли $+20^\circ\text{C}$, поправочный температурный коэффициент $K_T = 0,94$.

Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле кабели представлены в таблице 6.

При количестве работающих кабелей, проложенных рядом в земле, равном 2 и расстоянием между кабелями 100 мм, поправочный коэффициент на прокладку $K_P = 0,90$.

Длительно допустимый ток нагрузки с учётом коэффициентов

$$I_{\text{доп}} = 140 \cdot 0,94 \cdot 0,90 = 118,44 \text{ А.}$$

$$I_p = 115,47 \text{ A} < I_{\text{Доп}} = 118,44 \text{ A}.$$

Условие выполняется.

Для воздушной линии.

Расчётная полная мощность приёмника

$$S_p = 400 \cdot 2 = 800 \text{ кВА}.$$

$$I_p = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,19 \text{ A}.$$

Расчетный ток в линии в послеаварийном режиме (работа одного кабеля)

Допустимые длительные токовые нагрузки на голые кабели представлены в таблице 3.

Выбираем провод АС-10, $I_{\text{доп}} = 84 \text{ A}$.

При температуре воздуха $+30^\circ\text{C}$, поправочный температурный коэффициент $K_T = 0,94$.

Длительно допустимый ток нагрузки с учётом коэффициентов

$$I_{\text{Доп}} = 84 \cdot 0,94 = 78,96 \text{ A}.$$

$$I_p = 46,19 \text{ A} < I_{\text{Доп}} = 78,96 \text{ A}.$$

Условие выполняется.

По результатам расчёта практической работы выбрали для кабельной линии в земле кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ A}$, для воздушной линии провод АС-10, $I_{\text{доп}} = 84 \text{ A}$.

Контрольные вопросы

1. С чего начинается проектирование электросетей?

2. Главные критерии выбора сечения кабеля.
3. Как осуществляется выбор сечения кабеля по допустимому току (нагреву)?
4. (нагреву)?

Практическая работа №9

Тема:Проверка выбранного сечения кабеля по допустимой потере напряжения

Цели и задачи урока

Научиться проверять выбранное сечение кабеля линии электропередач по допустим

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства ой потере напряжения.

Краткие теоретические сведения

Потеря напряжения обусловлена падением напряжения в кабелях, соединяющих источник тока с потребителем. Она не должна превышать 10% номинального напряжения источника электропитания. Сечение кабелей по потере напряжения проверяют при проектировании электрических сетей, питающих электроприёмники промышленных предприятий, транспорта, крупных жилых и общественных зданий и т. п.

Наилучшие условия эксплуатации электроприемников были бы при номинальном напряжении на их зажимах, но на практике это невыполнимо, так как кабели обладают некоторым сопротивлением и при протекании по ним электрического тока происходит потеря напряжения, поэтому напряжение в конце линии будет ниже, чем в начале. Повышение или снижение напряжения на зажимах электроприемника, по сравнению с номинальным, приводит к ухудшению его работы.

Например, для промышленного предприятия значительное повышение напряжения в осветительной сети связано с экономическим ущербом из-за необходимости частой смены перегоревших ламп. Пониженное, по сравнению с номинальным, напряжение в осветительной сети промышленного предприятия может послужить причиной снижения производительности труда из-за недостаточной освещенности рабочих поверхностей.

Задание

Проверить выбранное сечение кабеля линии электропередач по допустимой потере напряжения.

Проанализировать проделанную работу.

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущей практической работы №1. При выборе индуктивного сопротивления голых проводов принять среднее геометрическое расстояние между проводами для вариантов №1-5 - 2000 мм, для вариантов №6-0 - 2500 мм.

Ход урока:

Сечение проводников линий электропередачи должно быть таким, чтобы потеря напряжения в линиях не превышала установленные пределы. Допустимая потеря напряжение в линии электропередач питающей тяговые подстанции составляет 10% от U_H .

Потеря напряжения в линии ΔU , В, определяется по формулам

$$\sqrt{3} \cdot I_{\text{рн}} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi),$$

где $I_{\text{рн}}$ - расчётный ток в линии в нормальном режиме, А;

R - активное сопротивление линии от источника питания до точки короткого замыкания, Ом;

X - индуктивное сопротивление линии от источника питания до точки короткого замыкания, Ом;

$\cos \varphi$, $\sin \varphi$ - коэффициенты мощности.

Расчётный ток в линии в нормальном режиме $I_{\text{рн}}$, А, определяется по формуле

$$I_{\text{рн}} = I_{\text{р}} / n_{\text{к}}$$

где $n_{\text{к}}$ - количество кабелей в линии, шт.

Активное сопротивление линии R , Ом, определяется по формуле

$$R = R_0 \cdot l,$$

где R_0 - удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

l - длина линии электропередач, км.

Индуктивное сопротивление линии X , Ом, определяется по формуле

$$X = X_0 \cdot l, \tag{7}$$

где X_0 - удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км.

Удельное активное сопротивление линии зависит от материала, сечения и длины линии. Удельное индуктивное сопротивление проводов воздушной линии также зависит от способа подвески и для его определения вводят среднее геометрическое расстояния между проводами.

Активные сопротивления для проводов и кабелей представлены в таблице 17.

Таблица17 - Активные сопротивления для проводов и кабелей

Сечение токоведущей жилы, мм ²	Активные сопротивления для проводов и кабелей, Ом/км		Сечение токоведущей жилы, мм ²	Активные сопротивления для проводов и кабелей, Ом/км	
	медные	алюминиевые		медные	алюминиевые
4	4,56	7,90	70	0,28	0,46
6	3,06	5,26	95	0,20	0,34
10	1,84	3,16	120	0,158	0,27
16	1,20	1,98	150	0,123	0,21
25	0,74	1,28	185	0,103	0,17
35	0,54	0,92	240	0,170	0,132
50	0,39	0,64	-	-	-

Индуктивные сопротивления для проводов и кабелей представлены в таблице 18.

Таблица18 - Индуктивные сопротивления для проводов и кабелей

Сечение токоведущей жилы, мм ²	Индуктивные сопротивления для проводов и кабелей, Ом/км, при прокладке						
	в воздухе			в земле			
	до 1 кВ	6-10 кВ	35 кВ	до 1 кВ	6 кВ	10 кВ	35 кВ
4-6	-	-	-	0,08	-	-	-
10-25	0,36	0,41	-	0,07	0,10	0,11	-
35-70	0,33	0,38	0,42	0,06	0,08	0,09	-
95-120	0,30	0,35	0,40	0,06	0,08	0,08	0,12
150-240	-	-	-	0,06	0,08	0,08	0,11

Активные и индуктивные сопротивления для голых проводов представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Активные и индуктивные сопротивления для голых проводов

Сечение токовед ущей жилы, мм2	Активные сопротив ления проводов, Ом/км	Индуктивные сопротивления для голых проводов при среднем геометрическом расстоянии между проводами (мм), Ом/км									
		400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Алюминиевые провода А											
16	1,98	0,332	0,358	0,377	0,391	-	-	-	-	-	-
25	1,28	0,318	0,345	0,363	0,377	0,402	0,421	-	-	-	-
35	0,92	0,312	0,326	0,352	0,366	0,391	0,410	-	-	-	-
50	0,64	0,297	0,325	0,341	0,355	0,380	0,398	0,413	0,423	0,442	-
70	0,46	0,283	0,315	0,331	0,345	0,370	0,388	0,402	0,413	0,431	-
95	0,34	0,277	0,315	0,319	0,333	0,58	0,377	0,393	0,402	0,421	-
120	0,27	0,270	0,297	0,313	0,327	0,352	0,371	0,385	0,396	0,414	-
150	0,21	-	-	0,305	0,315	0,344	0,363	0,376	0,388	0,406	0,422
185	0,17	-	-	0,298	0,311	0,339	0,355	0,370	0,382	0,399	0,416
240	0,132	-	-	-	0,304	0,329	0,347	0,351	0,372	0,391	0,406
Сталеалюминиевые провода АС											
10	3,12	0,342	0,368	0,384	0,398	0,424	0,442	-	-	-	-
16	2,06	0,318	0,354	0,371	0,385	0,410	0,428	0,442	-	-	-
25	1,38	0,316	0,342	0,357	0,371	0,397	0,415	0,429	0,440	-	-
35	0,85	0,301	0,327	0,345	0,359	0,385	0,403	0,417	0,428	0,446	-
50	0,65	0,292	0,319	0,337	0,351	0,376	0,394	0,408	0,420	0,438	-
70	0,46	-	-	0,326	0,340	0,365	0,383	0,397	0,409	0,427	0,441
95	0,33	-	-	0,315	0,329	0,355	0,373	0,387	0,398	0,416	0,430
120	0,27	-	-	-	0,322	0,347	0,365	0,379	0,391	0,409	0,423
150	0,21	-	-	-	-	-	0,358	0,372	0,383	0,402	0,416
185	0,17	-	-	-	-	-	-	-	0,378	0,396	0,410
240	0,132	-	-	-	-	-	-	-	0,369	0,387	0,401

Пример выполнения расчёта

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущей практической работы №8.

При выборе индуктивного сопротивления голых проводов принять среднее геометрическое расстояние между проводами 2000 мм.

Для кабельной линии в земле выбран кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140$ А.

Активные сопротивления кабелей и проводов представлены в таблице 7.

Индуктивные сопротивления кабелей и проводов представлены в таблице 8.

Для кабельной линии в земле выбран кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140$ А, $R_0 = 0,64$ Ом/км, $X_0 = 0,09$ Ом/км.

Активное сопротивление линии

$$R = 0,64 \cdot 5 = 3,20 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии

$$X = 0,09 \cdot 5 = 0,45 \text{ Ом.}$$

$$\frac{115,47}{2} = 57,74 \text{ А.}$$

Расчётный ток в линии в нормальном режиме

Потеря напряжения в линии

$$\Delta U = 43 \cdot 57,74 \cdot (3,20 \cdot 0,900 + 0,45 \cdot 0,436) = 307,62 \text{ В.}$$

$$\Delta U = 307,62 \text{ В} < 10\% U_{\text{н}} = 1000 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии не превышает допустимую потерю напряжения.

Для воздушной линии выбран провод АС-10, $I_{\text{доп}} = 84$ А.

Активные и индуктивные сопротивления голых проводов представлены в таблице 9.

Для воздушной линии выбран провод АС-10, $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$, $R_0 = 3,12 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,442 \text{ Ом/км}$ при среднем геометрическом расстоянии между проводами 2000 мм.

Активное сопротивление линии

$$R = 3,12 \cdot 6 = 18,72 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии

$$X = 0,442 \cdot 6 = 2,65 \text{ Ом.}$$

Расчётный ток в линии в нормальном режиме

$$I_{\text{рн}} = \quad = 46,19 \text{ А.}$$

Потеря напряжения в линии

$$\Delta U = 43 \cdot 46,19 \cdot (18,72 \cdot 0,900 + 2,65 \cdot 0,436) = 1440,32 \text{ В.}$$

$$\Delta U = 1440,32 \text{ В} > 10\%U_{\text{н}} = 1000 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии превышает допустимую потерю напряжения, выбираем провод АС-16, $I_{\text{доп}} = 111 \text{ А}$, $R_0 = 2,06 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,428 \text{ Ом/км}$.

Активное сопротивление линии

$$R = 2,06 \cdot 6 = 12,36 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии

$$X = 0,428 \cdot 6 = 2,57 \text{ Ом.}$$

Потеря напряжения в линии

$$\Delta U = 43 \cdot 46,19 \cdot (12,36 \cdot 0,900 + 2,57 \cdot 0,436) = 979,47 \text{ В.}$$

$$\Delta U = 979,47 \text{ В} < 10\%U_n = 1000 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии не превышает допустимую потерю напряжения.

По результатам расчёта практической работы выбранный для кабельной линии в земле кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$ не превышает допустимую потерю напряжения, для воздушной линии провод АС-10, $I_{\text{доп}} = 784 \text{ А}$ превышает допустимую потерю напряжения, поэтому был выбран провод АС-16, $I_{\text{доп}} = 111 \text{ А}$.

Контрольные вопросы

1. К чему приводит отклонение напряжения на зажимах электроприёмника от номинального значения?
2. От чего зависит потеря напряжения в кабелях?
3. Как осуществляется проверка кабеля по допустимой потере напряжения?

Практическая работа №10

Тема: Выбор сечения кабеля по экономической плотности тока

Цели и задачи урока-Научиться выбирать сечение кабеля для линий электропередач по экономической плотности тока и проверять выбранное сечение

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства по допустимой потере напряжения.

Краткие теоретические сведения

Если линия электропередач напряжение выше 1000 В строится для постоянной электросети (со сроком службы более 5 лет), то площадь сечения должна быть проверена по экономической плотности тока. Для выбора оптимального варианта кабельной сети сравнивают капитальные вложения и ежегодные эксплуатационные затраты. Зависимость затрат от площади сечения проводов и жил кабелей представлена в соответствии с рисунком 2.

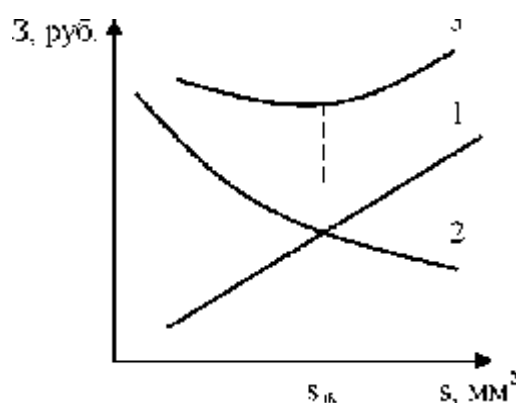


Рисунок 2 - Зависимость затрат от площади сечения проводов и жил кабелей

Чем больше площадь сечения при данном токе, тем дороже провод или кабель (рисунок 2 прямая 1), но тем меньше потери электрической энергии в

линии и, следовательно, стоимость этих потерь (рисунок 2 прямая 2). Сумма приведённых годовых затрат (рисунок 2 прямая 3, получаемая сложением ординат прямых 1 и 2) будет иметь минимум при так называемой экономической площади сечения.

Экономическая плотность тока зависит от значения продолжительности использования максимума нагрузки. С течением времени нагрузка сети не остается постоянной. Например, осветительная нагрузка достигает максимальной величины вечером, ночью она уменьшается, утром в зимний день вновь увеличивается (утренний максимум обычно ниже вечернего), днем нагрузка снова уменьшается. Суточный график нагрузки меняется по сезонам года. Продолжительностью использования максимума нагрузки данного участка сети называется такое число часов, в течение которого при неизменной нагрузке, равной максимальной для этого участка, потребление электрической энергии в нем было бы равно действительному годовому потреблению. Если бы нагрузка сохранялась неизменной, продолжительность использования максимума равнялась бы 8760 ч в году.

При определении сечения по экономической плотности расчетный ток линии должен приниматься из условий нормальной работы линии, увеличение нагрузки линии при аварийных режимах не должно учитываться. Если эта площадь сечения оказалась больше, чем площадь, выбранная по допустимому току (нагреву), то выбирают площадь сечения, равную ближайшему меньшему стандартному значению, по соображениям экономии металл проводов. Затем снова проверяют на допустимую потерю напряжения.

Задание

Выбрать сечение кабеля для линий электропередач по экономической плотности тока и проверить выбранное сечение по допустимой потере напряжения.

Проанализировать сделанную работу и по результатам практической работы №8, №9 и №10 окончательно выбрать кабель для линий.

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущей практической работы №8 и №9.

Ход работы:

Сечение проводников линий электропередачи должно быть таким, чтобы

плотность тока в кабеле соответствовала экономической.

Экономически целесообразное сечение $s_{зк}$, мм², определяется по формуле

$$s_{зк} = \frac{I_{рн}}{j_{эс}} \quad (8)$$

где $I_{рн}$ - расчётный ток в линии в нормальном режиме, А, определяется по формуле (5);

$j_{эс}$ - экономическая плотность тока, А/мм² (ПУЭ издание 7 таблица 1.3.36).

Если эта площадь оказалась больше, чем площадь, выбранная по допустимому току (нагреву), то выбирают площадь сечения, равную ближайшему меньшему стандартному значению, по соображениям экономии металл проводов. Затем снова проверяют на допустимую потерю напряжения.

Потеря напряжения в линии определяется по формуле .

Экономическая плотность тока представлена в таблице 20.

Таблица 20 - Экономическая плотность тока

Материал жилы	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при продолжительности использования максимума нагрузки в год, ч/год		
	от 1000 до 3000	от 3000 до 5000	от 5000 до 8700
Неизолированные провода и шины			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые и сталеалюминиевые (европейская часть)	1,3	1,1	1,0
алюминиевые и сталеалюминиевые (сибирь)	1,5	1,4	1,3
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией			
медные	3,0	2,5	2,0
алюминиевые (европейская часть)	1,6	1,4	1,2
алюминиевые (сибирь)	1,8	1,6	1,5
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией			
медные	3,5	3,1	2,7
алюминиевые (европейская часть)	1,9	1,7	1,6
алюминиевые (сибирь)	2,2	2,0	1,9

Пример выполнения расчёта

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущей практической работы №1 и №2.

Экономическая плотность тока представлена в таблице 10.

Для кабельной линии в земле при продолжительности использования максимума нагрузки $T_m = 3000-5000$ ч/год экономическая плотность тока = 1,4 А/мм².

Экономически целесообразное
сечение

$$s_{\text{эк}} = \frac{57,74}{2} \text{ мм}^2$$

Выбираем кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$, $R_0 = 0,64 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,09 \text{ Ом/км}$.

Активное сопротивление линии

$$R = 0,64 \cdot 5 = 3,20 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии

$$X = 0,09 \cdot 5 = 0,45 \text{ Ом.}$$

Потеря напряжения в линии

$$\Delta U = 43 \cdot 57,74 \cdot (3,20 \cdot 0,900 + 0,45 \cdot 0,436) = 307,62 \text{ В.}$$

$$\Delta U = 307,62 \text{ В} < 10\% U_{\text{н}} = 1000 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии не превышает допустимую потерю напряжения.

Для воздушной линии при продолжительности использования максимума нагрузки $T_{\text{м}} = 3000\text{-}5000 \text{ ч/год}$ экономическая плотность тока $j_{\text{ЭК}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$.

Экономически целесообразное сечение

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{ЭК}}}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{42}{1,1} \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод АС-35, $I_{\text{доп}} = 175 \text{ А}$, $R_0 = 0,85 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,403 \text{ Ом/км}$.

Активное сопротивление линии

$$R = 0,85 \cdot 6 = 5,10 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии

$$X = 0,403 \cdot 6 = 2,42 \text{ Ом.}$$

Потеря напряжения в линии

$$\Delta U = 43 \cdot 46,19 \cdot (5,10 \cdot 0,900 + 2,42 \cdot 0,436) = 451,52 \text{ В.}$$

$$\Delta U = 451,52 \text{ В} < 10\% U_{\text{н}} = 1000 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии не превышает допустимую потерю напряжения.

По результатам расчёта практической работы выбрали для кабельной линии в земле кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$, для воздушной кабельной линии провод АС-35, $I_{\text{доп}} = 175 \text{ А}$

По результатам расчёта трёх практических работ окончательно выбрали:

- для кабельной линии в земле кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$, $R_0 = 0,64 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,09 \text{ Ом/км}$;

- для воздушной линии провод АС-35, $I_{\text{доп}} = 175 \text{ А}$, $R_0 = 0,85 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,403 \text{ Ом/км}$.

Контрольные вопросы

1. Как зависят капитальные вложения и эксплуатационные затраты от площади сечения кабеля?

2. Как меняется нагрузка в сети?

Как осуществляется выбор сечения кабеля по экономической плотности

Практическая работа №11

Тема: Проверка сечения кабеля по термической стойкости

Цель и задачи урока- освоить методику проверки сечения кабеля

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Краткие теоретические сведения

Кабели и шины выбирают по номинальным параметрам (току и напряжению) и проверяют на термическую стойкость при коротком замыкании. Поскольку процесс короткого замыкания кратковременный, то можно считать, что все тепло, выделяемое в проводнике кабеля, идет на его нагрев.

При протекании тока короткого замыкания по кабелям, их токопроводящие жилы нагреваются, что в ряде случаев приводит к разрыву оболочек кабелей, разрушению концевых заделок, пожару в кабельных сооружениях и большим материальным потерям. Повышение температуры жил кабелей при коротком замыкании ведет к химическому разложению изоляции и резкому снижению ее электрической и механической прочности и, в итоге, - к аварии.

Максимально допустимые кратковременные превышения температуры при коротких замыканиях для силовых кабелей до 10 кВ принимаются с медными и алюминиевыми жилами: с бумажной пропитанной изоляцией 200 °С, с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией 150 °С.

Задание

Проверить выбранный кабель линии электропередач по термической стойкости.

Проанализировать сделанную работу.

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №1, №2 и №3. Проверку на термическую стойкость осуществлять для кабельной линии в земле при коротком замыкании на шинах тяговой подстанции ТП1 в точке К1.

Ход урока

Выбранное сечение проверяют на термическую стойкость от воздействия токов короткого замыкания (только кабельные линии проложенных в земле) по условию

$$s_{\min} \geq \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} \quad (9)$$

где $s_{\min}$ - минимальная площадь сечения по термической стойкости, мм^2 ;

s_{IvI} - площадь сечения выбранного кабеля, мм^2 .

Минимально площадь сечение по термической стойкости $s_{\min}$, мм^2 , определяется по формуле

$$s_{\min} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} \quad (10)$$

где I_{∞} - установившееся значение тока короткого замыкания, А;

$t_{\text{пр}}$ - приведённое время короткого замыкания от возникновения до отключения (суммарное время срабатывания защиты), принимаем 0,2 с;

C - термический коэффициент, соответствующий разности значений теплоты, выделенной в проводнике после и до короткого замыкания, для кабелей с медными жилами $141 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$, для кабелей с алюминиевыми жилами $85 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$.

Установившееся значение тока короткого замыкания, принимаем равное трёхфазному току короткого замыкания в $1_{\text{кз}}^{(3)}$, А, и определяется по формуле

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (11)$$

где Z - полное сопротивление линии, Ом.

Полное сопротивление линии определяется по формуле Z , Ом

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

Пример выполнения расчёта

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №8, №9 и №10.

Проверку на термическую стойкость осуществлять для кабельной линии в земле при коротком замыкании на шинах тяговой подстанции ТП1 в точке К1.

Для кабельной линии в земле выбран кабель АСБ 3х50, $T_{доп} = 140$ А, $R_0 = 0,64$ Ом/км, $X_0 = 0,09$ Ом/км.

Полное сопротивление линии

$$Z = \sqrt{3,20^2 + 0,45^2} = 3,23 \text{ Ом}.$$

Трёхфазный ток короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} = \frac{T_{доп}}{\sqrt{3} \cdot Z} = 1,79 \text{ кА}.$$

Минимальная площадь сечения по термической стойкости

$$s_{\min} = \frac{79 \cdot \sqrt{0,2}}{85} = 9,40 \text{ мм}^2.$$

$$s_{\min} = 9,40 \text{ мм}^2 < s_{\text{ра}} = 50 \text{ мм}^2.$$

Выбранный кабель термически устойчив.

По результатам расчёта практической работы выбранный для кабельной линии в земле кабель АСБ 3х50, $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$ термически устойчив.

Контрольные вопросы

1. Что происходит с кабелем при коротких замыканиях?
2. Максимально допустимые кратковременные превышения температуры при коротких замыканиях для силовых кабелей 10 кВ.
3. Как осуществляется проверка кабеля на термическую стойкость?

Практическая работа №12

Тема:Выбор защитно-коммутационного аппарата

Цель и задачи урока- научиться выбирать выключатель высокого напряжения

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Краткие теоретические сведения

Выключатели высоковольтные включают и выключают электрические цепи высокого напряжения под нагрузкой при коротком замыкании.

Выбираемый выключатель должен, прежде всего, безотказно работать в наиболее тяжелом по условиям эксплуатации режиме работы сети в течение всего срока службы, на который он рассчитан. Поэтому выбор высоковольтного выключателя рекомендуется проводить в два этапа.

На первом этапе следует выбрать конкретный тип выключателя исходя из условий наиболее тяжелого режима работы сети и эксплуатации выключателя (его отключающей способности, требуемой частоты включений и отключений, коммутационных перенапряжений, необходимости иметь (или не иметь) его полную взрыво- и пожаробезопасность и т.п.). На этом этапе при выборе типа выключателя в первую очередь учитывается следующее:

- при напряжении 6-10 кВ и сравнительно редких коммутациях для малоответственных потребителей целесообразно применять масляные выключатели, а при частых коммутациях - более надежные вакуумные и элегазовые, обладающие большим сроком службы;

- при больших номинальных токах отключения (так же, как и при больших номинальных напряжениях) рекомендуется применять воздушные и элегазовые выключатели, которые хотя и стоят дороже, но ввиду малых расходов на их техническое обслуживание и намного большего срока службы дугогасящих устройств по сравнению с масляными выключателями их применение более оправдано.

На втором этапе следует провести детальное сравнение номинальных параметров выбранного на первом этапе типа выключателя с параметрами

электрической сети в месте его установки. При этом обязательно должны выполняться следующие требования: номинальное напряжение выключателя должно быть равно или больше номинального напряжения защищаемой сети; его номинальный длительный ток должен превышать номинальный ток электроустановки; номинальный ток отключения выключателя должен быть больше максимального расчетного тока короткого замыкания к моменту расхождения контактов.

Задание

Выбрать выключатель высокого напряжения.

Проанализировать проделанную работу.

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №8, №9 и №10. Выбор высоковольтного выключателя осуществлять для воздушной линии при коротком замыкании на шинах тяговой подстанции ТП2 в точке К2.

Порядок выполнения расчёта

Высоковольтные аппараты выбирают из условия длительного режима работы и проверяют по условиям коротких замыканий.

Высоковольтный выключатель выбирают из условий

$$U_{нв} * U_{н}, \quad (13)$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{н.отк.в}} \quad (14)$$

$$S_{\text{отк.}} \geq S_{\text{кз}} \quad (15)$$

где $U_{\text{нв}}$, $U_{\text{н}}$ - номинальные значения напряжения выключателя и сети, кВ;
 $I_{\text{нв}}$, $I_{\text{н}}$ - номинальные значения токов выключателя и сети, А;
 $S_{\text{отк.в}}$, $S_{\text{кз}}$ - мощности отключения выключателя и короткого замыкания, МВА.

Мощность отключения выключателя $S_{\text{отк.в}}$, МВА, определяется по формуле

$$S_{\text{отк.в}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{н.отк.в}} \cdot U_{\text{н}} \quad (16)$$

где $I_{\text{н.отк.в}}$ - номинальный ток отключения выключателя, кА.

Мощность короткого замыкания $S_{\text{кз}}$, МВА, определяется по формуле

$$S_{\text{кз}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \cdot U_{\text{н}} \quad (17)$$

где $I_{\text{кз}}^{(3)}$ - ток трёхфазного короткого замыкания, кА, по формуле (11).
 Технические характеристики высоковольтных выключателей представлены в таблице 11.

ВГБЭ-10-630-12,5	10	630	12,5	32	12,5		0,04	
------------------	----	-----	------	----	------	--	------	--

Пример выполнения расчёта

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №1, №2 и №3.

Выбор высоковольтного выключателя осуществлять для воздушной линии при коротком замыкании на шинах тяговой подстанции ТП2 в точке К2.

Технические характеристики высоковольтных выключателей представлены в таблице 11.

Предварительно согласно первым двум условиям (13) и (14) выбираем масляный высоковольтный выключатель ВМП-10-630-20 с электромагнитным приводом ПЭ-11, со следующими техническими характеристиками:

- номинальное напряжение выключателя

$$U_{НВ} = 10 \text{ кВ} = U_{Н} = 10 \text{ кВ};$$

- номинальный ток выключателя

$$I_{НВ} = 630 \text{ А} > I_{Н} = I_p = 57,74 \text{ А};$$

- номинальный ток отключения выключателя

$$^1_{Н.ОТК.В} = 20 \text{ кА};$$

- номинальное амплитудное значение тока выключателя

$$^i_{Н.а.е} = 64 \text{ кА};$$

- номинальный ток термической стойкости выключателя

$$^1_{Н.ТС.В} = 20 \text{ кА};$$

- время действия номинального тока термической стойкости

выключателя

$$= 8 \text{ с};$$

- время отключения выключателя

$$\wedge_{ТК.В} = 0,12 \text{ с}$$

Мощность отключения выключателя

$$S_{ОТК.В} = 43 \cdot 20 \cdot 10 = 346,41 \text{ МВА}.$$

Для воздушной линии выбран провод АС-35, $1_{доп} = 175 \text{ А}$, $R_0 = 0,85 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,403 \text{ Ом/км}$.

Полное сопротивление линии

$$Z = \sqrt{5,10^2 + 2,42^2} = 5,64 \text{ Ом.}$$

Трёхфазный ток короткого замыкания

$$I_{K3} = \frac{I_{\theta}}{\sqrt{3} \cdot 5,64} = 1,02 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания

$$S_K = 43 \cdot 1,02 \cdot 10 = 17,72 \text{ МВА.}$$

$$S_{\text{отк.в}} = 346,41 \text{ МВА} > S_{KS} = 17,72 \text{ МВА.}$$

Выключатель выполняет требования по отключающей способности.

По результатам расчёта практической работы выбираем для воздушной кабельной линии выключатель высокого напряжения ВМП-10-630-20 с электромагнитным приводом ПЭ-11.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение высоковольтного выключателя в электрических сетях?
2. Каким требованиям должен удовлетворять высоковольтный выключатель?
3. Как осуществляется выбор высоковольтного выключателя?

Практическая работа №13

Тема:Проверка выбранного защитно-коммутационного аппарата на динамическую устойчивость и термическую стойкость

Цель и задачи урока- Научиться проверять выбранный выключатель высокого напряжения на динамическую устойчивость и термическую стойкость.

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Краткие теоретические сведения

Выключатель, выбранный по номинальному напряжению, номинальному продолжительному току и номинальной мощности отключения должен быть проверен на динамическую устойчивость и термическую стойкость.

Ток динамической устойчивости - это максимальное значение тока, который способен пропустить выключатель, не повреждаясь, и без отбрасывания контактов. Динамическая устойчивость должна проверяться из условия: номинальное амплитудное значение тока выключателя должен быть больше, чем протекающий через выключатель ударный ток короткого замыкания. Обычно сравнивают мгновенные значения пика тока. При определении максимального расчетного тока короткого замыкания должны рассматриваться все возможные варианты короткого замыкания, и из них должен быть выбран наиболее тяжелый, каким обычно является режим отключения трех- и однофазного короткого замыкания на «землю».

Ток термической стойкости, действующий определенное время - это ток, который выключатель способен пропустить, не повреждаясь. Термическая стойкость должна проверяться из условия протекания через выключатель тока короткого замыкания в течение максимального времени, обусловленного временем срабатывания защиты. Номинальный ток термической стойкости выключателя должен превышать максимально возможное значение ток термической стойкости при коротком замыкании.

Задание

Проверить выбранный выключатель высокого напряжения на динамическую устойчивость и термическую стойкость.

Проанализировать проделанную работу.

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №8, №9, №10 и №12.

Ход урока:

Выбранный выключатель проверяем на динамическую устойчивость по условию

$$i_{H.a.e} \leq i_y, \quad (18)$$

где $i_{H.a.B}$ - номинальный амплитудный ток выключателя, кА;

i_y - ударный ток 3-х фазного короткого замыкания, кА.

Ударный ток 3-х фазного короткого замыкания $i^{\wedge}$ кА, определяется по формуле

$$i_y = 42 \cdot B_y \cdot I_{\ll}, \quad (19)$$

где K_y - ударный коэффициент при трёхфазном коротком замыкании, для воздушных линий выше 1000 В принимается 1,8.

Выбранный выключатель проверяем на термическую стойкость по условию

$$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{\text{ТС.В}} \cdot t > \frac{I^2}{I_{\text{ТС.В}}} \cdot t_{\text{пр}}, \quad (20)$$

где $I_{\text{ТС.В}}$ - номинальный ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{\text{ТС.В}}$ - время действия номинального тока термической стойкости выключателя, с;

I - установившееся значение тока короткого замыкания, равное трёхфазному току короткого замыкания, кА;

$t_{\text{пр}}$ - приведённое время короткого замыкания от возникновения до отключения (суммарное время срабатывания защиты), принимаем 0,2 с.

Пример выполнения расчёта

Необходимые данные для расчёта берутся из предыдущих практических работ №8, №9, №9 и №12.

Для воздушной кабельной линии выбран выключатель высокого напряжения ВМП-10-630-20 с электромагнитным приводом ПЭ-11.

Выбранный выключатель проверяем на динамическую устойчивость.

Ударный ток 3-х фазного короткого замыкания

$$i_y = 42 \cdot 1,8 \cdot 1,02 = 2,60 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{а.в}} = 52 \text{ кА} > i_y = 2,60 \text{ кА.}$$

Выключатель динамически устойчив.

Выбранный выключатель проверяем на термическую стойкость

$$I_{н.тс.в} \cdot t_{ТСВ} = 20^2 \cdot 8 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I \cdot t_{np} = 1,02^2 \cdot 0,2 = 0,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$I_{н.тс.в} \cdot t_{мс.в} = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > I \cdot t_{np} = 0,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель термически стойкий.

По результатам расчёта практической работы выбранный для воздушной кабельной линии выключатель высокого напряжения ВМП-10-630-20 с электромагнитным приводом ПЭ-11 динамически устойчив и термически стойкий.

Контрольные вопросы

1. По каким критериям проверяют выбранный высоковольтный выключатель?
2. Как осуществляется проверка высоковольтного выключателя на динамической устойчивости?
3. Как осуществляется проверка высоковольтного выключателя на термическую стойкость?

Практическая работа №14

Тема: Расчет заземляющего устройства электроустановок

Цели и задачи урока- освоить расчет заземляющего устройства электроустановок

Тип урока- практическое занятие

Методы обучения- репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия-: методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Ход урока:

Рассчитать заземляющее устройство (ЗУ) в электроустановках (ЭУ) с изолированной нейтралью (ИН) — это значит:

- определить расчетный ток замыкания на землю (I_z) и сопротивление ЗУ (R_z);
- определить расчетное сопротивление грунта (ρ_p);
- выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;
- уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

Примечание. При использовании естественных заземлений

$$\frac{R_{\Sigma} \cdot R_c}{R_{\Sigma} + R_c}$$

где R_{Σ} , R_c — сопротивление искусственных и естественных заземлений, Ом.
Сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяется по формуле

$$R_c = \frac{\rho}{\sqrt{S}},$$

где $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (суглинок);

S — площадь, ограниченная периметром здания, м^2 .

Определение 7, и /?,

В любое время года согласно ПУЭ

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3},$$

где L_3 — сопротивление заземляющего устройства, Ом (не более 10 Ом);

I_3 — расчетный ток замыкания на землю, А (не более 500 А).

Расчетный (емкостный) ток замыкания на землю определяется приближенно

$$I_3 = \frac{U_n(35 + 7L_{\text{вн}})}{350},$$

где U_n — номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$L_{\text{вн}}$ — длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

Примечание. В электроустановках с ИН до 1 кВ

$$R_3 < \frac{125}{\sqrt{3}} \text{ (не более 4 Ом).}$$

При мощности источника до 100 кВ·А — не более 10 Ом.

По этой же формуле рассчитывают R_3 , если ЗУ выполняется общим для сетей до и выше 1 кВ.

При совмещении ЗУ различных напряжений принимается R_3 наименьшее из требуемых значений (таблица 22).

Определение r_p грунта

$$R_p = \frac{P}{\rho_{сез}}$$

где r_p — расчетное удельное сопротивление грунта, Ом • м;

$\rho_{сез}$ — коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта,

$\rho_{сез} = \rho_{сез}^{\text{табл}}$ (климатическая зона, вид заземлителей), принимается по таблице 23.

Выбор и расчет сопротивления электродов

Выбор электродов — по таблице 25.

Приближенно сопротивление одиночного вертикального заземления определяется по формуле

$$R_v = 0,3 r_p.$$

Сопротивление горизонтального электрода (полосы) определяется по формуле

$$R_h = \frac{0,4 r_p}{L} \lg \frac{L}{b}$$

где L — длина полосы, м;

b — ширина полосы, м; для круглого горизонтального заземлителя $b = 1,1 d$

t — глубина заложения, м.

$$R_v = \frac{r_p}{\eta_v}; \quad R_h = \frac{r_p}{\eta_h},$$

Определение сопротивлений с учетом коэффициента использования.

где R_v и R_h — сопротивление вертикального и горизонтального электродов с учетом коэффициентов использования, Ом;

η_v и η_h — коэффициенты использования вертикального и горизонтального электродов, определяются по таблице 1.13.5:

$$\eta = U(a, L, N_v),$$

где a — расстояние между вертикальными заземлителями, м;

L — длина вертикального заземлителя, м;

N_v — число вертикальных заземлителей.

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом соединительной полосы

Уточнение числа вертикальных электродов

Необходимое число вертикальных заземлителей определяется следующим образом:

$U' = \frac{U}{\text{ЛиП}}$ - (при использовании естественных и искусственных заземлителей);

$U' = \frac{U}{8}$ (при использовании только искусственных заземлителей);

$$y = \frac{5}{R_{\text{п}} \cdot 1_{\text{в.ут}}}$$

где $1_{\text{в.ут}}$ — уточненное значение коэффициента использования вертикальных заземлителей.

Таблица 22 Наибольшие допустимые значения R , для 3-фазных сетей

Напряжение сети, кВ	Режим нейтрали	$R_{\text{з.нб}}$, Ом	Вид ЗУ
110 и выше	ЗН	0,5	Заземление
3...35	ИН	10	
0,66	гзн	2	Зануление
0,38		4	
0,22		8	
0,66; 0,38; 0,22	ин	4	Заземление

Примечание. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом м допускается увеличивать указанные выше значения в 0,01р раз, но не более 10-кратного.

Таблица 23 Коэффициенты сезонности $K_{\text{сз}}$

Климатическая зона	Вид заземлителя		Дополнительные сведения
	вертикальный	горизонтальный	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глубина заложения вертикальных заземлителей от поверхности земли 0,5...0,7 м
II	1,7	4,0	
III	1,5	2,3	Глубина заложения горизонтальных заземлителей 0,3...0,8 м
IV	1,3	1,8	

Примечание. Зона I имеет наиболее холодный, IV — теплый климат;

p — удельное сопротивление грунта, измерено при нормальной влажности, Ом • м, принимается по таблице 24.

Таблица 24 Удельное сопротивление грунта (p)

Грунт	Торф	Глина, земля садовая	Чернозем	Суглинок	Каменистая почва	Супесь	Песок с галькой
p , Ом • м	20	40	50	100	200	300	800

Таблица 25. Рекомендуемые электроды

Вид электрода	Размеры, мм	L , м	r , м
Стальной уголок	50 x 50 x 5	2,5...3	0,5... 0,7
	60 x 60 x 6		
	75 x 75 x 8		
Круглая сталь	Ø 12...16	5...6	
Труба стальная	Ø 60	2,5	
Полоса стальная	40 x 4	Расчетная	
Пруток стальной	Ø 10...12		

Таблица 26. Значения коэффициентов использования электродов

N.	$\begin{matrix} a \\ L \end{matrix}$						Дополнительные сведения
	1		2		3		
	Пв	Пг	Ив	Пг	п«	Пг	
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,7	Числитель для контурного ЗУ, а знаменатель — для рядного
	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92	
6	0,62	0,4	0,73	0,48	0,8	0,64	
	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88	
10	0,55	0,34	0,69	0,4	0,76	0,56	
	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82	
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45	
	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68	
30	0,43	0,24	0,6	0,3	0,68	0,41	
	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58	

Пример 1

Дано:

Л хВ=15х 12м

И^{тм} = 20 кВ

ДлЭпСкл) -10 КМ

К_н = 0,4 кВ

ρ = 300 Ом • м (супесь)

t = 0,7 м

Климатический район — IV

Вертикальный электрод — уголок (75 х 75), L_в = 3 м

Вид ЗУ — контурное Горизонтальный электрод — полоса (40 х 4 мм)

Требуется:

- определить количество вертикальных и длину горизонтальных заземлителей;
- показать размещение ЗУ на плане;
- определить фактическое значение сопротивления ЗУ.

Решение:

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_{в} = 0,3\rho K_{с, в} = 0,3 \cdot 300 \cdot 1,3 = 117 \text{ Ом.}$$

По таблице 23 $K_{ce>л} = \Gamma(\text{верт., IV}) = 1,3$.

2. Определяется предельное сопротивление совмещенного ЗУ

$$/r_{3y1} < 121 = \quad = 6,25 \text{ Ом (для ЛЭП ВН)};$$

$$r_{\text{ЛЭП}} = \frac{35}{350} \frac{20-35-10}{350} = 20 \text{ д.},$$

Требуемое по НН $/r_{1y2} < 4 \text{ Ом на НН.}$

Принимается $R_2 = 4 \text{ Ом}$ (наименьшее из двух).

Но так как $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то для расчета принимается

$$4T50 = 4Ж = 12 \text{ Ом}$$

3. Определяется количество вертикальных электродов:

- без учета экранирования (расчетное)

$$L_{\Sigma p} = \Lambda = \Lambda_y = 9,75, \text{ Принимается } \Lambda'_p = 10;$$

- с учетом экранирования

$$N_{ap} = \frac{K_p - 10}{\Pi_b 0,69} = 14,5. \text{ Принимается } N_a = 15.$$

По таблице 26 $\Pi_b = \Lambda$ (тип ЗУ, вид заземления, —, Λ_b) — F (контурное, вертикальное, 2, 10) = 0,69.

4. Размещается ЗУ на плане (рис. 1.13.1) и уточняются расстояния, наносятся на план. Так как контурное ЗУ закладывается на расстоянии не менее 1 м, то длина по периметру

закладки равна

$$L_n = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = (15 + 2) \cdot 2 + (12 + 2) \cdot 2 = 62 \text{ м.}$$

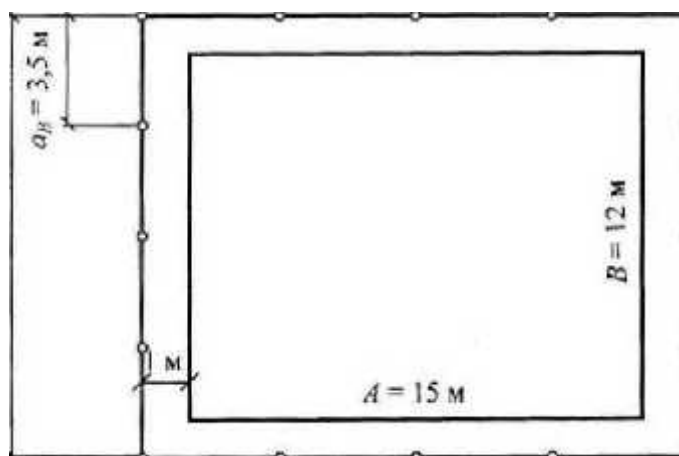
Тогда расстояние между электродами уточняется с учетом формы объекта.

По углам устанавливают по одному вертикальному электроду, а оставшиеся — между ними.

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается $N_e = 16$, тогда

$$B' = 14, \quad A' = 17, \quad \text{„}$$

л



$\Lambda =$
16
 $\Lambda_{ap} =$
3 м

Рис. План ЗУ

$$O_d = \frac{a}{n_b - 1} = \frac{3,5 \text{ м}}{4} \quad \text{л И4-1} \quad \frac{4,25 \text{ м}}{4}$$

где a_d — расстояние между электродами по ширине объекта, м;

a_A — расстояние между электродами по длине объекта, м;

n_b — количество электродов по ширине объекта;

n_A — количество электродов по длине объекта.

$$\begin{array}{l} \bullet \text{-----} \\ a_A = 4,25 \text{ м} \\ \bullet \text{<-1 --- ---} \end{array}$$

Для уточнения принимается среднее значение отношения

Тогда по таблице 26 уточняются коэффициенты использования

$$t|_B = F(\text{конт.}; 1,3; 16) = 0,56;$$

$$t|_r = F(\text{конт.}; 1,3; 16) = 0,32.$$

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов

$$R_r = \frac{0,4}{L_n \eta_r} \rho K_{\text{сез.г}} \lg \frac{2L_n^2}{bt} = \frac{0,4}{62 \cdot 0,32} \cdot 300 \cdot 1,8 \lg \frac{2 \cdot 62^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 54,2 \text{ Ом.}$$

По таблице 24 $K_{\text{сез.г}} = F(IV) = 1,8$.

$$R_a = \frac{r_a}{N_a \eta_B} = 13,1 \text{ Ом.}$$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{\text{з.ф}} = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_r}} = \frac{1}{\frac{1}{13,1} + \frac{1}{54,2}} = 10,6 \text{ Ом;}$$

следовательно, ЗУ эффективно.

Ответ: ЗУ объекта состоит из:

$$M=16;$$

$$= 3 \text{ м; } 75 \times 75 \text{ мм;}$$

$$a_L \sim 4,25 \text{ м; } a_d = 3,5 \text{ м;}$$

$$L_n - 62 \text{ м; полоса — } 40 \times 4 \text{ мм; } R_{\text{з.ф}} = 10,6 \text{ Ом.}$$

Пример 2

Дано:

$$B_{\text{лп}} = 5 \text{ км}$$

$$B_{\text{кя}} = 5 \text{ км}$$

$$\text{ТП-10/0,23 кВ}$$

$$\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м (грунт — щебень)}$$

$$A \times B = 15 \times 12 \text{ м}$$

$$l = 0,5 \text{ м}$$

Вид ЗУ — рядное

Климатическая зона — I

Вертикальный электрод — сталь 0 16, L - 5 м

Горизонтальный — полоса стальная 40 х 4 мм

Требуется:

- определить количество вертикальных электродов (Y_v) и длину горизонтальной полосы;
- определить фактическое $7?_{3y}$;
- разместить ЗУ на плане.

Решение:

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$z_{\text{в}} = 0,3 \rho_{\text{к}} \epsilon_{\text{з в}} = 0,3 \cdot 200 \cdot 1,9 = 114 \text{ Ом.}$$

По таблице 24 $K_{\text{сгв}} = \Gamma(\text{зона I}) = 1,9$;

$$\epsilon_{\text{сз г}} = \epsilon(\text{зона I}) = 5,8.$$

2. Определяется расчетное сопротивление совмещенных ЗУ подстанции

$$/_{\text{з у}} < y^{\wedge} = y_{\text{р}} = 24,5 \text{ Ом;}$$

$$\frac{\Gamma_{\text{г}}(354 \text{ л} + \epsilon_{\text{г}})}{350} \frac{10(35-5+5)}{350} \text{ с,}$$

$/_{\text{у}2} = 8 \text{ Ом}$; для сети НН, но допустимое при данном грунте определяется

$$R_{\text{з у} \cdot \text{нон}} = T_{\text{з у}2} \cdot 0,01 \rho = 8 \cdot 0,01 \cdot 200 = 16 \text{ Ом.}$$

Следовательно, для расчета принимается $R_{\text{з у}} = 16 \text{ Ом}$.

3. Определяется количество вертикальных электродов расчетное:

• без учета экранирования

$$N'_{\text{в.р}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{з у}}} = 7,1, \quad N'_{\text{в.р}} = 8;$$

• с учетом

$$N_{\text{в.р}} = \frac{N'_{\text{в.р}}}{1,4} = 13,3, \text{ принимается } L'_{\text{в}}$$

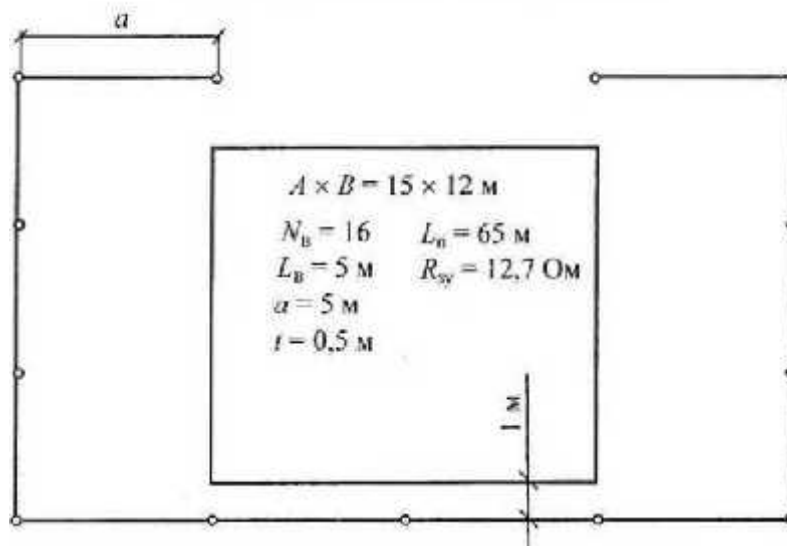
По таблице 26 $\tau]_{\text{в}} = \epsilon(\text{рядное; } 1,8) = 0,6$.

Так как $\frac{a}{L} = 1$, то a

Минимальное расстояние от объекта — 1 м.

Примечание. При прямой прокладке получится большая протяженность по территории, что нецелесообразно.

$$L_{\text{н}} = a (N_{\text{в}} - 1) = 5 \cdot (14 - 1) = 65 \text{ м,}$$



$$\gamma|_B = \gamma'(\text{рядное}; 1,14) = 0,54; \tau|_r = \\ \gamma'(\text{рядное}; 1,14) = 0,54.$$

$$R_r = \frac{0,4}{L_n \eta_r} \rho K_{\text{сез.г}} \lg \frac{2L_n^2}{bt} = \frac{0,4}{65 \cdot 0,54} \cdot 200 \cdot 5,8 \lg \frac{2 \cdot 65^2}{17,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5} = 79 \text{ Ом},$$

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов

По таблице 26

так как вертикальный электрод круглый, то $B = 1,1 \cdot 16 = 17,6 \text{ мм}$.

$$R_{\text{з.ф}} = R_B + R_r = \frac{15,1 + 79}{15,1 + 79} = 12,7 \text{ Ом}.$$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ

(16 Ом) $R_{\text{з.доп}} > R_{\text{з.ф}}$ (12,7 Ом), следовательно, ЗУ будет эффективным.

Ответ: ЗУ ТП-10/0,23 состоит из 14 вертикальных электродов $L_a = 5 \text{ м}$, $d = 16 \text{ мм}$; $L_n = 65 \text{ м}$,

40 x 4 мм, $R_{3y} = 12,7$ Ом.

Таблица 27. Индивидуальные задания

Вариант	ЛЭП, км		ТП — г р ¹ ; кв	Грунт, р, Ом ■ м	А x B, м	/, м	Вид ЗУ	Клим. зона	Искусственные заземлители, размер, мм	
	/вл	£кЛ							В	Г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	15	5	35 0,4	Песок 800	18 x 8	0,5	К	IV	Стальной уголок 50 x 50 x 5 £ = 2,5 м	Полоса 40x4
2	20	—	20 0,4	Супесь 300	15 x 10	0,6	Р	III		
3	—	3	К) 0,4	Щебень 200	10 x 8	0,7	К	II		
4	5	1	6 0,4	Суглинок 100	12 x 10	0,7	Р	I		
5	3	—	3 0,4	Чернозем 50	10x ю	0,6	К	II	Круглая сталь </ = 12 £ = 5 м	Пру ток d= 10
6	—	5	35 0,65	Глина 40	18 x 10	0,5	р	III		
7	15	1	20 0,65	Торф 20	16x8	0,5	к	IV		
8	8	2	10 0,65	Песок 800	15 x 8	0,6	р	IV	Стальной уголок 60 x 60 x 6 £ = 3 м	Пру ток d= 12
9	6	—	6 0,65	Супесь 300	12 x 8	0,7	к	III		
10	—	2	3 0,65	Щебень 200	10x9	0,7	р	II		

Продолжение табл. 27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	И
11	25	1	35 0,23	Суглинок 100	20 x 10	0,6	К	I	Стальной уголок 60 x 60 x 6 £	Пруток < /= 12
12	10	5	20 0,23	Чернозем 50	15 x 12	0,5	Р	I	Труба стальная < /=60 L = 2,5 м	Полоса 40x4
13	10	—	10 0,23	Глина 40	15 x 8	0,5	К	II		
14	—	6	6 0,23	Торф 20	12x6	0,6	р	III		
15	2	—	3 0,23	Песок 800	10 x 10	0,7	к	IV		
16	■*—	10	20 0,4	Супесь 300	15 x 12	0,7	р	IV	Стальной уголок 75 x 75 x 8 L = 3 м	Полоса 40x4
17	4	5	10 0,4	Щебень 200	16 x 10	0,6	к	III		
18	5	—	6 0,4	Суглинок 100	10 x 8	0,5	р	II		
19	—	2,5	3 0,4	Чернозем 50	12 x 10	0,5	к	I		
20	15	4	20 0,65	Глина 40	18 x 10	0,6	р	I	Круглая сталь d= 15 L = 6 м	Пруток < /= 12
21	9	1	10 0,65	Торф 20	18x8	0,7	к	IV		
22	4	2	6 0,65	Песок 800	16x 10	0,7	р	III		
23	1	2	3 0,65	супесь 300	12x8	0,6	к	II		
24	5	5	10 0,23	щебень 200	15 x 12	0,5	р	I	Круглая сталь < /=16 £ = 5 м	Полоса 40x4
25	3	3	6 0,23	Суглинок 100	12 x 10	0,5	к	I		

Примечание. К — контурное, Р — рядное.

Практическая работа № 15

Тема: Расчет молниезащиты

Тип урока-практическое занятие

Методы обучения-репродуктивный и проблемный

Обеспечение занятия:- методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий, вычислительные средства

Ход урока

Рассчитать молниезащиту — это значит определить тип защиты, ее зону и параметры (таблица 1.14.1).

По типу молниезащита (м/з) может быть следующей:

- одностержневой;
- двухстержневой одинаковой или разной высоты;
- многократной стержневой;
- одиночной тросовой;
- многократной тросовой.

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А — степень надежности защиты $> 99,5 \%$;

Б — степень надежности защиты $95... 99,5 \%$.

Параметрами молниезащиты являются:

А — полная высота стержневого молниеотвода, м;

Л_о — высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м;

h_x — высота защищаемого сооружения, м;

$й_m$ — высота стержневого молниеприемника, м;

$й_a$ — активная высота молниеотвода, м;

го, Гг — радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м;

A_c — высота средней части двойного стержневого молниеотвода, м;

$2z_c, 2z_x$ — ширина средней части зоны двойного стержневого молниеотвода на уровне земли и на высоте защищаемого объекта, м;

α — угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

L — расстояние между двумя стержневыми молниеотводами, м;

a — длина пролета между опорами троса, м;

$A_{оп}$ — высота опоры троса, м;

$z_x + r_T'$ — ширина зоны тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_{cx}$ — длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2z_c$ — длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне земли, м.

Ожидаемое количество поражений (7V) молнией в год производится по формулам:

— для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$DO = 9 \pi h_x^2 n 10^{-6},$$

где h_x — наибольшая высота здания или сооружения, м;

n — среднегодовое число ударов молнии в 1 км² земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения (т. е. удельная плотность ударов молнии в землю), 1/(км² год), определяется по таблице 1.14.2;

— для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$W = [(5 + 6L)(L + 6A_L) - 7,7L^2] \cdot 10^{-6},$$

где L и B — длина и ширина здания или сооружения, м.

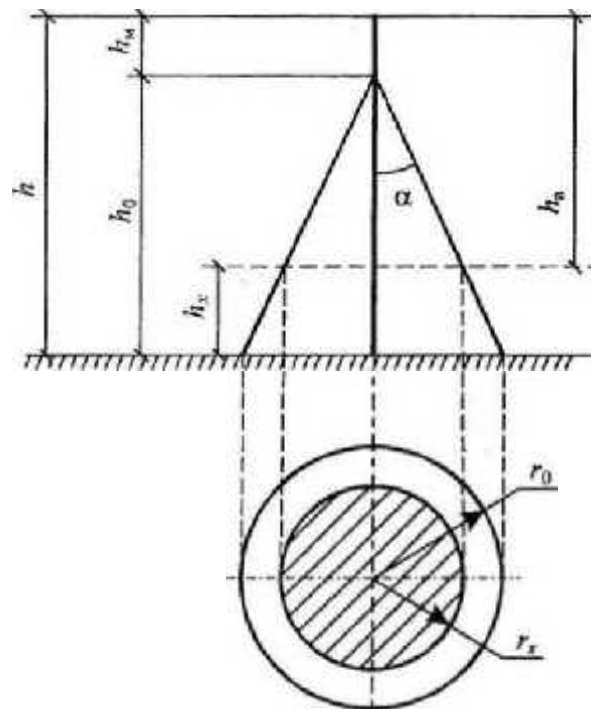
Примечание. Если здание и сооружение имеют сложную конфигурацию, то L и B — это стороны прямоугольника, в который вписывается на плане защищаемый объект.

Зона А	Зона Б
1	2
Одиночные стержневые молниеотводы	
м	$\% = 0,92$
$\gamma^{\wedge} = 0,85\gamma$ $r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \gamma) \gamma$, $r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \gamma)(\gamma - 1,2 h_x)$	$r_0 = 1,5 L$ $r_x = 1,5(\gamma - 1,1 h_x)$
Двойные стержневые молниеотводы одинаковой высоты	
Двойные стержневые молниеотводы $L < \gamma$ При $L < \gamma$ $r_x = A >$ $r_x = r_0$ $r_{cx} = r_0$	
При $h < L < 2\gamma$ $L_c = L_0 - (0,17 + 310 \cdot 10^{-4} L X^{\wedge} - L)$ гс=г0 $r_{cx} = r_0 (A_c - L_x)^{\wedge} -$ При $2\gamma < L < 4\gamma$ $= L^{\wedge} - (0,17 + 310 \cdot 10^{-4} \gamma)(L - \gamma)$ $r_e = r_0 [1 - (L - 2L)]$ $r_{cx} \sim (A_c \sim A_x)$ При $L > 4\gamma$ Молниеотводы рассматривать как одиночные	При $h < L$ $6h$ $\gamma_c = \gamma_0 - 0,14(L - \gamma)$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0 (A_c - A_x) \gamma \sim c$ При $L > 6\gamma$ Молниеотводы рассматривать как одиночные
Двойные стержневые молниеотводы разной высоты	
Габаритные размеры торцевых областей зон защиты γ_{01} , γ_{02} , r_{x1} , r_{x2} определяются как для одиночных стержневых молниеотводов. Габаритные размеры внутренней области зон $r_c = 0,5(\gamma_{01} + \gamma_{02})$ $A_c = 0,5(\gamma_{c1} + \gamma_{c2})$; $r_x = (\gamma_c - \gamma_x)^{\wedge} -$. Значения γ_{c1} и γ_{c2} определяются как для двойных стержневых молниеотводов одинаковой высоты.	
Многokrатные стержневые молниеотводы	
Зона защиты строится посредством попарно взятых соседних стержневых молниеотводов. Основным условием защищенности одного или нескольких объектов высотой с надежностью зон А или Б является $r_{cx} > 0$	
Одиночные тросовые молниеотводы	
$\gamma_0 = 0,85\gamma$ $r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \gamma)$ $r_x = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \gamma)(\gamma - 1,2 h_x)$	$\gamma_d = 0,92\gamma$ $r_0 = 1,7\gamma$ $r_x = 1,7(\gamma - 1,1 h_x)$
Двойные тросовые молниеотводы одинаковой высоты	
При $L < \gamma$	

1	2
При $L < \xi < 2L$ $A_c = \Lambda \cdot (0,14 + 510^{-4} A) (Z - A)$ $U h_0 - h_x$	При $h < L < 6L$ $A_c = A Q - 0,12 (\xi - A)$ $\Gamma_{\text{с}} = O D - A,$
$\frac{1}{2} (A_0 - A_c)$ $\Gamma_{\text{с}} = \Gamma_0$ $\Gamma_{\text{сх}} = \Gamma_0 (A_c - \Gamma_{\text{сх}})^{\Lambda}$	$\frac{1}{2} (V M$ $\Gamma_{\text{с}} = T_0$ $B = r_0 (A_c - A_j) - j J -$ $\Gamma_{\text{с}}$
Двойные тросовые молниеотводы разной высоты	
Значения $A_{01}, A_{02}, \Gamma_{01}, \Gamma_{02}$ по формулам одиночных тросовых молниеотводов. Для определения размеров $\Gamma_{\text{с}}$ и $A_{\text{с}}$ используются формулы $\Gamma_{\text{с}} = 0,5 (\Gamma_{01} + \Gamma_{02}); A_{\text{с}} = (A_{c1} + A_{c2})$. Значения $A_{c1}, A_{c2}, \Gamma_{\text{сх}}, \Gamma_{\text{сх}}$ вычисляются по выше приведенным формулам двойного тросового молниеотвода	

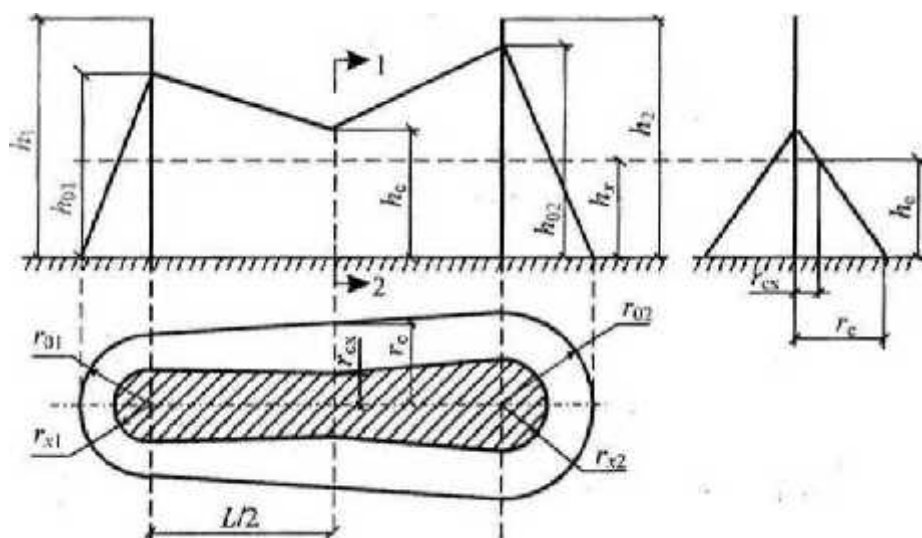
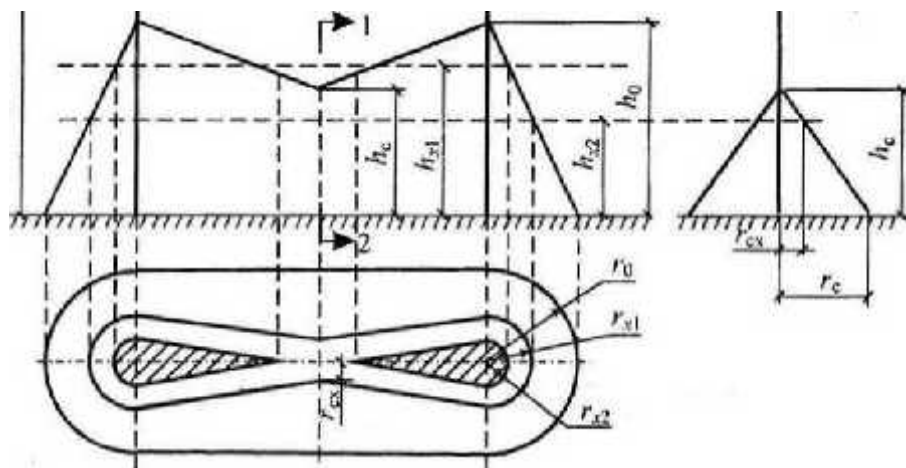
Таблица 1.14.2. Зависимость $n = F(I_{\text{ср}})$

$\Gamma_{\text{ср}}, \text{ч/год}$	10...20	21...40	41...60
$1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$	1	2	4
$\Gamma_{\text{ср}}, \text{ч/год}$	61...80	81...100	101 и более
$1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$	5,5	7	8,5



• Зона одиночного стержневого молниеотвода

Примечание. t_{cp} — среднегодовая продолжительность гроз, ч/год. Определяется по картам, составленным на основании метеосводок за 10 лет.



Ход работы

Дано:

$A = 50 \text{ м}$ $h_x = 20 \text{ м}$ $B = 20 \text{ м}$ $n = 6 \text{ 1/(км}^1 \text{ год)}$ Тип молниезащиты — однострежневая

Требуется:

- определить параметры зон молниезащиты и изобразить их;
- определить габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

Решение:

1. По формулам (таблица 1.14.1) для одиночного стержневого молниеотвода определяются параметры молниезащиты (м/з) для зон.

В масштабе изображаются зоны А и Б (рис. 1.14.8).

Зона А:

$$A_0 = 0,85A = 0,85 \cdot 50 = 42,5 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-2} A) A = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cdot 50 = 50 \text{ м};$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} A)(A - 1,2A_x) = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cdot (50 - 1,2 \cdot 20) = 26 \text{ м};$$

$$A_m = A - A_0 = 50 - 42,5 = 7,5 \text{ м};$$

$$\arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \quad = 49,6^\circ.$$

$$A_a = A - A_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

Зона Б:

$$A_0 = 0,92 A = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,5 A) = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м};$$

$$r_x = 1,5 (A - 1,1 A_x) = 1,5 \cdot (50 - 1,1 \cdot 20) = 42 \text{ м};$$

$$A_m = A - A_0 = 50 - 46 = 4 \text{ м};$$

$$A_a = A - A_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

$$\alpha^{(B)} = \arctg \frac{r_0}{A_0} = \arctg \frac{75}{46} = 58^\circ.$$

$$\cos \varphi^{(A)} = \cos 22,6^\circ = 0,92;$$

$$W = 2r_x / \cos \varphi^{(A)} = 2 \cdot 26 / 0,92 = 48 \text{ м};$$

$$\varphi^{(B)} = \arctg \frac{B}{2r_x^{(A)}} = \arctg \frac{20}{2 \cdot 26}$$

1 Определяются габаритные размеры защищаемого объекта в каждой зоне молниезащиты. Для этого на расстоянии — от средней линии параллельно проводится линия до пересечения с окружностью r_x (рис. 1.14.8).

Зона А:

$$A \times B \times H = 48 \times 20 \times 20 \text{ м.}$$

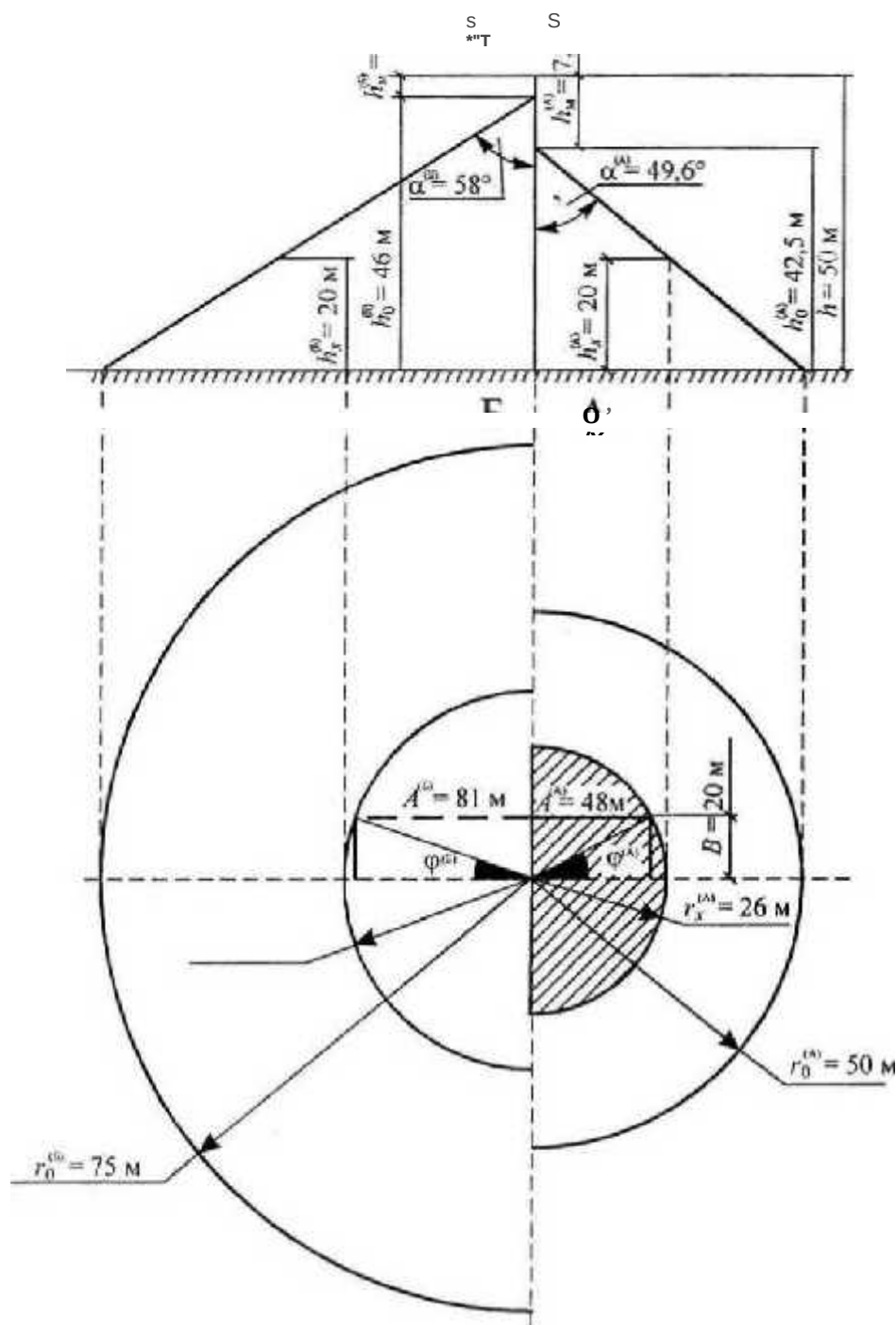
Зона Б:

$$\angle p^{(B)} = \arcsin \frac{2D}{2} = 13,8^\circ;$$

$$\cos \angle p^{(G)} = \cos 13,8^\circ = 0,97;$$

$$L^{(B)} = 2r_x^{(G)} \cos \angle p^{(G)} = 2 \cdot 42 \cdot 0,97 = 81,6 \text{ м. Принимается } A = 81 \text{ м.}$$

$$A * B \times // = 81 \times 20 \times 20 \text{ м.}$$



Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода, $h = 50$ м

3. Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта в зонах при отсутствии молниезащиты.

$$\begin{aligned}
 /Y_{\text{Л}} &= [(5 + 6A_r)(\text{Л}^{(\text{Л})} + 6\text{Л}_0) - 7,7\text{Л}^2] \cdot 10^{-6} = \\
 &= [(20 + 6 \cdot 20)(48 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2] \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 12,310^{-2} \text{ поражений.} \\
 &= [(B + 6\text{Л}_\text{д.}) (\text{Л}^{(\text{В})} + 6\text{Л}_\text{Т}) - 7,7\text{Л}^2] \cdot 10^{-6} = \\
 &= [(20 + 6 \cdot 20)(81 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2] \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}
 \end{aligned}$$

В зоне молниезащиты Б количество поражений в год больше.

Ответ: Параметры зон молниезащиты указаны на рис.

Для зоны А: $Я \times 2? \times // = 48 \times 20 \times 20$ м; $N_A = 12,3 \cdot 10^{-2}$ поражений.

Для зоны Б: $A \times B \times H = 81 \times 20 \times 20$ м; $N_B = 12,3 \cdot 10^{-2}$ поражений.

Таблица 29 Индивидуальные задания

Вариант	Тип м/з	Зона	м	В, м	м	Лг, М	L, м	a, м	I_{CP} , ч/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1С	А	20	15	40	—	—	—	110
2	2С	Б	20	20	50	50	50	60	100
3	2С	А	20	20	30	50	40	—	20
4	1Т	Б	15	—	32	—	40	—	30
5	2Т	А	15	—	32	32	20	40	40
6	2Т	Б	15	—	32	22	25	30	90
7	1С	Б	20	15	40	—	—	—	80
8	2С	А	10	12	45	25	50	—	50
9	2С	А	10	12	30	30	45	—	60
10	1Т	А	8	—	22	—	30	—	70
11	2Т	Б	8	—	22	27	30	45	110
12	2Т	Б	8	—	17	17	30	35	70
13	1С	А	12	10	35	—	—	—	100
14	2С	Б	15	15	50	50	35	—	60
15	2С	Б	15	15	50	40	40	—	20
16	1Т	А	16	—	27	—	40	—	50
17	2Т	А	12	—	22	27	35	20	30
18	2Т	Б	12	—	27	27	35	25	80
19	1С	А	25	30	60	—	—	—	40
20	2С	Б	16	20	50	40	50	—	90

Продолжение табл. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	2С	А	16	20	50	50	40	—	90
22	1Т	А	12	—	27	—	30	—	40
23	2Т	Б	8	—	17	22	25	30	80
24	2Т	Б	8	—	27	27	25	20	30
25	1С	А	15	20	50	—	—	—	50
26	2С	Б	16	12	40	40	50	—	20
27	2С	Б	12	16	40	30	50	—	60
28	1Т	А	16	—	27	—	60	—	100
29	1С	Б	20	20	50	—	—	—	80
30	2Т	А	10	—	22	22	25	40	90

Примечание.

L — расстояние между двумя стержневыми молниеотводами (для типа м/з 2С) или расстояние между опорами тросового молниеотвода (для м/з типа Т);

a — длина пролета между опорами троса (для м/з типа 2Т);

L_i, h_i — высота опор (для м/з типа Т);

1С — одиночная стержневая м/з;

2С — двойная стержневая м/з;

1Т — одиночная тросовая м/з;

2Т — двойная тросовая м/з;

В каждом варианте требуется:

- определить параметры зоны м/з и изобразить ее;
- определить наибольшие габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

Лабораторная работа № 6-8 «Монтаж электропроводки в жилой квартире»

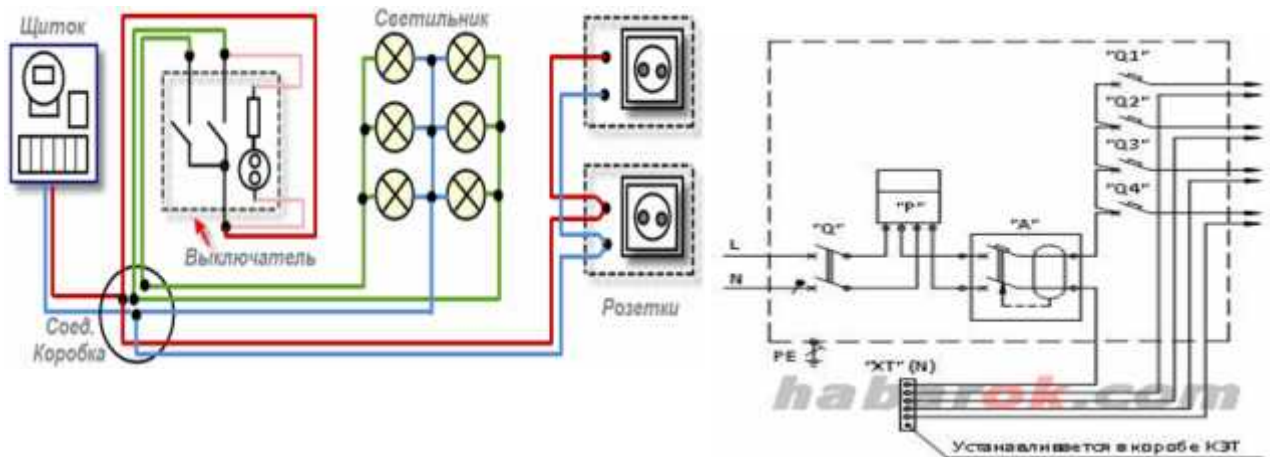
Цель работы:

1. Записать технические характеристики розеток, выключателей, лампочек.
2. Собрать схему согласно рисунка

Лабораторная работа № 6-8 «Монтаж электропроводки в жилой квартире»

Цель работы:

1. Записать технические характеристики розеток, выключателей, лампочек.
2. Собрать схему согласно рисунка



Теоретическая часть:

В каждой комнате устанавливается соединительная коробка. К ней подводятся провода (кабеля) от щитка и берётся электропитание с одного из автоматов на нём. Такие соединительные коробки являются местами коммутации всех силовых проводов электропроводки (от выключателей, светильников, розеток, кондиционеров и т.д.), что располагаются в данной комнате. В соединительной коробке имеется фаза (провод красного цвета) и ноль (синего цвета), которые приходят от щитка. Берётся фазный провод и к нему подсоединяется общий провод (также белого цвета) идущий к выключателю. В разомкнутом положении выключателя фаза просто сидит на общей клемме и ждёт, пока нажатием на клавишу (клавиши) подадут её на провод, что соединен с одной из ламп. Провода, идущие к светильнику (лампам) обозначены зелёным цветом. В состоянии отключенного выключателя эти провода обесточены.

Порядок выполнения электрического монтажа:

- Снять защитные оболочки с аппаратуры, которая будет использоваться в собираемой схеме.
- Снять крышки с распределительных коробок и коробов.
- Выполнить электрический монтаж схемы.
- Установить крышки на распределительные коробки и короба.

- Закрыть аппаратуру защитными оболочками. Там, где это предусмотрено, закрепить защитные оболочки винтами.
- Установить автоматические выключатели и УЗО на панели в выключенное состояние.
- Подать питание на схему.
- Подключить нагрузку и проверить работу розеток и лампочек.
- Выключить схему.

Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Какая величина напряжения в жилом доме?
2. Сколько проводов подсоединяются в розетке и почему?
3. Для чего устанавливаются распределительные коробки?

Литература

Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / Е.А. Конюхова. - 4-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2015. - 320с.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. - М.: Омега-Л, 2012.

Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб для студ. сред. проф. образования / Юрий Дмитриевич Сибикин. - М.: Издательский центр «Академия», 2015. - 368с.

.

