

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Северо-Западный государственный заочный технический  
университет**

**Кафедра электроснабжения**

## **Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения**

**Рабочая программа  
Задание на контрольную работу  
Методические указания к выполнению контрольной работы**

Факультет энергетический

Направление и специальность подготовки  
дипломированного специалиста:  
направление 650900 – электроэнергетика  
специальность 100400 – электроснабжение (по отраслям)  
специализация 100401 – электроснабжение промышленных  
предприятий

Санкт-Петербург  
2004

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
УДК 621.311

**Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения:**  
Рабочая программа, задание на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы.- СПб.: СЗТУ. - 18 с.

Рабочая программа разработана в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 – электроэнергетика (специальность 100400 – электроснабжение).

Рабочая программа включает в себя основные сведения о монтаже и технической эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи, силовых трансформаторов и оборудования распределительных устройств систем электроснабжения.

Рассмотрено на заседании кафедры электроснабжения  
25 мая 2004 года, протокол №9  
одобрено методической комиссией энергетического факультета  
25 мая 2004 года, протокол №9

Рецензенты: кафедра электроснабжения СЗТУ (зав. кафедрой Г.З. Зайцев, канд. техн. наук, проф.), М.И. Божков, канд. техн. наук, директор НПЦ АПЭС

Составители: В.Н. Костин, канд. техн. наук, доц.  
О.И. Ваганов, ассистент

© Северо-Западный государственный заочный технический университет,  
2004

## 1. Цели и задачи изучения дисциплины

В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования одной из задач обучения специалистов в области электроэнергетики является подготовка их к монтажно-наладочной и эксплуатационной деятельности. Поэтому в содержание рабочей программы включены вопросы организации и проведения электромонтажных работ и технической эксплуатации основного электрооборудования систем электроснабжения: воздушных и кабельных линий электропередачи, силовых трансформаторов, оборудования распределительных устройств.

Материал дисциплины базируется на знании общетеоретических дисциплин: «Физики», «Электротехники», «Электромеханики», - имеет непосредственную связь и дополняет другие специальные дисциплины, изучаемые студентами на старших курсах обучения: «Электроснабжение», «Системы электроснабжения», «Передача и распределение электроэнергии», «Производство электрической энергии», «Электропитающие системы и электрические сети».

## 2. Структура дисциплины



### **3. Содержание дисциплины**

#### **3.1. Рабочая программа (объем дисциплины 76 часов )**

##### **3.1.1. Организация монтажа электрооборудования [3], гл. 1**

Общие принципы проведения электромонтажных работ. Договор подряда. Взаимоотношения заказчика и подрядчика. Организация электромонтажных работ. Проект организации строительства. Проект производства электромонтажных работ. Планирование электромонтажных работ. Линейные календарные графики работ. Сетевое планирование. Подготовка к производству электромонтажных работ. Охрана труда при выполнении электромонтажных работ. Индустриализация и механизация электромонтажных работ. Пусконаладочные работы. Приемка объекта в эксплуатацию.

##### **3.1.2. Монтаж воздушных и кабельных линий электропередачи [1], п.2.1; [3], гл. 2, 3; [5], гл. 2**

Подготовительные работы по монтажу воздушных линий электропередачи. Сборка и установка опор. Монтаж проводов и грозозащитных тросов. Раскатка и соединение проводов. Крепление проводов. Особенности монтажа изолированных проводов. Монтаж трубчатых разрядников и заземляющих устройств. Приемка воздушной линии в эксплуатацию.

Подготовительные работы по монтажу кабельных линий электропередачи. Прокладка кабелей в земляной траншее. Прокладка кабелей в блоках и кабельных сооружениях. Открытая прокладка кабелей в производственных помещениях. Монтаж кабельных муфт для соединения и оконцевания кабелей. Термоусаживаемые муфты. Муфты холодной усадки. Приемка кабельной линии в эксплуатацию.

##### **3.1.3. Монтаж трансформаторов и оборудования распределительных устройств [1] пп. 2.4, 3.5; [3], гл. 4,5; [5] гл. 3**

Подготовка к монтажу трансформаторов. Особенности транспортировки трансформаторов. Установка трансформатора на фундамент. Монтаж системы охлаждения и отдельных узлов трансформатора. Пробные включения трансформатора.

Монтаж основного оборудования распределительных устройств: шин, коммутационных аппаратов, измерительных трансформаторов, аппаратов защиты от перенапряжений, конденсаторных установок. Монтаж заземляющих устройств. Особенности и преимущества монтажа комплектных распределительных устройств.

### **3.1.4. Организация эксплуатации электрооборудования** [3], гл. 6

Общие сведения об эксплуатации оборудования. Связь эксплуатации и надежности оборудования. Основные показатели надежности. Оценка продолжительности ремонтного цикла. Оценка продолжительности цикла технического обслуживания. Периодичность контроля работоспособности оборудования.

Основные системы ремонта оборудования: планово-предупредительная, аварийно-восстановительная, ремонт по техническому состоянию. Сопоставление систем ремонта оборудования. Оценка эффективности капитального ремонта оборудования.

Обеспечение оборудования запасными частями. Эксплуатационная техническая документация.

### **3.1.5. Эксплуатация воздушных и кабельных линий электропередачи** [3], гл. 7,8; [5], п. 9.2

Эксплуатация воздушных линий электропередачи. Осмотры воздушных линий. Профилактические измерения и испытания. Определение мест повреждений воздушных линий в сетях с большими токами замыкания на землю и сетях с изолированной нейтралью. Способы борьбы с гололедом. Ремонт воздушных линий.

Эксплуатация кабельных линий электропередачи. Осмотры кабельных линий. Допустимые нагрузки при эксплуатации. Профилактические измерения и испытания. Определение характера и места повреждения в кабельных линиях. Относительные методы и абсолютные методы отыскания повреждения. Ремонт кабельных линий.

### **3.1.6. Эксплуатация трансформаторов и оборудования распределительных устройств**

[1], гл. 6; [2], гл. 3, 4, 5; [3], гл. 9,10; [4], гл. 5

Осмотры трансформаторов. Основные режимы работы. Допустимые перегрузки трансформаторов. Расчет теплового режима трансформатора и термического износа изоляции. Эксплуатация трансформаторного масла.

Испытания масла на электрическую прочность. Сокращенный и полный анализ масла. Хроматографический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле. Ремонт трансформаторов. Испытания трансформаторов после капитального ремонта. Характеристики изоляции обмоток трансформатора ( $R_{60}$ ,  $R_{60}/R_{15}$ ,  $\text{tg}\delta$ ). Испытания изоляции обмоток повышенным напряжением.

Осмотры распределительных устройств. Эксплуатация основного оборудования: шин распределительных устройств, коммутационных аппаратов, измерительных трансформаторов, конденсаторных установок, аппаратов защиты от перенапряжений. Эксплуатация заземляющих устройств.

### **3.1.7. Тепловизионный контроль электрооборудования** [3], гл. 11

Тепловизионный контроль - средство диагностики оборудования и обнаружения дефектов на ранних стадиях их развития. Периодичность тепловизионного контроля.

Принципы измерения температуры. Термометр, пирометр, тепловизор. Принцип действия тепловизора. Получение термограмм оборудования. Примеры термограмм и их анализ. Характерные дефекты оборудования, выявляемые тепловизионным контролем.

Основные понятия: превышение температуры, избыточная температура, коэффициент дефектности. Предельные значения температуры нагрева и превышения температуры токоведущих частей, контактов и контактных соединений.

Проведение тепловизионного контроля различного оборудования РУ. Характерные места и точки контроля температуры. Тепловизионный контроль элементов ВЛ.

### **3.2. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения (16 часов)**

Темы лекций	Объем, ч
1. Монтаж воздушных и кабельных линий электропередачи	4
2. Монтаж трансформаторов и оборудования распределительных устройств	4
3. Эксплуатация воздушных и кабельных линий электропередачи	4
4. Эксплуатация трансформаторов и оборудования распределительных устройств	4

## 4. Библиографический список

1. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: Учеб. пособие / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под общ. ред. Н.Ф. Котеленца.-М.: Мастерство, 2002
2. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: Учеб. пособие для средн проф. образования.-М.: Издательский центр "Академия", 2003.
3. Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: Учеб. пособие.- СПб.: СЗТУ, 2004.
4. Федоров А.А., Попов Ю.П. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Князевский Б.А., Трунковский Л.Е. Монтаж и эксплуатация промышленных электроустановок: Учебник для вузов.-М.: Высшая школа, 1984.

## 5. Задание на контрольную работу

При изучении дисциплины выполняется контрольная работа, включающая три задачи. Содержание контрольной работы должно быть изложено аккуратно, с обязательным приведением условий задач, исходных данных, поясняющих формул, схем, графиков, единиц измерения физических величин. На титульном листе работы указываются фамилия и инициалы студента, шифр, название дисциплины и специальности.

Перед решением каждой задачи необходимо проработать соответствующий теоретический материал и методические указания к решению задачи.

Студенты допускаются к зачету после выполнения контрольной работы, ее рецензирования, исправления замечаний и защиты.

**Задача 1.** Воздушная линия электропередачи (ВЛ) длиной  $L$ , выполненная сталеалюминевыми проводами сечением  $F$ , проходит в районе интенсивного гололедообразования. Плавка гололеда на проводах ВЛ может осуществляться от шин низкого напряжения 6...10 кВ питающей линию крупной узловой подстанции.

Рассчитать мощность  $S$  и напряжение  $U$ , требуемые для плавки гололеда переменным и выпрямленным током. Рекомендовать для своего варианта ВЛ конкретный способ плавки гололеда.

Варианты заданий принять по табл. 1.1 в соответствии с последней цифрой шифра.

Т а б л и ц а 1.1

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$ , км	40	30	30	25	25	55	55	60	70	65
$F$ , мм <sup>2</sup>	70	70	95	95	120	150	185	240	300	400

**Методические указания к решению задачи.** Принципиальные схемы плавки гололеда переменным и выпрямленным током приведены на рис. 1.1. При плавке гололеда переменным током (рис. 1.1,а) ВЛ подключается к шинам 6...10 кВ непосредственно. При плавке гололеда выпрямленным током (рис. 1.1,б) ВЛ подключается к шинам 6...10 кВ через выпрямитель  $UZ$ . В обоих случаях на другом конце провода ВЛ замыкаются накоротко.

Ток плавки  $I_{пл}$  рекомендуется принимать равным  $1,0 \dots 2,0 I_{доп}$ . Величина допустимого длительного тока  $I_{доп}$  и удельных сопротивлений  $r_0$  и  $x_0$  для проводов различных сечений приведены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

$F$ , мм <sup>2</sup>	70	95	120	150	185	240	300	400
$r_0$ , Ом/км	0,43	0,31	0,25	0,2	0,16	0,12	0,1	0,07
$I_{доп}$ , А	265	330	390	450	510	610	690	825

*Примечание:* Для проводов всех сечений принять  $x_0 = 0,4$  Ом/км.

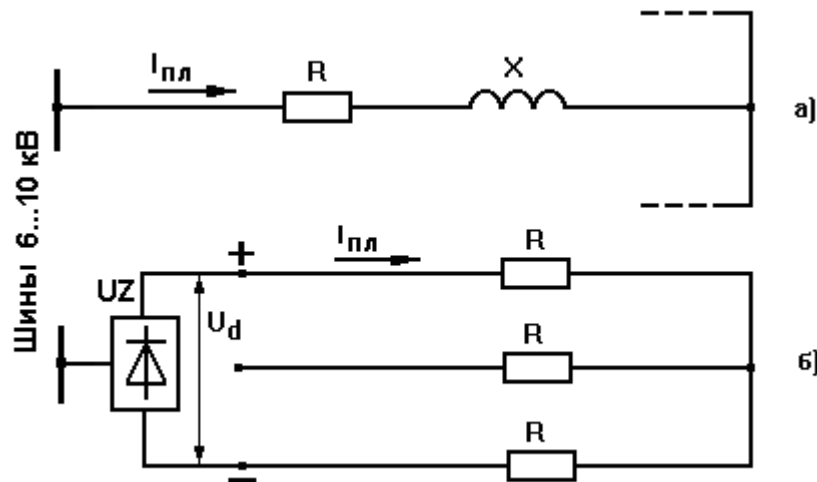


Рис. 1.1. Принципиальные схемы плавки гололеда переменным (а) и постоянным (б) током



*Плавка гололеда переменным током (рис. 1.1,а).*

1. Принять определенную величину тока плавки гололеда  $I_{пл}$ .
2. Определить сопротивления проводов ВЛ ( $R$ ,  $X$  и  $Z$ ).
3. По величине тока  $I_{пл}$  и полному сопротивлению  $Z$  вычислить *линейное* напряжение источника питания  $U$ ; принять ближайшее номинальное напряжение.
4. По величинам  $I_{пл}$  и  $U$  определить полную *трехфазную* мощность  $S$ , требуемую для плавки гололеда.

*Плавка гололеда выпрямленным током (рис. 1.1,б).*

1. Принять такую же величину тока плавки гололеда  $I_{пл}$ .
2. Определить активное сопротивление проводов  $R$ .
3. По принятой величине тока  $I_{пл}$  и сопротивлению  $R$  вычислить напряжение на выходе выпрямителя  $U_d$ .
4. По величинам  $I_{пл}$  и  $U_d$  рассчитать мощность на выходе выпрямителя  $P_d$ .
5. При определении мощности и линейного напряжения на входе выпрямителя использовать следующие приближенные выражения:  $S \cong P_d$ ,  $U \cong U_d/\sqrt{2}$ ; принять ближайшее номинальное напряжение.

**Исходя из величины мощности  $S$ , требуемой для плавки гололеда, рекомендовать для своего варианта конкретный способ плавки.**

**Задача 2.** От главной понижающей подстанции промышленного предприятия к распределительному пункту (РП) проложена  $T$  лет назад кабельная линия напряжением  $U = 10$  кВ, состоящая из  $n$  параллельных кабелей с алюминиевыми жилами сечением  $F$ . В настоящее время расчетная нагрузка РП составляет  $S_p$ .

Оценить допустимость перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей. При недопустимой перегрузке кабелей дать обоснованные расчетом рекомендации по увеличению количества кабелей.

Варианты заданий принять по табл. 2.1 и 2.2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра соответственно.

Т а б л и ц а 2.1

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_p$ , МВ·А	7	9	12	11	13	17	8	12	14	14
$F$ , мм <sup>2</sup>	70	95	120	150	185	240	70	95	120	150
$n$ , шт.	4	4	4	3	3	3	5	5	5	4

Т а б л и ц а 2.2

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T$ , лет	5	10	16	19	8	12	6	18	17	20
Изоляция	БМ	П	В	Р	Пв	П	Пв	Р	БМ	В
Способ прокладки	тр.	откр.	Тр.	откр.	откр.	тр.	откр.	откр.	тр.	тр.

*Примечание.* Изоляция: Б – бумага, пропитанная маслосиликоновым составом; В - поливинилхлорид; П - полиэтилен; Пв - сшитый полиэтилен; Р - резина. Способ прокладки: тр. - в земляной траншее; откр. - открыто.

**Методические указания к решению задачи.** По расчетной нагрузке  $S_p$  и напряжению  $U$  определяется расчетный ток  $I_p$ . По табл. 2.3 определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля  $I_{доп}$  в соответствии с его изоляцией и способом прокладки.

Т а б л и ц а 2.3

$F$ , мм <sup>2</sup>	70	95	120	150	185	240
БМ	<u>130</u>	<u>155</u>	<u>185</u>	<u>210</u>	<u>235</u>	<u>270</u>
	165	205	240	275	310	355
П, В, Р	<u>140</u>	<u>170</u>	<u>200</u>	<u>235</u>	<u>270</u>	<u>320</u>
	210	255	295	335	385	430
Пв	<u>235</u>	<u>285</u>	<u>330</u>	<u>370</u>	<u>425</u>	<u>505</u>
	210	250	280	320	360	415

*Примечание.* В числителе указан  $I_{доп}$  при открытой прокладке кабелей, в знаменателе - при прокладке в земляной траншее.

При параллельной прокладке кабелей на величину  $I_{доп}$  вводится поправочный коэффициент  $k_n$ , учитывающий количество  $n$  кабелей (табл. 2.4).

Т а б л и ц а 2.4

$n$ , шт	1	2	3	4	5	6
$k_n$ , о.е.	<u>1</u>	<u>0,98</u>	<u>0,96</u>	<u>0,95</u>	<u>0,94</u>	<u>0,93</u>
	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75

*Примечание.* В числителе указан  $k_n$  при открытой прокладке кабелей, в знаменателе - при прокладке в земляной траншее. При открытой прокладке параллельных кабелей в количестве более шести принимать  $k_n=0,92$ .

Проверка допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы выполняется по условию

$$n k_n I_{доп} \geq I_p. \quad (2.1)$$

При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку.

Необходимо иметь в виду, что при прокладке кабелей в траншее дополнительные кабели будут проложены в новой траншее.

При отключении одного из кабелей допускаются следующие аварийные перегрузки  $k_{пер}$  оставшихся в работе кабелей:

$k_{пер}=1,3$  - для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией;

$k_{пер}=1,23$  (1,27) - для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке в земле (воздухе);

$k_{пер}=1,18$  - для кабелей с резиновой изоляцией;

$k_{пер}=1,15$  - для кабелей с изоляцией из поливинилхлорида и полиэтилена.

Для кабелей с любой изоляцией, находящихся в эксплуатации более 15 лет, допустимая перегрузка должна быть снижена до 10% ( $k_{пер}=1,1$ ).

Допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме проверяется по условию

$$(n-1) k_{n-1} k_{пер} I_{доп} \geq I_p. \quad (2.2)$$

Поправочный коэффициент  $k_{n-1}$  определяется по табл. 2.4 для количества кабелей  $n-1$ . При невыполнении условия (2.2) дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку.

**В качестве аварийного следует принимать наиболее тяжелый режим. Если по условиям (2.1) и (2.2) количество кабелей следует увеличить, то в качестве аварийного режима принимать отключение дополнительно проложенного нового кабеля.**

**Задача 3.** Для двухступенчатого суточного графика нагрузки трансформатора (рис. 3.1,а) требуется:

рассчитать переходный тепловой режим трансформатора;

оценить допустимость систематической перегрузки;

оценить относительный износ витковой изоляции за сутки.

Варианты заданий принять по табл. 3.1 и 3.2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра соответственно.

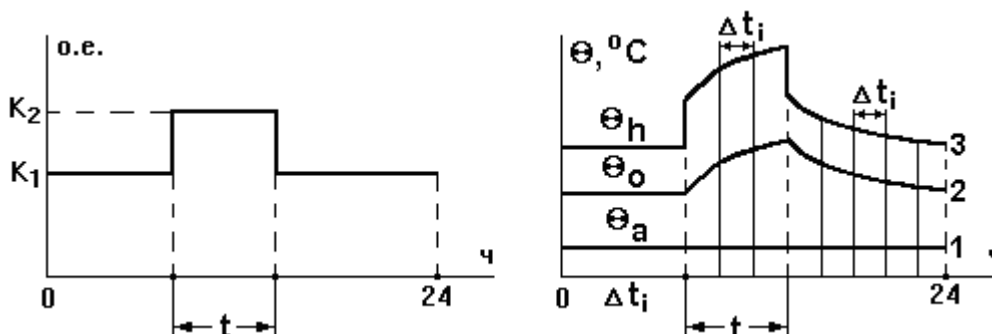


Рис. 3.1. Двухступенчатый суточный график нагрузки (а) и переходный тепловой режим в трансформаторе (б)

Т а б л и ц а 3.1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_1$ , о.е.	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
$K_2$ , о.е.	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
$t$ , ч	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

Т а б л и ц а 3.2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тр-тор	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН
Условия	Зима	Лето	Год	Зима	Лето	Год	Зима	Лето	Год	Зима

**Методические указания к решению задачи.** На рис. 3.1, б показан переходный тепловой режим в трансформаторе при его работе по заданному двухступенчатому графику нагрузки (рис. 3.1,а).

Температура воздуха  $\Theta_a$  в течение суток принимается неизменной и равной эквивалентной температуре (прямая 1). Изменение температуры масла  $\Theta_o$  на выходе из обмотки иллюстрируется зависимостью 2; изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_n$  - зависимостью 3.

Значения эквивалентных годовых, зимних и летних температур для городов Северо-Западного региона приведены в табл. 3.3. Студент выбирает температуру в соответствии с местом проживания и заданием (год, зима, лето).

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой  $K$  превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{oa(K)} = \Delta\Theta_{oar}[(1+RK_2)/(1+R)]^x. \quad (3.1)$$

Т а б л и ц а 3.3

Населенный пункт	Эквивалентная температура воздуха $\Theta_a$ , оС		
	годовая	зимняя	летняя
Архангельск	5,8	-11,4	14,0
Вологда	7,4	-10,8	15,5
Воркута	0,5	-19,4	9,4
Калининград	9,9	-2,4	16,5

Кандалакша	4,5	-10,6	12,5
Кировск	2,9	-11,3	10,9
Мурманск	3,4	-9,5	10,7
Нарьян-Мар	2,0	-15,7	10,3
Новгород	8,3	-7,6	16,0
Петрозаводск	7,1	-8,8	15,1
Псков	8,8	-6,5	16,3
Санкт-Петербург	8,6	-6,8	16,4
Сыктывкар	6,5	-14,1	15,0
Тверь	8,1	-9,1	15,9
Череповец	7,7	-10,2	15,8

По этому выражению вычисляются значения  $\Delta\Theta_{oa(K1)}$  и  $\Delta\Theta_{oa(K2)}$ , соответствующие установившемуся тепловому режиму трансформатора, работающего с нагрузкой  $K_1$  или  $K_2$ . Необходимые числовые данные приведены в табл. 3.4.

Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в переходном тепловом режиме при изменении нагрузки от значения  $K_1$  до значения  $K_2$  определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t)=\Delta\Theta_{oa(K1)}+[\Delta\Theta_{oa(K2)}-\Delta\Theta_{oa(K1)}][1-\exp(-t/\tau_o)]. \quad (3.2)$$

Для значений  $t = 1, 2, 3 \dots t$  по этому выражению строится зависимость  $\Delta\Theta_{oa}(t)$  на интервале перегрузки  $t$ , определяется превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха к концу интервала перегрузки  $\Delta\Theta_{oat}$  и температура масла на выходе из обмотки к концу интервала перегрузки

$$\Theta_{ot} = \Theta_a + \Delta\Theta_{oat}. \quad (3.3)$$

Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в интервале после перегрузки определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t)=\Delta\Theta_{oa(K1)}+[\Delta\Theta_{oat} - \Delta\Theta_{oa(K1)}][\exp(-t/\tau_o)]. \quad (3.4)$$

Т а б л и ц а 3.4

Название показателя	Обозн.	ТМН	ТДН
Показатель степени масла	$x$	0,8	0,9
Показатель степени обмотки	$y$	1,6	1,6
Отношение потерь $\Delta P_{кз}/\Delta P_{хх}$	$R$	5	6
Тепловая постоянная времени масла	$\tau_o, ч$	3	2,5

Превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха	$\Delta\Theta_{\text{oar}}, ^\circ\text{C}$	55	52
Превышение температуры наиболее нагретой точки в верхней части обмотки над температурой масла на выходе из обмотки	$\Delta\Theta_{\text{hor}}, ^\circ\text{C}$	23	26
Предельная температура масла на выходе из обмотки	$\Theta_{\text{omax}}, ^\circ\text{C}$	105	105
Предельная температура наиболее нагретой точки обмотки	$\Theta_{\text{hmax}}, ^\circ\text{C}$	140	140
Температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой относительный износ изоляции равен единице	$^\circ\text{C}$	98	98

*Примечание.* Индексы *h*, *o* и *a* соответствуют верхней (*high*) части обмотки, маслу (*oil*) и воздуху (*air*) соответственно. Индекс *r* соответствует номинальному (*rated*) значению параметра.

Для значений  $t = 1, 2, 3 \dots 3\tau_o$  по этому выражению строится зависимость  $\Delta\Theta_{\text{oa}}(t)$  на интервале после перегрузки. Считается, что через время, равное  $3\tau_o$ , переходный тепловой процесс полностью затухает.

При изменении нагрузки изменение температуры обмотки происходит намного быстрее, чем изменение температуры масла, поскольку тепловая постоянная времени обмоток значительно меньше  $\tau_o$ . С некоторым приближением можно считать, что при скачкообразном изменении нагрузки изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки происходит мгновенно.

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой  $K_1$  превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла на выходе из обмотки определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{\text{ho}(K_1)} = \Delta\Theta_{\text{hor}}K_1^y. \quad (3.5)$$

По аналогичному выражению вычисляется значение  $\Delta\Theta_{\text{ho}(K_2)}$ , соответствующее нагрузке  $K_2$ .

Дальнейшее изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки в интервале перегрузки  $t$  определяется изменением температуры масла. Экспоненты увеличения температуры наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_h$  и масла  $\Theta_o$  идут параллельно (рис. 3.1,б). Температура наиболее нагретой точки обмотки к концу интервала перегрузки составит

$$\Theta_{\text{ht}} = \Theta_{\text{ot}} + \Delta\Theta_{\text{ho}(K_2)}. \quad (3.6)$$

При скачкообразном уменьшении нагрузки до значения  $K_1$  температура наиболее нагретой точки обмотки мгновенно уменьшается на величину  $\Delta\Theta_{ho(K1)}$  и в дальнейшем экспоненты уменьшения температуры наиболее нагретой точки обмотки и масла идут параллельно (рис. 3.1,б).

Допустимость систематической перегрузки трансформатора оценивается сопоставлением рассчитанных к концу интервала перегрузки температур наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_{ht}$  и масла на выходе из обмотки  $\Theta_{ot}$  с предельными значениями этих температур (табл. 3.4).

Для определения термического износа изоляции следует участки изменения температуры наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_h$  разбить на интервалы  $\Delta t_i$ , в которых изменение температуры  $\Theta_h$  можно считать линейным (рис. 3.1,б). На каждом из таких интервалов изменение  $\Theta_h$  заменяется средним значением  $\Theta_{hi}$ . Участок с неизменной температурой  $\Theta_h$ , предшествующий перегрузке, считается одним интервалом  $\Delta t_i$ .

Износ изоляции за сутки определяется в соответствии с 6-градусным правилом старения изоляции по выражению

$$V = \frac{1}{24} \sum_i \Delta t_i 2^{(\Theta_{hi} - 98)/6}. \quad (3.7)$$

Размерность износа изоляции – «нормальные» сутки. Одни «нормальные» сутки соответствуют износу изоляции за сутки при работе трансформатора с таким постоянным графиком нагрузки, при котором температура наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_h=98^\circ\text{C}$ .

## 6. Тестовые вопросы

### *Монтаж и эксплуатация воздушных линий электропередачи*

1. Что такое стрела провеса провода?
2. Назвать основные операции, выполняемые при монтаже проводов.
3. Как выполняются соединения проводов ВЛ?
4. Назвать особенности монтажа изолированных проводов.
5. Как выполняются соединения изолированных проводов?
6. Что такое охранная зона ВЛ?
7. Какова периодичность осмотра ВЛ?
8. При какой температуре на проводах ВЛ происходит гололедообразование?
9. В чем опасность гололеда и каковы меры борьбы с ним?
10. Как отыскивается место повреждения в сети с большими токами замыкания на землю?
11. Как отыскивается место повреждения в разветвленной распределительной сети?
12. Как отыскивается место замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью?
13. Какие измерения проводятся при эксплуатации ВЛ?

### *Монтаж и эксплуатация кабельных линий электропередачи*

1. Охарактеризовать основные способы прокладки кабелей.
2. Какие муфты применяются для соединения кабелей?
3. Что такое разделка кабеля?
4. Назвать основные операции, выполняемые при соединении кабелей.
5. Каково назначение концевой муфты?
6. Какова периодичность осмотра КЛ?
7. Какой прибор нужен для определения характера повреждения кабеля?
8. Какое сопротивление изоляции кабеля на напряжение до 1 кВ считается нормальным?
9. Какие методы применяются для отыскания повреждений в кабелях?
10. Назвать относительные и абсолютные методы отыскания повреждений.
11. Какая допускается перегрузка кабелей с различной изоляцией, различного напряжения на период ликвидации аварии?
12. Какие испытания и измерения проводятся при эксплуатации КЛ?

### *Монтаж и эксплуатация силовых трансформаторов*

1. Какой мощности трансформаторы поставляются полностью собранными?
2. В каких случаях при монтаже выполняют ревизию активной части трансформатора?
3. Какова периодичность осмотра трансформаторов?
4. Назвать и охарактеризовать основные режимы работы трансформаторов.



5. По какому значению тока (мощности) производится преобразование реального графика нагрузки в эквивалентный по тепловому воздействию двухступенчатый график?
  6. Какая изоляция сушится в трансформаторе после его ремонта, способы сушки изоляции?
  7. Какую роль в трансформаторе выполняет масло?
  8. Какую роль в трансформаторе выполняют термосифонный фильтр, азотная и пленочная защиты масла?
  9. Каково назначение воздухоосушителя?
  10. Какая допускается температура наиболее нагретой точки обмотки при систематической и аварийной перегрузках трансформаторов?
  11. Какая допускается температура масла при систематической и аварийной перегрузках трансформаторов?
  12. В каких единицах измеряется износ изоляции трансформатора?
  13. Как и каким прибором определяется коэффициент абсорбции изоляции?
  14. Каково значение коэффициента абсорбции для нормальной изоляции?
  15. Привести схему испытания изоляции повышенным напряжением.
  16. В чем суть хроматографического анализа трансформаторного масла?
- Монтаж и эксплуатация оборудования распределительных устройств*
1. Какова периодичность осмотров РУ?
  2. Можно ли проводить ремонтные работы в схеме, отключенной силовым выключателем?
  3. Какой коммутационный аппарат служит для создания видимого разрыва электрической цепи при выполнении ремонтных работ?
  4. Какое допускается переходное сопротивление разборных контактных соединений шин РУ?
  5. Какой прибор наиболее удобен для измерения температуры контактных соединений?
  6. Допускается ли размыкание вторичной обмотки ТТ под нагрузкой?
  7. С какой целью заземляются вторичные обмотки измерительных трансформаторов?
  8. Каким прибором измеряется сопротивление изоляции оборудования?
  9. Изоляция какого оборудования испытывается выпрямленным напряжением?
  10. Какое допускается переходное сопротивление болтовых контактов ЗУ?
  11. Пояснить принцип действия пирометра и тепловизора.
  12. Что такое термограмма объекта?
  13. Какова периодичность тепловизионного контроля оборудования?

## Содержание

	стр.
1. Цели и задачи изучения дисциплины .....	3
2. Структура дисциплины .....	3
3. Содержание дисциплины .....	4
4. Библиографический список .....	7
5. Задания на контрольную работу .....	7
6. Тестовые вопросы .....	16

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2004 г.

Лицензия ЛР №020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение №78.01.07.953.П.  
005641.11.03 от 21.11.2003 г.

---

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б.кн.-журн.

П.л.

Б.л.

РТП РИО СЗТУ

Тираж 100

Заказ

---

-  
Северо-Западный государственный заочный технический университет  
РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов  
Санкт-Петербурга  
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 5