

# **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методические указания для практических занятий  
по дисциплине «Основы эксплуатации электрооборудования» для студентов специальности 140211 дневной и  
заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2007

УДК 621.31  
ББК 31.29-5-08я73  
3-342

Утверждено Редакционно-издательским советом ТГТУ

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТГТУ  
***В.Н. Чернышов***

Составители:

***Ж.А. Зарандия, А.А. Иванов***

3-342 Эксплуатация электрооборудования : метод. указания / сост. : Ж.А. Зарандия, А.А. Иванов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 36 с. – 50 экз.

Даны 30 вариантов заданий для практических занятий по дисциплине «Основы эксплуатации электрооборудования». Предназначены для студентов специальности 140211 дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.31  
ББК 31.29-5-08я73

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2007

Учебное издание

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методические указания

Составители:

ЗАРАНДИЯ Жанна Александровна,  
ИВАНОВ Александр Александрович

Редактор О.М. Ярцева

Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova

Подписано в печать 12.07.2007.

Формат 60 × 84 / 16. 2,09 усл. печ. л.

Тираж 50 экз. Заказ № 465

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета,  
392000, Тамбов, Советская 106, к. 14

## 1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ)

**Задача 1.** Воздушная линия соединяет источник энергии с потребителем (рис. 1). Вид потребителя определяется по табл. 1.1 в соответствии с номером варианта (это может быть либо асинхронный двигатель (АД), либо трансформатор (Т), либо синхронный двигатель (СД)). Технические данные потребителя выбираются в зависимости от номера из табл. 1.4 – 1.6. Считать, что все трансформаторы работают в повышающем режиме.

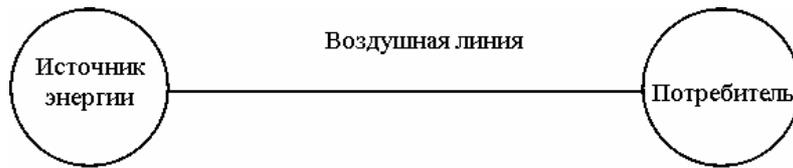


Рис. 1

1. Для данной схемы по заданной нагрузке, материалу провода и количеству часов использования максимума нагрузки выбрать воздушную линию по экономической плотности тока.
2. Для данной схемы по заданной нагрузке выбрать воздушную линию по допустимому нагреву.
3. Определить поправочный температурный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

#### 1. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока

Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $S_э$ , мм<sup>2</sup>, определяется из соотношения

$$S_э = \frac{I_p}{J_эк},$$

где  $I_p$  – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А.  
Для АД и СД

$$I_p = \frac{P_n \cdot 1000}{\sqrt{3} U \cos \varphi_n \eta}.$$

Для трансформаторов

$$I_p = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} U_{ном.т}}.$$

$J_эк$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.2.

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т.е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

#### 2. Соблюдение режима термической стойкости провода

По полученному значению расчетного тока потребителя выбираем сечение провода по табл. 1.3, исходя из условия

$$I_p \leq I_{дд}.$$

#### 3. Соблюдение режимов работы линии по токам нагрузки

Провода воздушных линий при протекании по ним электрического тока нагреваются. Правилами устройств электроустановок установлена предельно допустимая температура голых проводов при длительном протекании тока, равная 70 °С. Для проводов ВЛ предусмотрены длительно допустимые токовые нагрузки  $I_n$ , рассчитанные из условия равенства температуры окружающей среды 25 °С (длительно допустимые токовые нагрузки голых проводов на открытом воздухе приводятся в ПУЭ и ПТЗ).

Если температура окружающей среды отличается от +25 °С, длительно допустимую нагрузку  $I_t$  определяют с учетом поправочного коэффициента:

$$I_t = k I_n; \quad k = \sqrt{\frac{t_{пр} - t_{окр}}{t_{пр} - 25}},$$

где  $t_{пр}$  – предельно допустимая температура нагрева провода;  $t_{окр}$  – температура окружающей среды.

Предельно допустимые токовые нагрузки допускаются только в аварийных случаях. Во всех остальных случаях ток должен быть не больше рабочего максимального, взятого в качестве исходного параметра при расчете и выборе проводов

низковольтной сети. Режим напряжения линии контролируется на вторичных зажимах трансформатора (на вводах потребителя). При отклонении напряжения выше допустимого пользуются переключателем трансформатора (в отключенном состоянии).

### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1.1

| Вариант | Потребитель | $U_n$ , кВ   | $T_{max}$ , ч | Материал провода | $t_{окр}$ , °С | $t_{пр}$ , °С |
|---------|-------------|--|---------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | Т1          | Согласно техническим данным соответствующего потребителя | 6500          | Алюминий         | 30             | 32            |
| 2       | Т2          |  | 7000          | Медь             | 28             | 29            |
| 3       | Т3          |  | 7500          | Алюминий         | 14             | 27            |
| 4       | Т4          |  | 8000          | Медь             | 39             | 45            |
| 5       | Т5          |  | 2200          | Алюминий         | 45             | 47            |
| 6       | Т6          |  | 3100          | Медь             | 50             | 56            |
| 7       | Т7          |  | 5350          | Алюминий         | 42             | 53            |
| 8       | Т8          |  | 6400          | Медь             | 20             | 28            |
| 9       | Т9          |  | 7700          | Алюминий         | 47             | 51            |
| 10      | Т10         |  | 7900          | Медь             | 32             | 49            |
| 11      | СД1         |  | 3580          | Алюминий         | 16             | 50            |
| 12      | СД2         |  | 6530          | Медь             | 20             | 34            |
| 13      | СД3         |  | 7100          | Алюминий         | 41             | 69            |
| 14      | СД4         |  | 4220          | Медь             | 20             | 48            |
| 15      | СД5         |  | 3750          | Алюминий         | 57             | 70            |
| 16      | СД6         |  | 7420          | Медь             | 39             | 62            |
| 17      | СД7         |  | 5320          | Алюминий         | 55             | 64            |
| 18      | СД8         |  | 1900          | Медь             | 20             | 63            |
| 19      | СД9         |  | 2600          | Алюминий         | 45             | 59            |
| 20      | СД10        |  | 4120          | Медь             | 65             | 78            |
| 21      | АД1         |  | 6530          | Алюминий         | 41             | 60            |
| 22      | АД2         |  | 7210          | Медь             | 22             | 30            |
| 23      | АД3         |  | 7800          | Алюминий         | 33             | 44            |
| 24      | АД4         |  | 5530          | Медь             | 41             | 43            |
| 25      | АД5         |  | 4220          | Алюминий         | 53             | 61            |
| 25      | АД6         |  | 7950          | Медь             | 47             | 62            |
| 27      | АД7         |  | 5050          | Алюминий         | 69             | 35            |
| 28      | АД8         |  | 6060          | Медь             | 51             | 57            |
| 29      | АД9         |  | 7070          | Алюминий         | 15             | 36            |
| 30      | АД10        |  | 8080          | Медь             | 20             | 61            |

## 1.2. Экономическая плотность тока

| Проводники   | Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> ,<br>при числе часов использования<br>максимума нагрузки в год $T_{\max}$ , ч |                       |            |
|--|---|-----------------------|------------|
|  | более 1000<br>до 3000   | более 3000<br>до 5000 | более 5000 |
| Неизолированные провода и шины:  |   |                       |            |
| медные   | 2,5   | 2,1                   | 1,8        |
| алюминиевые  | 1,3   | 1,1                   | 1,0        |
| Кабели с бумажной и провода с<br>резиновой и поливинилхлоридной<br>изоляцией с жилами: |   |                       |            |
| медными  | 3,0   | 2,5                   | 2,0        |
| алюминиевыми   | 1,6   | 1,4                   | 1,2        |
| Кабели с резиновой и пластмассовой изо-<br>ляцией с жилами:                            |   |                       |            |
| медными  | 3,5   | 3,1                   | 2,7        |
| алюминиевыми   | 1,9   | 1,7                   | 1,6        |

## 1.3. Допустимый длительный ток для неизолированных проводов по ГОСТ 839–80

|   |     |     |     |     |     |     |      |      |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| Ток, А                                  | 84  | 111 | 142 | 175 | 210 | 265 | 330  | 375  | 450 |
| Номинальное<br>сечение, мм <sup>2</sup> | 10  | 16  | 25  | 35  | 50  | 70  | 95   | 120  | 150 |
| Ток, А                                  | 510 | 610 | 690 | 730 | 825 | 945 | 1050 | 1180 |     |
| Номинальное<br>сечение, мм <sup>2</sup> | 185 | 240 | 300 | 330 | 400 | 500 | 600  | 700  |     |

## 1.4. Технические данные асинхронных двигателей

|    | Тип              | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $U_{\text{ном}}$ , кВ | $n_{\text{ном}}$ , об/мин | $\cos \varphi_{\text{ном}}$ | $\eta$ , % |
|----|------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| 1  | ДАЗО2-16-44-8У1  | 170                    | 6                     | 745                       | 0,69                        | 88         |
| 2  | ДАЗО2-16-44-8У1  | 170                    | 3                     | 745                       | 0,72                        | 90         |
| 3  | ДАЗО2-16-54-8У1  | 630                    | 6                     | 740                       | 0,85                        | 93,5       |
| 4  | ДАЗО2-16-54-8У1  | 630                    | 3                     | 740                       | 0,85                        | 93,5       |
| 5  | ДАЗО2-16-54-8Т1  | 500                    | 6                     | 742                       | 0,835                       | 93         |
| 6  | ДАЗО2-16-54-10У1 | 160                    | 6                     | 595                       | 0,68                        | 89         |
| 7  | ДАЗО2-16-59-4У1  | 1250                   | 6                     | 1492                      | 0,85                        | 94         |
| 8  | ДАЗО2-16-64-6У1  | 800                    | 6                     | 988                       | 0,88                        | 93         |
| 9  | ДАЗО2-16-64-6Т1  | 630                    | 6,6                   | 990                       | 0,87                        | 92,5       |
| 10 | ДАЗО2-16-64-10У1 | 200                    | 6                     | 595                       | 0,73                        | 89,7       |

### 1.5. Технические данные синхронных двигателей

|    | Тип            | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $U_{\text{ном}}$ , кВ | $n_{\text{ном}}$ , об/мин | $\eta$ , % |
|----|----------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|------------|
| 1  | СДН14-49-6УЗ   | 800                    | 10                    | 1000                      | 94         |
| 2  | СДН315-38-6УЗ  | 1250                   | 10                    | 1000                      | 94,4       |
| 3  | СДН15-49-6УЗ   | 1600                   | 10                    | 1000                      | 95,2       |
| 4  | СДН315-64-6УЗ  | 2000                   | 10                    | 1000                      | 95,8       |
| 5  | СДН15-76-6УЗ   | 2500                   | 10                    | 1000                      | 96         |
| 6  | СДН314-41-8УЗ  | 630                    | 6                     | 750                       | 94,6       |
| 7  | СДН14-46-8УЗ   | 800                    | 6                     | 750                       | 94,6       |
| 8  | СДН314-59-8УЗ  | 1000                   | 6                     | 750                       | 94,8       |
| 9  | СДН315-39-8УЗ  | 1250                   | 6                     | 750                       | 94,8       |
| 10 | СДН314-44-10УЗ | 630                    | 6                     | 600                       | 93,5       |

### 1.6. Технические данные силовых трансформаторов

|    | Тип             | $S_{\text{ном}}$ , кВА | Напряжение обмотки |      |
|----|-----------------|------------------------|--------------------|------|
|    |                 |                        | ВН                 | НН   |
| 1  | ТМ-2500/35-71Т1 | 2500                   | 20                 | 6,3  |
| 2  | ТМ-2500/35      | 2500                   | 13,8               | 6,3  |
| 3  | ТМ-4000/10      | 4000                   | 10                 | 3,15 |
| 4  | ТМ-4000/10-85У1 | 4000                   | 10                 | 6,3  |
| 5  | ТМ-4000/35      | 4000                   | 20                 | 6,3  |
| 6  | ТМ-4000/35-71Т1 | 4000                   | 21                 | 6,3  |
| 7  | ТМН-4000/35     | 4000                   | 13,8               | 6,3  |
| 8  | ТМ-6300/10      | 6300                   | 10                 | 3,15 |
| 9  | ТМ-6300/35      | 6300                   | 20                 | 6,3  |
| 10 | ТМН-6300/20     | 6300                   | 15,75              | 6,3  |

**Задача 2.** Воздушная линия электропередачи (ВЛ) длиной  $L$ , выполненная сталеалюминевыми проводами сечением  $F$ , проходит в районе интенсивного гололедаобразования. 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.

Способ плавки выбрать в соответствии с вариантом, представленным в табл. 2.1.

Таблица 2.1

| Вариант               | 1                                    | 2  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
|-----------------------|--------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       | Плавка переменным током, рис. 2, а   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       | 16                                   | 17 | 18 | 19 | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  |
|                       | Плавка выпрямленным током, рис. 2, б |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $L$ , км              | 40                                   | 30 | 30 | 25 | 25  | 55  | 55  | 60  | 60  | 40  | 40  | 70  | 70  | 65  | 65  |
| $F$ , мм <sup>2</sup> | 70                                   | 70 | 95 | 95 | 120 | 120 | 150 | 150 | 185 | 185 | 240 | 240 | 300 | 300 | 400 |

Таблица 2.2

|                       |      |      |      |     |      |      |     |      |
|-----------------------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
| $F$ , 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 |
| $I_{\text{доп}}$ , А  | 265  | 330  | 390  | 450 | 510  | 610  | 690 | 825  |

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Принципиальные схемы плавки гололеда переменным и выпрямленным током приведены на рис. 2. При плавке гололеда переменным током (рис. 2, а) ВЛ подключается к шинам 6...10 кВ непосредственно. При плавке гололеда выпрямленным

током (рис. 2, 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  $1,0...2,0 I_{доп}$ . Величина допустимо длительного тока  $I_{доп}$  и удельного сопротивления  $r_0$  для проводов различных сечений приведены в табл. 2.2, сопротивление  $x_0 = 0,4$  Ом/км.

#### Плавка гололеда переменным током (рис. 2, а):

1. Принять определенную величину тока плавки гололеда  $I_{пл}$ .
2. Определить сопротивления проводов ВЛ ( $R, X, Z$ ).
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. 2, б):

1. Принять определенную 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:  $S = P_d, U \cong U_d / \sqrt{2}$ .

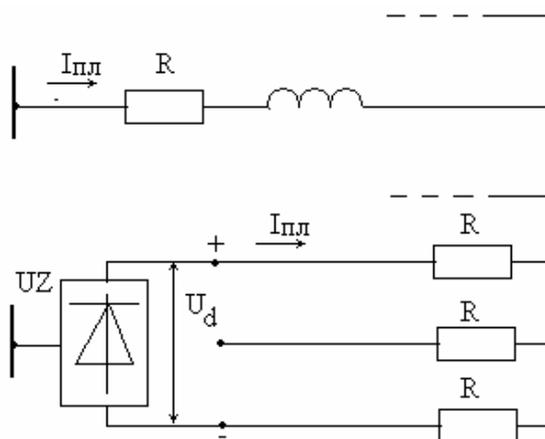


Рис. 2. Принципиальные схемы плавки гололеда переменным (а) и постоянным (б) током

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по теме «Эксплуатация воздушных линий (ВЛ)»

1. Назначение ВЛ.
2. Основные элементы ВЛ.
3. Факторы, воздействующие на ВЛ в процессе эксплуатации.
4. Условия нормальной эксплуатации ВЛ.
5. Критерии выборов проводов ВЛ.
6. Требования к материалам проводов и тросов.
7. Классификация опор.
8. Краткая характеристика деревянных опор.
9. Эксплуатация деревянных опор в районах с загрязненной атмосферой.
10. Проверка состояния деревянных опор.
11. Краткая характеристика железобетонных опор.
12. Краткая характеристика стальных опор.
13. Прием ВЛ в эксплуатацию.
14. Осмотр ВЛ.
15. Профилактические измерения и проверки на линиях.
16. Проверка стрел провеса и габаритных размеров ВЛ.
17. Ремонт ВЛ.
18. Ремонт деревянных опор.
19. Ремонт железобетонных опор.
20. Ремонт проводов.
21. Техника безопасности при эксплуатации ВЛ.

## 2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ (КЛ)

**Задача 3.** Кабельная линия соединяет источник энергии с потребителем (рис. 3). Вид потребителя определяется по таблице в соответствии с номером варианта (это может быть либо асинхронный двигатель (АД), либо трансформатор (Т), либо синхронный двигатель (СД)). Технические данные потребителя выбираются в зависимости от номера варианта из табл. 3.1.

**Таблица 3.1**

| Вариант | Потребитель | $U$ , кВ   | $T_{\max}$ , ч | Материал провода | Тип кабеля | Место нахождения | $t_{\text{окр}}$ , °С | $t_{\text{об}}$ , °С | $\Delta T_{\text{каб}}$ , °С | $T_{\text{жд}}$ , °С | $I_{\text{оп}}$ , А |
|---------|-------------|--|----------------|------------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|
| 1       | АД1         | Согласно техническим данным соответствующего потребителя | 1500           | Медь             | 2          | 3                | 10                    | 9                    | 2                            | 80                   | 100                 |
| 2       | АД2         |  | 2000           | Алюминий         | 1          | 3                | 11                    | 8                    | 0                            | 70                   | 95                  |
| 3       | АД3         |  | 2550           | Медь             | 3          | В                | 20                    | 15                   | 3                            | 80                   | 30                  |
| 4       | АД4         |  | 2500           | Алюминий         | 1          | В                | 35                    | 32                   | 1                            | 70                   | 45                  |
| 5       | АД5         |  | 3000           | Медь             | 2          | В                | 40                    | 38                   | 5                            | 70                   | 80                  |
| 6       | АД6         |  | 3500           | Алюминий         | 2          | 3                | 25                    | 25                   | 2                            | 80                   | 74                  |
| 7       | АД7         |  | 4000           | Медь             | 3          | В                | 15                    | 12                   | 4                            | 70                   | 52                  |
| 8       | АД8         |  | 5000           | Алюминий         | 2          | В                | 55                    | 52                   | 6                            | 80                   | 65                  |
| 9       | АД9         |  | 6000           | Медь             | 3          | 3                | 33                    | 30                   | 2                            | 80                   | 30                  |
| 10      | АД10        |  | 6500           | Алюминий         | 3          | 3                | 32                    | 31                   | 0                            | 70                   | 44                  |
| 11      | Т1          |  | 7000           | Медь             | 4          | 3                | 40                    | 39                   | 3                            | 80                   | 75                  |
| 12      | Т2          |  | 7500           | Алюминий         | 2          | В                | 54                    | 53                   | 1                            | 80                   | 98                  |
| 13      | Т3          |  | 8000           | Медь             | 2          | В                | 23                    | 20                   | 0                            | 70                   | 20                  |
| 14      | Т4          |  | 2200           | Алюминий         | 3          | В                | 28                    | 21                   | 1                            | 70                   | 41                  |
| 15      | Т5          | Согласно техническим данным соответствующего потребителя | 3100           | Медь             | 4          | 3                | 12                    | 7                    | 2                            | 80                   | 65                  |
| 16      | Т6          |  | 5350           | Алюминий         | 4          | 3                | 14                    | 5                    | 7                            | 70                   | 74                  |
| 17      | Т7          |  | 6400           | Медь             | 2          | 3                | 9                     | 8                    | 8                            | 80                   | 52                  |
| 18      | Т8          |  | 7700           | Алюминий         | 3          | 3                | 8                     | 6                    | 6                            | 70                   | 41                  |
| 19      | Т9          |  | 7900           | Медь             | 3          | В                | 19                    | 18                   | 1                            | 70                   | 63                  |
| 20      | Т10         |  | 3580           | Алюминий         | 4          | В                | 10                    | 9                    | 3                            | 80                   | 74                  |
| 21      | СД1         |  | 6530           | Медь             | 2          | В                | 7                     | 6                    | 2                            | 80                   | 51                  |
| 22      | СД2         |  | 7100           | Алюминий         | 2          | В                | 24                    | 22                   | 0                            | 80                   | 89                  |
| 23      | СД3         |  | 4220           | Медь             | 2          | В                | 26                    | 25                   | 5                            | 70                   | 54                  |
| 24      | СД4         |  | 3750           | Алюминий         | 2          | В                | 33                    | 31                   | 6                            | 70                   | 32                  |
| 25      | СД5         |  | 7420           | Медь             | 3          | 3                | 6                     | 0                    | 1                            | 80                   | 74                  |
| 26      | СД6         |  | 5320           | Алюминий         | 2          | 3                | 11                    | 8                    | 2                            | 80                   | 96                  |
| 27      | СД7         |  | 1900           | Медь             | 3          | 3                | 16                    | 15                   | 4                            | 70                   | 20                  |
| 28      | СД8         |  | 2600           | Алюминий         | 2          | В                | 40                    | 39                   | 2                            | 80                   | 74                  |
| 29      | СД9         |  | 4120           | Медь             | 2          | 3                | 17                    | 15                   | 4                            | 70                   | 23                  |
| 30      | СД10        |  | 6530           | Алюминий         | 3          | 3                | 21                    | 20                   | 1                            | 70                   | 101                 |

Считать, что все трансформаторы работают в повышающем режиме.

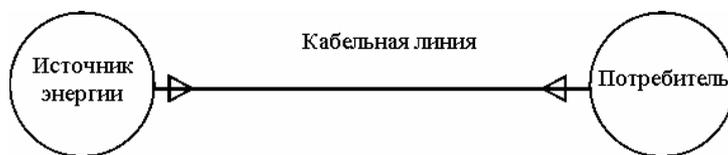


Рис. 3

1. Для данной схемы по заданной нагрузке выбрать кабельную линию по экономической плотности тока.
2. Для данной схемы по заданной нагрузке выбрать кабельную линию по длительно допустимому току.
3. В зависимости от места нахождения (в земле З или воздухе В), температуры окружающей среды и типа кабеля определить длительно допустимую нагрузку кабельной линии с учетом температуры окружающей среды. Температура окружающей среды выбирается в зависимости от заданного варианта.
4. Скорректировать допустимую нагрузку кабельной линии по данным предыдущей задачи по более точной формуле.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

### 1. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока

Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $S_3$ , мм<sup>2</sup>, определяется из соотношения

$$S_3 = \frac{I_p}{J_{эк}}$$

где  $I_p$  – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;  $J_{эк}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы, выбираемое по табл. 3.2.

### 3.2. Длительно допустимые температуры жил кабеля в зависимости от типа кабеля

| Тип кабеля  | Длительно допустимая температура, °С |
|---|--------------------------------------|
| Для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией напряжением до 3 кВ    | 80                                   |
| Для кабелей с резиновой изоляцией                                   | 65                                   |
| Для кабелей по ВТУ с полихлорвиниловой изоляцией                    | 65                                   |
| Для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией напряжением 20 и 35 кВ | 50                                   |

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т.е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

### 2. Выбор кабельной линии по длительно допустимому току

В зависимости от вида потребителя (двигатель, трансформатор и т.д.) определяется номинальный потребляемый нагрузкой ток и по нему выбирается кабельная линия, исходя из условия

$$I_p \leq I_{дд}$$

### 3. Соблюдение режимов работы кабельных линии по токам нагрузки

Допустимые температуры нагрева токоведущих жил определяются конструкцией кабеля (типом применяемой изоляции), рабочим напряжением, режимом его работы (длительный, кратковременный). Длительно допустимые температуры токоведущих жил не должны превышать табличных значений.

Допустимые токовые нагрузки для нормального длительного режима кабельной линии определяют по таблицам, приведенным в электротехническом справочнике. Эти нагрузки зависят от способа прокладки кабеля и вида охлаждающей среды (земля, воздух).

Для кабелей, проложенных в земле, длительно допустимые токовые нагрузки приняты из расчета прокладки одного кабеля в траншее на глубине 0,7...1,0 м при температуре земли 15 °С. Для кабелей, проложенных на воздухе, температура окружающей среды принята равной 25 °С. Если расчетная температура  $t_p$  окружающей среды отличается от принятых условий  $t_n$ , вводится поправочный коэффициент  $k_1$ , равный

$$k_1 = \sqrt{\frac{t_d - t_p}{t_d - t_n}}$$

где  $t_d$  – допустимая температура жилы кабеля.

За расчетную температуру почвы принимается наибольшая среднемесячная температура (из всех месяцев года) на глубине прокладки кабеля. За расчетную температуру воздуха принимают наибольшую среднюю суточную температуру, повторяющуюся не менее трех дней в году.

При прокладке в одной траншее нескольких кабелей вводят поправочный коэффициент  $k_2$ , зависящий от числа параллельно проложенных кабелей и расстояния в гнету между ними.

В условиях необходимости применения обоих поправочных коэффициентов длительно допустимая нагрузка

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{ном}} k_1 k_2.$$

Длительно допустимые нагрузки определяют по участку трассы кабельной линии с наихудшими условиями охлаждения, если длина участка не менее 10 м.

Кабельные линии напряжением до 6...10 кВ, несущие нагрузки меньше номинальных при коэффициенте предварительной нагрузки не более 0,6...0,8 м, могут кратковременно и длительно перегружаться (см. ПТЭ и ПУЭ). Для более точного определения нагрузочной способности кабеля рекомендуется измерять температуру металлических оболочек кабелей  $t_{\text{об}}$ , а затем определять температуру жилы кабеля  $T_{\text{ж}}$  по формуле

$$T_{\text{ж}} = t_{\text{об}} + \Delta T_{\text{каб}},$$

где  $\Delta T_{\text{каб}}$  – перепад температур от оболочки до жилы кабеля;  $t_{\text{об}}$  – температура оболочки, измеренная при опыте, °С.

Если в результате измерений температура жилы кабеля  $T_{\text{ж}}$  окажется ниже допустимой величины  $T_{\text{ж.д}}$ , можно скорректировать нагрузку кабеля, увеличив ее до значения, определяемого формулой

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{оп}} \sqrt{\frac{T_{\text{ж.д}} - t_{\text{окр}}}{T_{\text{ж}} - t_{\text{окр}}}},$$

где  $I_{\text{оп}}$  и  $T_{\text{ж}}$  – измеренная нагрузка и температура жилы кабеля.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по теме «Эксплуатация кабельных линий (КЛ)»**

1. Определение КЛ.
2. Классификация КЛ.
3. Основные элементы КЛ.
4. Объем эксплуатации КЛ.
5. Критерии выборов проводов КЛ.
6. Соблюдение режимов эксплуатации КЛ.
7. Блуждающие токи.
8. Испытание КЛ.
9. Определение мест повреждения КЛ.
10. Ремонт КЛ.
11. Техника безопасности при эксплуатации КЛ.

### **3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

#### **Задача 4.**

1. Определить число витков намагничивающей обмотки и ток в обмотке при индукционной сушке.
2. Определить параметры сушки трансформаторов токами нулевой последовательности.

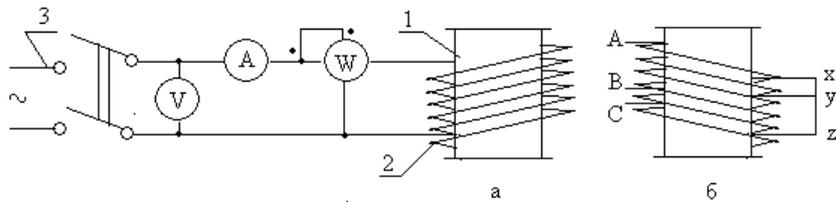
#### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ**

Изоляцию обмоток трансформаторов можно сушить различными методами: в сушильных печах, при помощи ламп инфракрасного света, током короткого замыкания, потерями в собственном баке и токами нулевой последовательности. Однако в условиях эксплуатации получили распространение наиболее экономичные и удобные методы сушки потерями в собственном баке и токами нулевой последовательности. И в том и в другом случае сушку можно проводить на месте установки трансформаторов при любой температуре окружающей среды, но со сливом масла из баков.

**Сушка потерями в собственном баке.** Иногда этот метод называют индукционным. Нагрев происходит потерями в баке, для чего на бак трансформатора наматывают намагничивающую обмотку (рис. 4.1). Чтобы получить более равномерное распределение температуры внутри бака, намагничивающую обмотку наматывают на 40...60 % высоты бака (снизу), причем на нижней части бака витки располагают гуще, плотнее, чем на верхней. Провод для обмотки может быть выбран любой.

Таблица 4.1

| Вариант | Мощность трансформатора, кВА /<br>утепленность / ребристость | $U$ , В | $l$ , м | $F / F_0$ | $t_0$ , °C | $F$ , м <sup>2</sup> | $\Delta p$ | $\cos \varphi_0$ |
|---------|--|---------|---------|-----------|------------|----------------------|------------|------------------|
| 1       | 25 / утепленный / ребристый                                  | 127     | 100     | 1,4       | 0          | 500                  | 0,65       | 0,2              |
| 2       | 25 / неутепленный / ребристый                                | 220     | 110     | 1,5       | 10         | 550                  | 0,7        | 0,25             |
| 3       | 25 / утепленный / гладкий                                    | 380     | 120     | 1,6       | 20         | 600                  | 0,75       | 0,3              |
| 4       | 25 / неутепленный / ребристый                                | 127     | 130     | 1,45      | 15         | 650                  | 0,8        | 0,35             |
| 5       | 40 / утепленный / ребристый                                  | 220     | 105     | 1,55      | 25         | 700                  | 0,85       | 0,4              |
| 6       | 40 / неутепленный / ребристый                                | 380     | 140     | 1,41      | 11         | 750                  | 0,9        | 0,45             |
| 7       | 40 / утепленный / гладкий                                    | 127     | 150     | 1,51      | 21         | 800                  | 0,66       | 0,5              |
| 8       | 40 / неутепленный / ребристый                                | 220     | 160     | 1,42      | 12         | 850                  | 0,71       | 0,55             |
| 9       | 100 / утепленный / ребристый                                 | 380     | 170     | 1,52      | 22         | 900                  | 0,76       | 0,6              |
| 10      | 100 / неутепленный / ребристый                               | 127     | 180     | 1,43      | 13         | 950                  | 0,81       | 0,65             |
| 11      | 100 / утепленный / гладкий                                   | 220     | 190     | 1,53      | 23         | 510                  | 0,86       | 0,7              |
| 12      | 100 / неутепленный / ребристый                               | 380     | 200     | 1,44      | 14         | 560                  | 0,67       | 0,23             |
| 13      | 160 / утепленный / ребристый                                 | 127     | 210     | 1,54      | 24         | 610                  | 0,72       | 0,33             |
| 14      | 160 / неутепленный / ребристый                               | 220     | 220     | 1,47      | 16         | 660                  | 0,77       | 0,43             |
| 15      | 160 / утепленный / гладкий                                   | 380     | 230     | 1,57      | 26         | 710                  | 0,82       | 0,53             |
| 16      | 160 / неутепленный / ребристый                               | 127     | 240     | 1,48      | 17         | 760                  | 0,87       | 0,63             |
| 17      | 560 / неутепленный / ребристый                               | 220     | 250     | 1,58      | 27         | 810                  | 0,68       | 0,47             |
| 18      | 560 / утепленный / гладкий                                   | 380     | 260     | 1,49      | 18         | 860                  | 0,73       | 0,69             |
| 19      | 560 / неутепленный / ребристый                               | 127     | 270     | 1,59      | 28         | 910                  | 0,78       | 0,61             |
| 20      | 25 / утепленный / ребристый                                  | 220     | 100     | 1,5       | 15         | 500                  | 0,75       | 0,4              |
| 21      | 25 / утепленный / гладкий                                    | 220     | 110     | 1,4       | 10         | 500                  | 0,6        | 0,5              |
| 22      | 40 / утепленный / ребристый                                  | 220     | 100     | 1,5       | 16         | 550                  | 0,65       | 0,6              |
| 23      | 40 / неутепленный / ребристый                                | 127     | 110     | 1,45      | 14         | 600                  | 0,7        | 0,47             |
| 24      | 40 / утепленный / гладкий                                    | 127     | 120     | 1,6       | 20         | 600                  | 0,55       | 0,5              |
| 25      | 100 / утепленный / гладкий                                   | 380     | 200     | 1,52      | 18         | 600                  | 0,8        | 0,45             |
| 26      | 100 / неутепленный / ребристый                               | 380     | 150     | 1,4       | 11         | 700                  | 0,75       | 0,5              |
| 27      | 100 / утепленный / гладкий                                   | 380     | 200     | 1,52      | 19         | 700                  | 0,6        | 0,4              |
| 28      | 160 / утепленный / ребристый                                 | 220     | 170     | 1,55      | 20         | 600                  | 0,7        | 0,5              |
| 29      | 160 / неутепленный / ребристый                               | 220     | 250     | 1,48      | 15         | 550                  | 0,8        | 0,6              |
| 30      | 160 / утепленный / гладкий                                   | 380     | 190     | 1,6       | 22         | 750                  | 0,86       | 0,7              |



**Рис. 4.1. Схема сушки трансформатора при помощи намагничивающей обмотки:**

*a* – однофазная намагничивающая обмотка; *б* – трехфазная намагничивающая обмотка; 1 – нагреваемый трансформатор; 2 – намагничивающая обмотка; 3 – источник питания

## 1. Расчет обмотки

Число витков

$$\omega = \frac{UA}{l},$$

где  $U$  – напряжение источника тока, В;  $l$  – периметр бака, м.

Величину  $A$  определяют по табл. 4.2 в зависимости от удельных потерь  $\Delta P$

$$\Delta P = k_T \frac{F}{F_0} (t_k - t_0),$$

где  $k_T$  – коэффициент теплоотдачи, для утепленного бака  $k_T = 5$ , для неутепленного  $k_T = 12$ , кВт/(м<sup>2</sup> · град);  $F$  – поверхность бака трансформатора, м<sup>2</sup>;  $F_0$  – поверхность бака, занятая обмоткой, м<sup>2</sup>;  $t_k$  – температура нагрева бака, обычно равна 100 °С;  $t_0$  – температура окружающей среды, °С.

Ток в обмотке

$$I = \frac{\Delta P F_0}{U \cos \varphi},$$

где  $\cos \varphi = 0,54 \dots 0,7$  для трансформаторов с гладкими или трубчатыми баками; для трансформаторов с ребристыми баками  $\cos \varphi = 0,3$ .

Чем толще стенки бака, массивнее детали наружного крепежа, тем выше значение  $\cos \varphi$ .

Температуру нагрева трансформатора можно регулировать изменением подводимого напряжения, изменением числа витков намагничивающей обмотки, периодическими отключениями питания намагничивающей обмотки.

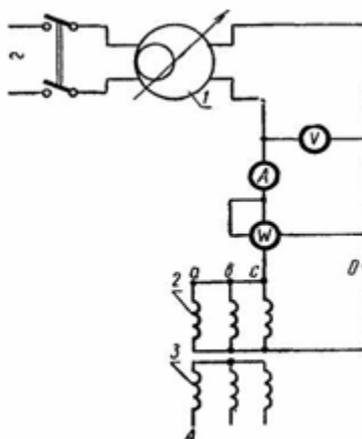
**Таблица 4.2**

|            |      |            |      |            |      |            |      |
|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| $\Delta P$ | $A$  |
| 0,75       | 2,33 | 0,8        | 2,26 | 0,85       | 2,18 | 0,9        | 2,12 |
| 1,1        | 1,92 | 1,15       | 1,88 | 1,2        | 1,84 | 1,4        | 1,74 |
| 1,9        | 1,56 | 2,0        | 1,54 | 2,1        | 1,51 | 2,2        | 1,49 |
| $\Delta P$ | $A$  | $\Delta P$ | $A$  | $\Delta P$ | $A$  |            |      |
| 0,95       | 2,07 | 1,0        | 2,02 | 1,05       | 1,87 |            |      |
| 1,6        | 1,61 | 1,7        | 1,63 | 1,8        | 1,59 |            |      |
| 2,4        | 1,44 | 2,5        | 1,42 | 3,0        | 1,34 |            |      |

## 2. Сушка токами нулевой последовательности (ТНП)

Этот способ отличается от предыдущего тем, что намагничивающей обмоткой служит одна из обмоток трансформатора, соединенная по схеме нулевой последовательности. Трансформаторы имеют 12 групп соединения обмоток. В этом случае очень удобно использовать в качестве намагничивающей обмотку низшего напряжения, которая имеет выведенную нулевую точку.

При сушке трансформатора токами нулевой последовательности (рис. 4.2) нагрев происходит за счет потерь в намагничивающей обмотке, в стали магнитопровода и его конструктивных деталей, в баке от действия потоков нулевой последовательности.



**Рис. 4.2. Схема сушки трансформатора токами нулевой последовательности:**

1 – потенциал-регулятор; 2 – обмотка НН; 3 – обмотка ВН

Таким образом, при сушке трансформаторов токами нулевой последовательности имеются внутренние и внешние источники тепла. Эта сушка представляет собой как бы сочетание двух способов сушки: током короткого замыкания и потерями в собственном баке.

Параметры сушки трансформаторов токами нулевой последовательности могут быть определены следующим образом. Мощность, потребляемая намагничивающей обмоткой,

$$P_o = \Delta p F,$$

где  $\Delta p$  – удельный расход мощности. Для трансформаторов без тепловой изоляции бака, сушка которых протекает при температуре активной (выемной) части  $100 \dots 110 \text{ }^\circ\text{C}$  и окружающей среды  $10 \dots 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , можно применять  $\Delta p = 0,65 \dots 0,9 \text{ кВт/м}^2$ . Меньшее значение удельной мощности принимают для трансформаторов меньшей мощности. Подводимое напряжение при соединении намагничивающей обмотки в звезду где  $z_0$  – полное сопротивление нулевой последовательности фазы обмотки, оно может быть определено опытным путем;  $\cos \varphi_0 = 0,2 \dots 0,7$ .

$$u_o = \sqrt{\frac{P_o z_0}{3 \cos \varphi_0}},$$

Чем больше мощность трансформатора, массивнее детали его внутреннего крепежа, толще стенки бака, меньше расстояние между магнитопроводом и баком, тем больше значение  $\cos \varphi_0$ . Его значение также можно определить опытным путем.

Фазовый ток сушки, необходимый для выбора измерительных приборов и сечения подводящих проводов, для трансформаторов с трубчатыми баками может быть определен из выражения

$$I_o = I_n \sqrt{\frac{10}{S_n}}$$

где  $S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА.

При внутреннем источнике тепла сушка трансформаторов токами нулевой последовательности характеризуется значительно меньшим потреблением мощности (до 40 %) и временем сушки (тоже до 40 %) по сравнению с сушкой трансформатора потерями в собственном баке.

Недостаток сушки трансформаторов токами нулевой последовательности заключается в том, что напряжение питания нестандартное, то есть необходим специальный источник тока. Чаще всего таким источником тока может быть сварочный трансформатор.

После сушки трансформатора проводят его ревизию, проверяют расклиновку обмоток, определяют сопротивление изоляции стяжных шпилек магнитопровода (должно быть не ниже 5 МОм для трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно), подтягивают все болтовые соединения. Температура трансформатора при ревизии должна быть на  $5 \dots 10^\circ$  выше температуры окружающего воздуха.

Продолжительность пребывания активной части трансформатора на открытом воздухе не должна превышать 16 ч в сухую погоду (относительная влажность воздуха до 75 %) и 12 ч во влажную (относительная влажность воздуха свыше 75 %). Все трансформаторы после заливки маслом до включения выдерживают 48 ч в теплом помещении и 120 ч в холодном.

Сопротивления нулевой последовательности фаз обмоток приведены в табл. 4.3.

### 3. Тепловой расчет трансформаторов

Допущения: температура масла и обмотки по высоте меняются линейно

$$g = \Theta_{\text{обм.ср}} - \Theta_{\text{масла ср}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$98 \text{ }^\circ\text{C}$  – такую температуру можно держать на верхней обмотке при номинальных условиях, чтобы он работал 25 лет. В кружочке – гостированные величины.

$$\nu_{\text{ННТ}} = \nu_{\text{окр.возд.ном}} + \Theta_{\text{обм.ср}} + \varepsilon = 20 + 65 + 13 = 98 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Theta_{\text{ННТ в.с.м}} = \nu_{\text{ННТ}} - \Theta_{\text{в.с}} - \nu_{\text{ВН}}.$$

Тепловой расчет трансформатора в установившемся режиме.

Таблица 4.3

| Номинальная мощность, кВА | Сопротивления, МОм |       |
|---------------------------|--------------------|-------|
|                           | $r_0$              | $x_0$ |
| 25                        | 73                 | 35,4  |
| 40                        | 44                 | 13,4  |
| 63                        | 28                 | 12    |
| 100                       | 15,6               | 10,6  |
| 160                       | 50                 | 82    |
| 250                       | 44                 | 33    |
| 320                       | 3,8                | 202   |
| 560                       | 1,9                | 170   |
| 750                       | 1,3                | 120   |
| 1000                      | 0,9                | 80    |

Цель расчета: определение температуры масла в верхних слоях и определение температуры обмотки в наиболее нагретой точке.

$\nu_{\text{мас. доп}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\nu_{\text{доп. обм}} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\nu_{\text{мас}}$  – определяется старением масла;

$\nu_{\text{обм}}$  – определяется изоляцией.

Превышение температуры ведет к более быстрому старению масла и износу обмотки.

### Определение температуры масла

В общем случае  $S_T \neq S_{\text{ном}}$ .

Коэффициент загрузки трансформатора

$$k = S_{\text{ном}} / S_T;$$

$$b = \Delta P_M / \Delta P_c,$$

где  $\Delta P_M$  – потери в меди;  $\Delta P_c$  – потери в стали трансформатора.

Потери в трансформаторе

$$\Delta P_T = \Delta P_c + \Delta P_M = \Delta P_c (1 + k^2 b),$$

$\Delta P_M$  зависят от  $k^2 \Delta P_M = k^2 \Delta P_c b$ ; по ГОСТ  $b = 5$ .

$$\frac{\Theta_{\text{м.верх.сл}(S)}}{\Theta_{\text{м.верх.сл}(S_{\text{ном}})}} = \left[ \frac{\Delta P_c (1 + k^2 b)}{\Delta P_c (1 + b)} \right]^m,$$

где  $m$  – зависит от системы охлаждения трансформатора. Для М и Д равен 0,9; для Ц и ДЦ равен 1.

$$\Theta_{\text{м.верх.сл}(S)} = \Theta_{\text{м.верх.сл}(S_{\text{ном}})} \left[ \frac{1 + k^2 b}{1 + b} \right]^m;$$

$\Theta_{\text{м.верх.сл}(S_{\text{ном}})} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  – для масляного охлаждения.

**Задача 5.** Для двухступенчатого суточного графика нагрузки (рис. 5) трансформатора требуется:

1. Рассчитать переходный тепловой режим трансформатора.
2. Оценить допустимость систематической перегрузки.
3. Оценить относительный износ витковой изоляции за сутки.

Варианты заданий приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

| Вариант | $K_1$ , о.е. | $K_2$ , о.е. | $t$ , ч | Трансформатор | Город        | Условия |
|---------|--------------|--------------|---------|---------------|--------------|---------|
| 1       | 0,95         | 1,5          | 2       | ТМН           | Астрахань    | Зима    |
| 2       | 0,9          | 1,45         | 2       | ТДН           | Воркута      | Лето    |
| 3       | 0,85         | 1,4          | 3       | ТМН           | Калининград  | Год     |
| 4       | 0,8          | 1,35         | 3       | ТДН           | Мурманск     | Зима    |
| 5       | 0,75         | 1,3          | 4       | ТМН           | Новгород     | Лето    |
| 6       | 0,7          | 1,5          | 4       | ТДН           | Псков        | Год     |
| 7       | 0,65         | 1,45         | 5       | ТМН           | Тверь        | Зима    |
| 8       | 0,6          | 1,4          | 5       | ТДН           | Вологда      | Лето    |
| 9       | 0,55         | 1,35         | 6       | ТМН           | Петрозаводск | Год     |
| 10      | 0,5          | 1,3          | 6       | ТДН           | Астрахань    | Лето    |
| 11      | 0,95         | 1,5          | 2       | ТМН           | Воркута      | Год     |
| 12      | 0,9          | 1,45         | 2       | ТДН           | Калининград  | Зима    |
| 13      | 0,85         | 1,4          | 3       | ТМН           | Мурманск     | Лето    |
| 14      | 0,8          | 1,35         | 3       | ТДН           | Новгород     | Год     |
| 15      | 0,75         | 1,3          | 4       | ТМН           | Псков        | Зима    |
| 16      | 0,7          | 1,5          | 4       | ТДН           | Тверь        | Лето    |
| 17      | 0,65         | 1,45         | 5       | ТДН           | Вологда      | Год     |
| 18      | 0,6          | 1,4          | 5       | ТМН           | Петрозаводск | Лето    |
| 19      | 0,55         | 1,35         | 6       | ТДН           | Астрахань    | Год     |
| 20      | 0,5          | 1,3          | 6       | ТМН           | Воркута      | Зима    |
| 21      | 0,95         | 1,5          | 2       | ТДН           | Калининград  | Лето    |
| 22      | 0,9          | 1,45         | 2       | ТМН           | Мурманск     | Год     |
| 23      | 0,85         | 1,4          | 3       | ТДН           | Новгород     | Зима    |
| 24      | 0,8          | 1,35         | 3       | ТМН           | Псков        | Лето    |
| 25      | 0,75         | 1,3          | 4       | ТДН           | Тверь        | Год     |
| 26      | 0,7          | 1,5          | 4       | ТМН           | Вологда      | Зима    |
| 27      | 0,65         | 1,45         | 5       | ТДН           | Петрозаводск | Лето    |
| 28      | 0,6          | 1,4          | 5       | ТМН           | Астрахань    | Год     |
| 29      | 0,55         | 1,35         | 6       | ТДН           | Воркута      | Лето    |
| 30      | 0,5          | 1,3          | 6       | ТДН           | Калининград  | Год     |

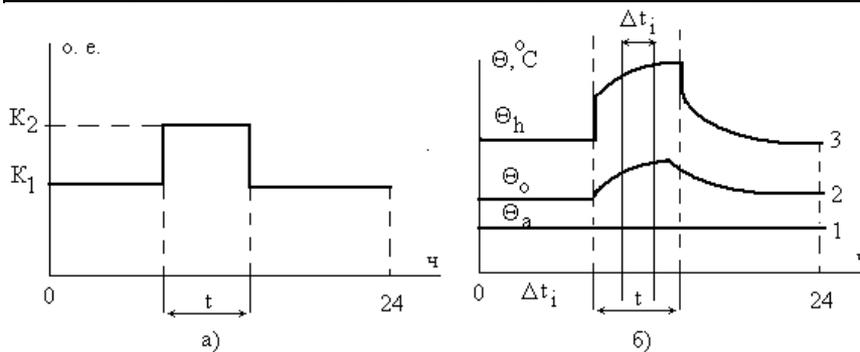


Рис. 5. Двухступенчатый суточный график нагрузки (а) и переходный тепловой режим в трансформаторе (б)

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

На рис. 5, б показан переходный тепловой режим в трансформаторе при его работе по заданному двухступенчатому графику нагрузки (рис. 5, 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  $\Theta_h$  – зависимостью 3. Значения эквивалентных годовых температур для городов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

| Город        | Эквивалентная температура воздуха $\Theta_a$ , °C |        |        |
|--------------|---|--------|--------|
|              | 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   |
| Мурманск     | 3,4   | -9,5   | 10,7   |
| Новгород     | 8,3   | -7,6   | 16,0   |
| Псков        | 8,8   | -6,5   | 16,3   |
| Петрозаводск | 7,1   | -8,8   | 15,1   |
| Тверь        | 8,1   | -9,1   | 15,9   |

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

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

По этому выражению вычисляются значения  $\Delta\Theta_{oa(K_1)}$  и  $\Delta\Theta_{oa(K_2)}$ , соответствующие установившемуся тепловому режиму трансформатора, работающего с нагрузкой  $K_1$  или  $K_2$ . Необходимые числовые данные приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

| Название показателя  | Обозначения                 | 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  | $\tau_0$ , ч                | 3   | 2,5 |
| Превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха   | $\Delta\Theta_{oar}$ , °C   | 55  | 52  |
| Превышение температуры наиболее нагретой точки в верхней части обмотки над температурой масла на выходе из обмотки | $\Delta\Theta_{hor}$ , °C   | 23  | 26  |
| Предельная температура масла на выходе из обмотки  | $\Delta\Theta_{o\max}$ , °C | 105 | 105 |
| Предельная температура наиболее нагретой точки обмотки   | $\Delta\Theta_{h\max}$ , °C | 140 | 140 |
| Температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой относительный износ изоляции равен единице                | °C                          | 98  | 98  |

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

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

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K_1)} + [\Delta\Theta_{oa(K_2)} - \Delta\Theta_{oa(K_1)}] [1 - \exp(-t/\tau_0)].$$

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

$$\Delta\Theta_{ot} = \Theta_a + \Delta\Theta_{oat}.$$

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

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K_1)} + [\Delta\Theta_{oat} - \Delta\Theta_{oa(K_1)}] [1 - \exp(-t/\tau_0)].$$

Для значений  $t = 1, 2, 3, \dots, 3\tau_0$  по этому выражению строится зависимость  $\Delta\Theta_{oa}(t)$  на интервале после перегрузки. Считается, что через время, равное  $3\tau_0$ , 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  $\tau_0$ . 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

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

По аналогичному выражению определяется значение  $\Delta\Theta_{ho(K_2)}$ , 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  $\Delta\Theta_h$  и масла  $\Delta\Theta_o$  идут параллельно (рис. 5, б). Температура наиболее нагретой точки обмотки к концу интервала перегрузки составит

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

При скачкообразном уменьшении нагрузки до значения  $K_1$  температура наиболее нагретой точки обмотки мгновенно уменьшается на величину  $\Delta\Theta_{ho(K_1)}$ , и в дальнейшем экспоненты уменьшения температуры наиболее нагретой точки обмотки и масла идут параллельно (рис. 5, б).

Допустимость систематической перегрузки трансформатора оценивается сопоставлением рассчитанных к концу интервала перегрузки температур наиболее нагретой точки обмотки.  $\Theta_h$  разбить на интервалы  $\Delta t_i$ , в которых изменение температуры  $\Theta_h$  можно считать линейным. 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

$$V = \frac{1}{24} \sum_i \Delta t_i 2^{(\Theta_{hi} - 90)/6}.$$

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  $\Theta_h = 98$  °С.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по теме «Эксплуатация трансформаторов»**

1. Контроль за нагрузкой трансформатора.
2. Подготовка трансформаторов к включению.
3. Эксплуатация трансформаторного масла.
4. Осмотры трансформаторов.
5. Объем испытаний трансформаторов.
6. Приемосдаточные и профилактические испытания трансформаторов.
7. Параллельная работа трансформаторов.
8. Текущий ремонт трансформаторов.
9. Контроль за нагрузкой трансформатора.
10. Сушка трансформаторов.
11. Внешние осмотры трансформаторов.
12. Изоляция трансформаторов и ее эксплуатация.
13. Порядок включения, отключения и регулирования напряжения.
14. Основные неисправности трансформаторов.
15. Техника безопасности при испытании силовых трансформаторов.

## **4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

**Задача 6.** Выбор асинхронного двигателя.

Определить расчетную мощность двигателя (варианты указаны в табл. 6.1),

выбрать по каталогу АД (табл. 6.2), предназначенный для привода механизма с циклическим графиком нагрузки в продолжительном или повторно-кратковременном режимах работы. Провести проверку двигателя по перегрузочной способности.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Эквивалентный момент на валу

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

Продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3} \cdot 100 \%$$

Эквивалентная мощность

$$P_{\text{экв}} = 0,105 M_{\text{экв}} n_2$$

Расчетная мощность

$$P_{\text{рас}} = P_{\text{экв}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}}$$

По расчетной мощности выбираем двигатель

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{рас}}$$

Стандартная продолжительность включения – ближайшая большая по таблице.

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс}} = M_{\text{макс}^*} M_{\text{ном}}$$

где  $M_{\text{макс}^*}$  – кратность максимального момента, для ДПТ 2 – 2.5, для АД – 1.6 – 2.5.

Проверка двигателя по перегрузочной способности.

Сравниваем наибольший момент нагрузки, определяемый по графику нагрузки с максимальным моментом двигателя,

$$M_{\text{нб}} \leq k_u M_{\text{макс}}$$

**Таблица 6.1**

| Вариант | $M_1, \text{Н} \cdot \text{м}$ | $M_2, \text{Н} \cdot \text{м}$ | $M_3, \text{Н} \cdot \text{м}$ | $t_1, \text{с}$ | $t_2, \text{с}$ | $t_3, \text{с}$ | $t_0, \text{с}$ | $n_{2\text{ном}}, \text{об/мин}$ | $k_u$ |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------|
| 1       | 80                             | 40                             | 60                             | 10              | 5               | 20              | 25              | 1410                             | 0.95  |
| 2       | 120                            | 100                            | 95                             | 10              | 10              | 15              | 55              | 930                              | 0.9   |
| 3       | 50                             | 20                             | 30                             | 10              | 15              | 10              | 5               | 915                              | 0.85  |
| 4       | 150                            | 125                            | 145                            | 10              | 20              | 10              | 60              | 930                              | 0.95  |
| 5       | 150                            | 130                            | 160                            | 10              | 25              | 20              | 35              | 1415                             | 0.9   |
| 6       | 40                             | 30                             | 10                             | 5               | 15              | 20              | 10              | 930                              | 0.85  |
| 7       | 40                             | 25                             | 20                             | 5               | 15              | 15              | 5               | 1420                             | 0.95  |
| 8       | 30                             | 15                             | 25                             | 5               | 20              | 10              | 25              | 930                              | 0.9   |
| 9       | 20                             | 15                             | 10                             | 5               | 10              | 5               | 60              | 935                              | 0.85  |
| 10      | 180                            | 140                            | 150                            | 5               | 15              | 15              | 25              | 1440                             | 0.95  |
| 11      | 30                             | 20                             | 10                             | 15              | 10              | 20              | 5               | 1440                             | 0.9   |
| 12      | 30                             | 40                             | 60                             | 15              | 5               | 15              | 5               | 1400                             | 0.85  |
| 13      | 30                             | 45                             | 20                             | 15              | 10              | 10              | 5               | 1410                             | 0.95  |
| 14      | 30                             | 50                             | 30                             | 15              | 15              | 10              | 10              | 940                              | 0.9   |
| 15      | 200                            | 180                            | 170                            | 15              | 20              | 5               | 60              | 930                              | 0.85  |
| 16      | 220                            | 230                            | 215                            | 10              | 15              | 10              | 25              | 940                              | 0.95  |
| 17      | 20                             | 15                             | 25                             | 10              | 10              | 15              | 5               | 930                              | 0.9   |
| 18      | 20                             | 45                             | 40                             | 10              | 5               | 10              | 75              | 950                              | 0.85  |
| 19      | 25                             | 20                             | 15                             | 10              | 15              | 25              | 60              | 950                              | 0.95  |
| 20      | 20                             | 25                             | 15                             | 10              | 10              | 25              | 20              | 1440                             | 0.9   |

|    |     |     |     |    |    |    |    |      |      |
|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|------|------|
| 21 | 40  | 20  | 30  | 5  | 10 | 20 | 25 | 930  | 0,8  |
| 22 | 40  | 25  | 20  | 5  | 10 | 20 | 25 | 930  | 0,8  |
| 23 | 80  | 50  | 60  | 10 | 10 | 20 | 25 | 930  | 0,85 |
| 24 | 80  | 60  | 70  | 10 | 5  | 15 | 60 | 950  | 0,85 |
| 25 | 50  | 30  | 40  | 10 | 5  | 15 | 60 | 950  | 0,85 |
| 26 | 50  | 25  | 30  | 15 | 5  | 15 | 60 | 950  | 0,9  |
| 27 | 100 | 70  | 80  | 15 | 10 | 15 | 35 | 1410 | 0,9  |
| 28 | 100 | 80  | 90  | 15 | 10 | 25 | 35 | 1410 | 0,9  |
| 29 | 120 | 100 | 110 | 10 | 10 | 20 | 35 | 1440 | 0,95 |
| 30 | 150 | 100 | 120 | 5  | 10 | 20 | 10 | 1440 | 0,95 |

Примечание.  $M_1, M_2, M_3$  – моменты нагрузки на валу для соответствующих участков графика нагрузки;  $t_1, t_2, t_3$  – время работы двигателя с заданными моментами нагрузки;  $t_0$  – время паузы;  $n$  – частота вращения двигателя;  $k_u$  – коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения сети.

Таблица 6.2

| Тип двигателя | $M_n^*$ | $M_{max}^*$ | $S_{ном}^*, \%$ | ПВ = 25 %      |            |                | ПВ = 40 %      |            |                | ПВ = 60 %      |            |                | ПВ = 100 %     |            |                |
|---------------|---------|-------------|-----------------|----------------|------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|------------|----------------|
|               |         |             |                 | $P_{ном}, кВт$ | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | $P_{ном}, кВт$ | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | $P_{ном}, кВт$ | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | $P_{ном}, кВт$ | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ |
| 4AC71A4Y3     | 2,0     | 2,2         | 8,2             | 0,65           | 67,0       | 0,76           | 0,6            | 68,0       | 0,73           | 0,6            | 68,0       | 0,73           | 0,60           | 68,0       | 0,73           |
| 4AC71B4Y3     | 2,0     | 2,2         | 8,7             | 0,9            | 68,0       | 0,77           | 0,8            | 68,5       | 0,75           | 0,8            | 68,5       | 0,75           | 0,70           | 69,0       | 0,74           |
| 4AC80A4Y3     | 2,0     | 2,2         | 5,6             | 1,3            | 68,5       | 0,82           | 1,3            | 68,5       | 0,82           | 1,1            | 70,0       | 0,8            | 0,95           | 70,5       | 0,79           |
| 4AC80B4Y3     | 2,0     | 2,2         | 5,5             | 1,9            | 69,5       | 0,83           | 1,7            | 70,0       | 0,82           | 1,5            | 70,5       | 0,8            | 1,3            | 71,0       | 0,79           |
| 4AC90L4Y3     | 2,0     | 2,2         | 5,8             | 2,4            | 76,0       | 0,82           | 2,4            | 76,0       | 0,82           | 2,2            | 76,5       | 0,8            | 1,9            | 77,0       | 0,78           |
| 4AC100S4Y3    | 2,0     | 2,2         | 4,2             | 3,7            | 76,0       | 0,84           | 3,2            | 76,5       | 0,82           | 2,8            | 77,0       | 0,8            | 2,3            | 77,5       | 0,78           |
| 4AC100L4Y3    | 2,0     | 2,2         | 4,1             | 5,0            | 77,0       | 0,84           | 4,3            | 78,0       | 0,82           | 3,8            | 79,0       | 0,8            | 3,3            | 80,0       | 0,78           |
| 4AC112M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,6             | 6,7            | 77,5       | 0,84           | 5,6            | 79,0       | 0,83           | 5,0            | 80,0       | 0,81           | 4,2            | 81,0       | 0,78           |
| 4AC132S4Y3    | 2,0     | 2,2         | 6,9             | 9,5            | 82,0       | 0,85           | 8,5            | 82,5       | 0,85           | 7,5            | 83,5       | 0,83           | 7,1            | 84,0       | 0,81           |
| 4AC132M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 6,1             | 14,0           | 83,0       | 0,86           | 11,8           | 84,0       | 0,85           | 10,5           | 84,5       | 0,83           | 9,0            | 85,0       | 0,81           |
| 4AC160S4Y3    | 2,0     | 2,2         | 6,1             | 19,0           | 83,5       | 0,86           | 17,0           | 84,5       | 0,86           | 15,0           | 85,5       | 0,85           | 13,0           | 86,0       | 0,784          |
| 4AC160M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,3             | 23,0           | 86,0       | 0,86           | 20,0           | 87,0       | 0,87           | 18,5           | 87,5       | 0,87           | 17,0           | 88,0       | 0,86           |
| 4AC180S4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,7             | 24,0           | 84,5       | 0,87           | 21,0           | 86,0       | 0,92           | 20,0           | 86,5       | 0,92           | 19,0           | 87,0       | 0,92           |
| 4AC180M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 4,4             | 30,0           | 87,0       | 0,93           | 26,5           | 88,5       | 0,91           | 25,0           | 89,0       | 0,91           | 24,0           | 89,5       | 0,91           |
| 4AC200M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,7             | 35,0           | 87,0       | 0,92           | 31,5           | 87,5       | 0,92           | 28,0           | 88,0       | 0,92           | 26,0           | 88,0       | 0,92           |
| 4AC200L4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,8             | 47,0           | 88,0       | 0,93           | 40,0           | 89,0       | 0,93           | 37,0           | 89,5       | 0,93           | 35,0           | 90,0       | 0,93           |
| 4AC225M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 5,8             | 55,0           | 87,0       | 0,94           | 50,0           | 87,5       | 0,92           | 45,0           | 88,0       | 0,92           | 40,0           | 88,5       | 0,92           |
| 4AC250S4Y3    | 2,0     | 2,2         | 6,3             | 43,0           | 87,0       | 0,93           | 56,0           | 87,5       | 0,92           | 53,0           | 88,0       | 0,92           | 50,0           | 88,0       | 0,92           |
| 4AC250M4Y3    | 2,0     | 2,2         | 6,4             | 71,0           | 86,5       | 0,93           | 63,0           | 87,0       | 0,93           | 60,0           | 87,0       | 0,93           | 56,0           | 87,5       | 0,93           |
| 4AC71A6Y3     | 2,0     | 2,1         | 10,4            | 0,4            | 62,5       | 0,94           | 0,4            | 62,0       | 0,70           | 0,4            | 62,5       | 0,70           | 0,4            | 62,5       | 0,70           |
| 4AC71B6Y3     | 2,0     | 2,1         | 10,2            | 0,65           | 65,0       | 0,70           | 0,63           | 65,0       | 0,70           | 0,65           | 65,0       | 0,70           | 0,5            | 63,5       | 0,62           |
| 4AC980A6Y3    | 2,0     | 2,1         | 7,0             | 0,9            | 61,0       | 0,70           | 0,8            | 61,0       | 0,68           | 0,7            | 61,0       | 0,64           | 0,5            | 60,0       | 0,51           |
| 4AC80B6Y3     | 2,0     | 2,1         | 7,8             | 1,3            | 65,6       | 0,72           | 1,2            | 66,5       | 0,73           | 1,1            | 67,5       | 0,71           | 0,8            | 69,0       | 0,64           |
| 4AC90L6Y3     | 1,9     | 2,1         | 6,2             | 1,8            | 70,0       | 0,75           | 1,7            | 71,0       | 0,72           | 1,3            | 71,5       | 0,65           | 1,1            | 72,0       | 0,60           |
| 4AC100L6Y3    | 1,9     | 2,1         | 5,3             | 2,9            | 74,0       | 0,74           | 2,6            | 75,0       | 0,76           | 2,2            | 76,0       | 0,72           | 1,8            | 76,5       | 0,67           |
| 4AC112M6Y3    | 1,9     | 2,1         | 7,3             | 3,8            | 71,0       | 0,78           | 3,2            | 72,0       | 0,74           | 2,8            | 73,0       | 0,72           | 2,5            | 73,5       | 0,68           |
| 4AC112M6Y3    | 1,9     | 2,1         | 8,5             | 5,0            | 72,5       | 0,81           | 4,2            | 75,0       | 0,79           | 3,8            | 76,5       | 0,78           | 3,2            | 77,5       | 0,73           |
| 4AC132S6Y3    | 1,9     | 2,1         | 6,4             | 7,5            | 77,5       | 0,83           | 6,3            | 79,0       | 0,80           | 6,0            | 80,0       | 0,79           | 4,5            | 81,0       | 0,74           |
| 4AC132M6Y3    | 1,9     | 2,1         | 5,8             | 10,0           | 77,5       | 0,84           | 8,5            | 80,0       | 0,80           | 7,5            | 80,5       | 0,78           | 6,3            | 81,0       | 0,83           |
| 4AC160S6Y3    | 1,9     | 2,1         | 7,7             | 14,0           | 80,0       | 0,84           | 12,0           | 82,5       | 0,85           | 11,0           | 83,5       | 0,84           | 10,0           | 84,0       | 0,83           |
| 4AC160M6Y3    | 1,9     | 2,1         | 7,8             | 19,0           | 81,5       | 0,86           | 16,0           | 84,0       | 0,85           | 15,0           | 84,5       | 0,84           | 13,0           | 85,5       | 0,89           |
| 4AC180M6Y3    | 1,9     | 2,1         | 7,6             | 20,0           | 83,0       | 0,86           | 19,0           | 84,5       | 0,90           | 17,0           | 85,0       | 0,89           | 16,0           | 85,5       | 0,91           |

|            |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4AC200M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,3 | 25,0 | 82,0 | 0,90 | 22,0 | 83,5 | 0,92 | 20,0 | 84,5 | 0,92 | 18,0 | 85,5 | 0,91 |
| 4AC200L6Y3 | 1,9 | 2,1 | 6,2 | 33,5 | 83,5 | 0,92 | 28,0 | 85,5 | 0,91 | 25,0 | 86,0 | 0,92 | 23,0 | 86,5 | 0,90 |
| 4AC255M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 6,9 | 35,0 | 85,5 | 0,92 | 33,0 | 81,0 | 0,91 | 28,0 | 87,5 | 0,91 | 25,0 | 88,0 | 0,89 |
| 4AC250S6Y3 | 1,9 | 2,1 | 5,4 | 45,0 | 88,0 | 0,92 | 40,0 | 89,0 | 0,90 | 36,0 | 89,5 | 0,90 | 33,5 | 90,0 | 0,89 |
| 4AC250M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 3,8 | 53,0 | 88,0 | 0,90 | 45,0 | 86,5 | 0,88 | 40,0 | 89,0 | 0,86 | 36,0 | 89,5 | 0,89 |

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**  
по теме «Эксплуатация электрических машин»

1. Объем и нормы приемосдаточных испытаний при вводе в эксплуатацию электрических машин.
2. Пуск электрических машин.
3. Контроль нагрузки и температура обмена электрических машин.
4. Влагообмен между изоляцией электрических машин и окружающей средой.
5. Способы сушки изоляции обмоток электрических машин.
6. Эксплуатация токособирательных устройств электрических машин.
7. Работа электрических машин при ненормальных режимах.
8. Неисправности, возникающие в процессе эксплуатации электрических машин, и их устранение.
9. Техническое обслуживание электрических машин, находящихся в эксплуатации.
10. Влияние условий эксплуатации на срок службы электродвигателей.
11. Повышение эксплуатационной надежности.
12. Техника безопасности при эксплуатации электрических машин.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ) .....                     | 3  |
| Задача 1 .....   | 3  |
| Задача 2 .....   | 8  |
| Контрольные вопросы по теме «Эксплуатация воздушных линий»     | 10 |
| 2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ (КЛ) .....                     | 11 |
| Задача 3 .....   | 11 |
| Контрольные вопросы по теме «Эксплуатация кабельных линий»     | 16 |
| 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ .....                          | 16 |
| Задача 4 .....   | 16 |
| Задача 5 .....   | 23 |
| Контрольные вопросы по теме «Эксплуатация трансформаторов»     | 28 |
| 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН .....                      | 29 |
| Задача 6 .....   | 29 |
| Контрольные вопросы по теме «Эксплуатация электрических машин» | 34 |