

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
(ЛФ ПНИПУ)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«МДК 02.02 УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕТЕЙ**  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

Обслуживание воздушных и кабельных линий электроснабжения. Разработка и оформление  
технологической и отчетной документации электрических сетей

основной профессиональной образовательной программы

подготовки специалистов среднего звена

среднего профессионального образования

«СПО 13.02.07 « Электроснабжения»(по отраслям)»

*код и название специальности*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению курсовой работы (курсового проекта)**

Лысьва 2021 г.

Разработчик-составитель: Листопадова М.В.

*(преподаватель, ФИО)*

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании предметной (цикловой) комиссии электротехнических дисциплин (ПЦК ЭД) «30» августа 2021 г., протокол № 1.

## 1. Общие положения

*Курсовая работа представляет собой самостоятельную и углубленную разработку одной из конкретных тем или проблем учебной дисциплины.*

### **Цель выполнения курсовой работы:**

- *систематизация, закрепление, углубление и расширение теоретических и практических знаний по дисциплине;*
- *применение полученных знаний по электроснабжению при решении практических задач;*
- *расширение и углубление навыков самостоятельной работы, которые включают умение ориентироваться в научной литературе (навыки информационного поиска), умение четко и ясно излагать свои мысли и результаты научных исследований;*
- *овладение методикой научного исследования и практического экспериментирования при решении разрабатываемых в рамках курсовой работы проблем и вопросов, формулирования самостоятельных выводов в рамках изучаемой проблемы.*

*При выполнении курсовой работы по МДК 02.02 Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения*

*предполагается решить следующие задачи:*

- *изучить устройство и техническое обслуживание электрических подстанций*
  - научить студента использовать современные методы и приемы исследований и расчётов;*
  - рассмотреть методики ведения технологической и отчётной документации*

### **Требования к компонентному составу общих компетенций**

<b>Код</b>	<b>Наименование общих компетенций</b>
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 и 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
ЛР 16	Демонстрирующий готовность и способность вести диалог с другими людьми, достигать в нем взаимопонимания, находить общие цели и сотрудничать для их достижения в профессиональной деятельности
ЛР 17	Проявляющий сознательное отношение к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной и общественной деятельности
ЛР 18	Проявляющий гражданское отношение к профессиональной деятельности как возможности личного участия в решении общественных, государственных, общенациональных проблем
ЛР 19	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках
ЛР 20	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, применять стандарты антикоррупционного поведения
ЛР 21	Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере
ЛР 22	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие в условиях развития информационных технологий, применяемых в различных отраслях народного хозяйства
ЛР 23	Активно применяющий полученные знания на практике
ЛР 24	Способный анализировать производственную ситуацию, быстро применять решения
ЛР 25	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами
ЛР 28	Проявлять доброжелательность к окружающим, деликатность, чувство такта и готовность оказать услугу каждому кто в ней нуждается

### 2.3. Перечень профессиональных компетенций

Код	Наименование видов деятельности и профессиональных компетенций
ВД	Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей
ПК 2.1	Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей.
ПК 2.4	Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения.
ПК 2.5.	Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию

### 2.4. В результате освоения профессионального модуля студент должен:

Иметь практический опыт в:	- техническом обслуживании трансформаторов и преобразователей электрической энергии; - эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи;
Уметь:	- контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию; - использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
Знать:	- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок; - эксплуатационно-технические основы линий электропередачи, виды и технологии работ по их обслуживанию;

## ***2. Примерная тематика курсовых работ***

1. Устройство и техническое обслуживание воздушных линий.
2. Устройство и техническое обслуживание кабельных линий.
3. Методика расчета электрической нагрузки многоэтажных жилых домов, оборудованных электрическими плитами
4. Методика расчета электрической нагрузки многоэтажных жилых домов, оборудованных электрическими плитами и пассажирскими лифтами.
5. Методика расчета электрической нагрузки жилых домов, оборудованных электроприемниками собственных нужд.
6. Методика расчета электрической нагрузки жилых домов повышенной комфортности и этажности.
7. Расчет электрической нагрузки жилого фонда городского микрорайона.
8. Выбор места размещения потребительской подстанции электроснабжения жилого микрорайона
9. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции электроснабжения городского микрорайона
10. Выбор главной схемы подстанции электроснабжения жилого микрорайона
11. Выбор количества и типа силовых трансформаторов для оснащения ТП электроснабжения жилого микрорайона
12. Расчет длительных номинальных токов в элементах главной схемы ТП электроснабжения жилого микрорайона.
13. Расчет токов короткого замыкания на стороне ВН ТП электроснабжения жилого микрорайона.
14. Выбор средств ограничения токов короткого замыкания на стороне ВН ТП электроснабжения жилого микрорайона.
15. Расчет токов короткого замыкания на стороне НН ТП электроснабжения жилого микрорайона.
16. Выбор средств ограничения токов короткого замыкания на стороне НН ТП электроснабжения жилого микрорайона.
17. Выбор токоведущих частей и коммутационных аппаратов на ТП электроснабжения жилого микрорайона.
18. Выбор и расчет устройств заземления на ТП электроснабжения жилого микрорайона.
19. Выбор и расчет устройств молниезащиты здания трансформаторной подстанции.
20. Выбор и расчет устройств защиты подстанционного оборудования от атмосферных перенапряжений со стороны ВН.
21. Выбор и расчет устройств защиты подстанционного оборудования от атмосферных перенапряжений со стороны НН.
22. Выбор и расчет устройств защиты подстанционного оборудования от коммутационных перенапряжений со стороны ВН.

23. Выбор и расчет устройств защиты подстанционного оборудования от коммутационных перенапряжений со стороны НН.
24. Выбор и расчет изоляционных конструкций на ТП электроснабжения жилого микрорайона.
25. Выбор и расчет устройств автоматики и РЗ на электроподстанции.
26. Организация и проведение ППР на электроподстанции.
27. Организация и проведение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии.
28. Организация и проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок.
29. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции.
30. Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока.
31. Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения.
32. Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для открытого распределительного устройства.
33. Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для закрытого распределительного устройства.
34. Расчет рабочих токов основных присоединений распределительных устройств. Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для открытого распределительного устройства.

### 3. Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

#### (курсового проекта)

#### *Примерная структура курсовой работы*

##### **Введение**

*Содержит актуальность рассматриваемого вопроса, объект, цель и задачи исследования, методы исследования.*

##### **1 глава**

*Методологические основы рассматриваемого вопроса: способы сбора информации, методы изучения, основные расчетные формулы.*

##### **2 глава**

*Применение методов исследования в изучении заданной проблемы.*

##### **Заключение**

*Выводы по исследуемой проблеме.*

#### **Основные этапы работы студента над курсовой работой**

Этап	Содержание	Сроки
1.	<i>Ознакомление с примерным списком тем и научным руководителем</i>	<i>Первое практическое занятие в семестре, в котором предусмотрено написание курсовой работы</i>
2.	<i>Выбор темы, подбор литературы и согласование с научным руководителем</i>	<i>В течение 3-х недель с начала занятий в семестре</i>
3.	<i>Работа над текстом курсовой работой</i>	<i>4-6 недель.</i>
4.	<i>Оформление курсовой работы и передача готовой курсовой работы научному руководителю для проверки</i>	<i>Не позднее 6-ти недель до начала сессии.</i>
5.	<i>Проверка курсовой работы</i>	<i>1-2 недели после сдачи работы научному руководителю</i>
6.	<i>Возврат проверенной курсовой работы студенту. Доработка курсовой работы в случае необходимости и подготовка к защите курсовой работы.</i>	<i>1-2 недели после сдачи работы научному руководителю</i>
7.	<i>Защита курсовой работы</i>	<i>Не позднее 4-х недель до начала сессии</i>

#### **Методические указания по проведению этапов работы**

##### **Подбор литературы**

*Изучение литературы по выбранной теме целесообразно начинать с просмотра*

нескольких учебников. Это позволит получить общее представление о вопросах исследования. Недопустимо написание работы только на основе учебной литературы...

### ***Работа над текстом курсовой работы***

После того, как работа по подбору источников завершена и имеется определенное представление об избранной теме, можно составить предварительный план. План курсовой работы должен включать введение, основную часть, заключение, список литературы и приложения...

### ***Оформление курсовой работы***

Тщательно отредактированный после написания (печати) текст курсовой работы необходимо правильно оформить. Курсовая работа сдается в печатном виде и электронном носителе.

Нумерация страниц начинается с титульного листа. На титульном листе курсовой работы должна содержаться следующая информация: наименование вуза, кафедра, по которой выполняется работа, название темы, аббревиатура студенческой группы, фамилия и инициалы студента, фамилия и инициалы научного руководителя, а также его ученая степень и должность, город и текущий год (см. **Приложение № 1**).

### ***Основные требования, предъявляемые к курсовой работе***

Соответствие курсовой работы предъявляемым требованиям является составной частью оценки за курсовую работу...

### ***Общие критерии оценки курсовой работы:***

*Неправильно оформленная работа не принимается.*

*Неудовлетворительная оценка ставится за работу, переписанную с одного или нескольких источников.*

*Отличная оценка ставится за работу, которая характеризуется использованием большого количества новейших литературных источников, глубоким анализом привлеченного материала, творческим подходом к его изложению, знанием...*

## Методика расчета

### Задание 1

#### Расчёт параметров схем замещения воздушных линий электропередачи

##### Цель работы:

1. Изучить методику определения активного сопротивления  $R$ , реактивного сопротивления  $X$ , емкостной проводимости  $B$ , реактивной мощности  $Q_{\text{зар}}/2$ .
2. Получить навыки в расчете.

##### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Расчет параметров схемы замещения.
3. Построить схему замещения и нанести на нее расчетные значения.
4. Оформить отчёт.

#### Теоретическая часть

##### Расчет параметров схемы замещения ВЛ.

Схемой замещения - называют графическое изображение электрической цепи, показывающее последовательность соединения ее участков и отображающее свойства рассматриваемой цепи.

Рис.1.

Схемы замещения ЛЭП:

*а, б* — (П-образная схема) ВЛ 110-330 кВ с емкостной проводимостью и с реактивной мощностью, генерируемой емкостью линий;

*в* — ВЛ  $U_{\text{ном}} 35$  кВ;

*г* — КЛ  $U_{\text{ном}} 10$  кВ.

**1. Активное сопротивление линии ( $R$ )** обусловлено потерями активной мощности на нагрев провода. Зависит от материала провода, сечения и длины и не очень зависит от температуры, т.к. ее влияние учесть практически невозможно из-за постоянного изменения нагрузки и температуры воздуха. Поэтому в расчете  $t=20^{\circ}\text{C}$ .

где:  $k$  – количество цепей;

$R_0$  – удельное сопротивление провода на 1 км, находим по табл.[с.362 т.П1-2, Боровиков, с.441, т.8.45 Справочник по эл.установкам высокого напряжения. Под.ред.И.А.Баумштейна], Ом/км;

$\ell$  – длина линии, км.

**2. Реактивное (индуктивное) сопротивление линии ( $X$ )**, создается маг. полем, образующимся вокруг проводников линии при прохождении переменного тока, Ом:

где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление:

где:  $D_{\text{ср.г}}$  – среднегеометрическое расстояние между фазами, данное значение в  $\text{м}10^3$ .

**3. Реактивная (емкостная) проводимость линии ( $B$ )** - обусловлена наличием

емкости между проводами фаз и емкости фаз относительно земли (учитывается для ВЛ 110 кВ и выше).

Любую пару проводов ВЛ и КЛ, а также каждый провод и землю можно рассматривать как конденсатор с соответствующей емкостью. Под действием приложенного к линии переменного напряжения в емкости линии возникает переменное эл. поле и соответствующий емкостный переменный ток. Этот ток называется – зарядным ток линии  $I_b$ .

- емкостная проводимость линии,  $C_m$ ,

где  $B_0$  - удельная емкостная проводимость линии, на 1 км,  $C_m/км$ .

При П-образной схеме замещения линии вся емкостная проводимость линии условно сосредоточена по концам схемы и, следовательно проводимость на концах схемы замещения равна  $B/2$ .

Наличие емкостной проводимости позволяет условно рассматривать ВЛ и КЛ как источник реактивной мощности.

#### 4. Зарядная мощность ( $Q_{зар}/2$ ) на одном конце линии.

Для большинства расчетов с сетях 110-220 кВ линии электропередачи обычно представляются схемой замещения рис.1 б. В этой схеме вместо емкостной проводимости рис.1а учитывается реактивная мощность, генерируемая емкостью линий. Половина емкостной мощности линии,  $Mвар$ , по концам П-образной схемы замещения, равна:

где:  $k$  – количество цепей;

$l$  – длина линии, км;

$U_n$  – рабочее напряжение линии, кВ.

#### 5. Строим схему замещения и наносим на нее расчетные значения (рис.1 б).

**Задание.** Рассчитать параметры схемы замещения ВЛ. Построить схему замещения и нанести на нее расчетные значения (рис.).

Вариант	Параметры				
	$U_{ном}, кВ$	$l, км$	$D_{ср}, м$	Марка провода	$k$
I	110	90	5	АС-70/11	1
II	220	180	8	АС-300/39	2
III	220	270	8	АС-400/22	1
IV	110	80	5	АС-150/19	2

Найти по таблице «Характеристики сталеалюминиевых проводов»

$d, мм$

$R_0, Ом/км$

Определить:

$R, Ом$

$X_0, Ом/км$

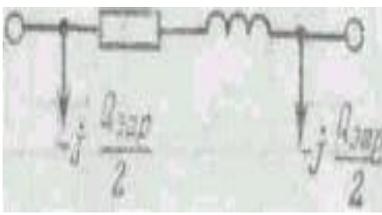
$X, Ом$

$B_0, См/км$

$B, См$

$Q_{зар}/2, МВ·Ар$

$R=... Ом X=... Ом$



### Контрольные вопросы

1. Что называется схемой замещения?
2. Чем отличается полная схема замещения от упрощенной?
3. Перечислить параметры схемы замещения.
4. Чем обусловлена активная проводимость линии  $G_{л}$ ?
5. Как избежать «короны»?
6. От чего зависит емкостная проводимость?
7. Пояснить -  $Q_{зар}$ .
8. От чего зависит активное сопротивление?
9. Чем создается индуктивное сопротивление и от чего зависит?
10. Откуда берем для расчетов  $R_0$  и  $d$ .

## Характеристики сталеалюминиевых проводов (ГОСТ 839-80 Е)

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup> Al/с таль	70/11	70/72	95/16	95/141	150/34	120/19	120/27	150/19	150/24	185/24	185/29	185/43	240/32	240/39	240/56	300/39	300/48	300/66	330/30	330/43	400/22	400/51	400/64	500/27	500/64
Сечение, мм <sup>2</sup>	68	68,4	95,4	91,2	147	118	114	148	149	187	181	185	244	236	241	301	295	288	335	332	394	394	390	481	490
Диаметр провода, d, мм	11,3	72,2	15,9	141	34,3	18,8	26,6	18,8	24,2	24,2	29	43,1	31,7	38,6	56,3	38,6	47,8	65,8	29,1	43,1	22	51,1	63,5	26,6	63,5
Отношение $\alpha_{AC}$	79,3	140,6	111,3	232,2	181,3	136,8	142,6	166,8	173,2	211,2	210	228,1	275,7	274,6	297,3	339,6	342,8	353,8	364,1	379,1	416	445,1	453,5	507,6	553,5
Сопротивление постоянному току при 20°C, R <sub>0</sub> , Ом/км	11,4	15,4	13,5	19,8	17,5	15,2	15,4	16,8	17,1	18,9	18,8	19,6	21,6	21,6	22,4	24,0	24,1	24,5	24,8	25,2	26,6	27,5	27,7	29,4	30,6
Масса 1 км провода, кг	6,0	0,95	6,0	0,65	4,29	6,25	4,29	7,85	6,14	7,71	6,24	4,29	7,71	6,11	4,29	7,81	6,16	4,39	11,55	7,71	17,93	7,71	6,14	18,89	7,71
Длительно допустимый ток I <sub>0,доп</sub> , А	0,429	0,428	0,306	0,321	0,201	0,249	0,252	0,199	0,198	0,157	0,162	0,159	0,12	0,124	0,12	0,098	0,100	0,102	0,088	0,089	0,075	0,075	0,075	0,061	0,06
алюминий, S <sub>A</sub>	276	355	385	1357	675	471	528	554	599	705	728	846	921	952	1106	1132	1186	1313	1152	1255	1261	1490	1572	1537	1852

сталь, S А	26 5	-	33 0	-	450	390	375	450	450	520	510	515	605	610	610	710	690	680	730	730	830	825	860	960	945
всего провода, А <sub>n</sub>																									

Примечания: 1. Провода, у которых  $a_{AC} < 6,0$  применяются в горных условиях и на больших переходах. 2. Провода АС 70/72 и АС 95/141 - применяются в качестве молниезащитных тросов и для организации ВЧ - связи на ВЛ 500 и 750 кВ. 3. Строительная длина провода АС 400/22...АС 500/64 – не менее 1500 м.

## Задание 2

### Расчёт потерь мощности и электроэнергии в линиях электропередачи

#### **Цель работы:**

1. Изучить методику расчета потерь активной, реактивной мощности, электроэнергии для определения экономичности выбранного сечения провода.
2. Получить навыки в расчете.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Расчет потерь активной и реактивной мощности, электроэнергии.
3. Сделать выводы и оформить отчёт.

#### **Теоретическая часть**

При передаче электроэнергии от электростанций к потребителям во всех звеньях электрических сетей имеются потери активной мощности и энергии (на нагрев проводников, создание электромагнитных полей). Эти потери возникают как в кабельных и воздушных линиях различных  $U$ , так и в тр-рах повысительных и понизит.п/ст.

В среднем потери в сетях энергосистемы составляют 10% от отпускаемой в сеть энергии. Значительная часть этих потерь расходуется в линиях передачи всех  $U$  и меньшая часть – в трансформаторах.

При определении экономичности вариантов проектируемой сети, потери в трансформаторах в местных сетях не учитываются.

$P$  - активная мощность, превращается у потребителей в световую, тепловую, механическую энергии.  $Q$  - реактивная мощность идет на создание электромагнитных полей в силовых трансформаторах, электрических машинах, ЛЭП.

**1. Потери активной мощности** на участке трехфазной линии с активным сопротивлением  $R$ :

, (если  $S$  дано в МВ·А, а  $U$  в кВт),

где  $S$  – полная мощность, МВА;

$S=P/\cos$  или ;

$U$  – линейное напряжение, кВ.

**2. Потери реактивной мощности:**

**3. Потери активной энергии.**

Существует два метода определения потерь активной энергии:

а) потери можно определить, если известен график нагрузки, как сумму потерь энергии для каждого значения мощности. Это наиболее точный метод расчета потерь электроэнергии – это определение их по графику нагрузки ветви для каждой ступени графика (метод графического интегрирования). Различают суточные и годовые графики нагрузок. Суточные графики отражают изменение мощности нагрузки в течении суток. Годовой график строится на основе характерных суточных графиков. По годовому графику можно определить потери электроэнергии за год. Для этого определяют потери мощности и эл.энергии

для каждого режима. Затем эти потери суммируют и определяют потери электроэнергии за год.

Потери энергии определяют с помощью графика по формуле:

за год,

за месяц, за сутки в зависимости какой дан график

Ступенчатый график нагрузки по продолжительности

б) В линии, работающей с постоянной нагрузкой и имеющей потери активной мощности, годовые потери электроэнергии определяют по формуле:

где  $t$  - время  $t_{max}$  потерь, время в течение которого электросети, работая с неизменной максимальной нагрузкой, имеют потери электроэнергии равные действительным потерям, можно определить:.

Этот метод более распространен.

#### **4. Годовое количество энергии, передаваемое по линии:**

$$W = P T_{max}, \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

где  $P$  – передаваемая мощность по линии Вт;

$T_{max}$  – время использования максимальной нагрузки (зависит от потребителя), ч.

#### **5. Годовые потери энергии в линии, выраженные в %:**

Должно выполняться условие для выбранной марки провода по допустимой потере электроэнергии

#### **Мероприятия по снижению потерь электроэнергии:**

- организационные – не требуют дополнительных капиталовложений (совершенствование эксплуатации обслуживания электросетей, оптимизация рабочих схем сетей и режимов работы);
- технические – мероприятия с целевым эффектом снижения потерь (спец. для снижения потерь) и мероприятия с сопутствующим снижением потерь (весь ввод электросетевых объектов при развитии энергосистем) – реконструкция, модернизация или строительство сетей, замена или установка дополнительного оборудования.

**Пример.** Дано: передаваемая мощность  $P$  (МВт), напряжение  $U$  (кВ), коэффициент мощности  $\cos \phi$ ,  $T_{max}$  (ч),  $R$  (Ом),  $X$  (Ом), провод марки ...

1. Определяем активные потери мощности линии:

$$S = P / \cos \phi - \text{полная мощность}$$

2. Определяем реактивные потери мощности линии:

3. Определяем годовые активные потери энергии в линии:

4. Определяем годовое количество энергии передаваемое по линии:

$$W = P T_{max}, \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

5. Определяем годовые потери энергии в линии, выраженные в %:

Должно выполняться условие для выбранной марки провода по допустимой потере эл.энергии: )

**ВЫВОД:** годовые потери энергии в линии меньше допустимых, значит провод выбран правильно.

### Контрольные вопросы

1. Сколько % электроэнергии от отпускаемой составляют потери?
2. На какие цели расходуется активная мощность?
3. На какие цели идет реактивная мощность?
4. От каких параметров зависят потери активной мощности?
5. От каких параметров зависят потери реактивной мощности?
6. Как определить потери электроэнергии в линии с постоянной нагрузкой?
7. Как определить передаваемое по линии годовое количество эл-энергии?
8. Какое условие должно выполняться по допустимой потере электроэнергии?

**Задание.** Рассчитать потери активной, реактивной мощности, эл.энергии для определения экономичности выбранного сечения провода.

Вариант	Параметры. Дано:						
	U, кВ	R, Ом	P, МВт	cos	X, Ом	Марка провода	T <sub>max</sub> , ч
I	110	38,6	10,6	0,8	39,5	АС-70/11	4500
II	220	8,8	102	0,92	76,0	АС-300/3	5200
III	220	20,3	206	0,9	112,3	АС-400/22	5400
IV	110	31,8	130	0,85	33,2	АС-150/19	4000

Определить:

S, МВт

P, кВт

Q, Мвар, ч

W, кВтч

W, кВтч

W, %



### Задание 3

## Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи по экономической плотности тока

### Цель работы:

1. Изучить метод выбора сечения провода по экономической плотности тока и экономическим токовым интервалам.
2. Получить навыки в расчете.

### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Выбор сечения провода по экономической плотности тока.
3. Выводы. Оформление отчёта.

### Теоретическая часть

Провода линий электропередач напряжением более 35 кВ, провода длинных связей блочных трансформаторов с ОРУ, гибкие токопроводы генераторного напряжения выбираются по экономической плотности тока,

где  $I_{\text{норм}}$  — ток нормального режима (без перегрузок), А;

$j_{\text{э}}$  - нормированная плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (табл.4-1 [1]).

Найденное сечение округляется до ближайшего стандартного.

### Экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>

Проводник	При $T_{\text{max}}$ , ч		
	1000-3000	3000-5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3	2,5	2
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

### Определение расчетных токов

Цель генератора:

Наибольший ток нормального режима принимается при загрузке генератора до номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  при номинальном напряжении и  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ :

**ПРИМЕР. Задание.** Выбрать сборные шины 110 кВ и токоведущие части в блоке от сборных шин до выводов блочного трансформатора. Генератор  $G1$  типа ТВФ-100-2,  $S_{\text{ном}} = 118$  МВА, трансформатор ТДЦ- 125000/110,  $T_{\text{max}} = 6000$  ч. Токи КЗ на шинах 110 кВ:  $I_{\text{по}}^{(3)} = 14,18$  кА;  $i_y = 34,56$  кА.

**Решение.** Ток нормального режима в наиболее мощном присоединении, в данном случае в блоке генератор-трансформатор:

*Токоведущие части от выводов 110 кВ блочного трансформатора до сборных шин выполняем гибкими проводами. Сечение выбираем по экономической плотности тока  $j_э = 1 \text{ А/мм}^2$  (табл. 4.1 [1]):*

Принимаем два провода в фазе АС-300/48, наружный диаметр 24,1 мм, допустимый ток  $2690 = 1380 \text{ А}$ .

Проверяем провода по допустимому току:  $I_{\max} = 620 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 1380 \text{ А}$ .

**Задание.** Выбрать токоведущие части в блоке от сборных шин до выводов блочного трансформатора.

Генератор  $G1$ ,  $S_{\text{ном}}$  МВА,

трансформатор ТДЦ,

$T_{\text{тах}} = 6000 \text{ ч}$ . Токи КЗ на шинах  $U, \text{кВ}$ :  $I_{\text{по}}^{(3)}, \text{кА}$ ;  $i_y, \text{кА}$

Вариант	Параметры. Дано:			
	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	Тип генератора	$S_{\text{ном}}, \text{МВА}$	$T_{\text{тах}}, \text{ч}$
I	110	ТВФ-120-2	125	
II	220	ТВВ-320-2	353	
III	110	ТВВ-165-2	188	
IV	220	ТВМ-300	353	

Определить:

$I_{\text{норм}} = I_{\text{мах}}, \text{А}$

Тип провода:

#### Характеристики проводов

Марка провода	Наружный диаметр провода, мм	Токовая нагрузка, А вне помещения	Токовая нагрузка, А внутри помещения
АС-10/1,8	4,5	80	50
АС-150/34	17,5	445	365
АС-6/2,7	5,6	105	75
АС-185/24	18,9	510	425
АС-25/4,2	6,9	130	100
АС-185/29	19,6	510	425
АС-35/6,2	8,4	175	135
АС-185/128	23,1	510	425
АС-50/8,0	9,6	210	165
АС-240/32	21,6	610	505
АС-70/11	11,4	265	210
АС-240/39	21,6	610	505
АС-70/72	15,4	265	210
АС-300/39	24	690	585
АС-95/16	13,5	330	260
АС-300/48	24,1	690	585

AC-95/141	19,8	330	260
AC-400/22	26,6	835	715
AC-120/ 19	15,2	380	305
AC-400/51	27,5	835	715
AC- 120/27	15,5	380	305
AC-500/27	29,4	945	815
AC-150/19	16,8	445	365
AC- 500/64	20,6	945	815
AC- 150/24	17,1	445	365
AC-600/72	33,2	1050	920
AC- 185/29	18,8	510	425
AC-700/86	36,2	1220	1075

## Задание 4.

### Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи по экономическим токовым интервалам

#### Цель работы:

1. Изучить метод выбора сечения провода по экономическим токовым интервалам.
2. Получить навыки в расчете.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Выбор сечения провода по экономическим токовым интервалам.
3. Выводы. Оформление отчёта.

#### Теоретическая часть

Выбор сечения проводов ВЛ 35-750 кВ производится методом экономических токовых интервалов. Критерием для выбора сечения проводов является минимум приведенных затрат.

Расчетная токовая нагрузка определяется по выражению:

где  $i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии;

$\tau$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки  $T_{\max}$  и коэффициент ее попадания в максимум энергосистем, т.е. коэффициент участия  $K_{\text{уч}}$ ;

$I_{\text{нб}(5)}$  – ток на пятый год эксплуатации линии в нормальном эксплуатационном режиме, определяемый для системообразующих линий по расчетным длительным потокам мощности, А.

Для линий 110-220 кВ значение  $i$  принимаем равным 1,05, что соответствует математическому ожиданию этого коэффициента в зоне наиболее часто встречающихся темпов роста нагрузки.

Для линий 330-750 кВ для определения значения  $i$  пользуются соотношениями токов:  $I_{\text{нб}t=1}$  – наибольший ток на первый год эксплуатации;

$I_{\text{нб}t=5}$  – «-» на пятый год «-»;  $I_{\text{нб}t=10}$  – «-» на десятый год «-» ;

равными: соотношение  
соотношение от 0,5 до 2,0.

Тогда  $i$  определ. по формуле:

Коэффициент  $\tau$  принимаем по таблице 4.9 [1] (приведенной ниже):

$K_{\text{уч}}$	$T_{\max}$ , ч	
3000	110-330	500-750
4000	1,0	1,0
5000	0,8	0,8
6000	0,6	0,6
6000	0,8	0,7
	0,9	0,8
	1,1	0,9
	0,9	0,8

	1,0	0,9
	1,3	1,1
	1,0	0,9
	1,2	1,0
	1,5	1,4
	1,1	1,0
	1,4	1,2
	1,8	1,6
	1,3	1,1
	1,6	1,4
	2,2	1,9

Значение  $I_{нб(5)}$ , равное току нормального режима линии  $I_{норм.реж.}$ , определяется по формуле:

где  $P_{нб(5)}$  – прогнозируемый переток мощности на пятом году эксплуатации линии, кВт;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$k$  – количество цепей линии;  $n$  – количество проводов в фазе;

$\cos$  – коэффициент мощности.

Сечения проводов ВЛ 35-750 кВ выбираются по таблице в зависимости от напряжения, расчетной токовой нагрузки, определенной по формуле, района по гололеду, материала и цепности опор.

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву по условию:

$I_{доп}I_{норм.реж.}$  – для одноцепных ВЛ;  $I_{доп}I_{авар.}$  – для двухцепных ВЛ;

где  $I_{доп}$  – допустимые длительные токовые нагрузки, А, табл. 1.3.29 [2];

$I_{норм.реж.} = I_{нб(5)}$  – расчетный ток для проверки проводов по нагреву, А;

$I_{авар.} = I_{л} = 2I_{норм.реж.}$  – ток одной работающей цепи ВЛ при обрыве (аварии) другой цепи;

$I_{л}$  – ток линии, А (ток двухцепной ВЛ в нормальном режиме, т.е. при работающих двух цепях ВЛ).

Проверке по условиям короны подлежат воздушные линии 110 кВ и выше, прокладываемые по трассам с отметками выше 1500 м над уровнем моря. При более низких отметках проверка не производится, так как экономические интервалы токов и мощностей подсчитаны для сечений равных или больших минимально допустимым по условиям короны.

### Пример.

В ОЭС Европейской зоны (II район по гололеду) предполагается соорудить двухцепную воздушную линию 110 кВ на двухцепных железобетонных опорах протяженностью 50 км. Прогнозируемый график перетока мощности по этой линии на пятом году ее эксплуатации характеризуется значениями максимальной мощности  $P_{нб(5)} = 40$  МВт при  $\cos = 0,92$ , числом использования максимальной нагрузки  $T_{max} = 5000$  час и коэффициентом участия  $K_{уч} = 0,6$ .

**Расчёт.** Выбор сечения проводов производим методом экономических токовых интервалов и проверяем по допустимой токовой нагрузке по нагреву.

Определяем наибольший ток фазы одной цепи линии на пятом году ее эксплуатации:

где  $P_{нб(5)}$  – прогнозируемый переток мощности на пятом году эксплуатации линии, кВт;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$k$  – количество цепей линии;  $n$  – количество проводов в фазе;

$\cos$  - коэффициент мощности.

Расчетная токовая нагрузка определяется по выражению:

где  $i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии. Для ВЛ 110220 кВ  $i=1,05$  (с.158 [1]);

$t$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки  $T_{max}$  и коэффициент ее попадания в максимум энергосистем, т.е. коэффициент участия  $K_{уч}$ .

Для заданных железобетонных опор по табл.7.8 [1] для II района по гололеду выбираем сечение проводов в каждой цепи 150 мм<sup>2</sup> с предельной экономической нагрузкой 190 А ( $I_{эк} = 190$  А  $I_p = 180$  А).

Выбранное сечение провода проверяем по условию допустимого нагрева:  $I_{доп} I_{авар}$ .

где  $I_{доп}$  - допустимая длительная токовая нагрузка для принятого провода, А, табл. 1.3.29 [2];

$I_{авар}$  – аварийный ток линии, А; для двух цепной ВЛ равный:

$I_{авар} = I_l = 2 I_{нор.реж} = 2 \cdot 114,2 = 228,4$  А;  $I_{доп} = 450$  А  $I_{авар} = 228,4$  А

**ВЫВОД:** Выбранное сечение провода проходит по допустимой токовой нагрузке. Принимаем по [3] согласно выбранного сечения провод АС 150/24 ГОСТ 839-80Е.

**Задание.** В ОЭС Европейской зоны предполагается соорудить  $k$ -цепную воздушную линию  $U$ , кВ на железобетонных (стальных) опорах. Прогнозируемый график перетока мощности по этой линии на пятом году ее эксплуатации характеризуется значениями максимальной мощности  $P_{нб(5)}$ , МВт при  $\cos$ , числом использования максимальной нагрузки  $T_{max}$ , ч и коэффициентом участия  $K_{уч}$ . Выбрать сечение провода методом экономических токовых интервалов и проверить по допустимой токовой нагрузке по нагреву.

Вариант	Параметры. Дано:								
	$U_n$ , кВ	$P_{нб(5)}$ , МВт	$k$	$n$	$\cos$	$T_{max}$ , ч	$K_{уч}$	Материал опор	Район по гололеду
I	110	10	1	1	0,84	3300	1	Сталь	I
II	220	200	2	1	0,92	4900	0,8	Ж.б.	II
III	220	140	1	1	0,9	5800	1	Ж.б.	III
IV	110	60	2	1	0,85	4100	0,8	Стал	I

Определить:

$I_{нб(5)}$ ,  $A_{ит}$

$I_p$ ,  $A$

$I_{авар.}$ ,  $A$

## Задание 5

### Выбор и проверка сечений проводов ВЛ по условиям допустимого нагрева

#### Цель занятия:

1. Изучить метод выбора сечения провода по экономическим токовым интервалам и методику проверки по допустимой токовой нагрузке по нагреву.
2. Получить навыки в расчете.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Выбор сечения провода по экономическим токовым интервалам.
3. Проверка сечения провода по допустимой токовой нагрузке по нагреву.
4. Выводы. Оформление отчёта.

#### Теоретическая часть

Выбор сечения проводов ВЛ 35-750 кВ производится методом экономических токовых интервалов. Критерием для выбора сечения проводов является минимум приведенных затрат.

Расчетная токовая нагрузка определяется по выражению:

где  $i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии;

$\tau$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки  $T_{max}$  и коэффициент ее попадания в максимум энергосистем, т.е. коэффициент участия  $K_{уч}$ ;

$I_{нб(5)}$  – ток на пятый год эксплуатации линии в нормальном эксплуатационном режиме, определяемый для системообразующих линий по расчетным длительным потокам мощности,  $A$ .

Для линий 110-220 кВ значение  $i$  принимаем равным 1,05, что соответствует математическому ожиданию этого коэффициента в зоне наиболее часто встречающихся темпов роста нагрузки.

Для линий 330-750 кВ для определения значения  $i$  пользуются соотношениями токов:  $I_{нбt=1}$  – наибольший ток на первый год эксплуатации;

$I_{нбt=5}$  – «-» на пятый год «-»;  $I_{нбt=10}$  – «-» на десятый год «-» ;

равными: соотношение

соотношение от 0,5 до 2,0.

Тогда  $i$  определ. по формуле:

Значение  $I_{нб(5)}$ , равное току нормального режима линии  $I_{норм.реж.}$ , определяется по формуле:

где  $P_{нб(5)}$  – прогнозируемый переток мощности на пятом году эксплуатации линии, кВт;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$k$  – количество цепей линии;  $n$  – количество проводов в фазе;

$\cos$  - коэффициент мощности.

Сечения проводов ВЛ 35-750 кВ выбираются по таблице в зависимости от напряжения, расчетной токовой нагрузки, определенной по формуле, района по гололеду, материала и цепности опор.

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву по условию:

$I_{\text{доп}} I_{\text{норм.реж}}$  – для одноцепных ВЛ;  $I_{\text{доп}} I_{\text{авар.}}$  – для двухцепных ВЛ;

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимые длительные токовые нагрузки, А, табл. 1.3.29 [2];

$I_{\text{норм.реж.}}$  – расчетный ток для проверки проводов по нагреву, А;

$I_{\text{авар.}} = I_{\text{л}} = 2I_{\text{норм.реж.}}$  – ток одной работающей цепи ВЛ при обрыве (аварии) другой цепи;

$I_{\text{л}}$  - ток линии, А (ток двухцепной ВЛ в нормальном режиме, т.е. при работающих двух цепях ВЛ).

Проверке по условиям короны подлежат воздушные линии 110 кВ и выше, прокладываемые по трассам с отметками выше 1500 м над уровнем моря. При более низких отметках проверка не производится, так как экономические интервалы токов и мощностей подсчитаны для сечений равных или больших минимально допустимым по условиям короны.

### **Пример.**

В ОЭС Европейской зоны (II район по гололеду) предполагается соорудить двухцепную воздушную линию 110 кВ на двухцепных железобетонных опорах протяженностью 50 км. Прогнозируемый график перетока мощности по этой линии на пятом году ее эксплуатации характеризуется значениями максимальной мощности  $P_{\text{нб}(5)} = 40$  МВт при  $\cos = 0,92$ , числом использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}} = 5000$  час и коэффициентом участия  $K_{\text{уч}} = 0,6$ .

**Расчет.** Выбор сечения проводов производим методом экономических токовых интервалов и проверяем по допустимой токовой нагрузке по нагреву.

Определяем наибольший ток фазы одной цепи линии на пятом году ее эксплуатации:

где  $P_{\text{нб}(5)}$  – прогнозируемый переток мощности на пятом году эксплуатации линии, кВт;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$k$  – количество цепей линии;  $n$  – количество проводов в фазе;

$\cos$  - коэффициент мощности.

Расчетная токовая нагрузка определяется по выражению:

где  $i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии. Для ВЛ 110-220 кВ  $i = 1,05$  (с.158 [1]);

$\tau$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}}$  и коэффициент ее попадания в максимум энергосистем, т.е. коэффициент участия  $K_{\text{уч}}$ .

Для заданных железобетонных опор по табл.7.8 [1] для II района по гололеду выбираем сечение проводов в каждой цепи  $150 \text{ мм}^2$  с предельной экономической нагрузкой 190 А ( $I_{\text{эк}} = 190$  А  $I_{\text{р}} = 180$  А).

Выбранное сечение провода проверяем по условию допустимого нагрева:  $I_{\text{доп}} I_{\text{авар}}$ .

где  $I_{\text{доп}}$  - допустимая длительная токовая нагрузка для принятого провода, А, табл. 1.3.29 [2];

$I_{\text{авар}}$  – аварийный ток линии, А; для двух цепной ВЛ равный:

$$I_{\text{авар}} = I_{\text{л}} = 2 I_{\text{нор.реж}} = 2 \cdot 114,2 = 228,4 \text{ А}; I_{\text{доп}} = 450 \text{ А} \quad I_{\text{авар}} = 228,4 \text{ А}$$

**ВЫВОД:** Выбранное сечение провода проходит по допустимой токовой нагрузке. Принимаем по [3] согласно выбранного сечения провод АС 150/24 ГОСТ 839-80Е.

**Задание.** В ОЭС Европейской зоны предполагается соорудить k-цепную воздушную линию U, кВ на железобетонных (стальных) опорах. Прогнозируемый график перетока мощности по этой линии на пятом году ее эксплуатации характеризуется значениями максимальной мощности  $P_{\text{нб}(5)}$ , МВт при  $\cos$ , числом использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}}$ , ч и коэффициентом участия  $K_{\text{уч}}$ . Выбрать сечение провода методом экономических токовых интервалов и проверить по допустимой токовой нагрузке по нагреву.

## Задание 6

### Определение потерь напряжения в линиях разомкнутых местных сетей и проверка сечений по допустимой потере напряжения

#### Цель урока:

1. Изучить методику определения сечения проводников электросети по допустимой потере напряжения.
2. Получить навыки в расчете и выборе сечения проводников.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Распределение мощности по участкам (потокораспределение).
3. Расчет допустимых потерь напряжения и сечения проводника.
4. Проверка выбранного сечения проводника по допустимой потере напряжения.
5. Выводы. Оформление отчёта.

#### Теоретическая часть

Этот метод позволяет сразу же находить нужное сечение проводов по заданной величине допустимой потери напряжения  $U_{\text{доп}}$ .

Если не учитывать реактивное сопротивление (КЛ до 10 кВ), то сечение равно:

где  $n$  – количество потребителей;

$P_i$  – нагрузка на каждом участке линии  $\ell$ ;

$\Delta U_{\text{а доп}}$  – допустимая потеря напряжения, т.к.  $U_{\text{р.доп}} = 0$ , то  $\Delta U_{\text{а доп}} = \Delta U_{\text{доп}}$  – полная потеря напряжения;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение;

- расчетное удельное сопротивление провода (справочник) (для сталеалюминиевых проводов  $= 31,2$  (Оммм<sup>2</sup>/км),

С учетом реактивного сопротивления  $\Delta U_{\text{доп}}$  равна:

$x_0$  – находят по формуле или по справочнику.

Предварительно можно принять  $x_0$  равным средней величине реактивного сопротивления линии. Например, для ВЛ  $x_0=0,38$  Ом/км, для КЛ U до 10 кВ  $x_0=0,07$  Ом/км, для КЛ U до 35 кВ  $x_0=0,12$  Ом/км.

Определяются потери напряжения, обусловленные реактивным сопротивлением и из формулы (2) находят допустимую потерю напряжения  $U_{\text{доп.}}$ , обусловленную активным сопротивлением:

**Так получают  $\Delta U_{\text{а доп}}$ , зависящую только от активного сопротивления проводов, по которой далее и определяют сечение линии по формуле (1).**

Алгоритм расчета задачи по выбору сечения провода:

$$x_0 \Delta U_{\text{р доп}} \Delta U_{\text{а доп}} F.$$

Полученное сечение провода округляют до стандартного, определяют для него по справочным таблицам  $r_0$  и  $x_0$ , после чего проверочным расчетом определяют действительную потерю напряжения и, если она превышает допустимую, принимают сечение на ступень выше.

Значение потерь U в %: . Должно выполняться условие.  $\Delta U\% \Delta U_{\text{доп}}\%$  ,

**Допустимые величины потерь напряжения:**

а) для сетей 220-380 В на всем их протяжении, начиная от шин п/ст до последнего приемника – 56,5 %, из них во внутриквартирной сети - 12,5%;

б) для питающей сети U 6-35 кВ: в норм.режиме – 68%; в ав.режиме – 1012%.

в) для сельских сетей U 6-35 кВ в целях их удешевления допускается иметь потерю U в норм.режиме до 10 %.

г) для эл.двигателей в пределах от –5 до +10 % от ном.U;

д) для освещения общественных и производственных зданий в пределах от –2,5 до +5 % от ном.U

**Пример:** Рассчитать линию передачи напряжением 35 кВ, схема которой представлена на рис., где нагрузки – МВА, длины – км.. F AC-? и фактическую потерю U. Провода сталеалюминиевые, расстояние между проводами 3000мм, расположение по треугольнику.

$$=31,2 \text{ (Оммм}^2\text{/км)} \quad 5 \text{ км} \quad 6 \text{ км} \quad 5 \text{ км}$$

$$x_0=0,38 \text{ Ом/км}$$

$$\text{Решение: } S_1=6+j4 \quad S_2=1,5+j0,5 \quad S_3=3+j2$$

Допустимая потеря напряжения:

или

Приняв, что средняя реактивность линии напряжением 35 кВ составляет  $x_0=0,38$  Ом/км, и распределив мощности по участкам, указанным на рис.,

(определяем потокораспределение)

$$10,5+j6,5 \quad 4,5+j2,5 \quad 3+j2$$

$$5 \text{ км} \quad 6 \text{ км} \quad 5 \text{ км}$$

$$6+j4 \quad 1,5+j0,5 \quad 3+j2$$

получим:

Допустимая потеря напряжения, обусловленная активной составляющей нагрузки, будет:

$$\Delta U_{\text{а.доп}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{р.доп}} = 2,1 - 0,62 = 1,48 \text{ кВ}$$

Воспользуемся методом постоянного сечения вдоль линии и по формуле определим F:

Принимаем провод сечением 50 мм<sup>2</sup> АС-50/8,  $x_0=0,3644$ ,  $r_0=0,592$ .

Фактическая потеря напряжения:

или в % ( )

Вывод: Условие  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$ , не выполняется  $\Delta U=2,197\text{кВ} \geq \Delta U_{\text{доп}}=2,1\text{кВ}$ , следовательно сечение не проходит по  $U_{\text{доп}}$ , выбираем сечение провода 70 мм<sup>2</sup> и марку провода АС-70/11.

**Задание.** Рассчитать линию передачи напряжением  $U_n$ , кВ схема которой представлена на рис., где нагрузки – МВА, длины – км.. Провода сталеалюминиевые, расположение по треугольнику,  $D_{\text{ср.г.}}$ , м.

Найти F АС-? и фактическую потерю U.

=31,2 (Оммм<sup>2</sup>/км)  $\ell_1$ , км  $\ell_2$ , км  $\ell_3$ , км

$x_0=0,38$  Ом/км  $S_1=P_1+jQ_1$   $S_2=P_2+jQ_2$   $S_3=P_3+jQ_3$

Вариант	Параметры. Дано:								
	$U_n$ , кВ	$U_{\text{доп}}$ , %	$\ell_1$ , км	$\ell_2$ , км	$\ell_3$ , км	$S_1=P_1+jQ_1$ , МВ·А	$S_2=P_2+jQ_2$ , МВ·А	$S_3=P_3+jQ_3$ , МВ·А	$D_{\text{ср.г.}}$ , м
I	35	10	3	6	13	6+j4	4+j2	1+j0,75	3
II	35	6	3	7	9	4+j3	2+j1	2+j1,5	2,5
III	35	8	10	3	6	1+j0,75	3+j1,5	10+j5	3,5
IV	35	7	4	5	9	3+j1,5	9+j6,75	2+j1	2

Определить:

$U_{\text{доп}}$ , кВ

$U_{\text{р.доп}}$ , кВ

$U_{\text{а.доп}}$ , кВ

F, мм<sup>2</sup>

Тип провода

Найти по справочным данным:

d, мм

$R_0$ , Ом/км

$X_0$ , Ом/км

Определить:

U, кВ

U, %

**Контрольные вопросы:** Достоинства метода определения сечения по  $U_{\text{доп}}$ . Какие два слагаемых представляют  $U_{\text{доп}}$ . Алгоритм определения сечения. Условие проверки сечения по  $U_{\text{доп}}$ .

## Задание 7

### Составление порядка работ по определению мест повреждения на линиях электропередачи

#### *Цель урока:*

1. Изучить положения Типовой инструкции по организации работ для определения мест повреждения ЛЭП напряжением 110 кВ и выше с помощью фиксирующих приборов. ТИ 34-70-035-85. РД 34.20.563.
2. Получить навыки составления порядка работ по определению мест повреждения ЛЭП.

#### *Порядок выполнения работы:*

1. Ознакомление с теоретической частью.
2. Составление порядка работ.
3. Оформление отчёта.

#### Теоретическая часть

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методы ОМП по параметрам аварийного режима по основному признаку - виду измерений - можно разделить на две группы: методы с двусторонним и с односторонним измерением параметров.

Методы с двусторонним измерением основаны на фиксации в момент КЗ с помощью фиксирующих приборов тока и напряжения параметров на концах поврежденной ВЛ с последующим расчетом расстояния до мест повреждения.

Методы с односторонним измерением обеспечивают фиксацию либо сопротивления участка ВЛ, пропорционального расстоянию до места КЗ, либо одного из параметров аварийного режима (тока, напряжения).

Выбор методов определения мест КЗ обуславливается рядом факторов и зависит в каждом случае от конкретных условий (конфигурации сети, вида ВЛ, параметров линии электропередачи и примыкающих к ней сетей и др.).

Поскольку на долю КЗ на землю приходится 80 - 90% всех видов КЗ, при двусторонних измерениях наиболее целесообразны способы, основанные на фиксации токов и напряжений.

Для ускорения отыскания мест КЗ целесообразно использование средств телемеханики при передаче показаний фиксирующих приборов.

Срабатывание приборов должно сопровождаться работой соответствующей сигнализации.

Фиксирующие приборы, как правило, должны работать селективно, т.е. только при аварийном отключении поврежденной линии.

Инструкции обязаны знать:

- а) оперативный персонал диспетчерских пунктов объединенных энергетических систем (ДП ОЭС), диспетчерских пунктов энергосистем (ДП ЭС), диспетчерских пунктов предприятий электрических сетей (ДП ПЭС), диспетчерских пунктов районов электросетей (ДП РЭС);
- б) оперативный персонал электрических станций и подстанций, в том числе персонал оперативно-выездных бригад (ОВБ);
- в) персонал служб релейной защиты и автоматики (РЗА) ПЭО (РЭУ) и ОДУ;

- г) персонал службы эксплуатации и ремонта электротехнического оборудования (ЭРЭО) или служб высоковольтных электрических сетей ПЭО (РЭУ);
- д) персонал служб релейной защиты, автоматики и измерений (РЗАИ) ПЭС и электротехнических лабораторий (ЭТЛ) электростанций;
- е) персонал службы линий ПЭС, осуществляющий отыскание мест повреждения.

Объем знаний инструкции, необходимый каждой из перечисленных категорий персонала, устанавливается в соответствии с местными условиями.

## **2. ОБЯЗАННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПОДСТАНЦИЙ (ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ)**

При работе фиксирующих приборов оперативный персонал обязан:

- а) снять показания и записать в оперативный журнал дату, время работы и показания для каждого прибора в отдельности.
- б) сообщить диспетчеру показания приборов.

Оперативный персонал обязан знать принцип работы всех фиксирующих приборов.

О всех замеченных при осмотре неисправностях и дефектах приборов следует немедленно сообщить диспетчеру.

## **3. ОБЯЗАННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ДИСПЕТЧЕРСКИХ ПУНКТОВ**

Оперативный персонал ДП обязан знать принцип работы всех приборов.

В зависимости от оперативной подчиненности ВЛ место повреждения при КЗ на ней определяет: - дежурный диспетчер.

На диспетчерском пункте должна иметься следующая документация: перечень линий, инструкция по определению мест повреждения; таблицы для записи показаний фиксирующих приборов; таблицы расстановки опор ВЛ.

## **4. ОБЯЗАННОСТИ СЛУЖБЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПЭО (РЭУ) И ОДУ**

Служба РЗА:

- а) осуществляет выбор оптимальных методов и устройств;
- б) составляет новые и уточняет существующие инструкции; и т.д.

## **5. ОБЯЗАННОСТИ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В функции службы ЭРЭО входит:

- а) передача службе РЗА необходимых данных и параметров ВЛ;
- б) совместно со службой РЗА ведение учета работы приборов;
- в) составление годовых отчетов по оснащению ВЛ приборами;
- г) составление таблицы размещения фиксирующих приборов; и т.д.

## **6. ОБЯЗАННОСТИ ОТДЕЛА АСУ**

6.1. В функции отдела АСУ входит:

- а) разработка по заказу служб энергоуправления программ ;
- в) составление инструкций по работе на ЭВМ при расчете расстояния до мест повреждения;
- г) обеспечение оперативности при определении мест КЗ.

**7. ОБЯЗАННОСТИ СЛУЖБЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ** Служба РЗАИ ПЭС (ЭТЛ) осуществляет непосредственное техническое обслуживание всех фиксирующих приборов, установленных на подстанциях (электростанциях).

#### **8. ОБЯЗАННОСТИ СЛУЖБЫ ЛИНИЙ ПЭС**

Служба линий ПЭС непосредственно организует поиск мест повреждения ВЛ. а) осуществляет обход и осмотр участка линии в целях отыскания места КЗ на основе полученных от диспетчера ПЭС ; б) передает информацию диспетчеру, в чьем управлении находится ВЛ, о результатах поиска мест повреждения и всех выявленных дефектах.

Примечание. При успешном повторном включении линии и отсутствии видимых дефектов на расчетном участке ВЛ, указанном диспетчером, дальнейший обход прекращается. Об этом сообщается диспетчеру. При устойчивом КЗ обход и осмотр ВЛ продолжают до обнаружения места повреждения;

в) осуществляет учет и анализ всех случаев отключения ВЛ, связанных с повреждением ВЛ;

г) при трех-четырех автоматических отключениях линии с успешным повторным включением, связанных с повреждением практически в одном и том же месте, и в случае невозможности выявления причин отключения при низовом осмотре организует верховой осмотр тех участков линии, которые примыкают к расчетному месту КЗ;

д) составляет для диспетчерских служб, осуществляющих определение мест повреждения, таблицы расстановки опор ВЛ, входящих в данное ПЭС (см. табл. 2);

е) организовывает либо участвует в проведении специальных испытаний по уточнению или определению параметров ВЛ и других элементов электрической сети.

## *Список рекомендуемой литературы*

### **3.3 Информационное обеспечение обучения**

#### **Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы**

##### **3.3.1. Печатные издания**

###### **Основные источники**

1. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Е.А. Конюхова. - М.: Мастерство, 2001. - 320 с.: ил.
2. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций : учебник для техникумов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1987. - 648 с. : ил.
3. Киреева, Э. А. Электрооборудование электрических станций, сетей и систем [Текст]: учебное пособие для студентов учреждений СПО / Киреева Э.А. - Москва: КНОРУС, 2017. - 320 с.: ил. - (Среднее профессиональное образование).
4. Киреева, Э.А. Электрооборудование электрических станций, сетей и систем [Текст] : учебное пособие для студентов учреждений СПО / Киреева Э.А. - Москва : КНОРУС, 2019. - 320 с.
5. Сибикин, Ю. Д. Технология электроснабжения [Текст] : учебник для СПО / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФРА-М, 2018. - 336 с. - (Среднее профессиональное образование)
6. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учеб. для нач. проф. образования / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: ПрофОбрИздат, 2001. - 432 с
7. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. - 368 с. : ил. - (Профессиональное образование).
8. Серебряков, А.С. Автоматика [Текст] : учебник и практикум для СПО / Серебряков А.С. ; Семенов Д.А. ; Чернов Е.А. - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 431 с.

###### **Дополнительные источники**

1. Шеховцов, Вячеслав Петрович. Расчет и проектирование схем электроснабжения [Текст] : учебное пособие для студентов учреждений СПО / В.П. Шеховцов. - 3-е изд., испр. - М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2016. - 216 с. : ил. - (Профессиональное образование).
2. Варварин, Владимир Константинович. Выбор и наладка электрооборудования [Текст] : справочное пособие / В.К. Варварин. - 3-е изд. - М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. - 240 с. : ил. - (Профессиональное образование).

##### **3.3.2 Периодические издания**

1. Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления [Текст]: научный рецензируемый журнал. Архив номеров 2010-2020 гг. - Режим доступа: <http://vestnik.pstu.ru/elinf/about/inf/>, свободный.
2. Электро. Электротехника. Электроэнергетика. Электротехническая промышленность: научно-технический журнал/ Учредитель ОАО «Электрозавод». – Архив номеров в фонде ОНБ ЛФ ПНИПУ 2012-2017 гг.
3. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт / Учредитель ООО «ИЕДЕПЕНДЕНТ МАСС МЕДИА» - Архив номеров 2018-2020 гг.
4. Электрик. Международный Электротехнический Журнал/ Учредитель ДП «Издательство Радиоматор» Киев,, «Радиоматор». Архив номеров 2018 г.

##### **3.3.3 Электронные ресурсы**

###### **Нормативно-правовая база**

1. Приказ Минэнерго РФ от 08.07.2002 N 204 "Об утверждении глав Правил устройства электроустановок" (вместе с "Правилами устройства электроустановок. Издание седьмое. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Главы 7.5, 7.6, 7.10")

### **Основные источники**

1. Суворин, А. В. Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения : учебное пособие / А. В. Суворин. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2018. — 400 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/84254.html>, авторизованный
2. Релейная защита электроэнергетических систем. Принципы выполнения защит. Защиты линий электропередач : учебное пособие / О. Н. Шелушенина, И. И. Добросотских, С. Н. Синельникова, А. С. Ведерников. — 2-е изд. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 237 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/90906.html>, авторизованный
3. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения : учебник / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015. — 262 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/91525.html>, авторизованный
4. Тюков, В. А. Электромеханические системы : учебное пособие / В. А. Тюков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015. — 92 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/91592.html>, авторизованный
5. Астапенко, Э. С. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебное пособие / Э. С. Астапенко. — Томск : ТГАСУ, 2020. — 96 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/170461>, авторизованный
6. Белоусов, А. В. Электроснабжение : учебное пособие / А. В. Белоусов, А. В. Сапрыка. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. — 155 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/80454.html>, авторизованный

### **Дополнительные источники**

1. Родыгина, С. В. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения : учебно-методическое пособие / С. В. Родыгина, Д. А. Павлюченко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 47 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/91702.html>, авторизованный
2. Лыков, Ю. Ф. Расчеты систем электроснабжения : сборник задач и упражнений / Ю. Ф. Лыков. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. — 54 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/91792.html>, авторизованный
3. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие (лабораторный практикум) / составители В. А. Мамаев [и др.]. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2019. — 197 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/92743.html> авторизованный
4. Аполлонский, С. М. Электрические аппараты автоматики : учебное пособие / С. М. Аполлонский, Ю. В. Куклев. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 228 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/121463> авторизованный
5. Газизова, О. В. Специальные вопросы электроснабжения : учебное пособие / О. В. Газизова, Ю. Н. Кондрашова, А. Н. Шеметов. — Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 2020 — Часть 1 — 2020. — 294 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/162564>, авторизованный

### **3.3.4 Интернет-ресурсы**

1. <http://www.minenergo.com/> Министерство энергетики Российской Федерации
2. <http://eprussia.ru/lib/> Энергетика и промышленность России
3. <http://forca.ru/> Энергетика, оборудование, документация

### **3.3.5 Программное обеспечение**

- 1 Операционная система Windows 7
- 2 Офисный пакет Microsoft Office Профессиональный плюс 2007
- 3 Графический редактор Microsoft Office Visio Стандартный 2007

### **3.3.6 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Справочно-правовая система Консультант Плюс: <http://consultant.ru/>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
(ЛФ ПНИПУ)

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**По дисциплине «МДК 02.02 Устройство и техническое обслуживание сетей  
электрооборудования»**

**На тему: «Обслуживание воздушных и кабельных линий  
электрооборудования»**

*Выполнил:*  
*студент группы \_\_\_\_\_*  
*И.О.Фамилия*

\_\_\_\_\_  
*(Подпись)*  
*Руководитель: Листопадова*  
*М.В.*

\_\_\_\_\_  
*(Подпись)*

*Курсовая работа допущена к защите: \_\_\_\_\_*

*Курсовая работа защищена: \_\_\_\_\_*

Лысьва 2022 г.