

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФГБОУ ВО "БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра систем энергообеспечения

## **Электроснабжение**

Учебно-методическое пособие  
к выполнению практических работ по дисциплине «Электроснабжение»  
для студентов очной и заочной форм обучения

Направлений: 13.03.02- Электроэнергетика и электротехника

Квалификация бакалавр

Брянск 2016

УДК 621.319

Грунтович, Н.В. Электроснабжение: учебно-методическое пособие по выполнению практических работ / Н.В. Грунтович, Л.М. Маркарянц. – Брянск: Брянский ГАУ, 2016. - 109с.

Рецензент: к.т.н., профессор Кисель Ю.Е.;

Рекомендовано методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол №3 от 4.03.2016г.

© Брянский ГАУ, 2016  
© Грунтович Над.Вл., 2016  
© Маркарянц Л.М., 2016

## Содержание

<b>Практическое занятие № 1:</b>	
Анализ графиков электрических нагрузок.....	4
<b>Практическое занятие № 2:</b>	
Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.....	13
<b>Практическое занятие № 3:</b>	
Определение расчетных электрических нагрузок вспомогательными методами.....	23
<b>Практическое занятие № 4:</b>	
Определение потерь мощности и энергии в системах электроснабжения.....	30
<b>Практическое занятие № 5:</b>	
Выбор защитных аппаратов и проводников электроприемников напряжением до 1 кВ.....	39
<b>Практическое занятие № 6:</b>	
Выбор числа и мощности силовых трансформаторов потребительских ТП 6-10/0,4 кВ.....	54
<b>Практическое занятие № 7:</b>	
Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок.....	59
<b>Практическое занятие № 8:</b>	
Выбор сечений проводов линий 6-10 кВ.....	63
<b>Практическое занятие № 9:</b>	
Определение расхода электроэнергии.....	71
<b>Практическое занятие № 10:</b>	
Компенсация реактивных нагрузок промышленных предприятий.....	76
<b>Практическое занятие № 11:</b>	
Определение нагрузок сельскохозяйственных потребителей.....	79

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

## Анализ графиков электрических нагрузок

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения выделяют три вида электрической нагрузки:

- активная мощность нагрузки  $P$ ;
- реактивная мощность нагрузки  $Q$ ;
- ток  $I$ .

Кривая, характеризующая изменение нагрузки во времени, называется графиком электрической нагрузки (рис. 1.1).

Под величиной нагрузки в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительными приборами с достаточно малой инерцией.

Различают индивидуальные и групповые графики электрической нагрузки - соответственно, для отдельных электроприемников и для группы электроприемников.

В практике электроснабжения, как правило, используют групповые графики нагрузки (ГГН), и индивидуальные графики нагрузки (ИГН). Различают 4 вида ИГН (рис. 1.1):

- периодические;
- циклические;
- нециклические;
- нерегулярные.

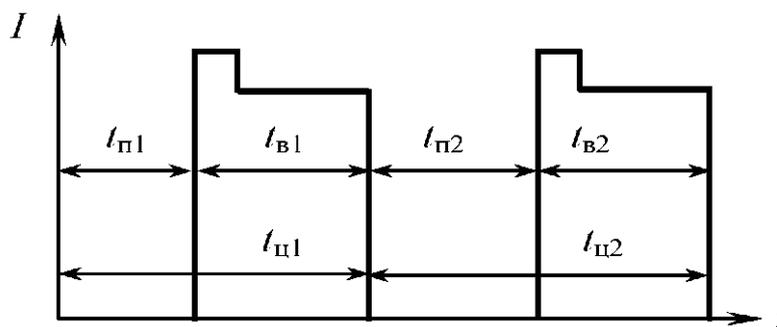


Рис. 1.1. Индивидуальный график нагрузки

**Циклические графики** характерны для электроприемников поточных линий, где имеются ручные операции. Время пауз  $t_{п}$  и циклов  $t_{ц}$  у таких графиков за разные циклы не равны и изменяются по случайному закону:

$$t_{п1} \neq t_{п2} \neq \text{const}; \quad t_{в1} = t_{в2} = \text{const}; \quad t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}; \quad W_1 = W_2 = \text{const}.$$

**Нециклические графики** имеют электроприемники, когда выполняемые ими операции строго не регламентированы. В этом случае  $t_{в}$ ,  $t_{п}$  и  $t_{ц}$  являются случайными, меняется и величина нагрузки от цикла к циклу.

$$t_{n1} \neq t_{n2} \neq \text{const}; \quad t_{b1} \neq t_{b2} \neq \text{const}; \quad t_{u1} \neq t_{u2} \neq \text{const}; \quad W_1 = W_2 = \text{const}.$$

**Нерегулярные графики** имеют электроприемники, которые обслуживают технологические процессы с неустановившимся характером. При этом

$$t_{n1} \neq t_{n2} \neq \text{const}; \quad t_{b1} \neq t_{b2} \neq \text{const}; \quad t_{u1} \neq t_{u2} \neq \text{const}; \quad W_1 \neq W_2 \neq \text{const}.$$

Физические величины, характеризующие графики электрических нагрузок, следующие:

1.  $P_c$  - средняя нагрузка ( $Q_c, S_c, I_c$ );
2.  $P_{ck}$  - среднеквадратичная (эффективная) нагрузка ( $Q_{ck}, S_{ck}, I_{ck}$ );
3.  $P_m$  - максимальная нагрузка ( $Q_m, S_m, I_m$ ):
  - а)  $P_p$  - расчетная (максимальная длительная) нагрузка;
  - б)  $P_{пик}$  - пиковая (максимальная кратковременная) нагрузка.

Средняя нагрузка - постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени ( $T$ ):

$$P_c = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T}.$$

Также среднюю нагрузку можно определить по показаниям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}; \quad Q_c = \frac{V}{T}; \quad P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T};$$

$$i_c = \frac{1}{\sqrt{3}U_n \cdot T} \int_0^T \sqrt{P^2 + Q^2} dt \approx \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3}U_n};$$

$$P_c = \sum p_{c_i}; \quad Q_c = \sum q_{c_i}; \quad I_c \approx \sum i_{c_i}.$$

**Среднеквадратичная нагрузка** - такая неизменная в течение промежутка времени  $T$  нагрузка, которая вызывает потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителей такие же, как реальная изменяющаяся за это же время ( $T$ ) нагрузка:

$$P_{ck} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2(t) dt}; \quad I_{ck} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2(t) dt}; \quad P_{ck} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}.$$

Среднеквадратичная нагрузка используется для определения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

**Максимальная нагрузка** - это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка (пиковая нагрузка используется для расчетов релейной защиты и автоматики, выбора предохранителей и автоматических выключателей.

Под расчетной нагрузкой понимается такая условная нагрузка, которая эквивалентна реальной нагрузке по наиболее тяжелому тепловому эффекту. В связи с этим рассматривают следующие 2 определения расчетной нагрузки:

- 1) расчетная нагрузка, определяющая нагрев (износ) изоляции;
- 2) расчетная нагрузка, определяющая нагрев токоведущих частей.

Значение расчетной мощности определяется, как:

$$P_p = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_n \cdot \cos \varphi_{\text{ср.взв}}; \quad \cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

Коэффициенты графиков нагрузки

Графики нагрузки описываются безразмерными коэффициентами, устанавливающими связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки, а также использование электроприемников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

**1. Коэффициент максимума графика:**

$$k_{\text{м.г.}} = \frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{с}}}.$$

**2. Коэффициент заполнения графика:**

$$k_{\text{з.г.}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{м}}} = \frac{1}{k_{\text{м}}}.$$

Данный коэффициент определяется, как для группового, так и для индивидуального графика нагрузки.

**3. Коэффициент формы графика:**

$$k_{\text{ф.г.}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{с}}}, \quad k_{\text{ф.г.}} \geq 1,$$

где  $k_{\text{ф.г.}} = 1-1,2$  - для групповых графиков;  $k_{\text{ф.г.}} = 1-3$  - для индивидуальных графиков.

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки, прямо пропорционален величине потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителя.

#### 4. Коэффициент включения:

$$k_B = \frac{t_B}{t_B + t_O + t_{XX}},$$

где  $t_B$  - время включения и работы электроприемников;

$t_O$  - время отключения электроприемника;

$t_{XX}$  - время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется, как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприемников:

$$K_B = \frac{\sum k_{B_i} \cdot P_{H_i}}{\sum P_{H_i}}.$$

Коэффициент включения  $K_B$  характеризует использование электроприемников по времени.

#### 5. Коэффициент загрузки:

$$k_3 = \frac{P_{CB}}{P_H},$$

где  $P_{CB}$  - средняя мощность нагрузки за время включения электроприемника:

$$P_{CB} = \frac{T_{Ц}}{T_B} \cdot P_c; \quad P_{CB} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_B},$$

где  $T_{Ц}$  - время цикла;

$T_B$  - время включения;

$P_c$  - средняя нагрузка за цикл или смену.

Коэффициент загрузки характеризует использование электроприемников по мощности.

#### 6. Коэффициент использования:

$$k_H = \frac{P_c}{P_H}.$$

При заданных индивидуальных коэффициентах использования групповой коэффициент рассчитывается как средневзвешенное значение по выражению:

$$K_{и} = \frac{\sum k_{и_i} \cdot P_{и_i}}{\sum P_{и_i}}$$

Коэффициент использования характеризует использование электроприемников по мощности и по времени

$$k_{и} = k_{з} \cdot k_{в}.$$

### 7. Коэффициент спроса:

$$K_{с} = \frac{P_{п}}{\sum_{1}^n P_{пасп}}; \quad K_{с} = K_{и} \cdot K_{м.г.}$$

Время использования максимума нагрузки  $T_{м}$ :

$$T_{м} = K_{з.г.} \cdot T.$$

Время максимальных потерь  $\tau$ :

$$\tau = (K_{ф.г.} \cdot K_{з.г.})^2 \cdot T.$$

### ЗАДАЧА 1.1

К какому типу с точки зрения регулярности относится данный график нагрузки электроприемника, приведенный на рисунке 1.2?

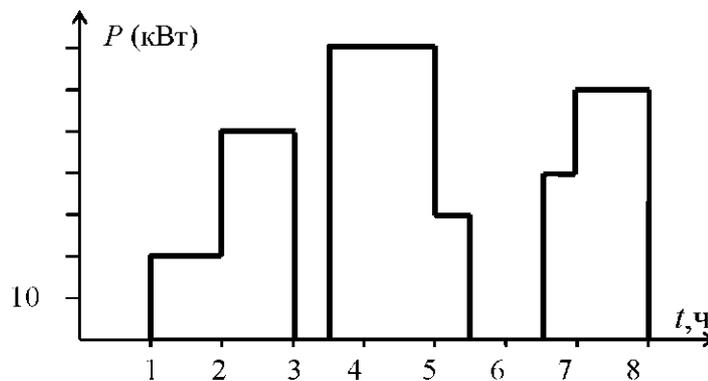


Рис. 1.2. График нагрузки потребителя электроэнергии за смену

С точки зрения регулярности приведенный график относится к нерегулярным графикам нагрузки:

$$t_{н1} \neq t_{н2} \neq \text{const}; \quad t_{в1} \neq t_{в2} \neq \text{const}; \quad t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}; \quad W_1 \neq W_2 \neq \text{const}.$$

### ЗАДАЧА 1.2

Для потребителя электроэнергии, график нагрузки которого за сутки представлен на рисунке 1.3, определить физические величины, безразмерные коэффициенты и показатели режимов его работы. Установленная мощность потребителя составляет 1200 кВт.

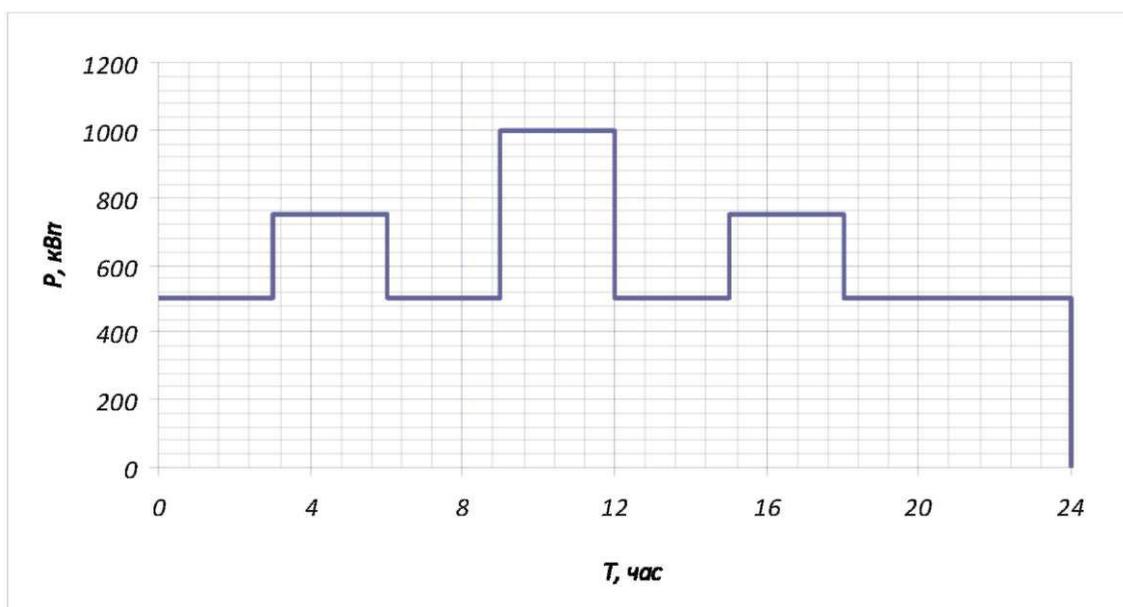


Рис. 1.3. Суточный график нагрузки потребителя электроэнергии

*Решение*

Определим физические величины графика нагрузки.

*Максимальная нагрузка:*

$$P_{\max} = 1000 \text{ кВт.}$$

*Средняя нагрузка:*

$$P_{\text{cp}} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T} = \frac{500 \cdot 3 + 750 \cdot 3 + \dots + 500 \cdot 6}{24} = 625 \text{ кВт.}$$

*Среднеквадратическая нагрузка:*

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}} = \sqrt{\frac{500^2 \cdot 3 + 750^2 \cdot 3 + \dots + 500^2 \cdot 6}{24}} = 649,5 \text{ кВт.}$$

## Безразмерные коэффициенты

*Коэффициент максимума графика нагрузки:*

$$K_{\max \Gamma} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}} = \frac{1000}{625} = 1,6.$$

*Коэффициент заполнения графика нагрузки:*

$$K_{\text{з.г.}} = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\max}} = \frac{625}{1000} = 0,625.$$

*Коэффициент формы графика нагрузки:*

$$K_{\text{ф.г.}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{cp}}} = \frac{649,5}{625} = 1,04.$$

Определим показатели режима работы потребителя электроэнергии.

*Коэффициент использования:*

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\text{уст}}} = \frac{625}{1200} = 0,52.$$

*Коэффициент загрузки:*

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{cp.в}}}{P_{\text{уст}}} = 0,52,$$

где  $P_{\text{cp.в}}$  - средняя мощность за время включения:

$$P_{\text{cp.в}} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_{\text{в}}} = 625 \text{ кВт},$$

где  $T_{\text{в}}$  - время включения.

*Коэффициент включения:*

$$K_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{в}} + t_{\text{о}}},$$

где  $t_{\text{ц}}$  - время цикла.

$$K_B = \frac{24}{24} = 1.$$

Коэффициент спроса:

$$K_c = \frac{P_{\max}}{P_{\text{уст}}} = \frac{1000}{1200} = 0,84.$$

### ЗАДАНИЕ

Для варианта заданы суточный характерный график нагрузки (таблица 1.1) и установленная мощность электроприемников потребителя (таблица 1.2). Определить:

- физические величины и безразмерные коэффициенты графика электрических нагрузок;
- время использования максимума нагрузки и время максимальных потерь за сутки и за год;

Таблица 1.1

Данные типовых графиков нагрузки, по вариантам

T, ч	Потребляемая мощность в часы смены														
	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0-1	40	20	4	100	4	20	10	20	20	20	20	40	2	10	5
1-2	50	30	5	140	6	40	20	40	20	40	10	60	4	15	20
2-3	60	40	4	150	8	50	30	50	40	40	40	80	8	15	20
3-4	120	50	8	80	14	60	35	65	80	20	70	120	12	20	35
4-5	140	60	9	180	10	50	30	70	70	45	60	140	18	20	50
5-6	70	60	9	140	15	20	20	20	60	20	40	110	20	25	50
6-7	110	100	10	80	8	60	10	50	40	40	65	60	10	20	20
7-8	70	80	7	100	6	30	10	20	20	30	30	40	6	10	10
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0-1	20	2	10	10	20	10	10	20	20	10	10	20	10	10	4
1-2	30	4	15	30	30	15	30	30	40	15	40	30	4	15	5
2-3	40	10	15	40	30	20	45	40	50	20	50	60	10	15	4
3-4	40	18	25	80	40	25	40	20	20	25	20	65	25	25	8
4-5	65	15	30	65	65	25	65	30	55	30	55	55	15	25	9
5-6	50	12	20	50	40	20	50	20	20	20	20	20	20	20	9
6-7	20	6	20	40	20	10	30	45	50	10	40	50	6	10	5
7-8	20	2	5	20	10	15	20	30	30	5	30	30	4	5	7

Таблица 1.2

## Данные по установленной мощности предприятий

Значения	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{уст}$ , МВт	150	120	10	200	15	60	40	70	90	50	80	180	25	30	60
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P_{уст}$ , МВт	80	20	40	90	75	30	80	50	60	40	60	70	25	30	10

Результаты свести в таблицу:

Величина	Расчет	Значение	
		о. е.	именованные
Уст. мощность, $P_{уст}$	-	-	
Коэффициент спроса, $K_c$ $\cos \varphi$	Определяются по справочным данным		
Средняя нагрузка, $P_{ср}$	$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}$		
Среднеквадратическая нагрузка, $P_{ск}$	$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$		
Максимальная нагрузка, $P_{max}$	$P_{max} = P_{уст} \cdot K_c$		
Коэффициент максиму- ма графика $K_{max \Gamma}$	$K_{max \Gamma} = \frac{P_{max}}{P_c}$		
Коэффициент заполне- ния графика, $K_{з.г.}$	$K_{з.г.} = \frac{P_c}{P_{max}}$		
Коэффициент формы графика, $K_{ф.г.}$	$K_{ф.г.} = \frac{P_{ск}}{P_{ср}}$		
Коэффициент использо- вания, $K_{и}$	$K_{и} = \frac{P_{ср}}{P_{уст}}$		
Коэффициент спроса, $K_c$	$K_c = \frac{P_{max}}{P_{уст}}$		
*Время использования максимума нагрузки, $T_{max}$	$T_{max} = K_{з.г.} \cdot T$		
Время максимальных потерь, $\tau$	$\tau_{сут} = (K_{ф.г.} \cdot K_{з.г.})^2 \cdot T_{сут};$ $\tau = (0,124 + T_{max \Gamma} \cdot 10^4) \cdot T_{г}$		

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм

Краткие теоретические сведения. Расчетная нагрузка по допустимому нагреву представляет собой такую условную длительную неизменную нагрузку, которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжелому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции.

В соответствии с РТМ 36.18.32.4-92 расчетная активная мощность группы электроприемников (количество электроприемников в группе более одного) на напряжении до 1 кВ определяется по выражению

$$P_p = K_p \sum_1^n k_{н_i} p_{н_i}, \quad (2.1)$$

где  $K_p$  - коэффициент расчетной нагрузки.

Групповой коэффициент использования

$$K_{и} = \frac{\sum_1^n k_{н_i} p_{н_i}}{\sum p_{н_i}}. \quad (2.2)$$

Значение  $K_p$  зависит от эффективного числа электроприемников ( $n_э$ ), группового коэффициента использования ( $K_{и}$ ), а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки. В методике расчета приняты следующие значения постоянной времени нагрева ( $T_0$ ):  $T_0=10$  мин - для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты. Значения  $K_p$  для этих сетей принимаются по табл. 2.1;  $T_0=2,5$ ч - для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов. Значения  $K_p$  для этих сетей принимаются по табл. 2.2.

Эффективное число электроприемников  $n_э$  - это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников. Величина  $n_э$  определяется по выражению:

$$n_э = \frac{(\sum p_{н_i})^2}{\sum p_{н_i}^2}. \quad (2.3)$$

Таблица 2.1

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1 кВ для постоянной времени нагрева  $T_0=10$  мин

$n_3$	Коэффициент использования $K_{и}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
2	8,0	5,3	4,0	2,66	2,0	1,6	1,33	1,14	1,0
3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14	1,0
4	3,42	2,47	2,0	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08	1,0
5	2,84	2Д	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01	1,0
7	2,5	1,96	1,54	1,25	1,12	1,Ю	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1,0	1,0	1,0
14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1,0	1,0	1,0
15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,38	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,34	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,7	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,66	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,65	1,29	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,П	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 2.2

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_3$	Коэффициент использования $K_{и}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

В случаях, когда расчетная мощность  $P_p$  вычисленная по выражению (2.1), окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника ( $P_{н.маx}$ ), следует принимать  $P_p = P_{н.маx}$ .

Расчетная реактивная мощность определяется следующим образом:

- для питающих сетей (питающие распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты) в зависимости от значения  $n_3$ :

при  $n_3 < 10$

$$Q_p = 1,1 \sum_1^n k_{и_i} p_{н_i} \operatorname{tg} \varphi_i; \quad (2.4)$$

при  $n_3 > 10$

$$Q_p = \sum_1^n k_{и_i} p_{н_i} \operatorname{tg} \varphi_i; \quad (2.5)$$

- для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу:

$$Q_p = K_p \sum_1^n k_{и_i} p_{н_i} \operatorname{tg} \varphi_i; \quad (2.6)$$

где  $tg\varphi_i$  - коэффициент реактивной мощности  $i$ -го электроприемника, принимаемый по табл. 2.3 по значению  $\cos\varphi$ .

Таблица 2.3

Коэффициенты использования и мощности некоторых механизмов и аппаратов

Электроприемники		Коэффициенты	
		использования, ( $K_{и}$ )	мощности ( $\cos\varphi$ )
1.	Металлорежущие станки мелкосерийного производства, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12-0,14	0,4-0,5
2.	То же при крупносерийном производстве	0,16	0,5-0,6
3.	То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17	0,65
4.	То же с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистительных барабанов и др.	0,2 - 0,24	0,65
5.	Многошпиндельные автоматы	0,2	0,6
6.	Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15-0,35	0,5
7.	Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,65-0,8	0,8
8.	Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,85
9.	Сварочные трансформаторы дуговой электросварки	0,2	0,4
10.	Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75-0,8	1,0
11.	Индукционные печи низкой частоты	-	0,35
12.	Индукционные печи высокой частоты	-	0,65 - 0,8
13.	Элеваторы, транспортеры, конвейеры	0,4-0,55	0,75
14.	Дуговые сталеплавильные печи	0,5-0,75	0,8-0,9
15.	Гальванические установки	0,4-0,5	0,6-0,8

При определении  $p_n$  для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность приводится к длительному режиму (ПВ=100%).

При включении однофазного ЭП на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью

$$p_H = 3p_{H.0}; \quad q_H = 3q_{H.0}, \quad (2.7)$$

где  $p_{H.0}$ ,  $q_{H.0}$  - активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью

$$p_H = \sqrt{3}p_{H.0}; \quad q_H = \sqrt{3}q_{H.0}, \quad (2.8)$$

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью не выше 15 % по отношению к общей мощности (трехфазных и однофазных ЭП в группе), они могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы.

Значение токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}.$$

### ЗАДАЧА 2.1

Определим расчетные электрические нагрузки группы электроприемников методом упорядоченных диаграмм.

4 электроприемника с  $p_H=5,5$  кВт;  $tg\varphi=1,73$ ;

3 электроприемника с  $p_H=4$  кВт;  $tg\varphi=1,73$ ;

2 электроприемник с  $p_H=3$  кВт;  $tg\varphi=1,33$ .

Коэффициент использования  $k_{и}$  равен 0,12-0,16.

Принимаем  $k_{и}=0,15$ .

Установленная мощность группы электроприемников составит:

$$P_{уст} = 4 \cdot 5,5 + 3 \cdot 4 + 2 \cdot 3 = 40 \text{ кВт.}$$

Определим групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum p_{н_i} \cdot k_{и_i}}{\sum p_{н_i}} = \frac{4 \cdot 5,5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 4 \cdot 0,15 + 2 \cdot 3 \cdot 0,15}{40} = 0,15.$$

Эффективное количество электроприемников составит:

$$n_{э} = \frac{40^2}{4 \cdot 5,5^2 + 3 \cdot 4^2 + 2 \cdot 3^2} = 8,56.$$

Интерполируя, находим коэффициент расчетной активной нагрузки группы электроприемников в зависимости от группового коэффициента использования и эффективного числа электроприемников:

$$K_p = f(0,15; 8,56) = 1,72.$$

Активная расчетная нагрузка составит:

$P_p = K_{и} \cdot K_p \cdot P_{уст} = 0,15 \cdot 1,72 \cdot 40 = 10,3$  кВт, что больше номинальной мощности самого мощного электроприемника в группе. Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = K_p \cdot Q_{см} = 1,1 \cdot (4 \cdot 5,5 \cdot 0,15 \cdot 1,73 + 3 \cdot 4 \cdot 0,15 \cdot 1,73 + 2 \cdot 3 \cdot 0,15 \cdot 1,33) = 11,04 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность, кВ·А:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{10,3^2 + 11,04^2} = 15,1 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{15,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,9 \text{ А.}$$

## ЗАДАЧА 2.2

Для группы электроприемников, подключенных к распределительному шкафу, определить расчетную нагрузку.

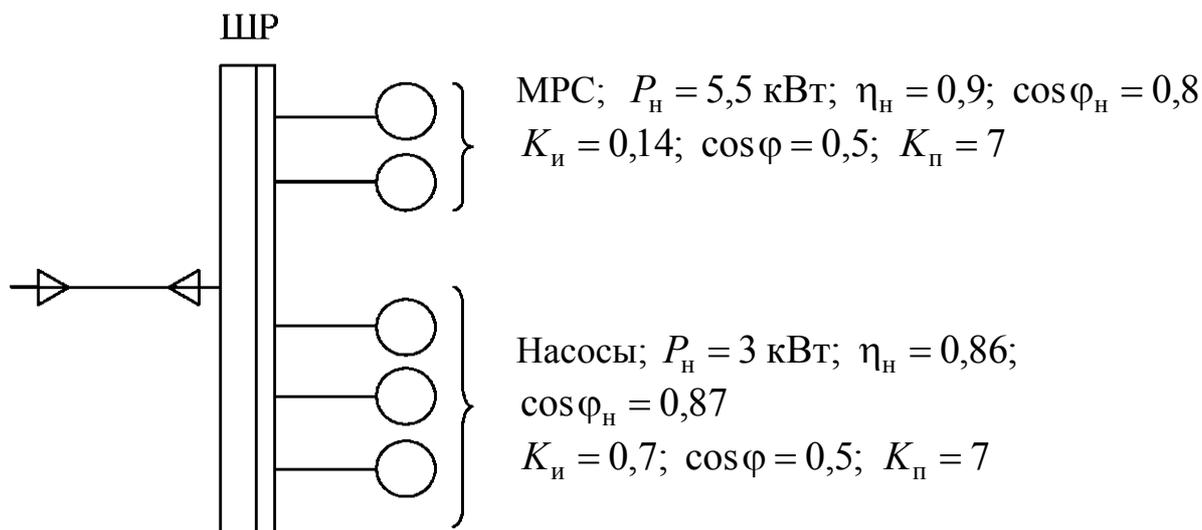


Рис.2.1. Схема питания электроприемников

Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{пасп.i} = 2 \cdot 5,5 + 3 \cdot 3 = 20 \text{ кВт.}$$

Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_{и} = \frac{\sum_1^n P_{пасп.i} \cdot k_{иi}}{\sum_1^n P_{пасп.i}} = \frac{5,5 \cdot 0,14 \cdot 2 + 3 \cdot 0,7 \cdot 3}{20} = 0,4.$$

Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_э = \frac{P_{уст}^2}{\sum_1^n P_{пасп.i}^2} = \frac{20^2}{2 \cdot 5,5^2 + 3 \cdot 3^2} = 4,58.$$

Определяем коэффициент расчетной нагрузки:

$$K_p = f(K_{и} = 0,35; n_э = 4,58; T_0 = 10) = 1,47.$$

Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 1,47 \cdot 0,35 \cdot 20 = 10,29 \text{ кВт.}$$

Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = 1,1 \cdot (2 \cdot 0,14 \cdot 1,73 + 3 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 0,75) = 8,14 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{10,29^2 + 8,14^2} = 13,1 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{13,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 19,9 \text{ А.}$$

### ЗАДАНИЕ

Необходимо определить расчетную электрическую нагрузку участка (цеха) и характерных узлов сети - двух силовых распределительных шкафов (ШР1 и ШР2). В табл. 2.4 в соответствии с вариантом задания указаны номера электроприемников (потребителей), которые запитаны от ШР1 и ШР2. В графах 4 и 5 таблицы приведены расчетные активная и реактивная нагрузки освещения. В табл. 2.5 дается краткая характеристика потребителей (наименование, установленная мощность) участка цеха.

Таблица 2.4

#### Исходные данные

Номер варианта	Номера потребителей, присоединенных к силовому шкафу		Расчетная осветительная нагрузка	
	ШР1	ШР2	$P_{p0}$ , кВт	$Q_{p0}$ , квар
0	1-3, 11, 12, 101	71-75	3,5	0,5
1	111-115	101-106	10,5	-
2	1, 11, 41, 81, 101	12, 13, 91, 62	28,8	4,6
3	21-26, 31-33	1-5, 91	36,9	14,1
4	111-113, 91, 1, 21	61-63, 71, 76	54,2	12,3
5	101-103, 91, 92	81-86	9,5	-
6	7, 14, 71-73	21-24, 47-49	8,0	-
7	29-30, 41	1-4, 11-13	21,5	7,9
8	4, 6, 8, 9, 13	28, 32, 48, 61, 92	31,8	6,5
9	11-18	21-25, 94	4,5	1,1
10	5, 7-10	21, 91, 102-104	3,9	-
11	2-4, 21-26	5, 27, 17, 101	14,6	3,5
12	10, 11-13, 101	14-16, 91-92	21,8	5,6
13	6, 16, 26-30	31, 41, 61, 71	15,1	2,8
14	14-18, 21-23	81-86, 93	3,6	1,2
15	7, 8, 81, 93, 101	6, 21, 41, 51, 71	5,9	2,3
16	9, 71-73, 104	7, 11-14, 51	7,8	1,9
17	12, 94, 103-106	1-3, 28-30	5,6	1,5
18	13, 84, 93, 102, 103	12, 15, 1, 26	3,9	-
19	19, 94, 101-105	3-5, 13-15	8,0	-
20	61-64, 71-76	77-80, 101, 91	11,5	-
21	51, 62, 72, 83, 93, 102	1-4, 19, 20, 30	18,1	4,9
22	30, 65-70	80, 85-90, ПО	13,6	2,5
23	91, 92, 101-105	116-120, 11	4,5	-
24	2, 15, 22, 38	1, 12-14, 35-37	7	-
25	4-6, 16-18	7-10, 101-104	6,5	1,5

Таблица 2.5

## Исходные данные

Номера потребителей	Установленная мощность единичного потребителя, кВт	Наименование потребителей
1-10	7	Токарные станки
11-20	3	Сверлильные станки
21-30	2,5	Точильное оборудование
31-40	10,5	Штамповочные прессы
41-50	14	Строгальные станки
51-60	8,5	Револьверные станки
61-70	2,8	Шлифовальные станки
71-80	4,5	Фрезерные станки
81-90	3,5	Печи сопротивления
91-100	4 кВ·А	Сварочные трансформаторы
101-110	5	Насосы
111-120	1,5	Вентиляторы

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### Определение расчетных электрических нагрузок вспомогательными методами

#### 3.1. Определение расчетных электрических нагрузок статистическим методом

Данный метод основывается на результатах исследований, согласно которым групповая нагрузка (начиная с 4 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. По этому закону, нагрузка электроприемников определяется следующим выражением:

$$P = P_c \pm \beta \cdot \sigma, \quad (3.1)$$

где  $P_c$  - средняя нагрузка при достаточно большом количестве осреднений  $m$  продолжительностью  $3 \cdot T_0$ :

$$P_c = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_m}{m}, \quad (3.2)$$

где  $\sigma$  - среднеквадратичное (стандартное) отклонение, определяемое по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{m}}, \quad (3.3)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_m$  - средние значения нагрузки на каждом интервале осреднения продолжительностью  $3 \cdot T_0$ :

$\beta$  - принятая кратность меры рассеяния ( $\beta = -3, \dots, +3$ ).

- вероятностью появления максимальной нагрузки:

$$P_{\max} = P_c + 3 \cdot \sigma; \quad (3.4)$$

- вероятностью появления минимальной нагрузки:

$$P_{\min} = P_c - 3 \cdot \sigma. \quad (3.5)$$

При определении расчетной нагрузки на практике часто пользуются значением  $\beta = 2,5$ , поэтому выражение при определении максимальной нагрузки принимает следующий вид:

$$P_{\max} = P_c + 2,5 \cdot \sigma. \quad (3.6)$$

В этом случае вероятность того, что нагрузка превысит фактическое значение  $P_p$ , составит 0,005, т. е. 0,5 % общего времени действия нагрузок (смена, месяц, год). В некоторых случаях  $\beta = 1,65$ , при этом вероятность превышения реальной нагрузки составляет 0,05 или 5 %.

### ЗАДАЧА 3.1

Для электроприемников с заданными индивидуальными графиками нагрузки построить групповой график нагрузки и используя статистический метод определить расчетную электрическую нагрузку. Данные электроприемников приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Мощность, потребляемая электроприемниками

№ ЭП	Потребляемая мощность в часы смены, кВт								Средняя нагрузка за смену, кВт
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
1	2	3	5	3,5	1,5	0	3	4	2,75
2	9	13	8	8	6	10	10	7	8,88
3	10	4	2,6	8	6	6	3,8	10	6,3
Итого:	21	20	15,6	19,5	13,5	16	16,8	21	17,93

Определяем среднюю фактическую нагрузку по выражению:

$$P_c = \frac{21,0 + 20 + 15,6 + 19,5 + 13,5 + 16 + 16,8 + 21}{8} = 17,93 \text{ кВт.}$$

Среднеквадратичное отклонение определяем по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(21,0 - 17,9)^2 + (20 - 17,9)^2 + \dots + (21 - 17,9)^2}{8}} = 2,63 \text{ кВт.}$$

Расчетная активная мощность нагрузки при  $\beta = 2,5$ :

$$P_p = 17,93 + 2,5 \cdot 2,63 = 24,5 \text{ кВт.}$$

Таким образом, в результате выполнения расчетов получена активная мощность расчетной нагрузки статистическим методом  $P_p = 24,5$  кВт.

### 3.2. Метод удельной мощности на единицу площади

Расчетная нагрузка по данному методу определяется по одной из следующих формул:

$$P_p = p_{\text{удр}} \cdot F; \quad (3.7)$$

$$P_p = p_{уд.уст} \cdot F \cdot K_c; \quad (3.8)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (3.9)$$

где  $p_{уд.р}$  - удельная расчетная активная мощность на единицу площади, кВт/м<sup>2</sup>;

$p_{уд.уст}$  - удельная установленная активная мощность на единицу площади, кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  - площадь размещения электроприемников, м<sup>2</sup>.

Этот метод рекомендуется применять при относительно равномерном распределении электроприемников по площади помещения. Наиболее точные результаты получаются при большом количестве электроприемников и малой их мощности.

Характерным примером применения формулы (3.8) является определение расчетной нагрузки от источников света при общей равномерной системе освещения.

Формула 3.7 применяется для определения нагрузки жилых домов микрорайона (квартала). В этом случае под  $p_{уд.р}$  понимается удельная расчетная нагрузка жилых домов, а под  $F$  - общая площадь жилых домов микрорайона (квартала).

Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников)  $P_{р.ж.д}$  определяется по формуле:

$$P_{р.ж.д} = p_{кв.уд} \cdot n + 0,9 \left( K'_c \sum_1^{n_{л}} p_{л_i} + K''_c \sum_1^m p_{ст.у_i} \right), \quad (3.10)$$

где  $p_{кв.уд}$  - удельная расчетная электрическая нагрузка квартир;

$n$  - количество квартир;

0,9 - коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников;

$p_{л_i}$  - установленная мощность электродвигателя лифта;

$n_{л}$  - количество лифтовых установок;

$p_{ст.у_i}$ ,  $m$  - соответственно мощность и количество электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств;

$K'_c$ ,  $K''_c$  - коэффициенты спроса.

Расчетная электрическая нагрузка линии до 1 кВ (или на шинах 0,4 кВ ТП) при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий определяется по формуле:

$$P_{\text{рл}} = P_{\text{зд.маx}} + \sum_1^n K_{y_i} P_{\text{зд}_i} \quad (3.11)$$

где  $P_{\text{зд.маx}}$  - наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии;

$P_{\text{зд}_i}$  - расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии;

$K_{y_i}$  - коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий и (или) жилых домов.

Расчетные электрические нагрузки общественных зданий принимаются по проектам электрооборудования этих зданий или по укрупненным удельным расчетным нагрузкам по формулам (3.7), (3.9).

Расчетная электрическая нагрузка в системах электроснабжения на уровнях напряжением выше 1 кВ (РП, ГПП и др.) определяются по формулам:

$$P_{\text{p}\Sigma} = (\Sigma P_{\text{рн}} + \Sigma P_{\text{рв}} + \Delta P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{л}}) K_{\Sigma}; \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{p}\Sigma} = (\Sigma Q_{\text{рн}} + \Sigma Q_{\text{рв}} + \Delta Q_{\text{т}} + \Delta Q_{\text{л}}) K_{\Sigma}; \quad (3.13)$$

$$S_{\text{p}\Sigma} = \sqrt{(P_{\text{p}\Sigma})^2 + (Q_{\text{p}\Sigma})^2}, \quad (3.14)$$

где  $\Sigma P_{\text{рн}}$ ,  $\Sigma Q_{\text{рн}}$  - суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение до 1 кВ;

$\Sigma P_{\text{рв}}$ ,  $\Sigma Q_{\text{рв}}$  - суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение выше 1 кВ (высоковольтных потребителей);

$\Delta P_{\text{т}}$ ,  $\Delta Q_{\text{т}}$  - потери мощности соответственно активные и реактивные в силовых трансформаторах 6÷35 кВ (до окончательного выбора мощности трансформаторов можно принимать  $\Delta P_{\text{т}} = 0,02 \cdot S_{\text{рн}}$ ;  $\Delta Q_{\text{т}} = 0,1 \cdot S_{\text{рн}}$ , где

$$S_{\text{рн}} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{рн}})^2 + (\Sigma Q_{\text{рн}})^2};$$

$\Delta P_{\text{л}}$ ,  $\Delta Q_{\text{л}}$  - потери мощности соответственно активные и реактивные в высоковольтных линиях (линиях питающих ТП 6÷35 кВ) (до окончательного выбора параметров линий электропередачи можно принимать  $\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_{\text{рн}}$ ;

$\Delta Q_{\text{л}} \approx 0$  - для кабельных линий электропередачи;  $\Delta Q_{\text{т}} = (0,02...0,03) S_{\text{рн}}$  - для воздушных линий электропередачи);

$K_{\Sigma}$  - коэффициент разновременности максимумов нагрузки ( $K_{\Sigma} = 0,85...0,95$ ).

### ЗАДАНИЕ № 3.2

В соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем по табл. 3.2 необходимо определить расчетную нагрузку распределительной подстанции, от которой питаются три потребителя. Результаты расчетов оформить в виде табл. 3.3.

Таблица 3.2

#### Исходные данные

№ варианта	Установленная мощность цеха (потребителя), кВт						
	Номер цеха по табл. 3.3						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-	2800	-	3600	600	-	-
1	4600	-	1800	-	-	900	-
2	-	-	2500	4000	-	-	100
3	2900	1900	-	-	300	-	-
4	-	-	950	-	-	300	50
5	1850	-	-	2200	-	400	-
6	-	1500	-	-	200	-	30
7	-	-	1400	-	250	500	-
8	3100	2200	-	2900	-	-	-
9	-	-	1000	-	150	300	-
10	2700	-	2100	-	-	-	75
11	-	3000	-	2500	-	700	-
12	-	-	3200	-	185	-	90
13	-	-	-	4500	120	1200	-
14	5200	3600	-	-	-	-	60
15	-	-	5800	3900	-	1100	-
16	-	4200	-	-	280	-	50
17	3500	-	4100	-	-	800	-
18	-	2800	-	5200	-	-	40
19	2100	-	1500	-	120	-	-
20	-	1900	-	2600	-	600	-
21	2800	1800	1100	-	-	-	-
22	-	-	-	4800	400	-	20
23	4100	2600	-	-	-	1300	-
24	-	1500	2000	-	-	600	-
25	1900	-	-	2600	-	-	70

Таблица 3.3

## Исходные данные

№ цеха	Наименование цеха (потребителя)	Длина, ши- рина, м	Силовая нагрузка		Осветительная нагрузка	
			$K_c$	$\cos \varphi$	$K_{co}$	$P_{уд.уст}$ Вт/м <sup>2</sup>
1	Кузнечно-прессовый	120×80	0,25	0,65	0,8	17,6
2	Механосборочный	100×30	0,6	0,75	0,95	25,5
3	Механический	80×50	0,3	0,6	0,85	18,9
4	Главный корпус	75×28	0,5	0,7	0,95	20,1
5	Заводоуправление	35×30	0,8	0,9	0,95	30,0
6	РМЦ	60×40	0,4	0,5	0,9	19,2
7	Склад	100×50	0,55	0,7	0,8	16,2

### Результаты расчета

№ цеха	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Совместная силовая и осветительная нагрузки		
		$P_n$ , кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{pc}$ , кВт	$Q_{pc}$ , квар	$F_1$ , м <sup>2</sup>	$p_{уд.уст}$ Вт/м <sup>2</sup>	$K_{co}$	$P_{но}$ , кВт	$P_{р.о}$ , кВт	$P_{pc} + P_{р.о}$ , кВт	$Q_{pc}$ , квар	$S_p$ , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	Механосборочный	2800	0,6	0,75	0,88	1680	1478,4	3000	25,5	0,95	76,5	72,7	1752,7	1478,4	2292,9
4	Главный корпус	3600	0,5	0,7	1,0	1800	1800	2100	20,1	0,95	42,2	40,1	1840,1	1800	2574,0
5	Заводоуправление	600	0,8	0,9	0,48	480	230,4	1050	30,0	0,95	31,5	29,9	509,9	230,4	559,5
Итого:													4102,7	3508,8	5398,5
Итого по РП с учетом потерь:													4154,1	3846,3	5661,3

Примечания:

$$P_{pc} = K_c P_n; \quad Q_{pc} = P_{pc} tg \varphi; \quad S_p = \sqrt{(P_{pc} + P_{po})^2 + Q_{pc}^2};$$

$$P_{но} = p_{уд.уст} \cdot F; \quad P_{po} = K_{co} \cdot P_{но};$$

$$P_{p.з} = (\Sigma P_{p.нн} + \Delta P_T + \Delta P_L) \cdot K_c; \quad Q_{p.з} = (\Sigma Q_{p.нн} + \Delta Q_T) K_{\Sigma};$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p.нн}; \quad \Delta P_T = 0,02 \cdot 5398,5 = 108 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p.нн}; \quad \Delta Q_T = 0,1 \cdot 5398,5 = 539,9 \text{ квар};$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_{p.нн}; \quad \Delta P_L = 0,03 \cdot 5398,5 = 162 \text{ кВт};$$

$$S_{p.нн} = \sqrt{(1840,1 + 1752,7 + 509,9)^2 + (1800 + 1478,4 + 230,4)^2} = 5398,5 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$P_{p.п} = (4102,7 + 108 + 162) \cdot 0,95 = 4154,1 \text{ кВт}.$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

### Определение потерь мощности и энергии в системах электроснабжения

Потери активной мощности и электроэнергии в элементах СЭС складываются из:

- потерь холостого хода
- нагрузочных потерь.

Потери холостого хода не зависят от нагрузки элементов СЭС и возникают из-за перемагничивания, ионизации воздуха возле проводов воздушных линий 220 кВ и выше (потери на корону), токов утечки из-за несовершенства изоляции и т.д. Эти потери для различных элементов указываются в виде абсолютных или удельных величин в паспортных данных или в справочниках.

Нагрузочные потери являются тепловыми потерями, которые изменяются прямо пропорционально квадрату тока, протекающего через активное сопротивление элемента СЭС.

#### 4.1. Потери активной мощности в линиях

Потери активной мощности в линии электропередачи ( $\Delta P_{\text{л}}$ ), идущие на нагревание проводников, рассчитываются по выражению:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3 \cdot I^2 \cdot R, \quad (4.1)$$

где  $I$  - ток линии;

$R$  - реактивное сопротивление провода или жилы кабеля, определяемое как

$$R = r_0 \cdot l, \quad (4.2)$$

где  $r_0$  - удельное (погонное) активное сопротивление проводника, Ом/км;

$l$  - длина линии, км.

Величины  $r_0$ , полученные экспериментальным путем, указываются в таблицах физико-технических данных проводов и кабелей приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Марка и сечение	Ток, А	Сопротивление жилы, Ом/км			
		активное	индуктивное при напряжении, кВ		
			1	6	10
3×35	90	0,894	0,0637	0,087	0,095
3×50	110	0,625	0,0625	0,083	0,09

3×70	140	0,447	0,0612	0,08	0,086
3×95	170	0,329	0,0602	0,078	0,083
3×120	200	0,261	0,0602	0,076	0,081
АС 120/19	313	0,06			0,28
АС 150/24	365	0,06			0,22
АС 185/29	425	0,05			0,18
АС 300/40	600	0,06			0,12
АС 400/51	750	0,04			0,11

При представлении нагрузки линии мощностями

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{S^2 \cdot R}{U_{\text{ном}}^2}. \quad (4.3)$$

В этом случае потери активной электроэнергии АWR подсчитываются по выражению

$$\Delta W_{\text{л}} = 3 \cdot R \cdot \sum_{i=1}^m I_i^2 \cdot \Delta t_i, \quad (4.4)$$

где  $I_i$  - среднее значение тока для  $i$ -й ступени графика;

$\Delta t$  - длительность  $i$ -го интервала осреднения нагрузки;

$m$  - число ступеней графика.

Потери электроэнергии при проектировании могут определяться также следующими методами:

1) по среднеквадратическому току  $I_{\text{ск}}$  и времени действительной работы линии  $T_{\text{р}}$ ;

2) по максимальному току  $I_{\text{max}}$  и времени максимальных потерь  $\tau$ .

Среднеквадратический ток линии при известном графике ее нагрузки

$$I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m I_i^2 \cdot \Delta t_i}{T_{\text{р}}}}. \quad (4.5)$$

В общем случае среднеквадратический ток линии может быть выражен как

$$I_{\text{ск}} = K_{\text{ф}} \cdot I_{\text{с}}, \quad (4.6)$$

где  $K_{\phi}$  - коэффициент формы графика нагрузки,  
 $I_c$  - средний ток линии за время  $T_p$  :

$$I_c = \frac{\sum_{i=1}^m I_i \cdot \Delta t_i}{T_p}. \quad (4.7)$$

Потери активной электроэнергии за время  $T_p$  определяются по формуле

$$\Delta W_{\text{л}} = 3 \cdot I_{\text{ск}}^2 \cdot R \cdot T_p. \quad (4.8)$$

При расчете потерь данным методом существуют некоторые трудности при определении величины  $I_{\text{ск}}$ .

Поэтому в практике проектирования более распространен метод расчета потерь электроэнергии по максимальному току линии  $I_{\text{max}}$  в качестве которого принимается расчетный ток  $I_p$ , и времени максимальных потерь  $\tau$ .

В этом случае потери активной электроэнергии в линии за год

$$\Delta W_{\text{л}} = 3 \cdot I_{\text{ск}}^2 \cdot R \cdot \tau. \quad (4.9)$$

Время максимальных потерь это время, за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии в линии будут такими же, что и при нагрузке, изменяющейся по действительному графику

Время максимальных потерь определяется по графику (рис. 4.1), табл. 4.2.

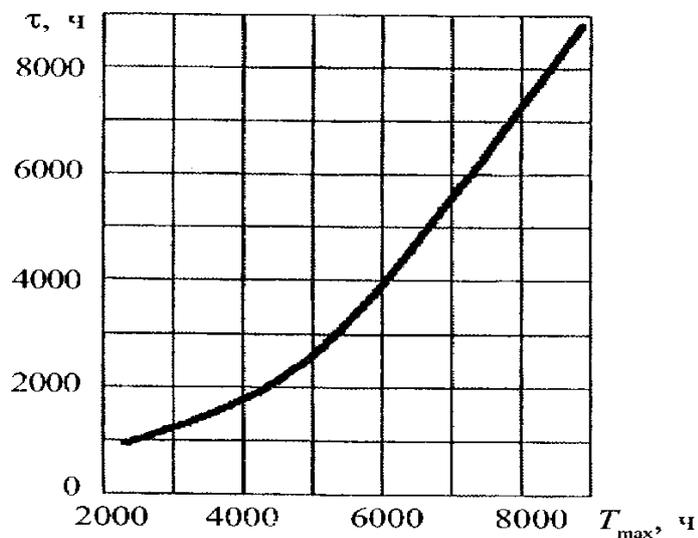


Рис. 4.1. Зависимость времени максимальных потерь от  $T_{\text{max}}$

Таблица 4.2

Зависимость времени максимальных потерь от  $T_{\max}$ 

$T_{\max}$ , час	$\tau$ , час	$T_{\max}$ , час	$\tau$ , час
3000	1300	5500	3650
3500	1650	6000	4300
4000	2000	6500	5000
4500	2500	7000	5700
5000	3000	7500	6450

Для графиков типовой формы и  $\cos \varphi = 0,8$  годовое время максимальных потерь допускается ориентировочно определять по такому эмпирическому выражению [10]

$$\tau = (0,124 + T \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \quad (4.10)$$

Каждый потребитель имеет свой характерный график нагрузки и соответствующее значение  $T_{\max}$ , которое определяется по выражению

$$T_{\max} = \frac{P_c \cdot 8760}{P_{\max}}. \quad (4.11)$$

Расчет потерь реактивной мощности и электроэнергии в линии электропередачи осуществляется по аналогичным выражениям, в которых вместо  $R$  подставляется реактивное сопротивление  $X$  определяемое по формуле

$$X = x_0 \cdot l, \quad (4.12)$$

где  $x_0$  - удельное реактивное сопротивление, Ом/км.

#### 4.2. Потери активной мощности в двухобмоточных трансформаторах

Потери активной мощности в двухобмоточной трансформаторе вычисляются по выражению:

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \left( \frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \cdot \Delta P_{XX}, \quad (4.13)$$

где  $\Delta P_{K3}$ , и  $\Delta P_{XX}$  - активные потери холостого хода (XX) и короткого замыкания (K3) в трансформаторе;

$\beta$  - коэффициент загрузки трансформатора.

Аналогично выражаются потери реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot \beta^2, \quad (4.14)$$

где  $\Delta Q_{XX}$  - реактивные потери холостого хода в трансформаторе;  
 $\Delta Q_{K3}$  - потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке.

Потери холостого хода, идущие на намагничивание трансформатора определяются как

$$\Delta Q_{XX} = I_{XX} \cdot S_{НОМ} / 100, \quad (4.15)$$

где  $I_{XX}$  - ток холостого хода трансформатора, %;  
 $S_{НОМ}$  - номинальная мощность трансформатора.

Потери реактивной мощности при номинальной нагрузке трансформатора, вызванные рассеянием магнитного потока, вычисляются по формуле

$$\Delta Q_{K3} = U_{K3} \cdot S_{НОМ} / 100, \quad (4.16)$$

где  $U_{K3}$  - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Величина коэффициента загрузки определяется в зависимости от полной мощности нагрузки и мощности трансформатора  $S_{НОМ}$ :

$$\beta_T = S_{НАГ} / S_{НОМ}. \quad (4.17)$$

Если в качестве  $S_{НАГ}$  принять среднеквадратическую полную мощность нагрузки  $S_{СК}$ , то потери активной и реактивной электроэнергии в трансформаторе подсчитываются по выражениям

$$\Delta W_T = \frac{1}{n} \left( \frac{S_{\max}}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} \cdot \tau + n \Delta P_{XX} \cdot T_B = \frac{1}{n} \left( \frac{S_{СК}}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} \cdot T_P + n \Delta P_{XX} \cdot T_B, \quad (4.18)$$

где  $T_B$  - полное число часов включения трансформатора;

$T_P$  - число часов работы трансформатора с нагрузкой в рассматриваемом периоде.

В тех случаях, когда  $\beta_T$  определяется по максимальной полной мощности нагрузки  $S_{\max}$ , потери активной и реактивной электроэнергии в трансформаторе:

$$\Delta W_T = \Delta P_{xx} \cdot T_B + \Delta P_{кз} (S_{max} / S_{ном})^2 \cdot \tau. \quad (4.19)$$

При расчетах потерь электроэнергии в элементах СЭС годовое число часов работы промышленных предприятий может быть принято по таблице 4.3.

Таблица 4.3

Годовое число часов работы промышленных предприятий

Продолжительность смены, ч	Годовое число часов при числе смен		
	1	2	3
8	2250	4500	6400
7	2000	3950	5870

Каталожные данные трансформаторов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Каталожные данные трансформаторов

Марка	Параметры трансформаторов				
	$P_{xx}$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{xx}$ , %	$X$ , Ом
ТМЗ-630/10/0,4					51,6
ТМЗ-1000/10/0,4	2,45	11	5,5	1,4	49,8
ТМЗ-1600/10/0,4	3,3	16,5	5,5	1,3	49,2
ТМЗ-2500/10/0,4	3,85	23,5	6,5	1	31,9
ТДН-10000/110/10	14	58	10,5	0,9	139
ТРДН-25000/110/10	25	120	10,5	0,65	55,5
ТРДН-32000/110/10	35	145	10,5	0,6	82
ТРДН-40000/110/10	44	170	10,5	0,55	34,7
ТРДН-63000/110/10	50	245	10,5	0,5	41,6

#### ЗАДАЧА 4.1

Определить потери активной энергии за год в трехфазной линии. Линия выполнена кабелем АСБ-10 (3×70), протяженностью 7,5 км, питающей предприятие с трехсменным режимом работы. Годовой расход электроэнергии составляет 10200 тыс. кВтч при максимальном токе нагрузки 120 А и  $\cos \varphi = 0,82$ .

*Решение*

Удельное сопротивление кабеля  $r_0 = 0,447$  Ом/км.

$$R = r_0 \cdot l = 0,447 \cdot 7,5 = 3,35 \text{ Ом.}$$

Максимальная активная нагрузка предприятия

$$P_{\max} = \sqrt{3}U \cdot I_{\max} \cdot \cos \varphi = 1,732 \cdot 10 \cdot 120 \cdot 0,82 = 1700 \text{ кВт.}$$

Число часов использования максиму нагрузки

$$T_{\max} = W_{\Gamma} / P_{\max} = 10200000 / 1700 = 6000 \text{ ч; } \tau = 4700 \text{ ч.}$$

Потери активной энергии в линии

$$\Delta W = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 120^2 \cdot 3,35 \cdot 4700 \cdot 10^{-3} = 681,7 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Величину потерь можно определить по среднеквадратичному току.  
Среднее значение тока

$$I_{\text{ср}} = W_{\Gamma} / (T_{\Gamma} \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi) = 10200 / (8760 \cdot 1,732 \cdot 10 \cdot 0,82) = 83 \text{ А.}$$

Приняв  $K_{\phi} = 1,07$  получим,  $I_{\text{ск}} = 83 \cdot 1,07 = 88 \text{ А.}$

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{ск}}^2 \cdot R \cdot T_{\Gamma} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 88^2 \cdot 3,35 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 681,7 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

В % потери равны

$$\Delta W = 681,7 / 10200 = 7\%.$$

#### ЗАДАЧА 4.2

Определить количество передаваемой энергии, если максимальная нагрузка составляет 580 кВ·А при среднем  $\cos \varphi = 0,82$  и  $T_{\max} = 5500 \text{ ч.}$  Трансформатор мощностью 630 кВ·А на напряжение 10/0,38 кВ. Каталожные данные трансформатора:

$$\Delta P_{\text{хх}} = 1,31 \text{ кВт; } \Delta P_{\text{кз}} = 7,6 \text{ кВт; } \tau = 4000 \text{ ч.}$$

Определить нагрузку, обеспечивающую равенство потерь холостого хода и нагрузочных потерь.

*Решение*

1. Годовые потери активной энергии

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{T}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{в}} + \Delta P_{\text{кз}} \left( S_{\text{max}} / S_{\text{ном}} \right)^2 \cdot \tau = \\ &= 1,31 \cdot 8760 + 7,6 \cdot (580 / 630)^2 \cdot 4000 = 44,6 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

Потребляемая энергия составляет

$$W_{\Pi} = S_{\max} \cdot T_{\max} \cdot \cos \varphi = 580 \cdot 0,82 \cdot 5500 = 2615 \text{ тыс.кВт} \cdot \text{ч.}$$

Количество передаваемой энергии

$$W_{\text{пот}} = \Delta W_{\text{T}} + W_{\Pi} = 45,6 + 2615 = 2659,6 \text{ тыс.кВт} \cdot \text{ч.}$$

$$2. \Delta P_{\text{xx}} = \Delta P_{\text{кз}} (S_{\text{H}} / S_{\text{НОМ}})^2;$$

$$S_{\text{H}} = \sqrt{\Delta P_{\text{xx}} \cdot S_{\text{НОМ}}^2 / \Delta P_{\text{кз}}} = \sqrt{1,31 \cdot 630^2 / 7,6} = 261,6 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

### Задание

Определить количество передаваемой энергии, если максимальная нагрузка составляет  $S$  кВ·А при среднем  $\cos\phi$  и  $T_{\max}$ .

Определить нагрузку, обеспечивающую равенство потерь холостого хода и нагрузочных потерь.

Определить  $\cos\phi$ , при котором потери активной мощности соответствуют  $\Delta P_T$ . Исходные данные приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Исходные данные к заданию

Вариант	Марка трансформатора	Линия	Длина линии, км	$P_{\max}$ , кВт	$\Delta P$ , кВт
1	ТМЗ-630/10/0,4	АС 120/19	5	520	20
2	ТМЗ-1000/10/0,4	АС 150/24	3	630	40
3	ТМЗ-1600/10/0,4	АС 185/29	7	1200	80
4	ТМЗ-2500/10/0,4	АС 300/40	10	1800	120
5	ТДН-10000/110/10	АС 400/51	12	9600	180
6	ТРДН-25000/110/10	АС 120/19	4	18600	200
7	ТРДН-32000/110/10	АС 150/24	6	26400	240
8	ТРДН-40000/110/10	АС 185/29	14	32000	320
9	ТРДН-63000/110/10	АС 300/40	8	56000	400
10	ТМЗ-630/10/0,4	АС 120/19	5	480	20
11	ТМЗ-1000/10/0,4	АС 150/24	4	680	40
12	ТМЗ-1600/10/0,4	АС 185/29	9	1400	80
13	ТМЗ-2500/10/0,4	АС 300/40	5	2000	120
14	ТДН-10000/110/10	АС 400/51	3	8000	180
15	ТРДН-25000/110/10	АС 120/19	7	20000	200
16	ТРДН-32000/110/10	АС 150/24	10	26000	240
17	ТРДН-40000/110/10	АС 185/29	12	30000	320
18	ТРДН-63000/110/10	АС 300/40	4	40000	400
19	ТМЗ-630/10/0,4	АС 120/19	6	400	20
20	ТМЗ-1000/10/0,4	АС 150/24	14	600	40
21	ТМЗ-1600/10/0,4	АС 185/29	8	1000	80
22	ТМЗ-2500/10/0,4	АС 300/40	5	2400	120
23	ТДН-10000/110/10	АС 400/51	4	7000	180
24	ТРДН-25000/110/10	АС 120/19	9	22000	200
25	ТРДН-32000/110/10	АС 150/24	5	28000	240
26	ТРДН-40000/110/10	АС 185/29	3	28000	320
27	ТРДН-63000/110/10	АС 300/40	7	6000	400
28	ТМЗ-630/10/0,4	АС 120/19	10	300	30
29	ТМЗ-1000/10/0,4	АС 150/24	12	600	50
30	ТМЗ-1600/10/0,4	АС 185/29	4	1500	90

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

### Выбор защитных аппаратов и проводников электроприемников напряжением до 1 кВ

Краткие теоретические сведения. Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ являются защиты от перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ). Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи.

2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения.

3. Аппараты защиты не должны отключать установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей.

4. Время действия аппаратов защит должно быть по возможности меньшим и должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при последовательном расположении аппаратов защит в электрической цепи.

5. Ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника.

6. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ( $I'_{кз}$ ) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ( $I_{н.вст}$ ) или расцепителя автоматического выключателя ( $I_{н.р}$ ), имеющего обратозависимую от тока характеристику будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I'_{\text{КЗ}}}{I_{\text{н.вст}}} \geq 4; \quad \frac{I'_{\text{КЗ}}}{I_{\text{н.р}}} \geq 6. \quad (5.1)$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного срабатывания ( $I_{\text{ср.р}}$ ) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А - не менее 1,25.

Однако, в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ к токам защитных аппаратов, если обеспечено согласование защитного аппарата с допустимым током защищаемого проводника.

### **3.1. Выбор плавких вставок предохранителей**

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока ( $I_{\text{р}}$ ):

$$I_{\text{н.вст}} \geq I_{\text{р}}, \quad (5.2)$$

и по условию перегрузок пиковыми токами

$$I_{\text{н.вст}} \geq I_{\text{п}} / \alpha, \quad (5.3)$$

где  $I_{\text{п}}$  - пиковый (максимальный кратковременный) ток;

$\alpha$  - коэффициент кратковременной тепловой перегрузки;

$\alpha = 2,5$  - для легких пусков с длительностью пуска до 5 с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т.п.) и при защите магистрали;

$\alpha = 2$  - для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т.п.);

$\alpha = 1,6$  - для ответственных электроприемников.

При выборе предохранителя для одиночного электроприемника в качестве  $I_{\text{р}}$  принимается его номинальный ток  $i_{\text{н}}$ , а в качестве  $I_{\text{п}}$  - пусковой ток  $i_{\text{пуск}}$ .

Для линий, питающих группу электроприемников, максимальный пиковый ток определяется:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{пуск}} + I_{\text{р}}, \quad (5.4)$$

где  $I_{\text{пуск}}$  - пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

$I_p$  - длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

При отсутствии данных о количестве одновременно пускаемых электроприемников пиковый ток линии может быть определен по формуле:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.макс}} + (I_p - k_{\text{и}} i_{\text{нп}}), \quad (5.5)$$

где  $i_{\text{п.макс}}$  - наибольший пусковой ток электроприемника группы;

$I_p$  - расчетный по нагреву ток группы электроприемников;

$i_{\text{нп}}$  - номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

$k_{\text{и}}$  - коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего отвлечение к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{\text{н.вст}} \geq 1,2 \cdot i_{\text{нс}} \sqrt{ПВ}, \quad (5.6)$$

где  $i_{\text{нс}}$  - номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Допускается  $I_{\text{н.вст}}$  для сварочного аппарата принимать равным допустимому току провода, питающего сварочный аппарат.

Выбранные плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя только этого поврежденного участка. В общем случае защита считается селективной, когда характеристики срабатывания аппаратов защиты последовательно расположенных в цепи с учетом зон разброса характеристик не пересекаются.

Учитывая, что разница во времени срабатывания плавких вставок с ростом тока КЗ и в области больших токов КЗ уменьшается, а также тот фактор, что с многократным повторением циклов нагрева время срабатывания предохранителя высшей ступени может уменьшаться для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее чем на две ступени выше, чем предыдущий.

### ЗАДАЧА 5.1

Рассчитать ток и выбрать плавкий предохранитель для защиты линии, по которой питается электроприемник (электродвигатель) со следующими данными:

$$p_n = 18,5 \text{ кВт}; \quad \cos \varphi_n = 0,82; \quad \eta_n = 87\%; \quad U_n = 380 \text{ В}.$$

**Решение.** Определяем длительный расчетный ток линии:

$$I_p = i_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{18,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 39,6 \text{ А}.$$

Пусковой ток:  $I_n = i_n \frac{I_n}{I_n} = 39,6 \cdot 7 = 277,2 \text{ А}.$

По длительному току  $I_{н.вст} \geq 39,6 \text{ А}.$

По кратковременному току с учетом условий пуска

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_n}{\alpha} \geq \frac{277,2}{2,5} \geq 110,9 \text{ А}.$$

Выбираем предохранитель ПН2-250  $I_{н.вст} = 120 \text{ А}.$

### ЗАДАНИЕ № 5.1

Рассчитать токи электроприемников и выбрать плавкие предохранители в распределительном шкафу, схема которых приведена на рис. 5.1.

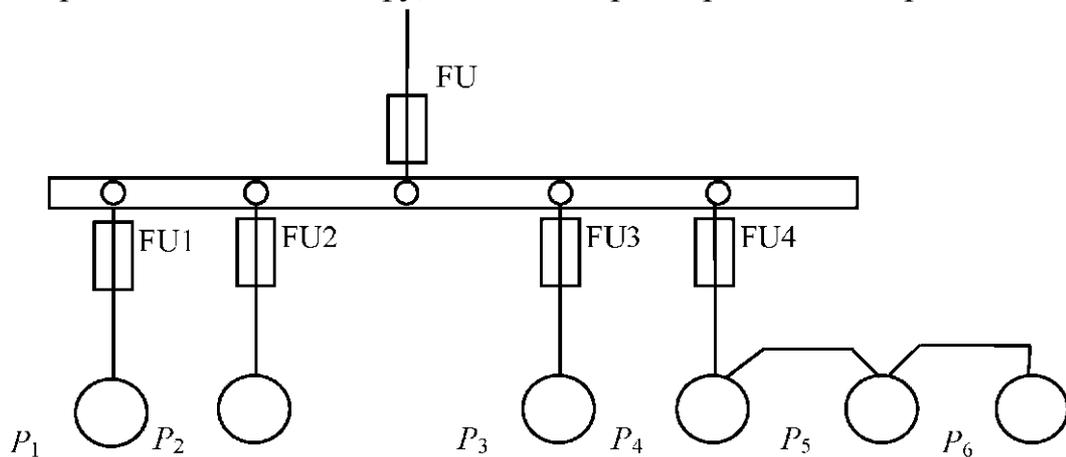


Рис. 5.1. Схема распределительной сети

## Исходные данные

№ вар.	$P_1$ кВт	$P_2$ кВт	$P_3$ кВт	$P_4$ кВт	$P_5$ кВт	$P_6$ кВт	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\cos \varphi_3$	$\cos \varphi_4$	$\cos \varphi_5$	$\cos \varphi_6$	$K_c$
1	19,6	17,3	3,7	4,3	11,0	9,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
2	18,1	14,0	7,3	2,5	16,0	21,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
3	13,0	19,3	9,2	4,3	7,8	5,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
4	7,3	14,2	7,0	2,1	23,2	4,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,85
5	9,2	7,3	1,1	0,75	14,5	28,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
6	4,0	13,5	7,2	3,0	9,8	19,3	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
7	17,5	9,2	3,0	2,2	7,3	8,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
8	3,5	7,1	5,3	2,3	6,1	19,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8
9	8,4	21,3	7,5	4,0	14,6	3,4	0,7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8
10	11,6	25,3	3,6	0,75	9,3	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,85
11	10,3	16,1	7,4	3,1	4,9	9,5	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,85
12	17,1	6,3	0,75	0,75	5,7	20,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,85
13	4,0	9,3	2,8	1,7	17,1	14,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
14	12,8	7,3	4,1	0,8	19,3	6,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
15	14,5	14,5	10,0	4,1	7,5	2,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

**5.2. Выбор автоматических выключателей**

Номинальные токи автоматического выключателя и расцепителя выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.а} \geq I_p, \quad (5.7)$$

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (5.8)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ( $I_{ср.р}$ ) проверяется по пиковому току линии  $I_{пик}$ :

$$I_{ср.р} \geq 1,25 I_{пик}. \quad (5.9)$$

Ток срабатывания расцепителя устанавливается изготовителем в зависимости от  $I_{н.р}$

$$I_{ср.р} = \kappa_{то} \cdot I_{н.р}$$

где  $\kappa_{то}$  - кратность тока отсечки.

С учетом (5.9) расчетное значение кратности тока отсечки определяется по выражению:

$$K_{то} \geq \frac{1,25 \cdot I_{пик}}{I_{н.р}}. \quad (5.10)$$

Селективность срабатывания последовательно включенных автоматических выключателей обеспечивается в тех случаях, когда их защитные характеристики не пересекаются. При отсутствии защитных характеристик каждый автомат на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь номинальный ток расцепителя не менее чем на ступень выше, чем предыдущий.

### ЗАДАЧА 5.2

Расчитать ток и выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания. Электроприемником является асинхронный двигатель мощностью 11 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,87$ ;  $\eta_n = 87,5\%$ ;  $I_{п} / I_n = 7,5$ .

*Решение.* Определяем длительный расчетный ток

$$I_p = i_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22 \text{ А.}$$

Выберем номинальный ток расцепителя из условия:

$$I_{н.р} \geq I_p \geq 22 \text{ А.}$$

Автоматический выключатель серии ВА 51-25 с  $I_{н.а} = 25 \text{ А}$ ,  $I_{н.р} = 25 \text{ А}$ .

Устанавливаем невозможность срабатывания автоматического выключателя при пуске:

$$I_{ср.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик}.$$

На электромагнитном расцепителе ток трогания установлен на  $10I_{н.р}$ , значит  $I_{ср.р} = 250 \text{ А}$ .

Максимальный кратковременный ток

$$I_{пик} = I_{п} = 22 \cdot 7,5 = 165 \text{ А};$$

$$I_{ср.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 165 = 206,3 \text{ А}; \quad 250 \text{ А} > 206,3 \text{ А}.$$

### ЗАДАНИЕ № 5.2

Рассчитать токи электроприемников и выбрать автоматические выключатели в распределительном шкафу серии ПР8501 (рис. 5.2).

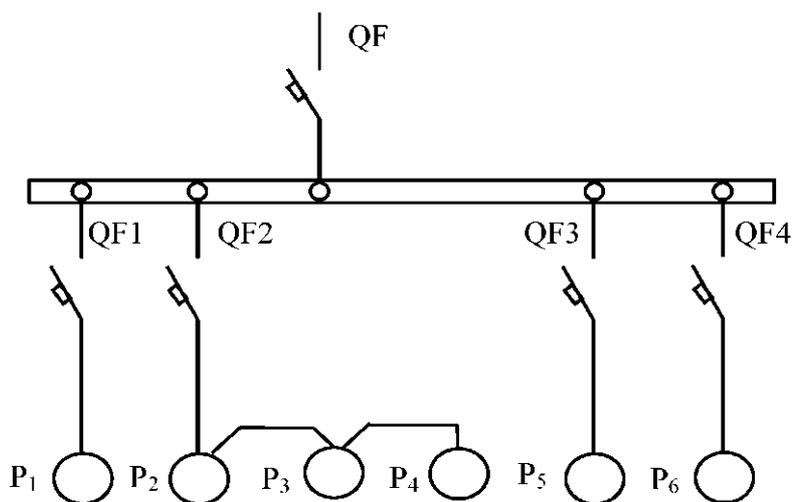


Рис. 5.2. Схема распределительной сети

Таблица 5.2

Исходные данные

№ вар.	$P_1$ кВт	$P_2$ кВт	$P_3$ кВт	$P_4$ кВт	$P_5$ кВт	$P_6$ кВт	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\cos \varphi_3$	$\cos \varphi_4$	$\cos \varphi_5$	$\cos \varphi_6$	$K_c$
1	16,1	14,3	7,3	2,2	21,3	9,2	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85
2	3,8	14,0	2,7	4,0	18,5	3,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
3	12,5	10,3	7,5	1,1	5,2	4,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,85
4	1,9	7,3	0,73	0,73	19,3	22	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
5	19,0	7,5	4,0	2,2	13,0	5,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
6	4,2	23,1	2,0	2,0	4,9	9,1	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
7	13,3	12,0	2,2	1,1	4,9	8,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8
8	10,0	7,8	2,7	0,75	3,8	2,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
9	23,0	3,0	8,3	0,3	4,8	11,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
10	9,3	10,0	3,2	0,75	5,5	18,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8
11	7,3	13,5	7,5	3,0	13,0	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	0,85
12	14,5	7,5	3,0	0,75	3,5	18,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
13	10,2	8,5	4,0	0,9	18,0	3,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
14	8,4	12,6	7,7	3,0	18,5	7,3	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8
15	15,8	11,0	4,8	2,2	3,9	19,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85

### 5.3. Выбор магнитных пускателей

Электромагнитный пускатель - это коммутационный аппарат, который предназначен для управления электродвигателями переменного тока.

В исполнении с тепловыми реле пускатели также защищают управляемые электродвигатели от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Номинальные токи магнитных пускателей выбирают по длительному расчетному току:

$$I_{н.мп} \geq I_p. \quad (5.11)$$

Номинальные токи тепловых реле  $I_n$  выбирают по длительному расчетному току:

$$I_{н.т} \geq I_p. \quad (5.12)$$

### ЗАДАЧА 5.3

Рассчитать ток и выбрать уставку теплового реле серии РТЛ магнитного пускателя ПМЛ, защищающего от перегрузки электродвигатель мощностью 5,5 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,85$ ;  $\eta_n = 85,5\%$ .

*Решение.* Определяем длительный расчетный ток электродвигателя

$$I_p = i_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{5,5}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,6 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ200004 второй величины с РТЛ-101604,  $I_{ном.т.р} = 14 \text{ А}$ .

### ЗАДАНИЕ № 5.3

Рассчитать ток и выбрать уставки тепловых реле магнитных пускателей для защиты электродвигателей от перегрузки.

Таблица 5.3

Технические данные электродвигателей

№ варианта	Тип электродвигателя	$P_n$ кВт	$\cos \varphi_n$	$\eta_n$ , %
1	4A71A4Y3	0,55	0,7	70,5
2	4A71B4Y3	0,75	0,73	72,0
3	4A80A4Y3	1Д	0,81	75,0
4	4A80B4Y3	1,5	0,83	77,0
5	4A90Б4Y3	2,2	0,83	80,0
6	4A10084Y3	3,0	0,83	82,0
7	4A100Б4Y3	4,0	0,84	84,0
8	4A13284Y3	7,5	0,86	87,5
9	4A132M4Y3	п,о	0,87	87,5
10	4A160S4Y3	15,0	0,88	88,5
11	4A160M4Y3	18,5	0,88	89,5
12	4A180S4Y3	22,0	0,9	90,0
13	4A180M4Y3	30,0	0,89	91,0
14	4A200M4Y3	37,0	0,9	91,0
15	4A200 M4Y3	45,0	0,90	92,0

#### 5.4. Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током

Краткие теоретические сведения. При протекании по проводнику (провод, кабель, шина) электрического тока происходит его нагрев, изменяющий физические свойства проводника. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции, вызывает перегрев контактных соединений, перегорание проводника, что может привести к пожару или взрыву при неблагоприятных условиях окружающей среды.

Максимальная температура нагрева проводника, при которой изоляция его сохраняет диэлектрические свойства и обеспечивается надежная работа контактов, называется предельно допустимой, а наибольший ток, соответствующий этой температуре - длительно допустимым током по нагреву.

Величина длительно допустимого тока для проводников зависит от его материала, сечения, изоляции, условий охлаждения и т.д.

Установлен длительно допустимая температура жилы проводника - 50...80°C (в зависимости от типа изоляции и напряжения). Установлена также нормативная (условная) температура окружающей среды [1,2] (25°C - при

прокладке проводников внутри и вне помещений в воздухе, 15°C - при прокладке в земле и в воде).

Длительно допустимый ток по нагреву при заданных температурных условиях (допустимой температуры нагрева жил и температуры окружающей среды по нормам) материала проводника и его сечения определяется из уравнения теплового баланса для проводника [1].

Для практических расчетов пользуются готовыми таблицами длительно допустимых токов по нагреву проводников из различных материалов при различных условиях прокладки [1].

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный ( $I_p$ ) и допустимый ( $I_{\text{доп}}$ ) токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{п}}}, \quad (5.13)$$

где  $K_{\text{п}}$  - поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на условия прокладки проводов и кабелей, зависящий от температуры земли и воздуха (табл. 4.1);

$I_p$  - расчетный ток длительного режима работы электроприемника (электроприемников); для одиночного электроприемника за расчетный ток принимается его номинальный ток, для группы электроприемников, при количестве их до трех - ток, равный сумме номинальных токов электроприемников - расчетный ток, определяемый одним из существующих методов расчета (обычно методом упорядоченных диаграмм).

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. 1.3.4-1.3.7 ПУЭ, как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе), с применением снижающих коэффициентов, указанных в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Поправочные коэффициенты на токи для кабелей, неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

Условная температура среды, оС	Нормированная температура жил, оС	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Таблица 5.5

Снижающий коэффициент для проводов и кабелей,  
прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одножильный	многожильный	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	-	До 4	1,0	-
	2	5-6	0,85	-
	3-9	7-9	0,75	-
	10-11	10-11	0,7	-
	12-14	12-14	0,65	-
	15-18	15-18	0,6	-
Однослойно	2-4	2-4	-	0,67
	5	5	-	0,6

На период ликвидации послеаварийного режима продолжительностью не более 6 ч в сутки в течение 5 суток допускается перегрузка для кабелей: с полиэтиленовой изоляцией до 10 % номинальной нагрузки; с поливинилхлоридной - до 15 %, с бумажной - до 25 % [1].

По механической прочности минимальное сечение алюминиевых проводников должно быть не менее 2,5 мм<sup>2</sup>, для медных - 1,5мм<sup>2</sup>.

Выбранные по нагреву проводники должны быть согласованы с защитным аппаратом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{K_{\text{п}}}, \quad (5.14)$$

где  $\kappa_3$  - кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току;

$I_3$  - номинальный ток срабатывания защитного аппарата.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки  $\kappa_3$  принимают:

0,33 - для номинального тока плавкой вставки;

0,8 - для расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависимой от тока характеристикой.

Для проводников с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией в сетях с защитой от перегрузки для расцепителя автоматического выключателя  $\kappa_3$  принимают 1÷1,25.

Таблица 5.6

Поправочный коэффициент на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см·К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7-9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12-14%	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7%, песчано-глинистая почва влажностью 8-12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

Таблица 5.7

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

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

#### ЗАДАЧА 5.4

Выбрать защитный аппарат и сечение проводника для ответвлений к асинхронному электродвигателю ( $P_n = 3$  кВт,  $\cos \varphi_{н2} = 0,83$ ,  $\eta_{н2} = 82,5\%$ ,  $I_n / I_n = 7$ ). Питание выполняется проводом АПВ, проложенным в трубе в помещении с нормальной окружающей средой. Условия пуска двигателя легкие.

*Решение.* В качестве аппарата защиты используем предохранитель.  
Расчетный ток ЭД

$$I_p = i_n = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825} = 6,7 \text{ А.}$$

Пусковой ток ЭД

$$I_{\text{пуск}} = 6,7 \cdot 7 = 46,9 \text{ А.}$$

Определяем ток плавкой вставки предохранителя:

$$I_{\text{в}} = 46,9 / 2,5 = 18,8 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель НПН-2-63  $I_{\text{пр}} = 63 \text{ А}$ ,  $I_{\text{в}} = 20 \text{ А}$ .

Сечение проводника определяем по (4.1)  $I_{\text{доп}} \geq 6,7 \text{ А}$ .

Выбираем пятижильный провод АПВ (5×2,5),  $I_{\text{доп}} = 16 \text{ А}$ .

Проверяем по выражению (4.2), соответствует ли провод аппарату защиты, если не требуется защита от перегрузки.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{0,33 \cdot 20}{1} = 6,6 \text{ А.}$$

#### **ЗАДАНИЕ № 5.4**

Выбрать сечения жил проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током. В табл. 5.8 для каждого варианта задания (графа 1) приведены следующие исходные данные: графа 2 - основные технические данные электроприемника ( $p_{\text{н}}$ ;  $U_{\text{н}}$ ;  $\eta_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}$ ;  $ПВ$ ), создающего электрическую нагрузку на проводник или конкретное значение величины расчетной нагрузки проводников от группы электроприемников; графа 3 - расчетная температура окружающей среды (воздух, земля), в которой прокладываются проводники; графа 4-предполагаемая марка провода (кабеля), для которого необходимо выбрать сечение; графа 5 -предполагаемый способ прокладки проводов (кабелей); графа 6 - нормированная (максимальная) температура жил провода (кабеля), исходя из которой приводятся длительно допустимые токовые нагрузки.

Таблица 5.8

Вариант	Данные электроприемников					Температура окружающей среды, °С	Марка провода, кабеля	Способ прокладки проводников	Нормированная температура жил провода, кабеля, °С
	$P_n$ , кВт	$U_n$ , В	$\eta_n$ , %	$\cos \varphi$	$ПВ$ , %				
	или расчетная нагрузка проводников								
1	0,75	380	73	0,76	100	20	АПВ	в трубе	65
2	7,5	380	87,5	0,86	100	30	АПРТО	в пластмассовой трубе четырех-проводной сети	65
3	5,5	380	85	0,7	50	25	АППВС	под штукатуркой	65
4	62 А на напряжение до 1 кВ					35	АВВГ	на стене скобами	65
5	30	380	92	0,87	100	25	АПВ	в коробе многослойно, при общем количестве проводов 12	65
6	100	380	93,5	0,91	100	30	АВВГ	открыто по стене	65
7	1,5	380	78	0,75	60	15	АПВ	в трубе	65
8	46 А на напряжение 10 кВ					10	АНРГ	в коробе, при прокладке 4 кабелей	65
9	112 А на напряжение до 1 кВ				в	20	ААШв	в земле, в траншее	80
10	2,2	380	80,5	0,82	40	30	АПВ	в трубе	65
11	45	380	92,5	0,89	100	20	АВВГ	в кабельном канале	65
12	1,1	220	-	0,75	100	25	АПВ	в канале плиты перекрытия, двухпроводная сеть	65
13	31 А на напряжение до 1 кВ					15	ААШв	в кабельном канале	80
14	4	380	82	0,81	100	25	АПВ	в металлорукаве четыре провода	65
15	3	380	81	0,76	25	35	АПВ	в канале, пучком при общем количестве проводов 10	65
16	22 А на напряжение до 1 кВ					30	АПВ	в пластмассовой трубе, четыре провода	65
17	90	380	94	0,89	100	20	ААШв	в земле, в траншее	80
18	11	380	90	0,85	100	25	АПВ	в коробе многослойно при общем количестве проводов 10	65
19	15	380	90	0,89	100	30	АПРТО	в металлической трубе, четырех-проводная сеть	65
20	86 А на напряжение до 1 кВ					20	АВВГ	скобами по строительным конструкциям	65

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

### Выбор числа и мощности силовых трансформаторов потребительских ТП 6-10/0,4 кВ

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на потребительских подстанциях 6-10/0,4 кВ определяется величиной и характером электрических нагрузок, требуемой надежностью электроснабжения, территориальным размещением нагрузок и перспективным их изменением и выполняется при необходимости достаточного обоснования на основании технико-экономических расчетов.

Под экономическим режимом работы трансформаторов понимается режим, который обеспечивает минимальные потери мощности в трансформаторах. В данном случае решается задача выбора оптимального количества работающих трансформаторов.

Электроснабжение населенного пункта, микрорайона города, цеха, группы цехов или всего предприятия может быть обеспечено от одной или нескольких ТП. Целесообразность сооружения одно- или двухтрансформаторных подстанций определяется в результате технико-экономического сравнения нескольких вариантов системы электроснабжения. Критерием выбора варианта является минимум приведенных затрат на сооружение системы электроснабжения. Сравнимые варианты должны обеспечивать требуемый уровень надежности электроснабжения.

В системах электроснабжения промышленных предприятий наибольшее применение нашли следующие единичные мощности трансформаторов: 630, 1000, 1600 кВ·А, в электрических сетях городов -400, 630 кВ·А. Практика проектирования и эксплуатации показала необходимость применения однотипных трансформаторов одинаковой мощности, так как разнообразие их создает неудобства в обслуживании и вызывает дополнительные затраты на ремонт.

В общем случае выбор мощности трансформаторов производится на основании следующих основных исходных данных: расчетной нагрузки объекта электроснабжения, продолжительности максимума нагрузки, темпов роста нагрузок, стоимости электроэнергии, нагрузочной способности трансформаторов и их экономической загрузки.

Основным критерием выбора единичной мощности трансформаторов при технико-экономическом сравнении вариантов является, как и при выборе количества трансформаторов, минимум приведенных затрат.

Ориентировочно выбор единичной мощности трансформаторов может выполняться по удельной плотности расчетной нагрузки ( $\text{кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$ ) и полной расчетной нагрузки объекта ( $\text{кВ}\cdot\text{А}$ ). При удельной плотности нагрузки до 0,2  $\text{кВ}\cdot\text{А}/\text{м}$  и суммарной нагрузке до 3000  $\text{кВ}\cdot\text{А}$  целесообразно применять трансформаторы 400; 630; 1000  $\text{кВ}\cdot\text{А}$  с вторичным напряжением 0,4/0,23 кВ. При

удельной плотности и суммарной нагрузки выше указанных значений более экономичны трансформаторы мощностью 1600 и 2500 кВ·А.

Однако эти рекомендации не являются достаточно обоснованными в следствие быстроменяющихся цен на электрооборудование и, в частности, ТП.

В проектной практике трансформаторы ТП часто выбирают по расчетной нагрузке объекта и рекомендуемым коэффициентам экономической загрузки трансформаторов ( $\beta_{зэ} = S_p / S_{н.т}$ ), в соответствии с данными табл. 6.1.

Таблица 6.1

Рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов цеховых ТП

Коэффициент загрузки трансформатора	Вид ТП и характер нагрузки
0,65 ... 0,7	Двухтрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой I категории
0,7 ... 0,8	Однотрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по переключкам с другими подстанциями на вторичном напряжении
0,9 ... 0,95	ТП с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования складского резерва трансформаторов

При выборе мощности трансформаторов важным является правильный учет их нагрузочной способности, под которой понимается совокупность допустимых нагрузок, систематических и аварийных перегрузок из расчета теплового износа изоляции трансформатора.

На стадии проектирования подстанций можно использовать типовые графики нагрузок или в соответствии с рекомендациями, также предлагаемыми в [3] выбирать мощность трансформаторов по условиям аварийных перегрузок.

Тогда для подстанций, на которых возможна аварийная перегрузка трансформаторов (двухтрансформаторные, однотрансформаторные с резервными связями по вторичной стороне), если известна расчетная нагрузка объекта  $S_p$  и коэффициент допустимой аварийной перегрузки  $K_{з.ав}$ , номинальная мощность трансформатора определяется, как:

$$S_{н.т} = \frac{S_p}{K_{з.ав}}. \quad (6.1)$$

Следует также отметить, что нагрузка трансформатора свыше его номинальной мощности допускается только при исправной и полностью включенной системе охлаждения трансформатора.

Что касается типовых графиков, то на настоящее время они разработаны для ограниченного количества узлов нагрузок.

Так как выбор количества и мощности трансформаторов, в особенности потребительских подстанций 6-10/0,4-0,23 кВ, определяется часто в основном экономическим фактором, то существенным при этом является учет компенсации реактивной мощности в электрических сетях потребителя. Компенсируя реактивную мощность в сетях до 1 кВ, можно уменьшить количество ТП 10/0,4, их номинальную мощность. Особенно это существенно для промышленных потребителей, в сетях до 1 кВ которых приходится компенсировать значительные величины реактивных нагрузок. Существующая методика по компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий и предполагает выбор мощности компенсирующих устройств с одновременным выбором количества трансформаторов подстанций и их мощности [4].

Выбор мощности силовых трансформаторов может быть выполнен следующим образом:

*в сетях промышленных предприятий:*

а) единичную мощность трансформаторов необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями удельной плотности расчетной нагрузки и полной расчетной нагрузки объекта;

б) количество трансформаторов подстанции и их номинальную мощность следует выбирать в соответствии с указаниями по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий [4];

в) выбор мощности трансформаторов должен осуществляться с учетом рекомендуемых коэффициентов загрузки и допустимых аварийных перегрузок трансформаторов;

г) при наличии типовых графиков нагрузки выбор следует вести в соответствии с ГОСТ 14209-85 с учетом компенсации реактивной мощности в сетях до 1 кВ;

*в городских электрических сетях:*

а) имея в наличии типовые графики нагрузки подстанции, выбор мощности трансформаторов следует выполнять в соответствии с ГОСТ 14209-85;

б) зная вид нагрузки подстанции, при отсутствии типовых графиков ее, выбор целесообразно выполнять в соответствии с методическими указаниями института "Белэнергосетьпроект".

### **ЗАДАЧА 6.1**

Выбрать количество и мощность трансформатора цеховой ТП по следующим исходным данным:  $P_p = 250$  кВт,  $Q_p = 270$  квар; категория электроприемников цеха по степени надежности электроснабжения - 3.

*Решение.* Полная расчетная мощность цеха

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{250^2 + 270^2} = 368 \text{ кВ} \cdot \text{А} .$$

По расчетной мощности (368 кВ·А) и требуемому уровню надежности электроснабжения (3 категория электроприемников) можно принять одно-трансформаторную подстанцию с мощностью трансформатора  $S_{н.т} = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  .

Коэффициент загрузки трансформатора составит

$$K_3 = \frac{S_{н.т}}{S_p} = \frac{368}{400} = 0,92,$$

что удовлетворяет соответствующим требованиям (табл. 6.1).

### ЗАДАНИЕ № 6.1

1. Выполнить выбор количества и мощности силовых трансформаторов цеховой комплектной трансформаторной подстанции (КТП) по исходным данным, приведенным в табл. 6.2. Вариант задания указывается преподавателем. При выборе двухтрансформаторной подстанции для питания электроприемников 1 и 2 категории по надежности электроснабжения считать, что допустимая аварийная перегрузка составляет  $1,5 \cdot S_{н.т.}$ .

2. Составить принципиальную электрическую схему выбранной КТП.

Таблица 6.2

Исходные данные

№ варианта	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	Категория электроприемников по надежности электроснабжения
1	570,3	481	I
2	295	279	II
3	354	301,5	III
4	336	370	II
5	213,6	206	II
6	189	171	III
7	204	198,5	III
8	470	401	I
9	625	603	I
10	349	297	II
11	727	681,5	II
12	370,5	346,1	III
13	493	471,6	II
14	189,5	161,3	II
15	370	319,5	III
16	301,5	336	I
17	370	213,6	II
18	206	189	III
19	171	204	II
20	198,5	470	II
21	401	625	III
22	603	349	III
23	297	727	I
24	681,5	370,5	I
25	346,1	493	II
26	471,6	189,5	II

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

### Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок

Картограмма электрических нагрузок позволяет наглядно представить расположение нагрузки на территории предприятия.

Картограмма нагрузок предприятия состоит из окружностей  $\pi r^2$  в выбранном масштабе  $m$  и равна расчетной нагрузке соответствующего цеха

$$P_i = \pi \cdot r_i^2 m, \quad (7.1)$$

где  $P_i$  - мощность  $i$ -го цеха;

$m$  - масштаб для определения площади круга.

Из этого выражения радиус нагрузки

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}. \quad (7.2)$$

Каждый круг может быть разбит на секторы, соответствующие осветительной и силовой нагрузкам. В этом случае картограмма дает представление не только о значении нагрузок, но и об их структуре.

Угол сектора осветительной нагрузки в градусах определяется по выражению

$$\alpha_{o_i} = \frac{P_{po_i} \cdot 360}{P_{p_i}}, \quad (7.3)$$

а силовой нагрузки

$$\alpha_{c_i} = 360 - \alpha_{o_i}. \quad (7.4)$$

Центр электрических нагрузок определяется по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (7.5)$$

### ЗАДАЧА 7.1

Рассчитать электрическую активную нагрузку цехов и определить ЦЭН предприятия

	1							
	2			3				
			4					
50м						5		
50м								

1	Инструментальный
2	Термический
3	Окрасочный
4	Механический
5	РМЦ

Решение:

*1 вариант*

Расчетная нагрузка определяется по удельной плотности электрических нагрузок, приведенных в таблице 7.1.

*Таблица 7.1*

Удельная плотность электрических нагрузок

Наименование цеха	Плотность электрических нагрузок, кВт/м	$K_c$
Механический	0,15-0,19	0,25-0,4
Термический	0,18-0,24	0,8-0,9
Малярный	0,14-0,16	0,5-0,6
Деревообрабатывающий	0,15-0,18	0,2-0,4
Прессово-заготовительный	0,2-0,26	0,25-0,4
Ремонтно-механический	0,13-0,16	0,2-0,3
Инструментальный	0,12-0,14	0,2-0,25
Вагоностроительный	0,17-0,22	0,4-0,6
Вагоноремонтный	0,14-0,17	0,4-0,6
Металлоконструкций	0,22-0,3	0,5-0,7
Стального литья	0,5-0,68	0,6-0,8
Чугунного литья	0,4-0,65	0,6-0,8
Кузовной	0,23-0,32	0,3-0,4

1. Определяем площадь цехов

Таблица 7.2

Цех	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м <sup>2</sup>
Инструментальный	50	50	2500
Термический	50	25	1250
Окрасочный	75	50	3750
Механический	75	50	3750
РМЦ	50	50	2500

2. Определяем расчетную нагрузку цехов по формуле:

$$P_p = p_{уд} \cdot S \cdot K_c$$

и сводим в таблицу 7.3

Таблица 7.3

Цех	Площадь, м <sup>2</sup>	Руд, кВт/м <sup>2</sup>	$K_c$	$P_p$ , кВт
Инструментальный	2500	0,13	0,22	71,5
Термический	1250	0,2	0,85	212,5
Окрасочный	3750	0,15	0,55	309,4
Механический	3750	0,17	0,3	191,25
РМЦ	2500	0,15	0,55	206,25

3. Определяем центры электрических нагрузок цехов

Таблица 7.4

Цех	X	Y
Инструментальный	2	9
Термический	1,5	6
Окрасочный	5	6,5
Механический	3,5	3
РМЦ	7	2

4. Определяем ЦЭН по формуле 7.5

$$x_0 = \frac{12 \cdot 71,5 + 1,5 \cdot 212,5 + 5 \cdot 309,4 + 3,5 \cdot 191,25 + 7 \cdot 206,25}{990,0} = 4,2$$

$$y_0 = \frac{9 \cdot 71,5 + 6 \cdot 212,5 + 6,5 \cdot 309,4 + 3 \cdot 191,25 + 2 \cdot 206,25}{990,0} = 5,0.$$

2 вариант:

При определении ЦЭН учтем режим работы цехов, приведенный в таблице 7.5.

### 3. Определяем центры электрических нагрузок цехов

Таблица 7.5

Цех	Режим работы	$T_p$ , ч
Инструментальный	Односменный	2500
Термический	Трехсменный	7200
Окрасочный	Двухсменный	4500
Механический	Двухсменный	4500
РМЦ	Односменный	2500

### 4. Определяем ЦЭН по формуле 7.5

$$x_0 =$$

$$= \frac{12 \cdot 71,5 \cdot 2500 + 1,5 \cdot 212,5 \cdot 7200 + 5 \cdot 309,4 \cdot 4500 + 3,5 \cdot 191,25 \cdot 4500 + 7 \cdot 206,25 \cdot 2500}{4477300} =$$

$$= 3,6;$$

$$y_0 =$$

$$= \frac{9 \cdot 71,5 \cdot 2500 + 6 \cdot 212,5 \cdot 7200 + 6,5 \cdot 309,4 \cdot 4500 + 3 \cdot 191,25 \cdot 4500 + 2 \cdot 206,25 \cdot 2500}{4477300} =$$

$$= 5,2.$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

### Выбор сечений проводов линий 6-10 кВ

Выбор высоковольтных проводников осуществляется:

- по экономической плотности;
- по нагреву расчетным током продолжительного режима;
- с учетом допустимой перегрузки в послеавариинном или ремонтном режимах;
- по термической стойкости к токам КЗ.

Экономически целесообразное сечение  $S_p$  определяется по выражению

$$F_p = I_p / j_э, \quad (8.1)$$

где  $I_p$  - расчетный ток нормального режима работы, А;

$j_э$  - нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup> (принимают по таблице 8.1 в зависимости от времени использования максимальной нагрузки, вида и материала проводника).

Сечение, полученное в результате расчета, округляется до ближайшего меньшего или большего стандартного сечения.

Таблица 8.1

Значение экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 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 резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медные	3,0	2,5	2,0
алюминиевые	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медные	3,5	3,1	2,7
алюминиевые	1,9	1,7	1,6

Для определения сечений по нагреву вычисляется наибольший расчетный ток в нормальном режиме, и по таблицам допустимых значений токов в соответствии с условием

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K, \quad (8.2)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей среды, количество проложенных в земле рабочих кабелей, и фактическое удельное тепловое сопротивление земли. Все эти значения выбираются по таблицам ПУЭ.

Проверяем по допустимой нагрузке в послеаварийном или ремонтном режимах по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p,\text{max}} / K_{\text{пер}}, \quad (8.3)$$

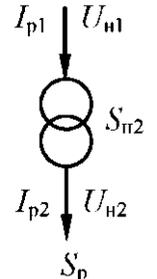
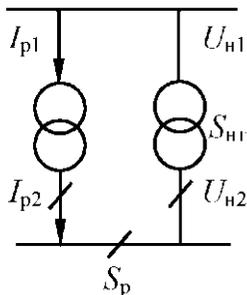
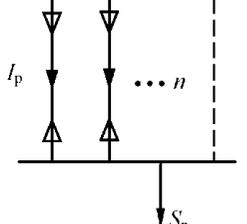
где  $K_{\text{пер}}$  - допустимая кратность перегрузки, принимается для кабелей:

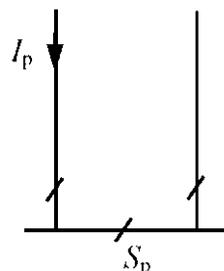
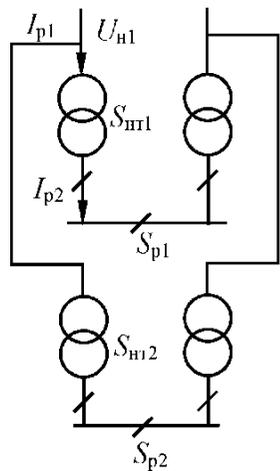
- с полиэтиленовой изоляцией - 1,1;
  - с поливинилхлоридной изоляцией на время максимума нагрузки продолжительностью не более 6ч в сутки - 1,15;
  - с бумажной изоляцией в течение 5 суток - 1,2... 1,25;
- $I_{p,\text{max}}$  - расчетный ток линии в послеаварийном режиме.

Расчетный ток линии в послеаварийном режиме для разных схем определяется согласно таблице 8.2.

Таблица 8.2

Расчетный ток линии в послеаварийном режиме

Схема	$I_{p1}$	$I_{p.max}$
	$I_{p1} = \frac{\sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H1}};$ $I_{p2} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{H2}} = \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H2}};$	$\frac{S_{HT}}{\sqrt{3}U_H}$
	$I_{p1} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_p}{2} + \Delta P_T\right)^2 + \left(\frac{Q_p}{2} + \Delta Q_T\right)^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H1}}$ $I_{p2} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{H2}} = \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H2}}$	$\frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{K_{пер}^\phi S_{HT}}{\sqrt{3}U_H}$ $\frac{K_{пер}^{доп} S_{HT}}{\sqrt{3}U_H}$
	$\frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{(n-1)\sqrt{3}U_H}$

	$\frac{S_p}{2\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$
	$I_{p1} = \frac{\sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_{31}S_{HT1} + K_{32}S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}};$ $P_{p1} = \frac{P_{p1}}{2} + \Delta P_{T1} + \frac{P_{p2}}{2} + \Delta P_{T2};$ $Q_{p1} = \frac{Q_{p1}}{2} + \Delta Q_{T1} + \frac{Q_{p2}}{2} + \Delta Q_{T2}$	$\frac{\sqrt{(P_{p1} + \Delta P_{p2})^2 + (Q_{p1} + \Delta Q_{p2})^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} =$ $= \frac{K_{пер1}^{\phi} S_{HT1} + K_{пер2}^{\phi} S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}}$

Выбранные по условию продолжительного режима сечение кабеля необходимо проверить на термическую стойкость к токам КЗ.

Кабели, защищенные токоограничивающими предохранителями, на термическую стойкость не проверяются.

$$F_m = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (8.4)$$

где  $B_k$  - тепловой импульс от тока КЗ,  $A^2 \cdot c$ ;

$C$  - расчетный коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника; принимается:

- Шины медные - 170;
- Шины алюминиевые - 71-90;
- Кабели до 10 кВ с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами - 90;
- Кабели и провода с поливинилхлоридной изоляцией и алюминиевыми жилами - 75;
- Тоже с полиэтиленовой изоляцией - 65.

$$B_k = I_{\Pi}^2 (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (8.5)$$

где  $I_{\Pi}$  - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начале линии;

$t_{\text{отк}}$  - время отключения тока КЗ;

$T_a$  - постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ.

$T_a$  определяется как

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, \quad (8.6)$$

где  $x_{\Sigma}$ ,  $r_{\Sigma}$  - результирующее индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;

$\omega$  - угловая частота,  $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \text{ рад/с}$ .

В распределительных сетях 6-10 кВ при отсутствии конкретных данных приближенно можно принять  $T_a = 0,01 \text{ с}$ , а значения  $t_{\text{отк}}$  принимается по таблице 8.3.

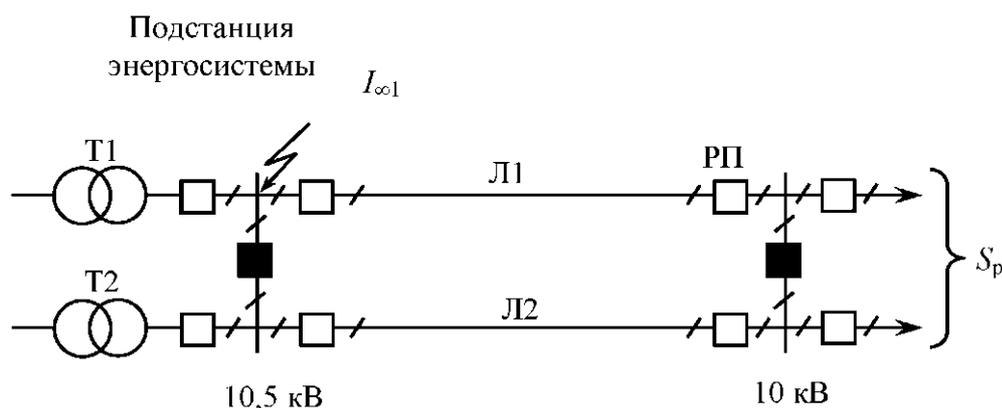
Таблица 8.3

Участок сети	Число ступеней защиты в схеме сети	Время действия токов КЗ, с
ГПП-ЦРП	3	2,6
ГПП-РП	2	1,6
ЦРП-РП	2	1,6
РП-ТП	2-3	0,6
ГПП-ТП	2-3	0,6

Из трех полученных сечений по экономической плотности, по нагреву в послеаварийном режиме и термической стойкости выбирается наибольшее.

### ЗАДАЧА 8.1

Питание РП с расчетной нагрузкой  $S_p = 12 \text{ МВ} \cdot \text{А}$  осуществляется по трем кабельным линиям 10 кВ длиной 3 км. Установившийся ток КЗ в начале линии  $I_{\infty 1} = 8,6 \text{ кА}$ ,  $T_a = 0,01 \text{ с}$ . Время использования максимальной нагрузки 4800 ч.



Определить сечение жил кабелей, питающих РП.

*Решение:*

Расчетный ток линии находится из условия, что в нормальном режиме каждая линия несет треть нагрузки РП.

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H};$$

$$I_p = \frac{12000}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 230,9 \text{ А.}$$

Экономическая площадь сечения жил кабеля определяют по выражению 8.1.

$$F_p = 230,9/1,7 = 135,8 \text{ мм}^2.$$

Выбираем для линий кабеля марки ААШвУ-10 (3×150) с длительно допустимым током  $I_{\text{доп}} = 355 \text{ А}$ .

Проверяем выбранное сечение жил кабеля на нагрев в послеаварийном режиме при отключении одной линии. В этом случае по кабелю протекает ток

$$I_{\text{па}} = \frac{12000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 346,4 \text{ А}$$

При учете допустимой перегрузки кабелей в послеаварийном режиме 1,15 и расстоянии между кабелями в свету равным 100 мм (поправочный коэффициент равен 0,85)

$$I_{\text{доп}} = 346,4 / (1,15 \cdot 0,85) = 354,4 \text{ А}.$$

Этому току соответствует кабель марки ААШвУ-10 (3×150) с длительно допустимым током  $I_{\text{доп}} = 355 \text{ А}$ .

Согласно ПУЭ, проверка на нагрев токами КЗ для пучка из двух и более параллельно включенных кабелей должна осуществляться по сквозному току КЗ.

Для этого определяем ток КЗ на шинах 10 кВ РП. Приняв среднее номинальное значение напряжения сети  $U_{\text{ср.ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ , вычисляем реактивное сопротивление системы относительно шин 10,5 кВ подстанции по выражению

$$X_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\infty 1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8,6} = 0,705 \text{ Ом}$$

Для кабеля ААШвУ-10 (3×150) удельное индуктивное сопротивление  $x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$ . Реактивное сопротивление линии, состоящее из трех параллельных кабелей, определяется по формуле:

$$x_l = \frac{x_0 \cdot l}{n} = \frac{0,079 \cdot 3}{3} = 0,079 \text{ Ом}$$

Суммарное индуктивное сопротивление схемы относительно точки КЗ равно

$$x_{\Sigma} = x_c + x_l = 0,705 + 0,079 = 0,784 \text{ Ом}$$

Ток трехфазного КЗ на шинах РП

$$I_{\infty 2} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,784} = 7,73 \text{ кА}$$

Тепловой импульс тока КЗ

$$B_k = (7,73 \cdot 10^3)^2 \cdot (1,6 + 0,01) = 96,2 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

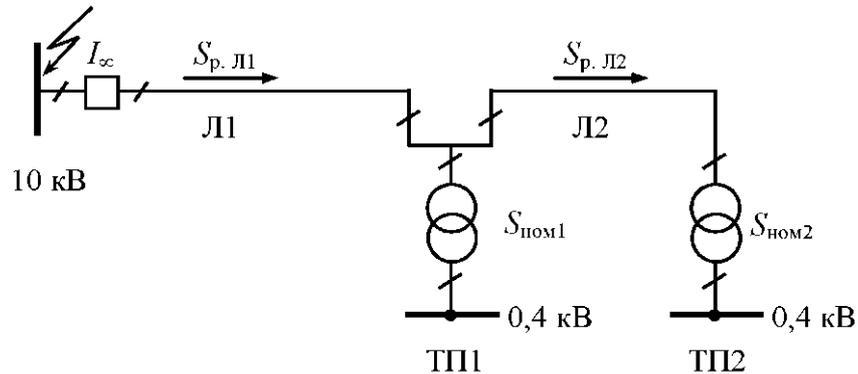
Минимальная площадь сечения по термической стойкости

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{96,2 \cdot 10^6}}{75} = 130,8 \text{ мм}^2$$

Окончательно выбираем для каждой линии кабель ААШВУ-10 (3×150).

### ЗАДАЧА 8. 2

Выбрать сечение кабелей линии Л1 и Л2 напряжением 10 кВ, питающих две однострансформаторные подстанции. Расчетные нагрузки трансформаторов на напряжение до 1 кВ:  $S_{p1} = 1000 + j \cdot 600 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  и  $S_{p2} = 400 + j \cdot 280 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ . Время использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}} = 4500 \text{ ч}$ . Установившийся ток КЗ в начале линии  $I_{\infty} = 3,2 \text{ кА}$ ,  $t_{\text{отк}} = 0,6 \text{ с}$ ,  $T_a = 0,01 \text{ с}$ . Кабели проложены в земле при температуре  $10^0 \text{ С}$ .



На подстанции установлены трансформаторы:

ТП1:

$$S_H = 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \quad \Delta P_{\text{xx}} = 2,65 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{\text{кз}} = 16,5 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{кз}} = 6,0\%; \quad I_{\text{xx}} = 1,0\%.$$

ТП2:

$$S_H = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \quad \Delta P_{\text{xx}} = 1,31 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{\text{кз}} = 7,6 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{кз}} = 5,5\%; \quad I_{\text{xx}} = 1,8\%.$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9

### Определение расхода электроэнергии

Расчет расхода электроэнергии выполняется при проектировании систем электроснабжения, эксплуатации электроустановок, и в тех случаях, когда приборный учет электроэнергии не осуществим или экономически неоправдан.

Периоды времени, для которого определяется расход электроэнергии могут быть: год, квартал, месяц, сутки, смена и др.

Расход активной электроэнергии электроприемника за время  $t$  может быть определен по следующей формуле

$$W_t = p_{\text{ср}t} \cdot t = k_{\text{ит}} \cdot p_{\text{н}} \cdot t = k_{\text{з.в}} \cdot k_{\text{в.т}} \cdot p_{\text{н}} \cdot t, \quad (9.1)$$

где  $p_{\text{н}}$  - номинальная активная мощность электроприемника;

$p_{\text{ср}t}$  - средняя активная мощность электроприемника за время  $t$ ;

$k_{\text{ит}}$  - коэффициент использования активной мощности электроприемника за время  $t$ ;

$k_{\text{з.в}}$  - коэффициент загрузки электроприемника по активной мощности за время включения;

$k_{\text{в.т}}$  - коэффициент включения электроприемника за время  $t$ .

В частых случаях: если приемник в течении времени  $t$  работает с постоянной нагрузкой, то расход электроэнергии за это время определится по формуле

$$W_t = p_{\text{н}} \cdot t; \quad (9.2)$$

Расход электроэнергии приемником в течении времени включения  $t_{\text{в}}$  при среднем коэффициенте загрузки  $k_{\text{з.в}}$ , можно определить по следующей формуле

$$W_{t_{\text{в}}} = k_{\text{з.в}} \cdot p_{\text{н}} \cdot t_{\text{в}}; \quad (9.3)$$

Расход электроэнергии группой электроприемников определяется по групповым параметрам электроприемников и их режимам работы:

$$P_{\text{н}} = \sum_1^n p_{\text{н}i}; \quad K_{\text{н}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{ит}i} p_{\text{н}i}}{\sum_1^n p_{\text{н}i}} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{н}}}; \quad K_{\text{в}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{в}i} p_{\text{н}i}}{\sum_1^n p_{\text{н}i}};$$

$$K_{3.B} = \frac{\sum_1^n k_{3.B_i} P_{H_i}}{\sum_1^n P_{H_i}} = \frac{P_{CM.B}}{P_H}, \quad (9.4)$$

где  $n$  - количество электроприемников в группе;  
 $P_{CM}$ ,  $P_{CM.B}$  - групповые средние нагрузки соответственно за наиболее загруженную смену и за время включения.

При определении годового расхода активной энергии формула (9.1) принимает следующий вид:

$$W_{\Gamma} = P_{CT} \cdot T_{\Gamma} = K_{HT} \cdot P_H \cdot T_{\Gamma} = \alpha \cdot K_H \cdot P_H \cdot T_{\Gamma} = \alpha \cdot P_{CM} \cdot T_{\Gamma}, \quad (9.5)$$

где  $P_{CM}$  - среднегодовая активная мощность;  
 $T_{\Gamma}$  - годовое число часов работы потребителя;  
 $\alpha$  - коэффициент сменности по энергоиспользованию.

Если значение коэффициента сменности по энергоиспользованию неизвестно, но имеются данные об относительной загрузке рабочих смен, то годовой расход активной энергии может быть рассчитан по следующей формуле:

$$W_{\Gamma} = P_{CM} (T_1 + \beta_2 T_2 + \beta_3 T_3 + \beta_4 T_4) \cdot c, \quad (9.6)$$

где  $T_1, T_2, T_3, T_4$  - годовой фонд рабочего времени соответственно первой, второй, третьей и четвертой смен;

$\beta_2, \beta_3, \beta_4$  - коэффициенты, учитывающие степень загрузки соответственно второй, третьей и четвертой смен, представляющие собой отношения расчетных максимумов нагрузок отдельных менее загруженных смен к максимуму наиболее загруженной первой смены;

$c = c_1 + c_2$  - коэффициент, учитывающий работу в выходные и праздничные дни ( $c_1 = 1 \dots 1,05$ ) и месячные колебания нагрузки ( $c_2 = 0,8 \dots 0,9$ ).

Для ориентировочных расчетов годовой расход активной электроэнергии можно определить по годовому числу часов использования максимума активной нагрузки по следующим формулам:

$$\begin{aligned} W_{\Gamma} &= P_p T_{\max}; \\ W_{\Gamma} &= P_{po} T_{\max o} = K_{co} P_H T_{no}, \end{aligned} \quad (9.7)$$

где  $P_p, P_{po}$  - расчетная нагрузка, соответственно общая (силовая и осветительная) и осветительная;

$K_{co}$  - коэффициент спроса для осветительных установок.

Если имеются данные по удельным нормам расхода электроэнергии или выполняемой работы ( $\omega_{\text{уд}}$ ) расход электроэнергии  $W_t$  на производство продукции или выполняемую работу  $\Pi_t$  за время  $t$  может быть определен по формуле:

$$W_t = \omega_{\text{уд}} \Pi_t. \quad (9.8)$$

Расход реактивной энергии электроприемником или группой электроприемников (потребителей) определяется по выражению:

$$V_t = W_t \cdot \text{tg} \varphi_{\text{с.т}}, \quad (9.9)$$

где  $V_t$  - расход реактивной энергии за время  $t$  ;  
 $W_t$  - расход активной энергии за время  $t$  ;  
 $\text{tg} \varphi_{\text{с.т}}$  - средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности за время  $t$  .

### ЗАДАЧА 9.1

Для группы трехфазных электроприемников длительного режима работы со следующими исходными данными

$$\begin{aligned} p_{\text{н1}} &= 5 \text{ кВт}, & n_1 &= 2, & k_{\text{н1}} &= 0,14; \\ p_{\text{н2}} &= 7,5 \text{ кВт}, & n_2 &= 6, & k_{\text{н2}} &= 0,3; \\ p_{\text{н3}} &= 20 \text{ кВт}, & n_3 &= 5, & k_{\text{н3}} &= 0,5. \end{aligned}$$

определить: среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену ( $P_{\text{см}}$ ), среднегодовую активную нагрузку ( $P_{\text{ст}}$ ) и годовой расход активной энергии, если коэффициенты сменности по энергоиспользованию  $\alpha = 0,75$ , а годовой фонд рабочего времени  $T_{\text{г}} = 5000$  ч.

*Решение*

$$P_{\text{см}} = K_{\text{н}} \sum_1^n p_{\text{н}i};$$

Средневзвешенный, групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{н}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{н}i} p_{\text{н}i}}{\sum_1^n p_{\text{н}i}};$$

$$K_{\text{н}} = \frac{0,14 \cdot 2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 6 \cdot 7,5 + 0,5 \cdot 5 \cdot 20}{2 \cdot 5 + 6 \cdot 7,5 + 5 \cdot 20} = 0,42;$$

$$P_{\text{см}} = 0,42 \cdot 155 = 65,1 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{см}} \cdot \alpha = 65,1 \cdot 0,75 = 48,83 \text{ кВт};$$

$$W_{\text{г}} = P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{г}} = 48,83 \cdot 5000 = 244150 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

### ЗАДАЧА 9.2

На рис. 9.1 приведен график нагрузки за наиболее загруженную смену по активной мощности группы трехфазных электроприемников длительного режима работы суммарной номинальной мощностью  $P_{\text{н}} = 280 \text{ кВт}$ .

Определить годовой расход активной энергии, если коэффициент сменности по энергоиспользованию  $\alpha = 0,75$ , а годовой фонд рабочего времени  $T_{\text{г}} = 4500 \text{ ч}$ .

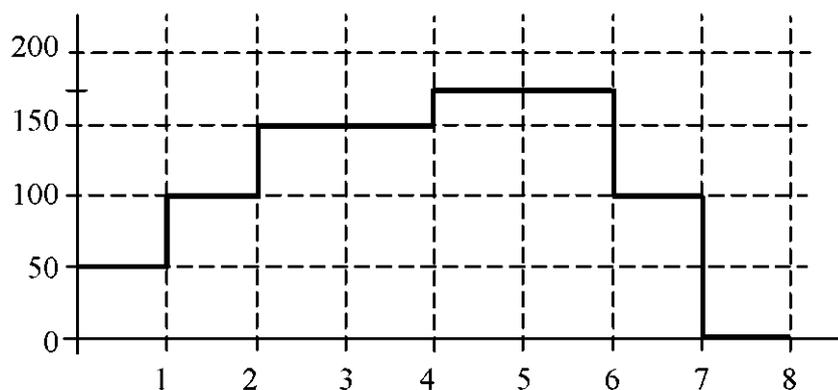


Рис. 9.1

Решение

$$W_{\text{г}} = \alpha \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot T_{\text{г}} = P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{г}}.$$

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = \frac{\sum_1^N P_{c_i}}{N};$$

$$P_{\text{см}} = \frac{50 + 100 + 2 \cdot 150 + 2 \cdot 175 \cdot 100 + 0}{8} = 112,5 \text{ кВт};$$

$$W_{\text{г}} = 0,75 \cdot 112,5 \cdot 4500 = 379687 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

### ЗАДАЧА 9.3

Для группы цехов машиностроительного производства, исходные данные по которым приведены в табл. 9.1, определить годовое потребление активной и реактивной электроэнергии отдельными цехами и всем производством, а также значения коэффициента мощности для этой группы потребителей за смену и за год.

Таблица 9.1

Номер цеха	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$\alpha$	$T_{г}$ , час	Годовое потребление электроэнергии	
					$W_{г}$ , кВт·ч	$V_{г}$ , квар·ч
№ 1	1200	520	0,6	4500		
№2	1400	-400	0,75	5000		
№3	650	720	0,7	3500		
№4	800	500	0,8	5000		
№5	1500	-300	0,6	4000		
№6	850	700	0,5	5500		
№7	1000	-250	0,7	6000		
№8	950	800	0,65	7500		
№9	750	-100	0,75	6500		
№ 10	650	400	0,8	8000		

Примечания:  $\alpha$  - годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию;

$T_{г}$  - годовое число часов работы оборудования;

в цеху № 2, 5, 7 и 9 имеет место генерация реактивной мощности в питающую сеть.

Таблица 9.2

#### Варианты заданий

Вариант	Номер цеха	Вариант	Номер цеха	Вариант	Номер цеха
1	1, 2, 3	11	1, 2, 6	21	7, 1, 3
2	4, 5, 6	12	1, 3, 5	22	7, 1, 4
3	7, 8, 10	13	1, 2, 8	23	7, 10, 8
4	1, 3, 9	14	1, 2, 10	24	7, 6, 10
5	2, 4, 6	15	2, 3, 4	25	7, 8, 9
6	5, 6, 8	16	4, 2, 8	26	
7	7, 4, 6	17	2, 6, 8	27	9, 1, 3
8	9, 8, 6	18	2, 10, 4	28	9, 4, 6
9	10, 2, 3	19	3, 5, 1	29	9, 10, 1
10	9, 4, 3	20	5, 6, 10	30	9, 8, 1

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10

### Компенсация реактивных нагрузок промышленных Предприятий

#### 10.1. Расчет экономического значения реактивной мощности, потребляемой предприятием из энергосистемы

Для предприятий с присоединенной мощностью 750 кВА и более экономическое значение реактивной мощности, потребляемой в часы максимума, определяется энергосистемой.

$$Q_{\text{э}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{эН}}, \quad (10.1)$$

где  $P_{\text{р}}$  - расчетная активная нагрузка предприятия;

$\text{tg}\varphi_{\text{эН}}$  - нормативное значение реактивной мощности.

Значение  $\text{tg}\varphi_{\text{эН}}$  определяется по формуле:

$$\text{tg}\varphi_{\text{эН}} = \frac{240}{ad_{\text{max}} + 50b} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{б}} \cdot K_1, \quad (10.2)$$

где  $a$  - основная ставка тарифа на активную мощность, руб/кВт год;

$b$  - дополнительная ставка тарифа за активную энергию, руб/кВтч;

$d_{\text{max}}$  - отношение потребления энергии в квартале максимума нагрузки энергосистемы к потреблению в квартале его максимальной нагрузки; при отсутствии указанных данных принимают = 1;

$\text{tg}\varphi_{\text{б}}$  - базовый коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,25; 0,3 и 0,4 для сети 6-20 кВ, присоединенной к шинам подстанции с высшим напряжением соответственно 35, 110-150 и 220-330 кВ;

$K_1$  - коэффициент, отражающий изменение цен на конденсаторы, принимается равным  $K = K_w$ , ( $K_w$  - коэффициент увеличения ставки двухставочного тарифа на электроэнергию по сравнению со значениями, указанными в прейскуранте).

#### ЗАДАЧА 10.1

Определить экономическое значение реактивной мощности для предприятия  $P_{\text{р}} = 10500$  кВт,  $T_{\text{нб}} = 3200$  ч. Основная ставка составляет 22000 руб/мес, дополнительная ставка - 180 руб/кВтч; заявленная мощность – 1000 кВ, Уровень напряжения - 110/10,5кВ.

*Решение*

1. Находим коэффициент увеличения ставок тарифа на электроэнергию

$$K_{w1} = \frac{22000 \cdot 1000 \cdot 12}{60} = 4400000;$$

$$K_{w2} = \frac{180}{1,8} = 100;$$

$$K_w = \frac{(60 \cdot 4400000 + 1,8 \cdot 3200 \cdot 100)}{60 + 1,8 \cdot 3200} = 45459,8.$$

Для сети 110/10 кВ  $tg\varphi = 0,3$ .

2. Определяем экономический коэффициент реактивной мощности

$$tg\varphi_3 = \frac{230 \cdot 0,3 \cdot 45459,8}{22000 \cdot 1000 + 50 \cdot 180} = 0,15.$$

3. Экономически целесообразное значение реактивной мощности

$$Q_3 = 10500 \cdot 0,15 = 1575 \text{ квар.}$$

## 10.2. Выбор мощности компенсирующих устройств

Мощность компенсирующего устройства электроустановки потребителя электрической энергии определяется по формуле:

$$Q_k = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2);$$

$$tg\varphi_1 = \frac{Q}{P}; \quad tg\varphi_2 = \frac{Q - Q_k}{P}. \quad (10.3)$$

Для каждой технологически группы электроприемников (цеха, корпуса и т.д.) определяется минимальное число цеховых трансформаторов одинаковой единичной мощностью при полной компенсации

$$N_0 = \frac{P}{\beta_{тр} \cdot S_{тр}}, \quad (10.4)$$

где  $P$  - активная мощность на стороне до 1000 В;

$\beta_{тр}$  - коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_{тр}$  - номинальная мощность одного трансформатора.

Полученное число округляется до ближайшего большего целого числа.

По найденному количеству трансформаторов рассчитывается наибольшая мощность, которая может быть передана через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(K_{пер} \cdot N_{ним} \cdot \beta^2 \cdot S_{тр})^2 - P_{рн}^2}, \quad (10.5)$$

где  $K_{\text{пер}}$  - коэффициент, учитывающий допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в течение одной смены,

$K_{\text{пер}} = 1,1$  - для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью,

$K_{\text{пер}} = 1,5$  - для сухих трансформаторов.

Тогда суммарная мощность БНК определится по выражению:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} - Q_{\text{т}}. \quad (10.6)$$

Если расчетное значение  $Q_{\text{нк1}} \leq 0$ , то установка конденсаторов на стороне 0,4 кВ не требуется.

### ЗАДАЧА 10.2

Определить мощность БНК для РМЦ с  $P_{\text{рн}} = 5400$  кВт и  $Q_{\text{рн}} = 5320$  квар;  $\beta_{\text{т}} = 0,9$ ;  $S_{\text{нт}} = 1600$  кВ·А.

*Решение:*

1. Определим минимальное количество трансформаторов

$$N_0 = \frac{P}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{5400}{0,9 \cdot 1600} = 3,8 \approx 4.$$

2. Реактивная мощность, передаваемая через трансформатор

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(1,1 \cdot 1600 \cdot 0,9 \cdot 4)^2 - 5400^2} = 3314 \text{ квар.}$$

3. Определяем мощность БНК

$$Q_{\text{нк}} = 5320 - 3314 = 2006 \text{ квар.}$$

4. Мощность БНК, приходящаяся на один трансформатор

$$Q_{\text{кб1}} = 2006 / 4 = 501,5 \text{ квар.}$$

Принимаем стандартные БНК УКМ - 58 - 0,4 - 402 - 67УЗ  
Суммарная мощность БНК цеха равна

$$Q_{\text{нкУ}} = 4 \cdot 402 = 1608 \text{ квар.}$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11

### Определение нагрузок сельскохозяйственных потребителей

#### 11.1. Нагрузки на вводах к потребителям

##### 11.1.1. Определение расчетной нагрузки на вводе в сельский жилой дом

При наличии сведений о существующем годовом потреблении электроэнергии расчетная нагрузка на вводе в сельский дом определяется по номограмме, приведенной на рис. 11.1. При этом необходимо учитывать, что исходные данные берутся, как правило, за предыдущий год, а вводят объект в эксплуатацию не ранее чем через год после составления проекта. Следовательно, расчетный год определяется прибавлением двух лет к расчетному периоду. Тогда при пятилетнем периоде расчетным годом будет седьмой, при десятилетнем периоде — двенадцатый. Например, при существующем годовом потреблении 1000 кВт·ч/дом и седьмом расчетном году расчетная нагрузка на вводе в сельский жилой дом составит 2,5 кВт.

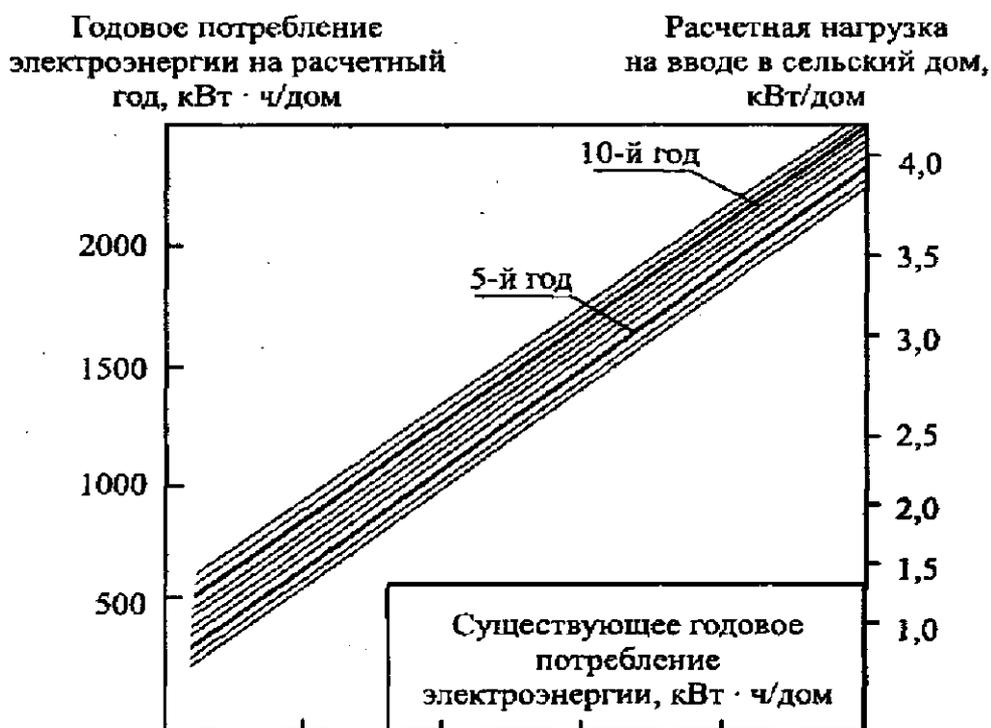


Рис. 11.1. Удельная расчетная нагрузка на вводе в сельский дом и перспективное потребление электроэнергии на внутриквартирные нужды в зависимости от существующего уровня электропотребления

Если в расчетном году населенный пункт намечено газифицировать природным газом, то полученную по номограмме нагрузку следует уменьшить на 20 %.

При проектировании внешних сетей 0,38 кВ расчетные нагрузки на вводе в сельский жилой дом с электроплитами следует принимать равными 6 кВт, а с электроплитами и водонагревателями 7,5 кВт.

При отсутствии сведений об электропотреблении, а также для вновь электрифицируемых населенных пунктов расчетная нагрузка на вводах в сельские дома принимается:

- для населенных пунктов с преимущественно старой застройкой (60 % домов построены свыше 20 лет назад) с газификацией - 1,5 кВт, без газификации - 1,8 кВт;

- для населенных пунктов с преимущественно новой застройкой с газификацией - 1,8 кВт, без газификации - 2,2 кВт;

- для вновь строящихся благоустроенных домов в поселках городского типа, в поселках при крупных животноводческих и других комплексах с газификацией - 4 кВт, без газификации - 5 кВт.

### ***11.1.2. Определение расчетных нагрузок производственных, общественных, животноводческих помещений и комплексов, коммунальных и прочих потребителей***

Расчетные нагрузки этих потребителей определяются по типовым проектам. Можно воспользоваться нормами, приведенными в приложении 1. Если мощность потребителя отличается от мощности соответствующего потребителя, помещенного в таблице приложения 1, то расчетную нагрузку первого определяют экстраполяцией или интерполяцией.

Расчетная нагрузка на вводах потребителей, которые имеют электроосвещение и до трех силовых электроприемников, приближенно может быть принята равной арифметической сумме их установленных мощностей.

### ***11.1.3. Определение расчетных нагрузок предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции***

В сельской местности находится ряд предприятий промышленного типа, занимающихся переработкой сельскохозяйственной продукции. Это хлебопромышленные предприятия, хлебозаводы, мясокомбинаты, молокозаводы, льнозаводы, консервные заводы, а также такие предприятия, как кирпичные заводы, леспромхозы, торфопредприятия и др. Расчетные нагрузки этих предприятий можно определить по формуле 11.1, пользуясь данными табл. 11.1:

$$P_p = \frac{A_{уд} \cdot n}{T_{max}}, \quad (11.1)$$

где  $A_{уд}$  - удельный расход электроэнергии на единицу продукции, кВт·ч;

$n$  - годовое число единиц продукции;

$T_{max}$  - годовое число часов использования максимума нагрузки, ч.

Полные расчетные мощности дневного и вечернего максимумов нагрузки определяют по формулам:

$$S_{p.д} = \frac{P_{p.д}}{\cos\varphi_{д}};$$

$$S_{p.в} = \frac{P_{p.в}}{\cos\varphi_{в}},$$

где  $\cos\varphi_{д}$ ,  $\cos\varphi_{в}$  - коэффициенты мощностей в дневной и соответственно в вечерний максимумы нагрузок.

Таблица 11.1

Ориентировочные показатели для определения электрических нагрузок отдельных предприятий в сельской местности

Наименование потребителя	Основной вид продукции	Единица измерения	Потребление электроэнергии на единицу продукции, кВт·ч	Коэффициент мощности при максимальной нагрузке		Количество смен	Годовое число часов использования максимума нагрузки, ч
				дневной, $\cos\varphi_{д}$	вечерний, $\cos\varphi_{в}$		
Хлебоприемные предприятия	Зерно	т	2,5...3,5	0,70	0,90	1	1500
				0,70	0,75	2,3	3000
Комбинаты хлебобулочных изделий	Хлеб	т	20...40	0,75	0,90	1	1500
	Мука	т	25...35	0,75	0,80	3	3000
	Крупа, макаронные изделия	т	80	0,75	0,80	3	3000
Мясокомбинаты	Мясо, колбаса	т	60...75	0,75	0,90	1	1800
				0,75	0,80	2,3	2500
	Консервы	т.у.б	50	0,65	0,70	2,3	2500
Молокозаводы	Молоко	т	25	0,75	0,8	1,2	2500
	Сыр	т	165	0,75	0,85	1	2000
	Сухое молоко	т	300	0,75	0,80	2	2500
	Масло	т	100...120	0,75	0,80	1,2,3	1800...2500
Кондитерские фабрики	Кондитерские изделия	т	40	0,65	0,70	3	3000
Масложиркомбинаты	Масло растительное	т	135...300	0,75	0,80	1,2	2000... 2500
Пивзаводы	Солод	тыс.	45	0,75	0,80	2	2500
	Пиво	дал	950	0,75	0,80	2	2500
Консервные заводы	Консервы овощные	т. у. б.	50	0,70	0,75	2	2500
Заводы безалкогольных напитков		тыс.	180	0,75	0,80	2	2500
		дал				3	3500
Винзаводы	Вино	тыс.	170	0,70	0,90	1	1000

		дал					
Сахарные заводы	Сахар	т	30...50	0,70	0,75	3	3000
Спиртзаводы	Спирт	Дал	0.5...1.8	0,75 0,75	0,90 0,80	1 2	2500 2500
Предприятия по ремонту сельхозтехники	Ремонт тракторов	тыс. руб	450	0,70	0,95 0,80	1,2	1600 2300
Льно-и пенькозаводы	Волокно	т	650	0,70	0,90	1	1800
Кирпичные заводы	Кирпич	тыс. шт.	50...80	0,70	0,75	2-3	2500
Леспромхозы	Лес, пиломатериалы	м <sup>3</sup>	15...20 40	0,70 0,70	0,95 0,75	1 2	1500 3000
Торфопредприятия	Торф	т	15...20	0,75	0,80	3	3000

#### 11.1.4. Определение расчетных нагрузок наружного освещения

Расчетная нагрузка уличного освещения определяется по формуле

$$P_{р.ул} = P_{уд} \cdot l, \quad (11.2)$$

где  $P_{уд}$  - удельная мощность, зависящая от ширины улицы и вида покрытия, определяется по табл. 11.2;

$l$  - длина улицы, м.

Нагрузка наружного освещения территории хозяйственных центров (дворов) принимается из расчета 250 Вт на одно помещение и 3 Вт на погонный метр длины периметра хоздвора (11.3)

$$P_{р.х.д} = 250 \cdot n + 3 \cdot L, \quad (11.3)$$

где  $n$  - число помещений на хозяйственном дворе;

$L$  - периметр двора, м.

Таблица 11.2

Нормы нагрузок уличного освещения

Объект	Норма средней освещенности, лк	Рекомендуемые светильники	Удельная мощность установки, Вт/м

Поселковые улицы с асфальтобетонными и переходными типами покрытий, ширина проезжей части: 5...7 м; 9...12 м;	4	СЗПР-250	4,5...6,5
	8	РКУ-250 СПО-500 НСУ-200	6,0...8,0 11,0 13,0
Поселковые дороги и улицы с покрытиями простейшего типа, ширина проезжей части: 5...7 м; 9...12 м	2	СПО -200	5,5
		НСУ-200 НКУ -200	7,0
Улицы и дороги местного значения и пешеходные шириной: 5...7 м; 9...12 м	1	СПО -200 НКУ -200	3,0 4,5

### Пример 11.1

Населенный пункт имеет улицы местного значения с шириной проезжей части 6 м. Общая протяженность улиц 1600 м. В центре населенного пункта находится площадь 3000 м<sup>2</sup>. На хоздворе имеется 8 помещений, периметр хоздвора 500 м. Определить расчетную нагрузку наружного освещения населенного пункта.

*Решение*

По формуле (11.2) расчетная нагрузка уличного освещения:

$$P_{р.ул} = P_{уд} \cdot l = 3 \cdot 1600 = 4800 \text{ Вт} = 4,8 \text{ кВт},$$

где  $P_{уд} = 3 \text{ Вт/м}$  (табл. 1.2).

Расчетная нагрузка площади:

$$P_{р.пл} = 0,5 \cdot S_{пл} = 0,5 \cdot 3000 = 1500 \text{ Вт} = 1,5 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка хоздвора по формуле (1.3):

$$P_{р.х.д} = 250 \cdot n + 3 \cdot L = 250 \cdot 8 + 3 \cdot 500 = 3500 \text{ Вт} = 3,5 \text{ кВт}.$$

4. Суммарная нагрузка наружного освещения населенного пункта и хоздвора:

$$P_p = P_{р.ул} + P_{р.пл} + P_{р.х.д} = 4,8 + 1,5 + 3,5 = 9,8 \text{ кВт}.$$

### 11.1.5. Определение расчетной нагрузки электротеплоснабжения

Расчет электрических нагрузок для тепловых нужд: отопление и вентиляция животноводческих помещений, местный обогрев молодняка, нагрев воды, обогрев инкубаторов и других помещений производится по удельным нормам, приведенным в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Электрические нагрузки отопления и вентиляции животноводческих ферм и помещений и электрообогрева парников и теплиц (при  $t = -25^{\circ}C$ )

Наименование потребителя	Номер шифр	Удельная максимальная нагрузка, $P_m$ , кВт/ед.	Коэффициент дневного максимума, $k_d$	Коэффициент вечернего максимума, $k_B$	Коэффициент сезонности			
					Зима, $k_z$	Весна, $k_B$	лето, $k_L$	Осень, $k_O$
Молочная ферма, на 1 корову	701	0,8	1,0	0,6	1,0	0,4	-	0,2
Ферма нетелей, на 1 голову	702	0,3	1,0	0,6	1,0	0,4	-	0,2
Откормочник КРС, на 1 место	703	1,0		0,6	1,0	0,3	-	0,2
Коровник, на 1 голову	704	0,6	1,0	0,6	1,0	0,4	-	0,2
Репродукторная свиноферма, на 1 свиноматку	705	1,2	1,0	0,6	1,0	0,5	-	0,3
Откормочная свиноферма, на 1 место	706	0,25	1,0	0,6	1,0	0,3	-	0,2
Свинарник маточник, на 1 свиноматку	707	1,2	1,0	0,6	1,0	0,5	-	0,3
Свинарник-откормочник, на 1 место	708	0,24	1,0	0,6	1,0	0,3	-	0,2
Парники на электрообогреве, на 1 м <sup>2</sup>	751	0,05	0,6	0,5	0,3	1,0	-	-
Теплицы с электрообогревом, пленочные или стеклянные, на 1 м <sup>2</sup> .	весенние;	0,02	0,6	0,5	0,3	1,0	-	-
	зимне-весенние;	0,1	0,6	0,5	1,0	1,0	-	0,3

зимние (южная зона)	757	0,3	0,6	0,5	1,0	0,6	-	0,3
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----

Данные нормы составлены для условий с расчетной температурой наружного воздуха  $t_{н.р} = -25^\circ\text{C}$ . Для районов, у которых расчетная температура наружного воздуха  $t_n$  отличается от  $-25^\circ\text{C}$  ( $t_n = -25^\circ\text{C}$ ), электротепловая нагрузка уточняется по формуле (1.4):

$$P_t = P_p \cdot \frac{t_n - t'_n}{t_{н.р} - t'_n},$$

где  $t_n$  - расчетная температура наружного воздуха для рассматриваемой зоны,  $^\circ\text{C}$ ;

$t'_n$  - граничная температура наружного воздуха, определяющая начало и окончание отопительного сезона (для основных типов животноводческих помещений ее значения приведены в табл. 11.4);

$t_{н.р}$  - расчетная температура наружного воздуха, принимаемая в расчетах  $-25^\circ\text{C}$ ;

$P_p$  - удельная расчетная электротепловая нагрузка.

Таблица 11.4

Граничные температуры наружного воздуха для животноводческих и птицеводческих зданий

Тип здания	Группы животных	Граничная температура, $^\circ\text{C}$
Свинарники-откормочники	Поросята до 100 кг	-4
Свинарники-маточники	Свиноматки тяжелосупоросные и с подсосными поросятами, поросятами-отъемышами и ремонтный молодняк	+5
	Свиноматки холостые и легкосупоросные	0
Коровники беспривязного содержания	Коровы на глубокой подстилке	-15
	Молодняк	-10
Коровники привязного и боксового содержания	Коровы дойные	-5
	Телята до 100 кг.	0
	Телята 100 200 кг	-2

### Пример 11.2

Определить электротепловую нагрузку отопления и вентиляции молочно-товарной фермы на 400 голов при расчетной температуре нагретого воздуха  $t_n = -20^\circ\text{C}$ .

### *Решение*

По табл. 11.3 принимаем удельную максимальную нагрузку на одну корову 0,8 кВт (шифр нагрузки 701). Тогда электротепловая нагрузка фермы на 400 голов при расчетной температуре  $t_{н,р} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$  будет:

$$P_p = 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ кВт.}$$

Основными потребителями электротепла на ферме являются коровники. Граничная температура для них по табл. 11.4 равна  $t_n = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Расчетная нагрузка при температуре  $t_n = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  по формуле (12.4) будет равна:

$$P_t = P_p \cdot \frac{t_n - t'_n}{t_{н,р} - t'_n} = 320 \cdot \frac{-20 - (-5)}{-25 - (-5)} = 240 \text{ кВт.}$$

## ***11.2. Нагрузки комплексов по промышленному производству сельскохозяйственной продукции***

Расчетные нагрузки комплексов по промышленному производству сельскохозяйственной продукции, а также зданий и сооружений во вновь разрабатываемых типовых проектах определяются одним из следующих способов: суточному графику нагрузок, установленной мощности электроприемников, методом упорядоченных диаграмм, по данным замеров на введенных в строй объектах, идентичных проектируемым.

### ***11.2.1. Определение расчетной нагрузки по смешанному или суточному графику нагрузок***

При наличии в проекте здания или сооружения сменного или суточного графика работы силового, нагревательного и осветительного электрооборудования строится сменный или суточный график электрических нагрузок. На его основании определяется получасовой максимум нагрузки с учетом средних коэффициентов загрузки электроприемников, приведенных в табл. 11.5.

Для получения получасового максимума на построенном суточном графике нагрузок берется участок, где эквивалентная мощность в течение получаса будет наибольшей.

В том случае если максимальная мощность длится более 0,5 ч, расчетная мощность равна максимальной:

$$P_p = P_{\max} \cdot$$

Таблица 11.5

## Средние значения коэффициентов загрузки

№ п/п	Наименование токоприемников	Коэффициент загрузки
1	Кормоприготовительные машины: измельчение зерновых; измельчение сочных кормов и корнеплодов; измельчение грубых кормов	0,8 0,6 0,5
2	Транспортеры: скребковые; шнековые	0,7 0,4
3	Смесители кормов	0,6
4	Кормораздатчики	0,5
5	Доильные установки	0,8
6	Вентиляторы	0,6...0,8
7	Навозоуборочные транспортеры	0,5
8	Насосы, компрессоры	0,7
9	Нагревательные установки	1,0
10	Осветительные электроустановки	1,0

Если максимум нагрузки на графике длится менее получаса, то определяется эквивалентная мощность по формуле

$$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (11.5)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  - значение нагрузки в период получасового максимума;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  - продолжительность каждого значения нагрузки  
( $t_1, t_2, \dots, t_n$ ) = 0,5 ч. Теперь

$$P_p = P_{\text{эkv}}.$$

Полная расчетная нагрузка

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\varphi},$$

где  $\cos\varphi$  - коэффициент мощности, определяется из табл. 11.6.

Таблица 11.6

Коэффициенты мощности сельскохозяйственных потребителей трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Потребители, трансформаторные подстанции	Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ) и коэффициент реактивной мощности ( $tg\varphi$ ) при максимальной нагрузке			
	Дневной		Вечерний	
	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$
Животноводческие и птицеводческие помещения	0,75	0,89	0,85	0,62
То же с обогревом	0,92	0,43	0,96	0,29
Отопление и вентиляция животноводческих помещений	0,99	0,5	0,99	0,15
Кормоцеха	0,75	0,88	0,78	0,80
Зерноочистительные тока, зернохранилища	0,7	1,02	0,75	0,88
Установки орошения и дренажа почвы	0,80	0,75	0,80	0,75
Парники и теплицы на электрообогреве	0,92	0,43	0,96	0,29
Мастерские, тракторные станы, гаражи для машин	0,7	1,02	0,75	0,88
Мельницы, маслобойки	0,8	0,75	0,85	0,62
Цеха по переработке сельскохозяйственной продукции	0,75	0,88	0,80	0,75
Общественные учреждения и коммунальные предприятия	0,85	0,62	0,90	0,48
Жилые дома без электроплит	0,90	0,48	0,93	0,40
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,92	0,43	0,96	0,29
Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ:				
с производственной нагрузкой;	0,70	1,02	0,75	0,88
с коммунально-бытовой;	0,90	0,48	0,92	0,43
со смешанной нагрузкой	0,80	0,75	0,83	0,67

### Пример 11.3

Определить расчетную нагрузку кормоцеха фермы КРС на 400 голов производительностью 7 т в смену. Типы рабочих машин, наименование операций, мощность электродвигателей и технологический график работы цеха в смену приведены в табл. 1.7.

Потребляемая мощность электродвигателей рабочих машин определяется по формуле

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{у}}}{\eta} \cdot k_3,$$

где  $P_{\text{у}}$  - установленная мощность электродвигателя, кВт;

$\eta$  - коэффициент полезного действия;

$k_3$  - средний коэффициент загрузки электродвигателя при данной технологической операции.

На основании сменного технологического графика работы цеха построим суточный график электрических нагрузок кормоцеха (рис. 11.2). Для этого на оси ординат отложим значения потребляемой мощности каждым токоприемником, а на оси абсцисс — продолжительность работы машины.

Из графика видно, что максимальная нагрузка около двух часов (участок а-м).

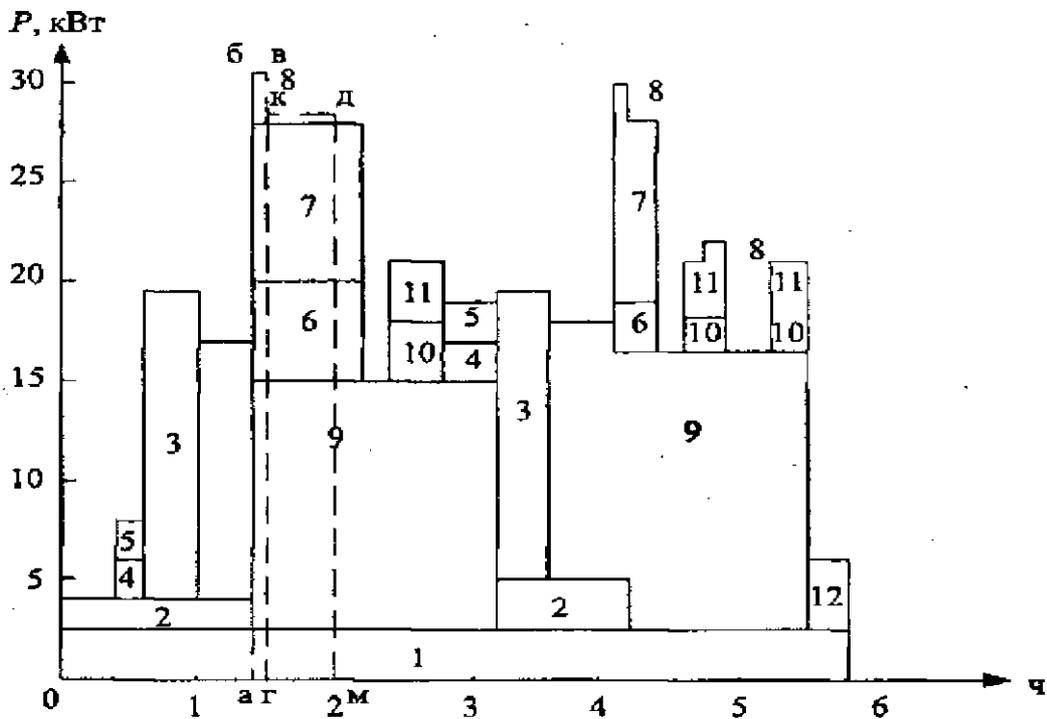


Рис. 11.2. Сменный график электрических нагрузок кормоцеха фермы крупного рогатого скота на 400 голов

Таблица 12.7

**Сменный график работы кормоцеха фермы крупного рогатого скота на 400 голов производительностью  
7 т в смену**

№ п/п	Наименование технологической операции	Наименование рабочей машины	Установленная мощность $P_y$ , кВт	Коэффициент полезного действия, $\eta$	Коэффициент загрузки установки, $k_3$	Потребляемая мощность $P_{II}$ , кВт	Количество продукции, т	Производительность, т/ч	Длительность работы, ч	Длительность рабочей смены, ч					
										1	2	3	4	5	6
1	Освещение	-	2,0	-	1,0	2,0	-	-	5,8						
2	Снабжение паром	Универсал	2,0	0,79	0,7	1,77	-	1,2	2,7	-	-	-	-		
3	Измельчение соломы	РСС-6Б	17,0	0,88	0,8	15,4	1,8	2,0	0,9	-			-	-	
4	Подача сеной муки	ПСМ-10	2,2	0,81	0,7	1,9	1,8	4,0	0,5	-		-	-		
5	Загрузка соломы	Транспортер	1,5	0,79	0,75	1,42	1,8	4,0	0,5	-		-	-		
6	Подача корнеплодов	ТК-5Б	3,7	0,8	0,8	3,7	2,8	4,0	0,75		-		-		
7	Измельчение корнеплодов	ИКС-5А	8,5	0,85	0,85	8,5	2,8	4,0	0,75		-		-		
8	Подача конц. кормов	ПК-6	2,6	0,77	0,7	2,37	0,6	5,0	ОД		-		-	-	
9	Приготовление кормов	С-12	13,6	0,84	0,8	13,0	7,0	-	3,6			-		-	-
10	Выгрузка кормов	ГЛВС-40	2,2	0,81	0,75	2,04	7,01	15,0	0,7				-	-	-
11	Выгрузка кормов	ТС-40М	3,0	0,83	0,75	2,72	3,3	15,0	0,7				-	-	-
12	Удаление грязи		3,0	0,8	0,9	3,36	4,0	16,0	0,5						

Определим эквивалентную мощность по формуле (12.5): Расчетная активная нагрузка  $P_p = 27,67$  кВт. Полная расчетная нагрузка определяется по формуле (12.6):

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_{\text{аб}}^2 \cdot t_{\text{аг}} + P_{\text{гк}}^2 \cdot t_{\text{гм}}}{t_{\text{аг}} + t_{\text{гм}}}} = \sqrt{\frac{29,5^2 \cdot 0,1 + 27,2^2 \cdot 0,4}{0,1 + 0,4}} = 27,67 \text{ кВт.}$$

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\varphi} = \frac{27,67}{0,75} = 36,9 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

где  $\cos\varphi = 0,75$  - принят по табл. 11.6 для дневного максимума нагрузки.

### 11.2.2. Определение расчетной нагрузки по установленной мощности электроприемников

При отсутствии технологического графика работы оборудования допускается определять расчетную нагрузку по установленной мощности электроприемников. При этом необходимо пользоваться формулой

$$P_p = \sum_1^n \frac{p_{y.n} \cdot k_3}{\eta} + \sum_1^m \frac{p_{y.m} \cdot k_3 \cdot t}{\eta \cdot 0,5}, \quad (11.7)$$

где  $p_{y.n}$  - установленная паспортная мощность каждого из  $n$  электроприемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время ожидаемого максимума нагрузки более 0,5 ч, кВт;

$k_3$  - средний коэффициент загрузки электроприемника по активной мощности, представляющий собой отношение потребляемой мощности при выполнении данной операции к установленной мощности (табл. 11.5);

$p_{y.m}$  - установленная мощность каждого из  $t$  электроприемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время максимума менее 0,5 ч, кВт;

$t$  - длительность непрерывной работы каждого из электроприемников мощностью  $p_{y.m}$  ( $t < 0,5$  ч), ч.

Для выявления электроприемников, которые участвуют в формировании максимума нагрузки, производится анализ технологического процесса. Определяются мощность электроприемников и продолжительность их работы, последовательность выполнения операций и организации работ. При этом следует принимать не предельно возможный случай, когда одновременно включено наибольшее число электроприемников, а наиболее вероятный при нормальной эксплуатации выбор электроприемников, формирующих максимум.

### Пример 11.4

Определить расчетную нагрузку кормоцеха производительностью 7 т в смену фермы КРС на 400 голов по установленной мощности электроприемников. Перечень операций, продолжительность их выполнения, установленная мощность электроприемников и другие данные, необходимые при расчете, приведены в табл. 11.7.

*Решение*

Анализируя технологический процесс, видим, что в формировании максимума нагрузки участвуют следующие технологические операции:

- освещение;
- подача корнеплодов;
- измельчение корнеклубнеплодов;
- подача концентрированных кормов;
- приготовление кормов.

Продолжительность всех операций, кроме подачи концентрированных кормов, более 0,5 ч.

Расчетная активная нагрузка по формуле (1.7):

$$P_p = \frac{P_1 \cdot k_{31}}{\eta_1} + \frac{P_6 \cdot k_{36}}{\eta_6} + \frac{P_7 \cdot k_{37}}{\eta_7} + \frac{P_9 \cdot k_{39}}{\eta_9} + \frac{P_8 \cdot k_{38}}{\eta_8} =$$
$$= \frac{2 \cdot 1}{1} + \frac{3,7 \cdot 0,8}{0,8} + \frac{8,5 \cdot 0,85}{0,85} + \frac{13,6 \cdot 0,8}{0,84} + \frac{2,6 \cdot 0,7 \cdot 0,1}{0,77 \cdot 0,5} = 27,67 \text{ кВт.}$$

Полная расчетная нагрузка с учетом  $\cos\varphi = 0,75$ :

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\varphi} = \frac{27,67}{0,75} = 36,9 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

### 11.2.3. Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм

Этот метод основан на анализе физических связей между показателями групповых и индивидуальных графиков нагрузок с использованием теории вероятностей. Его часто называют методом коэффициента максимума.

Метод упорядоченных диаграмм широко применяется ведущими организациями и положен в основу «Указаний по определению электрических нагрузок в промышленных установках» [5]. В сельскохозяйственном производстве этим методом определяют расчетные электрические нагрузки механических мастерских, ремонтных цехов, насосных и компрессорных станций, зданий и сооружений животноводческих комплексов, аналогичных по составу оборудования и режиму работы промышленным установкам. Расчетная активная нагрузка группы электроприемников с переменным графиком нагрузки определяется по средней мощности и коэффициенту максимума по формуле

$$P_p = k_M \cdot P_{CM} = k_M \cdot k_{И} \cdot \sum_1^n P_H, \quad (11.8)$$

где  $k_M$  - коэффициент максимума нагрузки;

$P_{CM}$  - средняя нагрузка за максимально загруженную смену;

$k_{И}$  - коэффициент использования;

$P_H$  - номинальная мощность электроприемника;

$n$  - количество электроприемников в группе.

Средняя нагрузка за максимально загруженную смену:

$$P_{CM} = \frac{W_{CM}}{T_{CM}}, \quad (11.9)$$

где  $W_{CM}$  - количество электроэнергии, израсходованной за максимально загрузочную смену, кВт·ч;

$T_{CM}$  - продолжительность смены, ч.

Коэффициент использования представляет собой отношение средней мощности за наиболее нагруженную смену к номинальной мощности электроприемников:

$$k_{И} = \frac{P_{CM}}{\sum_1^n P_H}. \quad (11.10)$$

Коэффициент использования может быть определен по табл. 11.8.

*Таблица 11.8*

**Коэффициент использования и коэффициент мощности  
промышленного оборудования**

Группа электроприемников	Электрические приемники	$k_{И}$	cosφ
Электродвигатели, хорошо загруженные и непрерывно работающие	Вентиляторы, насосы, компрессоры, двигатель-генераторы и т. п.	0,65	0,8
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	Транспортеры, конвейеры, элеваторы и сблокированные с ними механизмы	0,6	0,7
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы	Краны, кран-балки, тельферы и т. п.	0,06	0,45
Электрические печи	Печи сопротивления, нагревательные аппараты, сушильные камеры периодического действия	0,55	0,95
Электрическое освещение	Осветительные установки	0,8-0,85	1,0

Зная  $k_{И}$  и суммарную нагрузку электроприемников, по формуле (11.10) найдем  $P_{CM}$ .

$$P_{\text{см}} = k_{\text{и}} \cdot \sum_1^n p_{\text{н}}. \quad (11.11)$$

Таблица 11.9

**Коэффициент максимума нагрузки**

$n_{\text{э}}$	Значения $k_{\text{max}}$ при значениях $k_{\text{и}}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,25	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,10	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,13	1,11	1,09	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,07	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,06	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,05	1,05	1,02	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
220	1,14	1,12	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
260	1,13	1,11	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
280	1,13	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01	1,01

Коэффициент максимума активной мощности  $k_{\max}$  определяется в зависимости от значения коэффициента использования эффективного числа группы электроприемников  $n_{\text{э}}$ . Зависимость  $k_{\max} = \psi(k_{\text{и}}, n_{\text{э}})$  приводится в виде формул, кривых и таблиц (табл. 11.9).

Эффективное число группы электроприемников  $n_{\text{э}}$  есть число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает то же значение расчетного максимума нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников. Эффективное число электроприемников определяется по выражению

$$n_{\text{э}} = \frac{\left( \sum_1^n P_{\text{н.}i} \right)^2}{\sum_1^n P_{\text{н.}i}^2}. \quad (11.12)$$

Если все приемники группы имеют одинаковую номинальную мощность  $P_{\text{н}}$ , то

$$n_{\text{э}} = \frac{(n \cdot P_{\text{н.}i})^2}{n \cdot P_{\text{н.}i}^2} = n. \quad (11.13)$$

Если все приемники имеют различные номинальные мощности  $P_{\text{н.}i}$ , то

$$n_{\text{э}} > n.$$

Определение  $n_{\text{э}}$  по формуле (11.12) рекомендуется производить при числе электроприемников в группе до пяти. При большем числе электроприемников использование формулы (11.12) технически сложно, поэтому рекомендуется пользоваться упрощенными способами. Погрешность расчетов не превышает допустимого значения  $\pm 10\%$ .

Способы упрощенного вычисления  $n_{\text{э}}$ :

1. При числе фактических приемников в группе четыре и более допускается эффективное число считать равным фактическому ( $n_{\text{э}} = n$ ) при условии, если отношение

$$m = \frac{P_{\text{н.} \max}}{P_{\text{н.} \min}} \leq 3, \quad (11.14)$$

где  $P_{\text{н.} \max}$ ,  $P_{\text{н.} \min}$  - наименьшие активные мощности соответственно наибольшего и наименьшего электроприемника в группе.

При определении величины  $n_3$  могут быть исключены из расчета те наименьшие электроприемники группы, суммарная наименьшая мощность которых не превышает 5 % суммарной номинальной мощности всей группы. Число исключенных приемников не учитывается также и в величине  $n$ .

2. Если отношение  $m > 3$  и коэффициент использования  $k_{\text{и}} \geq 0,2$ , то эффективное число электроприемников:

$$n_3 = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{н.}i}}{P_{\text{н.} \max}}, \quad (11.15)$$

где  $P_{\text{н.} \max}$  - номинальная мощность наибольшего из группы приемников (максимального).

Если полученное по этой формуле  $n_3$  окажется большим, чем фактическое, то следует принимать  $n_3 = n$ .

3. При  $m > 3$  и  $k_{\text{и}} < 0,2$ , т. е. при невозможности использования упрощенных способов расчета  $n_3$ , изложенных выше, определение  $n_3$  производится по кривым [1.5].

Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников с переменным графиком нагрузки принимается равной:

при  $n_3 \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{см}}, \quad (11.16)$$

при  $n_3 > 10$

$$Q_p = Q_{\text{см}},$$

где  $Q_{\text{см}}$  - средняя реактивная нагрузка за максимально загруженную смену.

При небольшом эффективном числе электроприемников ( $n_3 < 4$ ) расчетную нагрузку рекомендуется определять упрощенными способами:

1. Если  $n_3 \leq 3$ , то расчетная нагрузка группы электроприемников принимается равной сумме их номинальных мощностей:

$$\left. \begin{aligned} P_p &= \sum_{i=1}^n P_{\text{н.}i}; \\ Q_p &= \sum_{i=1}^n q_{\text{н.}i} = \sum_{i=1}^n P_{\text{н.}i} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{н.}} \end{aligned} \right\} \quad (11.17)$$

Значения  $tg\varphi_H$  при отсутствии данных может быть принято для двигателей с длительным режимом работы 0,75, а для двигателей с повторно-кратковременным режимом - 0,88.

2. Если число фактических электроприемников в группе больше трех ( $n > 3$ ), а число эффективных меньше четырех ( $n_3 < 4$ ), то расчетная нагрузка принимается равной сумме произведений номинальных мощностей на характерные для этих приемников коэффициенты загрузки  $k_{3,i}$ :

$$\left. \begin{aligned} P_p &= \sum_1^n P_{H,i} \cdot k_{3,i}; \\ Q_p &= \sum_1^n q_{H,i} \cdot k_{3,i} = \sum_1^n P_{H,i} \cdot tg\varphi_H \cdot k_{3,i}. \end{aligned} \right\} \quad (11.18)$$

При отсутствии сведений  $k_3$  и  $tg\varphi_H$  можно принять их средние значения:

для электроприемников с длительным режимом -  $k_3 = 0,9$  и  $tg\varphi_H = 0,75$ ;

для электроприемников с повторно-кратковременным режимом -  $k_3 = 0,75$  и  $tg\varphi_H = 1$ .

Для группы электроприемников длительного режима работы практически с постоянным графиком нагрузки ( $k_H \geq 0,6$ , коэффициент включения  $k_B = 1$  и коэффициент заполнения графика нагрузки по активной мощности за наиболее загруженную смену  $k_{3,i} \geq 0,9$ ) коэффициент максимума может быть принят равным единице ( $k_{max} = 1$ ). Расчетная нагрузка такой группы электроприемников равна средней за наиболее загруженную смену:

$$\left. \begin{aligned} P_p &= P_{cm}; \\ Q_p &= Q_{cm}; \end{aligned} \right\} \quad (11.19)$$

К электроприемникам с практически постоянным графиком нагрузки относятся насосы, вентиляторы, компрессоры, нагревательные приборы, печи сопротивления и др. Выявление таких электроприемников производится по данным эксплуатации или обследования. Если таких данных нет, все электроприемники относятся к электроприемникам с переменным графиком нагрузки.

Расчетная нагрузка осветительных электроприемников определяется по выражению

$$P_{p,o} = k_{c,o} \cdot P_{H,o}, \quad (11.20)$$

где  $k_{c.o}$  - коэффициент спроса освещения;

$P_{н.о}$  - установленная мощность осветительных электроприемников.

Коэффициент спроса освещения  $k_{c.o}$  принимается равным:

для малых производственных зданий - 1,0;

для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов - 0,95;

для производственных зданий, состоящих из отдельных помещений - 0,85.

Порядок определения расчетной нагрузки:

Все исходные данные разделяют на две группы: с переменным режимом работы и с практически постоянным режимом работы.

В зависимости от исходных данных по формулам (11.9) или (11.11) определяют активные среднесменные нагрузки по каждой группе в отдельности  $P_{см1}$ ,  $P_{см2}$ .

Используя выражения (11.12 - 11.15), определяют для каждой группы эффективное число электроприемников  $n_{э1}$  и  $n_{э2}$ .

Зная коэффициент использования и эффективное число электроприемников, по табл. 11.9 находят для первой группы электроприемников коэффициент максимума нагрузки  $k_{max1}$ . Для второй группы электроприемников (практически постоянный режим работы) можно принять  $k_{max2} = 1$ .

5. По формуле (11.8) или (11.17 — 11.18) определяется расчетная активная нагрузка каждой группы  $P_{р1}$  и  $P_{р2}$ .

6. По имеющейся в исходных данных информации об установленной мощности освещения  $P_{н.о}$  и его коэффициенте спроса  $k_{c.o}$  по формуле (11.20) определяется расчетная нагрузка осветительных электроприемников  $P_{р.о}$ .

7. Производят суммирование расчетной активной нагрузки обеих групп:

$$P_p = P_{р1} + P_{р2}$$

8. Определяют реактивную среднесменную нагрузку по каждой группе:

$$Q_{см1} = P_{см1} \cdot tg\varphi_{см1};$$

$$Q_{см2} = P_{см2} \cdot tg\varphi_{см2}.$$

9. Определяют расчетную реактивную нагрузку по первой группе приемников в зависимости от  $n_э$ :

при  $n_{э1} \leq 10$  значение  $Q_{р1} = 1,1 \cdot Q_{см1}$ ;

при  $n_{э1} > 10$  значение  $Q_{р1} = Q_{см1}$ .

10. Определяют расчетную реактивную нагрузку по второй группе по формуле (1.19):

$$Q_{p2} = Q_{cm2}.$$

11. Суммируют расчетные реактивные нагрузки обеих групп:

$$Q_p = Q_{p1} + Q_{p2}.$$

12. Определяют полную расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2}. \quad (11.21)$$

Значение полной расчетной мощности  $S_p$  полученное по данной методике расчета, относится к получасовому максимуму и может быть использовано для выбора проводников, кабелей, шин и т. п. с постоянной времени нагрева  $T_0 \leq 10$  мин.

Для участков электрических сетей, сечения которых превышает 25-35 мм<sup>2</sup>,  $T_0 > 10$  мин, поэтому расчетные нагрузки следует определять не по получасовому максимуму, а по максимуму большей продолжительностью. В этих случаях коэффициент максимума продолжительностью  $t$  определяют по формуле

$$k_{\max t} = 1 + \frac{k_{\max} - 1}{\sqrt{\alpha}}, \quad (11.22)$$

где  $\alpha = \frac{t}{30}$ .

Интервалы определения  $t$  принимают кратным 30 мин, т. е. 60, 90, 120, 150 мин. Тогда соответственно  $\sqrt{\alpha} = 1,41; 1,73; 2,0; 2,24$ .

При  $T_0 > 10$  мин в качестве расчетной нагрузки принимается:

$$P_{p.t} = P_p \cdot \frac{k_{\max t}}{k_{\max}}; \quad (11.23)$$

Без значительной погрешности можно принять:

$$S_{p.t} = S_p \cdot \frac{k_{\max t}}{k_{\max}}. \quad (11.24)$$

### Пример 11.5

Определить расчетную полную нагрузку центральной ремонтной мастерской (ЦРМ) хозяйства по ремонту и обслуживанию 100 тракторов. В мастерской находится следующее оборудование:

1. Станки токарно-винторезные - 2 шт. мощностью по 10,9 кВт каждый.
2. Станок вертикально-сверлильный - 3,1 кВт.
3. Станок обдирочно-шлифовальный - 4,6 кВт.
4. Станок универсальный фрезерный - 9,3 кВт.
5. Станки настольные сверлильные - 4 шт. мощностью по 0,6 кВт каждый.
6. Молот кузнечный - 7 кВт.
7. Стенд обкаточно-тормозной - 55 кВт.
8. Стенд для испытания гидроагрегатов - 22 кВт.
9. Стенды универсальные для испытания различных узлов тракторов - 4 шт. мощностью по 4 кВт каждый.
10. Стенды для притирки клапанов, раскоксовывания форсунок - 2 шт. мощностью по 1,5 кВт каждый.
11. Комплект оснастки для ремонта рукавов высокого давления - 4,7 кВт.
12. Стенд для обкатки основных узлов - 15 кВт.
13. Установки для резки листового металла, заготовок, древесины - 3 шт. по 2,2 кВт каждая.
14. Установка для промывки системы смазки - 10 кВт.
15. Компрессоры - 2 шт. по 5,2 кВт каждый.
16. Краны одноблочные при  $ПВ = 25\%$  - 2 шт. по 5,7 кВт.
17. Пост сварочный - 9,6 кВт.
18. Вентиляторы - 2 шт. по 7,5 кВт каждый.
19. Насосы водоснабжения - 2 шт. по 13 кВт каждый.
20. Освещение мастерской - 15 кВт.

#### Решение

1. Разделим все электроприемники на две группы. К первой группе отнесем электроприемники с переменным режимом работы ( $k_{и} < 0,6$ ): станки, стенды, краны, сварочный пост, молот кузнечный. Ко второй группе отнесем электроприемники с практически постоянным режимом работы ( $k_{и} \geq 0,6$ ): компрессоры, вентиляторы, насосы водоснабжения, освещение.

2. Определим активные сменные нагрузки по каждой группе токоприемников.

Мощность кранов приведем к  $ПВ=1$ :

$$P_{н16} = P_{н} \cdot \sqrt{ПВ} = (5,7 \cdot \sqrt{0,25}) \cdot 2 = 5,7 \text{ кВт.}$$

Общая мощность одинаковых по технологическим признакам электроприемников определяется произведением мощности одного на их количе-

ство: мощность группы электроприемников - путем сложения мощностей отдельных электроприемников группы, а итоговый результат получается после сложения мощностей групп.

Суммарная номинальная мощность электроприемников первой группы равна:

$$\sum_1^n P_{н1} = 21,8 + 3,1 + 4,6 + 9,3 + 2,4 + 7 + 55 + 22 + 16 + 3 + 4,7 + 15 + 6,6 + 10 + 5,7 + 9,6 = 195,8 \text{ кВт.}$$

Суммарная номинальная мощность электроприемников второй группы равна:

$$\sum_1^n P_{н2} = 10,4 + 15 + 26 = 51,4 \text{ кВт.}$$

Осветительная нагрузка суммируется с нагрузкой обеих групп отдельно.

С целью упрощения расчетов эффективного числа электроприемников  $n_э$ , исключим электроприемники, номинальная мощность которых не превышает 5 % суммарной номинальной мощности всей группы.

По первой группе:

$$\sum_1^n P_{н1} \cdot 0,05 = 195,8 \cdot 0,05 = 9,79 \text{ кВт.}$$

По второй группе:

$$\sum_1^n P_{н2} \cdot 0,05 = 51,4 \cdot 0,05 = 2,57 \text{ кВт.}$$

Исключим только из первой группы электроприемники, мощность которых меньше 9,79 кВт. Результаты расчетов заносим в табл. 11.10.

Определим значение  $m$ :

для первой группы:

$$m = \frac{P_{н.\max}}{P_{н.\min}} = \frac{55}{10} = 5,5 > 3;$$

для второй группы:

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мин}} = \frac{13}{5,2} = 2,5 \langle 3.$$

По табл. 1.10 определяем коэффициент использования для каждого вида электроприемников. Результат занесем в табл. 1.10.

Коэффициент использования группы электроприемников определяется по формуле

$$k_{и} = \frac{\sum_1^n k_{и} \cdot P_{н}}{\sum_1^n P_{н}}.$$

Тогда для первой группы

$$k_{и1} = \frac{0,14 \cdot 21,8 + 0,22 \cdot (55 + 22 + 15 + 10)}{21,8 + 55 + 22 + 15 + 10} = 0,21;$$

для второй группы

$$k_{и1} = \frac{0,65 \cdot (10,4 + 15,0 + 26,0)}{10,4 + 15,0 + 26,0} = 0,65.$$

По формуле (11.11) суммарная активная нагрузка по каждому виду потребителей за наиболее загруженную смену:

$$P_{см} = k_{и} \cdot \sum_1^n P_{н}.$$

По станкам:

$$P_{см.с} = 0,14 \cdot 21,8 = 3,05 \text{ кВт.}$$

По стандам:

$$P_{см.ст} = 0,22 \cdot (55 + 22 + 15) = 20,24 \text{ кВт.}$$

По установкам:

$$P_{см.у} = 0,22 \cdot 10 = 2,2 \text{ кВт.}$$

Суммарная активная нагрузка по первой группе электроприемников:

$$P_{\text{см.1}} = P_{\text{см.с}} + P_{\text{см.ст}} + P_{\text{см.у}} = 3,05 + 20,24 + 2,2 = 25,49 \text{ кВт.}$$

Суммарная активная нагрузка по второй группе электроприемников:

$$P_{\text{см2}} = k_{\text{и}} \cdot \sum_1^n P_{\text{н}} = 0,65 \cdot (10,4 + 15,0 + 26,0) = 33,41 \text{ кВт.}$$

3. Определим для каждой группы эффективное число электроприемников.

1-я группа.

Так как  $m > 3$  и коэффициент использования  $k_{\text{и}} > 0,2$ , то по формуле (1.15):

$$n_{\text{э1}} = \frac{2 \sum_1^n p_{\text{н.i}}}{P_{\text{н.мак}}} = \frac{2 \cdot 139,8}{55} = 5.$$

2-я группа.

Так как  $m < 3$ , то  $n_{\text{э2}} = n = 6$ .

4. По табл. 1.9 в зависимости от  $n_{\text{э1}} = 5$  и  $k_{\text{и1}} = 0,21$  определим для первой группы электроприемников коэффициент максимума нагрузки  $k_{\text{мак1}} = 2,04$ .

Для второй группы электроприемников  $k_{\text{мак2}} = 1$ .

5. По формуле (1.8) расчетная активная нагрузка 1-й группы:

$$P_{\text{р1}} = k_{\text{мак1}} \cdot k_{\text{и1}} \cdot \sum_1^n p_{\text{н1}} = 2,04 \cdot 0,21 \cdot 139,8 = 59,89 \text{ кВт.}$$

2-й группы:

$$P_{\text{р2}} = k_{\text{мак2}} \cdot k_{\text{и2}} \cdot \sum_1^n p_{\text{н2}} = 1 \cdot 0,65 \cdot 51,4 = 33,41 \text{ кВт.}$$

6. Расчетная нагрузка осветительных электроприемников по формуле (11.20):

$$P_{\text{р.о}} = k_{\text{с.о}} \cdot P_{\text{н.о}} = 0,95 \cdot 15 = 14,25 \text{ кВт.}$$

7. Суммарная расчетная активная нагрузка обеих групп:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} = 59,89 + 33,41 = 93,3 \text{ кВт.}$$

8. Реактивная нагрузка за максимально загруженную смену по каждому виду электроприемников первой группы определим по формуле

$$Q_{см1} = P_{см1} \cdot tg\varphi_{см1}.$$

По станкам:

$$Q_{см.с} = P_{см.с} \cdot tg\varphi_c = 3,05 \cdot 1,33 = 4,06 \text{ квар.}$$

По стандам:

$$Q_{см.ст} = P_{см.ст} \cdot tg\varphi_{ст} = 20,24 \cdot 1,17 = 23,68 \text{ квар.}$$

По установкам:

$$Q_{см.у} = P_{см.у} \cdot tg\varphi_y = 2,2 \cdot 1,17 = 2,57 \text{ квар.}$$

Суммарная реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену по первой группе электроприемников будет равна сумме нагрузок по каждому виду:

$$Q_{см.1} = Q_{см.с} + Q_{см.ст} + Q_{см.у} = 4,06 + 23,68 + 2,57 = 30,31 \text{ квар.}$$

Для второй группы электроприемников расчет ведется аналогично.  
Для компрессоров:

$$Q_{см.к} = P_{см.к} \cdot tg\varphi_k = 6,76 \cdot 0,75 = 5,07 \text{ квар.}$$

Для вентиляторов:

$$Q_{см.в} = P_{см.в} \cdot tg\varphi_v = 9,75 \cdot 0,75 = 7,81 \text{ квар.}$$

Для насосов:

$$Q_{см.н} = P_{см.н} \cdot tg\varphi_n = 16,9 \cdot 0,75 = 12,67 \text{ квар.}$$

Суммарная реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену по второй группе электроприемников:

$$Q_{\text{см.2}} = Q_{\text{см.к}} + Q_{\text{см.в}} + Q_{\text{см.н}} = 5,07 + 7,81 + 12,67 = 25,05 \text{ квар.}$$

9. Определим расчетную реактивную нагрузку. Так как в первой группе электроприемников  $n_{\text{э1}} < 5$ , то по формуле (11.16):

$$Q_{\text{р1}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см1}} = 1,1 \cdot 30,31 = 33,34 \text{ квар.}$$

Для второй группы по формуле (11.19):

$$Q_{\text{р2}} = Q_{\text{см2}} = 25,05 \text{ квар.}$$

Суммарная расчетная реактивная нагрузка

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{р1}} + Q_{\text{р2}} = 33,34 + 2505 = 58,39 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка по каждой группе электроприемников определяется по формуле (11.21).

По первой группе электроприемников:

$$S_{\text{р1}} = \sqrt{P_{\text{р1}}^2 + Q_{\text{р1}}^2} = \sqrt{59,89^2 + 33,34^2} = 68,54 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

по второй группе:

$$S_{\text{р2}} = \sqrt{P_{\text{р2}}^2 + Q_{\text{р2}}^2} = \sqrt{33,41^2 + 25,05^2} = 41,758 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Определим полную расчетную нагрузку по центральной ремонтной мастерской хозяйства. По формуле (11.21):

$$S_{\text{р}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + P_{\text{р.о}})^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{(93,3 + 14,25)^2 + 58,39^2} = 122,38 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Таблица 11.10

## Расчет электрических нагрузок

Группы электроприемников	Количество ЭП, $n$	Номинальная мощность, кВт		$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мин}}$	$k_{и}$	$\frac{\cos \varphi}{tg \varphi}$	Суммарная среднесменная нагрузка		$P_{э}$	$k_{м}$	Максимальная нагрузка		Полная нагрузка $S_p$ , кВт·А
		одного ЭП	общая				$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар			$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	
Первая группа электроприемников													
1. Станки	2	10,9	21,8		0,14	0,6/1,33	3,05	4,06					
2. Стенды	1	55,0	55,0		0,22	0,65/1,17	20,24	23,68					
	1	22,0	22,0										
	1	15,0	15,0										
3. Установки	1	10,0	10,0		0,22		2,20	2,57					
Всего	6	55,0/10,0	139,8	5,5	0,21	—	25,49	30,31	5	2,04	59,89	33,34	68,54
Вторая группа электроприемников													
5. Компрессоры	2	5,2	10,4		0,65	0,8 /0,75	6,76	5,07					
6. Вентиляторы	2	7,5	15,0				9,75	7,81					
7. Насосы водо- снабжения	2	13,0	26,0				16,90	12,67					
Всего	6	13,0/5,2	51,4	2,5	0,65	—	33,41	25,05	6	1	33,41	25,05	41,76
8. Освещение			15,0								14,25		
Итого	12		206,2		0,31	—	58,90	55,36			107,55	58,39	122,38

#### **11.2.4. Определение расчетной нагрузки на проектируемых объектах по данным замеров нагрузок на работающих объектах, идентичных проектируемым**

При наличии замеров на полностью введенных в строй объектах, идентичных проектируемым, расчетная нагрузка в проекте принимается по данным замеров, а не по расчетам.

Для получения полной нагрузки в кВ·А используется табл. 11.11, в которой коэффициент мощности  $\cos \varphi$  приводится в зависимости от соотношения суммы установленной мощности электродвигателей  $P_d$  к сумме установленной мощности всех электроприемников  $P_0$ , участвующих в максимуме нагрузок.

*Таблица 11.11*

#### **Значение естественного коэффициента мощности для выбора компенсирующих устройств и получения нагрузок в кВ·А**

$P_d / P_0$	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53
$\cos \varphi$	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86

При использовании электроэнергии на тепловые нужды (более 60 % по установленной мощности)  $\cos \varphi$  определяется по соотношению суммы установленных мощностей нагревательных электроприемников  $P_n$  и суммарной установленной мощности всех электроприемников  $P_0$ . Эти данные приведены в табл. 11.12.

*Таблица 11.12*

#### **Значение коэффициента мощности при использовании электроэнергии на тепловые нужды**

$P_n / P_0$	0,63	0,68	0,73	0,78	0,85	0,95
$\cos \varphi_i$	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99

Нагрузки резервных электроприемников, ремонтных сварочных трансформаторов и других ремонтных электроприемников, а также приемников, работающих кратковременно (пожарных насосов, задвижек, вентилях, шиберов и др.), при определении расчетных нагрузок и величины естественного коэффициента мощности не учитываются.

### Задание 11

Требуется определить расчетную полную нагрузку ремонтных мастерских агропредприятия. В ремонтных мастерских установлено следующее оборудование, представленное в таблице 2

Таблица 11.13

#### Варианты заданий

Наименование оборудования	Вариант мощности, кВт									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Станок токарный	2,2	3,1	3,5	4,2	5,1	4,6	4,9	7,5	4	110,5
2. Станок сверлильный	3,1	3,5	4,5	10,9	12	12,1	15	15,5	11	11,3
3. Долбежный станок	4,6	4,8	4,0	5,5	7,5	11	11,5	18,0	18,5	21
4. Центровочный станок	9,3	9,5	10	10	11	3,5	4,5	4,0	10,5	11
5. Молот кузнечный	5	5,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,3	9,5	10	10,5
6. Универсально-фрезерный станок	7,5	7,5	10	11	11,5	17,5	18,5	19	21	21,5
7. Револьверный станок	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	55,5
8. Стенд обкаточно-тормозной	50	55	45	48	50	52	56	57	58	70
9. Стенд испытательный	11,5	13,5	13,5	21	22	21,5	17,5	18,5	21	22
10. Стенд для обкатки основных узлов	11	11,5	14	14,5	18	18,5	19,1	20,1	21	23
11. Установка для резки металла	1,1	1,7	1,9	18	2,0	3,5	1,1	1,5	2,0	2,2
12. Компрессор	5,1	5,3	5,6	5,7	5,0	5,5	6,5	6,0	7,5	7,0
13. Кран одноблочный при ПВ=25%	3,1	3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	4,5	4,6	4,7	5,0
14. Сварочный трансформатор	9,0	9,2	9,5	10,5	10	11	11,5	12,5	13,5	15
15. Вентилятор	7,0	7,5	8,5	11	11	6,5	5,5	3,5	4,1	4,5
16. Насосы водоснабжения	11	11,2	12	12,2	13	14	14,5	15	15,5	11,5
17. Освещение ремонтных мастерских	10	12	12	14	15	16	17	18	19	20

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радкевич, В.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие / В.Н. Радкевич. – Мн.: НП ООО "Пион", 2001. – 292 с.
2. Правила устройства электроустановок / Министерство топлива и энергетики РФ. – 6-ое издание перераб. и доп. – М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. – 608 с.
3. Правила устройства электроустановок. - 7-ое издание. Раздел 1, 6, 7. – М.: ЗАО "Энергосервис", 2002. – 280 с.
4. Правила устройства электроустановок. - 7-ое издание. Раздел 1, 2, 4. – М.: ЗАО "Энергосервис", 2003. – 421 с.
5. Кравчик, А.Э. Выбор и применение асинхронных двигателей / А.Э. Кравчик и др. – М.: Энергоиздат, 1987. – 96 с.
6. М/у № 2168. Ус, А.Г. Технические сведения об оборудовании. Часть 1. Асинхронные двигатели, источники света, светильники, аппараты и распределительные устройства напряжения до 1 кВ, провода, кабели, шинопроводы, конденсаторные установки / А.Г. Ус, О.Г. Широков. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 1997. – 92 с.
7. М/у № 2826. Ус, А.Г. Технические сведения об оборудовании. Часть 2 / А.Г. Ус, О.Г. Широков, Т.В. Алферова. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 1997. – 92 с.
8. М/у № 2539. Ус, А.Г. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: практическое пособие / А.Г. Ус, Т. В. Алферова. - Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2001. – 19 с.
9. Белорусов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры: справочник / Н.И. Белорусов и др. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий: СН 357-77. - М.: Стройиздат, 1977. – 96 с.
11. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК364-5-52-93). – 17 с.
12. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники. ГОСТ 30331.10-2001 (МЭК364-5-54-80). – 9 с.
13. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий: СН 174-74. – М.: Стройиздат, 1976. – 56 с.
14. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий: Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – М.: ВНИПН "Тяэпромэлектропроект", 1993. - № 2. - С. 24-53.

15. Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Винославский, А.В. Проховник и др. – Киев: Вища школа, 1987. – 360 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения /под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова, А.Г. Смирнова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Д.Г. Барыкина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.
18. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
20. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. –448 с.
21. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: учебное пособие / А.Г. Ус, Л.И. Евминов. – Мн.: НПООО "Пион", 2002. – 457 с.
22. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. - М.: Изд-во стандартов, 1987.
23. Основы построения промышленных электрических сетей / Г.М. Каялов и др. - М.: Энергия, 1978. –352 с.
24. ГОСТ 21.613-88. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи. – М., 1988.
25. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /под ред. Ю.Г. Барыкина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.
26. Миронов, Ю.М. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок / Ю.М. Миронов, А.Н. Миронова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 376 с.
27. Коновалова, Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Л.Л. Коновалова, Л.Д. Ропекова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
28. Мукосеев, Д.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Д.Л. Мукосеев. – М.: Энергия, 1973. – 584 с.
29. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева.– М: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
30. М/у №2573. Прокопчик, В.В. Канализация электроэнергии по территории предприятия: практическое руководство / В.В. Прокопчик. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2001. –27 с.

31. Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Д. Липкин.– М.: Высшая школа, 1986. – 400 с.

32. М/у № 2374. Алферова, Т.В. Учебно-методическое пособие по оформлению курсовых проектов по курсу "Основы ЕСКД в энергетике" / Т.В. Алферова, О.М. Попова, Н.В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 1999. – 48 с.

33. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Мн.: Изд-во стандартов, 1998. – 30 с.

34. Электрические комплектные устройства. Каталог "Иносат-2004". – М.: ЗАО "Юнипак", 2004. – 117 с.

35. Оборудование на напряжение 10(6) – 35 кВ. Каталог "Иносат-2004". – М.: ЗАО "Юнипак", 2004. – 57 с.

36. Комплектные трансформаторные подстанции 6(10)/0,4 кВ. Каталог ОАО "Самарский завод "Электроштит". – М.: 2004. – 48 с.

#### Дополнительная литература

1. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Ноябрь, 1981 // Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,35-110 кВ сельскохозяйственного назначения. - М.: Сельэнергопроект, 1981.

2. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / под ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1980.

3. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1977.

4. Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев. - М.: Энергия, 1973.

5. Загоровский, Е.Н. Электроснабжение промышленных предприятий / Е.Н. Загоровский, Ш.Ш. Речин. - Мн.: Высшая школа, 1974.

6. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Ноябрь, 1985 // Альбом типовых графиков электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей и сетей. - М.: Сельэнергопроект, 1985.

7. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. Вып. 6. - М.: Энергия, 1968.

8. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергия, 1979.
9. Волобринаекый, С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий / С.Д. Волобринаекый. - Л.: Энергия, 1976.
10. Волобринский, С.Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов и др. - Л.: Энергия, 1971.
11. Шурыгин, В.В. Применение ЭЦВМ "Проминь" для расчетов электрических нагрузок промышленных предприятий // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. Вып. 8 / В.В. Шурыгин, И.Д. Розов. - М.: Энергия, 1972.
12. Справочник по электропотреблению в промышленности / под ред. Г.П. Минина, Ю.В. Копытова. - М.: Энергия, 1978.
13. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кнорринга. - Л.: Энергия, 1976.
14. Лозовский, Л.И. Проектирование электрического освещения / Л.И. Лозовский. - Мн.: Вышэйшая школа, 1976.
15. Будько, И.А. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов / И.А. Будько, М.С. Левин. - М.: Агропромиздат, 1985.
16. Будько, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будько, Н.М. Зуль. - М.: Агропромиздат, 1990.
17. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / под ред. Я.М. Болынама, В.И. Круповича, М.Л. Самовсра. - М.: Энергия, 1974.
18. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей / под ред. В.М. Блок. - М.: Высшая школа, 1981.
19. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций // Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. - М.: Энсргоатомиздат, 1989.
20. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / под ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна. - М.: Энергия, 1980.
21. Правила устройства электроустановок. - 6-ое изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
22. Проектирование промышленных электрических сетей / под ред. В.И. Круповича. - М.: Энергия, 1979.
23. Князевский, Б.А. Монтаж и эксплуатация промышленных электроустановок / Б.А. Князевский, Л.Е. Трунковский. - М.: Высшая школа, 1975.
24. Зевакин, А.И. Монтаж комплектных шинопроводов до 1000 В / А.И. Зевакин. - М.: Энергия, 1974.
25. Бенерман, В.И. Проектирование силового электрооборудования промышленных предприятий / В.И. Бенерман, Н.Н. Ловцкий. - М.:

Юсэнерго-издат, 1960.

26. Справочник по проектированию электропривода силовых и осветительных установок / под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовсра. - М.: Энергия, 1974.

27. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского и др. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

28. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве: справочник / под ред. П.Н. Листова. - М.: Колос, 1974.

29. Боровиков, В.А. Электрические сети и системы / В.А. Боровиков, Г.А. Ходот. - Л.: Энергия, 1968.

32. Веников, В.А. Экономические интервалы для выбора оптимальных вариантов энергетических объектов и их применение при технико-экономических расчетах электропередач / В.А. Веников, Ю.А. Астахов. - М.: Известия АН СССР. Энергетика и автоматика, 1962. - № 3.

33. Блок, В.М. Электрические сети и системы: учебное пособие для вузов / В.М. Блок. - М.: Высшая школа, 1986.

34. Найфельд, М.Р. Сопротивления трансформаторов в режиме однофазного замыкания в сетях напряжением до 1000 В / М.Р. Найфельд, П.И. Спеваков // Промышленная энергетика. – 1968. - № 11.

36. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Ноябрь, 1981 // Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. - М.: Сельэнергопроект, 1981.

37. Зельцбург, Л.М. Экономика электроснабжения промышленных предприятий / Л.М. Зельцбург. - М.: Высшая школа, 1973.

38. Гительсон, С.М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий / С.М. Гительсон. - М.: Энергия, 1971.

41. Акимцев, Ю.И. Электроснабжение сельского хозяйства / Ю.И. Акимцев, Б.С. Веялис. - М.: Колос, 1983.

42. Основы построения промышленных электрических сетей / под ред. Г.М. Каялова - М.: Энергия, 1978.

43. Каялов, Г.М. Геометрические принципы размещения цеховых подстанций / Г.М. Каялов, Г.А. Балабанян // Электричество. – 1972. - № 8.

44. Каялов, Г.М. Построение конфигурации воздушной электрической сети на основе геометрического решения общей проблемы Штейн-сра / Г.М. Каялов, А.Э. Каждая // Известия вузов. Электромеханика. – 1967. - № 1.

45. Электротехнический справочник. Т. I, II, III / под ред. П.Г. Грудинского, Г.Н. Петрова и др. - М.: Энергия, 1974-1975.

46. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Т. 1. / под ред. А.Л. Федорова, Г.В. Сербиновского. - М.: Энергия, 1973.

47. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Сентябрь, 1986 // Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. - М.: Сельэнергопроект, 1986.

48. Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения и дизельных электростанций. - М.: Сельэнергопроект, 1974.

49. Чернобровое, Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровое. - М.: Энергия, 1974.

50. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Август, 1987 // Методические указания по выбору установленной мощности силовых трансформаторов на одно- и двухтрансформаторных подстанциях в электрических сетях сельскохозяйственного назначения. - М.: Сельэнергопроект, 1987.

51. Рунов, Ю.А. Центр лучевой электрической сети / Ю.А. Рунов // Известия вузов. Энергетика. – 1996. - №7, 8.

52. Рунов, Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю.А. Рунов. – Мн.: "Ураджай", 1998. – 272 с.

Учебно - методическое пособие

**Грунтович Надежда Владимировна  
Маркарянц Лариса Михайловна**

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 2016 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага печатная. Усл. п. л. 6,33. Тираж 200 экз. Изд. №.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета.  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ