

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03**

**«Электроснабжение (по отраслям)»,
специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение
промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2011

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.294я73
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 28.06.2011 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Информационные технологии»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Токочаков*

Э45 **Электроснабжение** промышленных предприятий : практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» днев. и заоч. форм обучения / А. Г. Ус [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 244 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основные понятия электроснабжения: электрические нагрузки; определение расхода электроэнергии, потерь мощности и энергии в системах электроснабжения; расчет силовых и осветительных сетей систем электроснабжения; проектирование систем электроснабжения.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.294я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

1. ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

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.

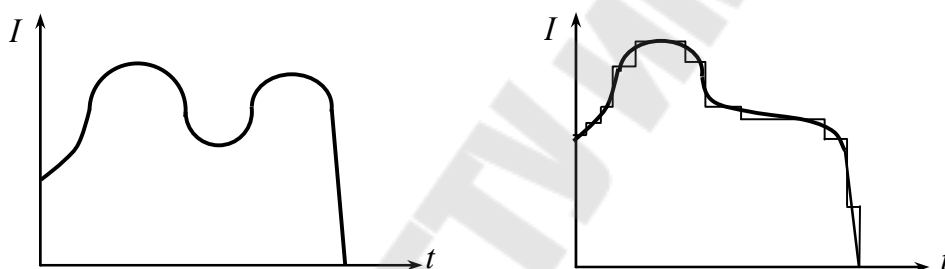


Рис. 1.1. Графики нагрузки:
а – непрерывный; б – дискретный

Для решения практических задач электроснабжения непрерывный график заменяют дискретным (рис. 1.1, б). Он может быть получен при помощи счетчиков электрической нагрузки.

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), но учитывая, что они формируются отдельными электроприемниками, необходимо рассмотреть индивидуальные графики нагрузки (ИГН). Различают 4 вида ИГН (рис. 1.2):

- периодические;
- циклические;
- нециклические;

– нерегулярные.

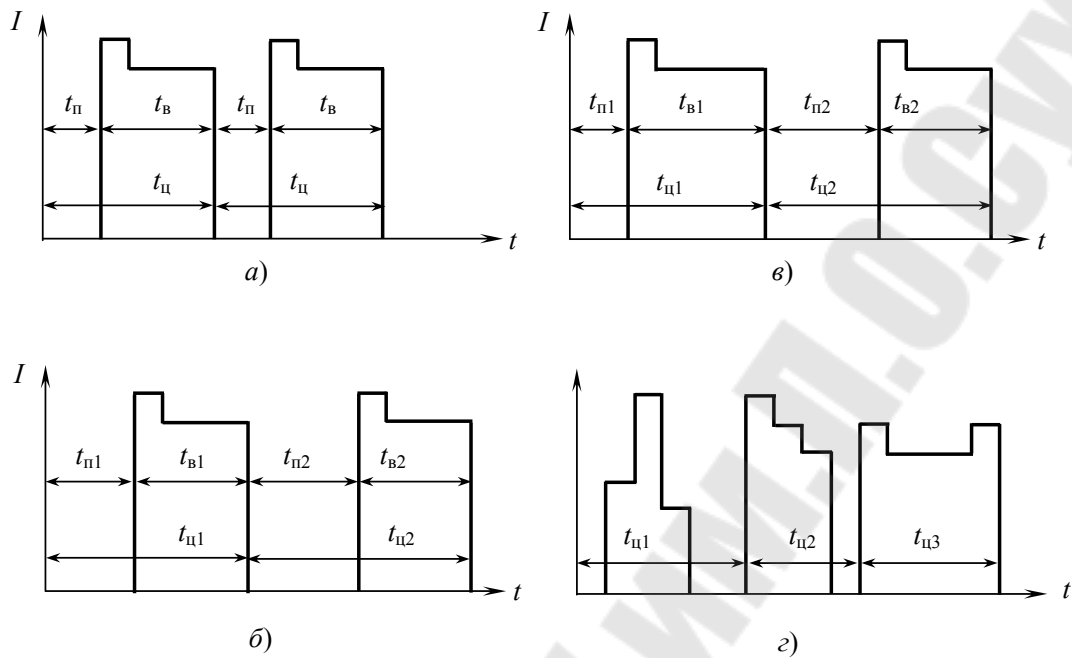


Рис. 1.2. Индивидуальные графики нагрузки различных типов:
 а – периодические; б – циклические; в – нециклические; з – нерегулярные

Периодические графики (рис. 1.2, а) отвечают строго ритмичному производству с одинаковыми токами и временем $t_{\text{п}}$, $t_{\text{в}}$, $t_{\text{ц}}$ за разные циклы:

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

Такие графики имеют, например, отдельные станки в автоматических поточных линиях.

Циклические графики (рис. 1.2, б) характерны для электроприемников поточных линий, где имеются ручные операции, например, установка, подгонка деталей, их съем и т. д. Время пауз $t_{\text{п}}$ и циклов $t_{\text{ц}}$ у таких графиков за разные циклы не равны и изменяются по случайному закону:

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

Нециклические графики (рис. 1.2, в) имеют электроприемники, когда выполняемые ими операции строго не регламентированы, например, станки на ремонтных участках. В этом случае $t_{\text{в}}$, $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{ц}}$ являются случайными, меняется и величина нагрузки от цикла к циклу. При этом нецик-

личный график, подобно периодическому и циклическому, характеризуется стабильностью потребления электроэнергии за среднее время цикла:

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

Нерегулярные графики (рис. 1.2, з) встречаются редко. Их имеют электроприемники, которые обслуживают технологические процессы с неустановившимся характером. При этом условие стабильности потребления электроэнергии уже не соблюдается:

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

Например, электропривод для бурения скважин большой глубины будет создавать нерегулярный график нагрузки, так как твердость породы и ее толщина все время меняются.

Для групповых графиков нагрузки степень регулярности определяется не только типами составляющих его индивидуальных графиков, но и взаимозависимостями нагрузок отдельных электроприемников.

По периодичности различают следующие типы групповых графиков нагрузки:

- нерегулярные;
- почти периодические.

Физические величины графиков нагрузки

Физические величины, характеризующие графики электрических нагрузок, следующие:

1. P_c – средняя нагрузка (Q_c, S_c, I_c);
2. $P_{ск}$ – среднеквадратичная (эффektivная) нагрузка ($Q_{ск}, S_{ск}, I_{ск}$);
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):

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

На практике средняя нагрузка определяется по показаниям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул:

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

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

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

В практических целях в качестве средней нагрузки используется среднечасовая, средняя нагрузка за смену, за сутки, среднегодовая нагрузка. Для определения расчетной нагрузки используется средняя нагрузка за наиболее нагруженную смену, в качестве которой выбирается смена с наибольшим расходом электроэнергии. Средняя мощность используется также и для определения расхода электроэнергии потребителей.

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:

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

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

Понятие «среднеквадратичной нагрузки» приводит к понятиям «дисперсия нагрузки» и «стандартного отклонения нагрузки»:

$$DP = P_{\text{ск}}^2 - P_c^2; \quad DI = I_{\text{ск}}^2 - I_c^2;$$

$$\sigma_p = \sqrt{DP}; \quad \sigma_I = \sqrt{DI}.$$

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

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов. Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Ее называют пиковой нагрузкой:

$$I_{\text{пик}} > I_{\text{м}} \geq I_{\text{ск}} \geq I_{\text{с}}.$$

Пиковая нагрузка используется для расчетов релейной защиты и автоматики, выбора предохранителей и автоматических выключателей.

Из максимальной длительной нагрузки важнейшее значение имеет расчетная нагрузка. 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.

Из 2-х значений расчетной мощности используют наибольшее значение. Как правило, этим значением является нагрузка, которая обуславливает наибольший нагрев проводника над температурой окружающей среды. При этом значение расчетной мощности определяется, как:

$$P_{\text{р}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{ср.взв}}; \quad \cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

Так как нагрев проводника определяется продолжительностью нагрузки, то должны существовать определенные периоды усреднения графика нагрузки. В качестве такого периода принимается величина, равная утроенному значению постоянной времени нагрева токоведущих частей системы электроснабжения, на которые рассчитывается нагрузка:

Коэффициенты графиков нагрузки

Наряду с физическими величинами графики нагрузки описываются безразмерными коэффициентами. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют не-

равномерность графиков нагрузки, а также использование электроприемников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Рассмотрим коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

1. Коэффициент максимума графика:

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

В практике электроснабжения при определении расчетных нагрузок методом упорядоченных диаграмм, вместо коэффициента максимума используют коэффициент расчетной нагрузки:

$$k_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{k_{\text{и}} P_{\text{уст}}},$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену.

Коэффициент расчетной нагрузки определяется по справочным номограммам в зависимости от группового коэффициента использования, эффективного количества электроприемников и постоянной времени нагрева токоведущих частей:

$$k_{\text{р}} = f(k_{\text{и}}; n_{\text{с}}; T_0).$$

При этом РТМ 36.18.34.4-92 приняты следующие постоянные времени нагрева:

$T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, выполненных распределительными шинпроводами и шкафами;

$T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинпроводов, вводно-распределительных устройств и цеховых трансформаторных подстанций;

$T_0 \geq 30$ мин – для кабелей напряжением 6-10 кВ, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные

пункты. Расчетная мощность нагрузки для этих элементов определяется при $K_p = 1$.

2. Коэффициент заполнения графика:

$$k_{з.г.} = \frac{P_c}{P_m} = \frac{1}{k_m}.$$

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

3. Коэффициент формы графика:

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

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

Например, режим работы насосного агрегата привода нефтедобывающего станка-качалки, характеризуется периодическим графиком нагрузки (рис. 1.3). Коэффициент формы такого графика составляет около 2-х, что приводит к высоким потерям мощности и энергии в элементах электроснабжения данной установки. Поэтому, с целью снижения потерь, к одному источнику питания (трансформатору) подключают несколько таких агрегатов, в результате чего выравнивается групповой график нагрузки.

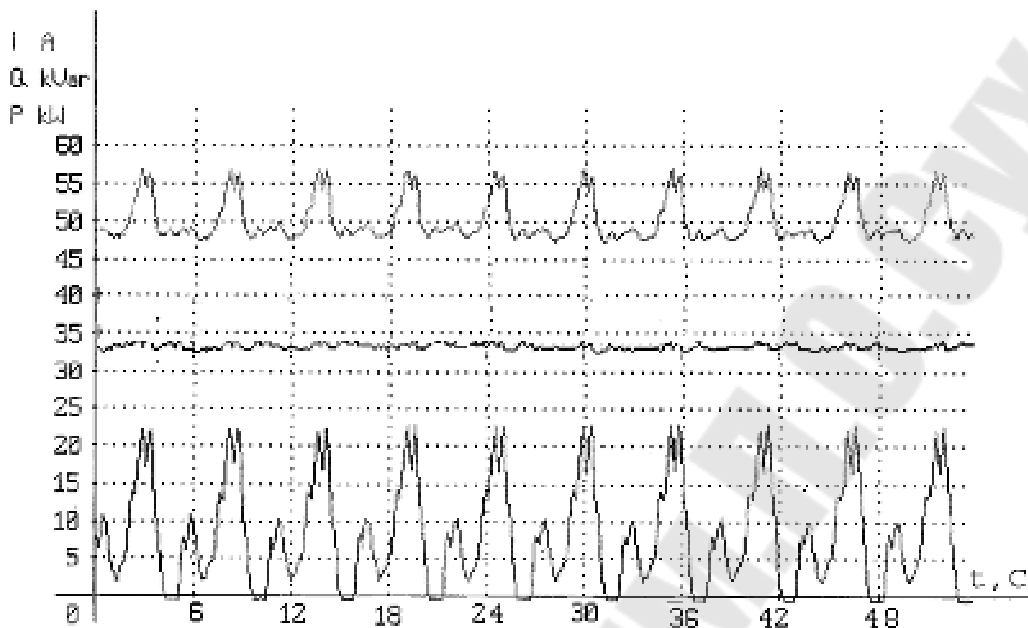


Рис. 1.3. График нагрузки агрегата нефтедобычи типа ШГН с двигателем марки Asle ($P_H = 50$ кВт, $\cos f_H = 0,85$)

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

Коэффициенты, характеризующие режимы работы приемников и потребителей электроэнергии

1. Коэффициент включения:

$$k_B = \frac{t_B}{t_B + t_0 + t_{xx}},$$

где t_B – время включения и работы электроприемников; t_0 – 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.

1. Коэффициент загрузки:

$$k_3 = \frac{P_{св}}{P_H},$$

где $P_{св}$ – средняя мощность нагрузки за время включения электроприемника:

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

где $T_{ц}$ – время цикла; T_B – время включения; P_c – средняя нагрузка за цикл или смену.

Коэффициент загрузки характеризует использование электроприемников по мощности.

3. Коэффициент использования:

$$k_{и} = \frac{P_c}{P_H}.$$

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

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

Коэффициент использования характеризует использование электроприемников по мощности и по времени – это один из основных коэффициентов, применяемых при определении расчетной нагрузки. Его значения приведены в справочниках для электрооборудования различных типов (например, для металлообрабатывающих станков, $k_{и} = 0,12 - 0,2$).

$$k_{и} = k_3 \cdot k_B.$$

4. Коэффициент спроса:

$$K_c \frac{P_p}{\sum_1^n P_{пасп,i}}; \quad K_c = K_n \cdot K_{м.г.}.$$

Несложно показать, что при известных коэффициентах могут быть определены такие необходимые для практики величины, как:

время использования максимума нагрузки T_M :

$$T_M = K_{з.г.} \cdot T.$$

Время максимальных потерь τ :

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

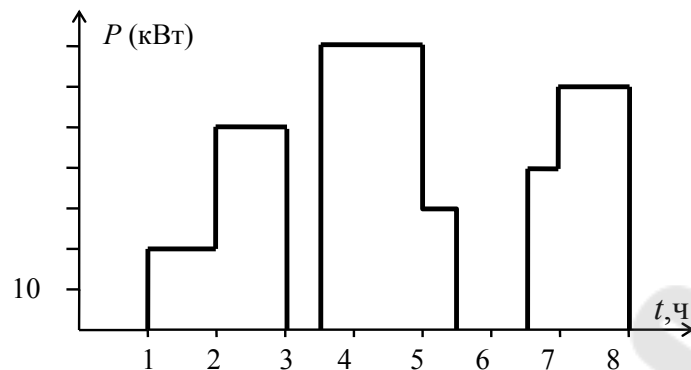
Таким образом, режимы работы потребителей электроэнергии (графики электрических нагрузок) характеризуются следующими показателями:

- средняя нагрузка P_c , среднеквадратическая (эффективная) нагрузка $P_{ск}$, максимальная нагрузка P_M ;
- коэффициент максимума $K_{м.г.}$, коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{з.г.}$; коэффициент формы графика $K_{ф.г.}$;
- коэффициент использования K_n , коэффициент загрузки $K_з$, коэффициент включения K_v , коэффициент спроса K_c .

С использованием данной системы показателей решается значительное количество задач электроснабжения:

- определение расхода электроэнергии;
- определение потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения;
- определение расчетной нагрузки и выбор токоведущих элементов электроснабжения.

ЗАДАЧА 1.1



К какому типу с точки зрения регулярности относится данный график нагрузки электроприемника?

Определить значения физических величин (P_m , P_c , $P_{ск}$), безразмерных коэффициентов графика ($k_{мг}$, $k_{зг}$, $k_{фг}$), а также коэффициенты $k_{и}$, k_3 , $k_в$ за 8-часовую смену, если номинальная мощность электроприемника $P_n=80$ кВт.

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

$$t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}, t_{в1} \neq t_{в2} \neq \text{const}, t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}, W_1 \neq W_2 \neq \text{const}.$$

2. Определим физические величины графика.

2.1. Из графика видно, что максимальная продолжительная нагрузка составляет:

$$P_{\max} = 70 \text{ кВт.}$$

2.2. Средняя нагрузка за смену для данного графика:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T} = \frac{20 + 50 + \dots + 60}{8} = 33,75 \text{ кВт.}$$

2.3. Среднеквадратичная нагрузка данного графика:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}} = \sqrt{\frac{20^2 + 50^2 + \dots + 60^2}{8}} = 43,44 \text{ кВт.}$$

3. Находим безразмерные коэффициенты графика:

а) Коэффициент максимума:

$$k_M = \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}} = \frac{70}{33,75} = 2,07;$$

б) Коэффициент заполнения графика:

$$k_{\text{з.г.}} = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\max}} = \frac{1}{K_M} = \frac{33,75}{70} = 0,48;$$

в) Коэффициент формы графика:

$$k_{\text{ф.г.}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{cp}}} = \frac{43,44}{33,75} = 1,29;$$

г) Коэффициент использования:

$$k_{\text{и}} = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{33,75}{80} = 0,42;$$

д) Коэффициент включения:

$$k_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{в}} + t_{\text{о}}} = \frac{5,5}{5,5 + 2,5} = 0,69;$$

е) Коэффициент загрузки:

$$k_{\text{з}} = \frac{P_{\text{ср.в.}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}} = \frac{33,75}{80 \cdot 0,69} = 0,61;$$

ж) Коэффициент спроса:

$$k_{\text{с}} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ном}}} = \frac{70}{80} = 0,875.$$

ЗАДАЧА 1.2

Задана группа из пяти трехфазных приемников электрической энергии напряжением 380 В, нагрузка каждого из них за смену приведена в виде графика (табл. 1.1), паспортные параметры приемников элек-

троэнергии приведены в табл. 1.2, средневзвешенный коэффициент активной мощности заданной группы электроприемников $\cos\varphi_{\text{ср.взв.}} = 0,6$.

Необходимо построить групповой график нагрузки и определить основные физические величины (среднюю, среднеквадратичную, часовую максимальную и пиковую нагрузки) и безразмерные показатели группового графика (коэффициенты использования, максимума, спроса, заполнения и формы графика).

Таблица 1.1.

Исходные данные нагрузки группы электроприемников

№ эл. приемника	Потребляемая мощность в часы смены, кВт								Средняя нагрузка, $P_{\text{ср}}$, кВт
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	
10	20	30	40	15	10	0	15	10	17,5
11	10	15	5	25	0	36	15	5	13,9
19	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0	0,35
20	5	20	4	18	2,5	0	16	2,5	8,5
26	44	71	56	23	18	0	36	20	33,5
Итого, кВт	79	136,7	105,2	82	30,6	36	82,8	37,5	73,73

Как видно из табл. 1.1, максимальная нагрузка группы электроприемников $P_{\text{max}} = 136,7$ кВт. Групповой график нагрузки представлен на рис. 1.4.

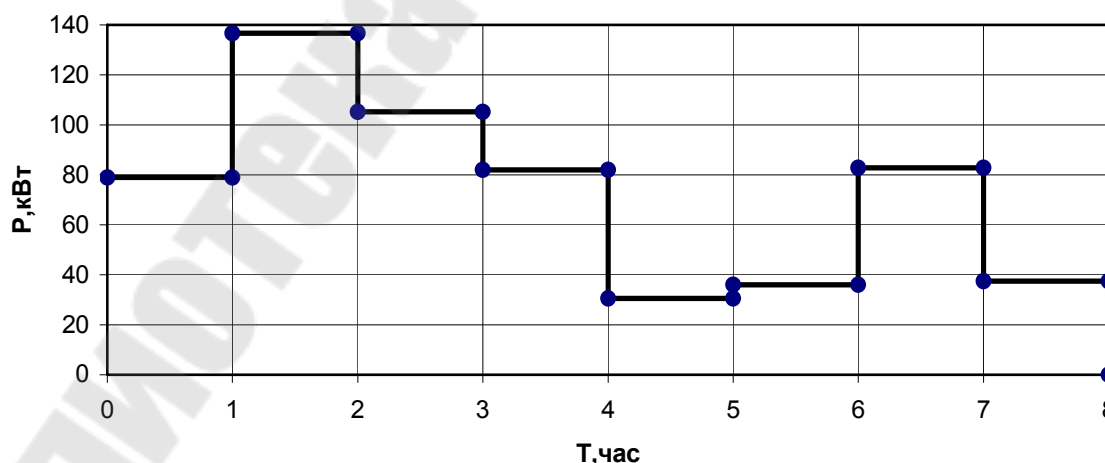


Рис. 1.4. График нагрузки заданной группы электроприемников

Таблица 1.2

Номинальные данные электроприемников группы

№ электроприемника	$S_{\text{насп}}, \text{кВт}$	$S_{\text{насп}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$\cos\varphi_n$	$\eta_n, \%$	$i_{\text{п}}/i_{\text{н}}$	ПВ, %
10	45	–	0,89	92,5	7,5	100
11	42,3	65	0,65	-	3,5	50
19	1,5	–	0,72	77	4,5	40
20	28,4	40,5	0,7	-	2	65
26	75	–	0,88	94,6	7,5	100
Итого:	192,2					

Определяем параметры группового графика нагрузки:

1.1. Часовая нагрузка группового графика $P_{\text{час}}$ определяется путем суммирования мощностей всех электроприемников в каждом интервале времени:

$$P_{\text{час}(i-j)} = P_{1(i-j)} + P_{2(i-j)} + P_{3(i-j)} + P_{4(i-j)} + P_{5(i-j)};$$

$$P_{\text{час } 0-1} = 20+10+0+5+44 = 79 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 1-2} = 30+15+0,7+20+71 = 136,7 \text{ кВт}.$$

Аналогично осуществляем расчеты для остальных интервалов. Результаты расчетов приведены в таблице 1.1.

Из полученных результатов видно, что $P_{\text{max}} = P_{\text{час } 1-2} = 136,7 \text{ кВт}$.

1.2. Средняя нагрузка за смену для данного группового графика:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_i}{n} = \frac{79 + 136,7 + 105,2 + 82 + 30,6 + 36 + 82,8 + 37,5}{8} = 73,73 \text{ кВт}.$$

Аналогично средняя нагрузка за смену определяется и для отдельных электроприемников. Результаты расчетов представлены в табл. 1.1.

1.3. Среднеквадратичная нагрузка данного группового графика:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{N}}, \text{ где } N - \text{ число часовых интервалов.}$$

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{6241 + 18686,9 + 11067 + 6724 + 936,36 + 1296 + 6855,84 + 1406,25}{8}} = 81,6 \text{ кВт.}$$

1.4. Находим безразмерные показатели группового графика:

а) Групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{73,73}{192,2} = 0,38;$$

б) Коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ср}}} = \frac{136,7}{73,73} = 1,85;$$

в) Коэффициент спроса:

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{136,7}{192,2} = 0,71;$$

г) Коэффициент заполнения графика:

$$K_{\text{з.г.}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{max}}} = \frac{1}{K_{\text{м}}} = \frac{73,73}{136,7} = 0,54;$$

д) Коэффициент формы графика:

$$K_{\text{ф.г.}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{ср}}} = \frac{81,6}{73,73} = 1,11;$$

1.5. Определяем пиковый ток:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.м}} + (I_{\text{м}} - k_{\text{и}} \cdot i_{\text{ном}}),$$

где $i_{\text{п.м}}$ – наибольший из пусковых токов электроприемников в группе;

$I_{\text{м}}$ – максимальный ток группы электроприемников; $i_{\text{ном}}$ – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током; $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования мощности электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток i -го электроприемника определяется по выражению:

$$i_{ni} = \frac{P_{наси}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_{ni} \cdot \cos \varphi_{ni}}, \text{ А,}$$

для электроприемника № 10 составит:

$$i_{n10} = \frac{45000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,925 \cdot 0,89} = 83,14 \text{ А.}$$

Для других электроприемников:

$$i_{n11} = 69,9 \text{ А; } i_{n19} = 2,6 \text{ А; } i_{n20} = 49,7 \text{ А; } i_{n26} = 137 \text{ А.}$$

Пусковые токи электроприемников: $i_{пi} = i_{ni} \cdot \frac{i_{пi}}{i_{ni}}, \text{ А;}$

$$i_{п10} = 83,14 \cdot 7,5 = 623,55 \text{ А, для остальных приемников группы:}$$

$$i_{п11} = 244,65 \text{ А; } i_{п19} = 11,7 \text{ А; } i_{п20} = 99,4 \text{ А; } i_{п26} = 1027,5 \text{ А.}$$

Определим k_u приемника № 26 с максимальным пусковым током:

$$k_u = \frac{P_{cp}}{P_{наси} \cdot \sqrt{ПВ}} = \frac{33,5}{75 \cdot \sqrt{1}} = 0,447,$$

$$\text{где: } P_{cp26} = \frac{44 + 71 + 56 + 23 + 18 + 0 + 36 + 20}{8} = 33,5 \text{ кВт;}$$

$$P_{н26} = 75 \text{ кВт из таблицы 1.5.}$$

Максимальный ток группы электроприемников:

$$I_M = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi_{ср.взв.} \cdot U_{НОМ}} = \frac{136,7}{\sqrt{3} \cdot 0,6 \cdot 0,38} = 348,4 \text{ А.}$$

Определим пиковый ток группы электроприемников:

$$I_{пик} = 1027,5 + (348,4 - 0,447 \cdot 137) = 1314,7 \text{ А.}$$

ЗАДАЧА 1.3

Для потребителя электроэнергии, график нагрузки которого за сутки представлен на рисунке 1.5, определить физические величины, безразмерные коэффициенты и показатели режимов его работы. Установленная мощность потребителя составляет 1500 кВт.

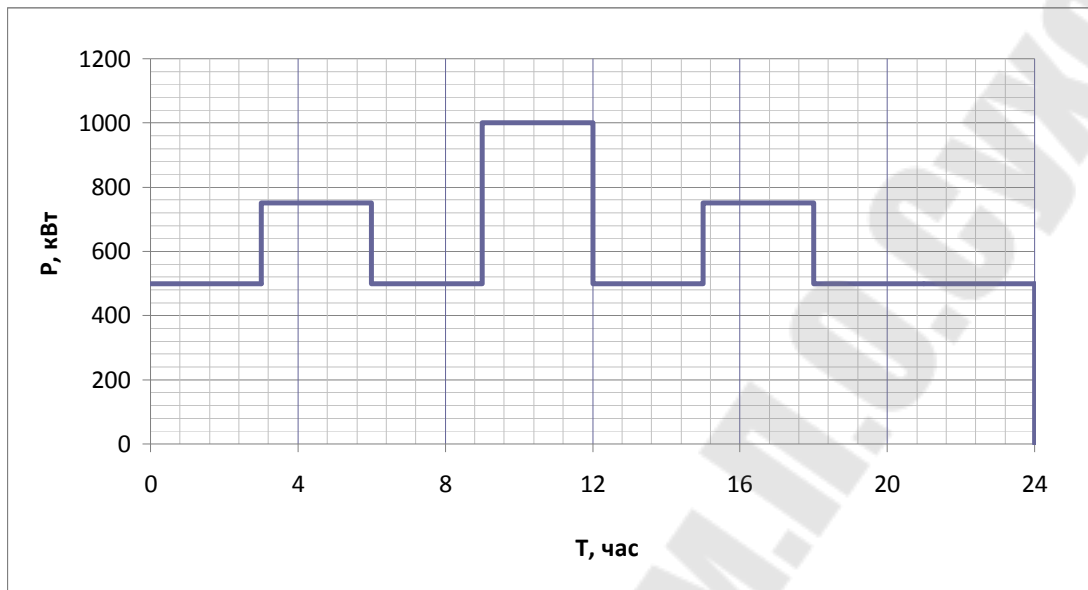


Рис. 1.5. Суточный график нагрузки потребителя электроэнергии

1. Определим физические величины графика нагрузки.

Максимальная нагрузка:

$$P_M = 1000 \text{ кВт}$$

P_M используется для выбора токоведущих элементов СЭС по условию допустимого нагрева. Такую максимальную нагрузку в электропитании называют греющим максимумом.

Средняя нагрузка:

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

P_C используется для определения расхода электроэнергии потребителя за время t .

Среднеквадратическая нагрузка:

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

$P_{СК}$ используется для определения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

2. Безразмерные коэффициенты.

Коэффициент максимума графика нагрузки:

$$K_{МГ} = \frac{P_{М}}{P_{С}} = \frac{1000}{625} = 1,6$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки

$$K_{ЗГ} = \frac{P_{С}}{P_{М}} = \frac{625}{1000} = 0,625$$

Коэффициент формы графика нагрузки:

$$K_{ФГ} = \frac{P_{СК}}{P_{С}} = \frac{649,5}{625} = 1,04$$

Чем выше $K_{ФГ}$, тем значительней потери мощности и электроэнергии в системе электроснабжения.

$$P_{М} \geq P_{СК} \geq P_{С}.$$

3. Определим показатели режима работы потребителя электроэнергии.

Коэффициент использования:

$$K_{И} = \frac{P_{С}}{P_{УСТ}} = \frac{625}{1500} = 0,42$$

$K_{И}$ характеризует использование приемников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{P_{CB}}{P_{уст}} = 0,42$$

где P_{CB} – средняя мощность за время включения:

$$P_{CB} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_B} = 625 \text{ кВт}$$

где T_B – время включения.

Коэффициент загрузки характеризует использование приемников электроэнергии по мощности.

Коэффициент включения:

$$K_B = \frac{t_B}{t_{ц}} = \frac{t_B}{t_B + t_0}$$

где $t_{ц}$ – время цикла.

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

K_B характеризует использование электроприемников по времени.

Для потребителей электроэнергии (групп электроприемников) K_5 определяется как средневзвешенное значение по отдельным электроприемникам потребителя.

Коэффициент спроса:

$$K_C = \frac{P_M}{P_{уст}} = \frac{1000}{1500} = 0,167$$

K_C используется для определения максимальной нагрузки потребителя.

Таким образом, определена система показателей, характеризующая режимы электрических нагрузок потребителей электроэнергии:

$P_M, P_C, P_{СК}$;

$K_{МГ}, K_{ЗГ}, K_{ФГ}$;

$K_И, K_3, K_B, K_C$.

Для решения задач используют систему из семи безразмерных коэффициентов, на основании которых осуществляется выбор токоведущих элементов СЭС, определяются потери мощности и электроэнергии в них, рассчитывается расход электроэнергии.

ЗАДАЧА 1.4

Для потребителя электроэнергии, график нагрузки которого за сутки представлен на рисунке 1.6, определить физические величины, безразмерные коэффициенты и показатели режимов его работы. Установленная мощность потребителей составляет 1500 кВт.

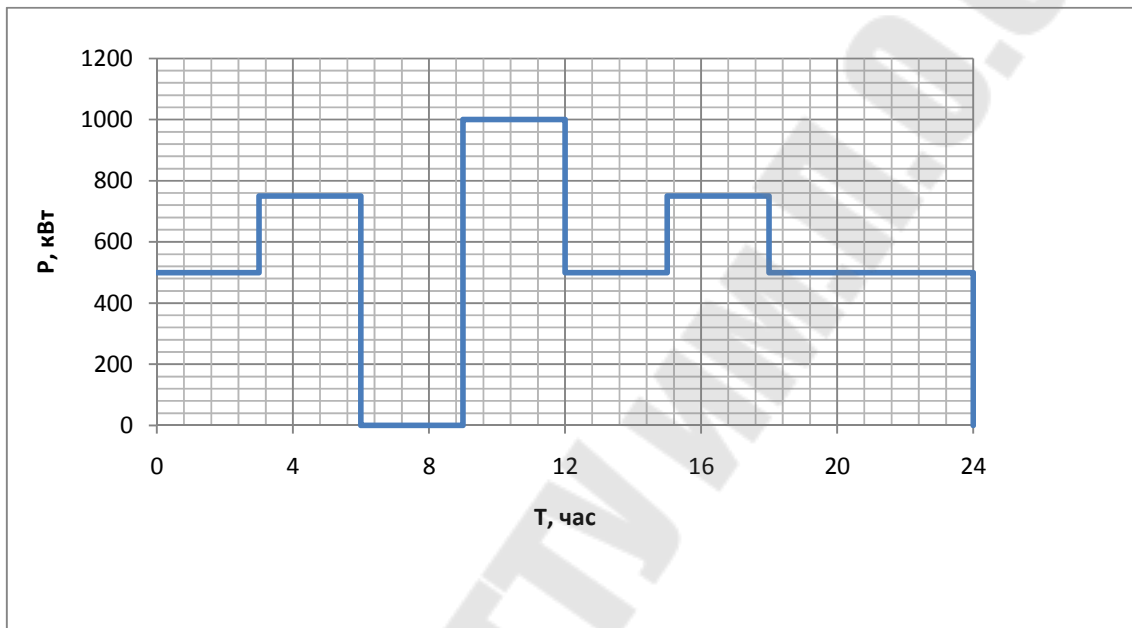


Рис. 1.6. Суточный график нагрузки потребителя электроэнергии

Средняя нагрузка:

$$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T} = \frac{500 \cdot 3 + 750 \cdot 3 + 1000 \cdot 3 + \dots + 500 \cdot 6}{24} = 562,53 \text{ кВт}$$

Среднеквадратическая нагрузка:

$$P_{CK} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}} = \sqrt{\frac{500^2 \cdot 3 + 750^2 \cdot 3 + 1000^2 \cdot 3 + \dots + 500^2 \cdot 6}{24}} = 584,63 \text{ кВт}$$

Коэффициент максимума графика нагрузки:

$$K_{MG} = \frac{P_M}{P_c} = \frac{1000}{562,53} = 1,78$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки:

$$K_{зг} = \frac{P_c}{P_M} = \frac{562,53}{1000} = 0,563$$

Коэффициент формы графика нагрузки:

$$K_{фг} = \frac{P_{ск}}{P_c} = \frac{584,63}{562,3} = 1,039$$

Коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{P_c}{P_{уст}} = \frac{562,53}{1500} = 0,375$$

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{P_{св}}{P_{уст}} = \frac{642,8}{1500} = 0,429.$$

$$P_{св} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_B} = 642,8 \text{ кВт.}$$

Коэффициент включения:

$$K_B = \frac{t_B}{t_{ц}} = \frac{t_B}{t_B + t_0} = \frac{21}{24} = 0,875.$$

Коэффициент спроса:

$$K_c = \frac{P_M}{P_{уст}} = \frac{1000}{1500} = 0,667.$$

ЗАДАЧА 1.5

Для годового графика нагрузки, представленного на рис. 1.7, определить время максимальных потерь и безразмерные показатели.

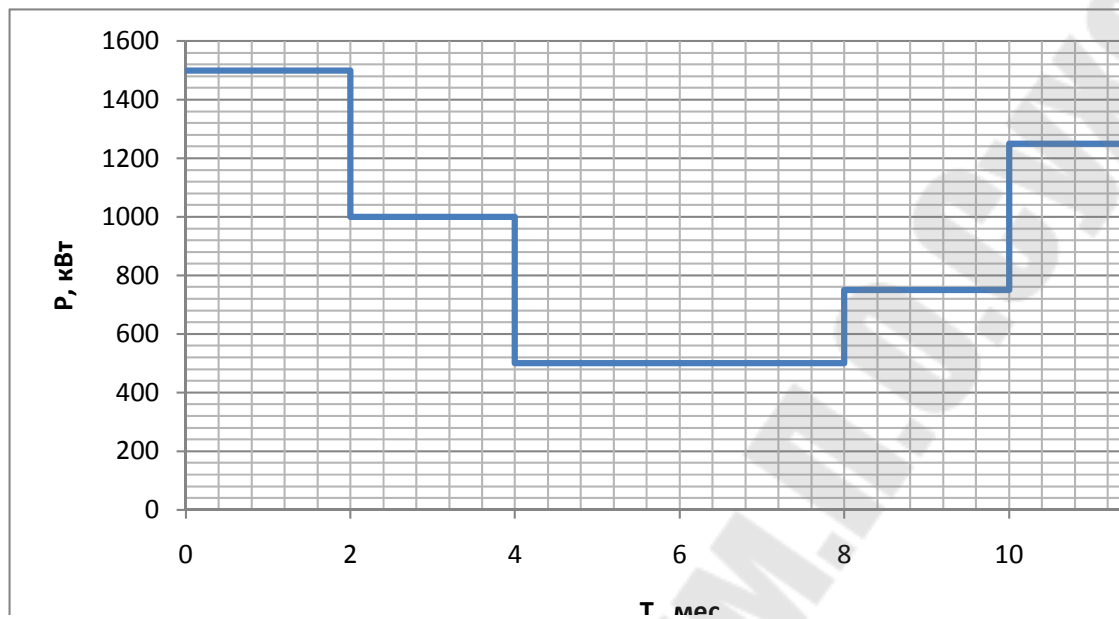


Рис. 1.7. Годовой график нагрузки потребителя электроэнергии

Средняя нагрузка:

$$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T} = \frac{1500 \cdot 2 + 1000 \cdot 2 + \dots + 1250 \cdot 2}{12} = 917 \text{ кВт}$$

Среднеквадратическая нагрузка:

$$P_{CK} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}} = \sqrt{\frac{1500^2 \cdot 2 + 1000^2 \cdot 2 + \dots + 1250^2 \cdot 2}{12}} = 1108,7 \text{ кВт}$$

Коэффициент максимума графика нагрузки:

$$K_{MG} = \frac{P_M}{P_c} = \frac{1500}{917} = 1,64$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки:

$$K_{ЗГ} = \frac{P_c}{P_M} = \frac{917}{1500} = 0,61$$

Коэффициент формы графика нагрузки:

$$K_{ФГ} = \frac{P_{CK}}{P_c} = \frac{1108,7}{917} = 1,21.$$

ЗАДАЧА 1.6

Определить безразмерные коэффициенты режима электрических нагрузок по графику нагрузки за смену, изображенному на рисунке 1.8.
 $P_{уст} = 1000 \text{ кВт}$.

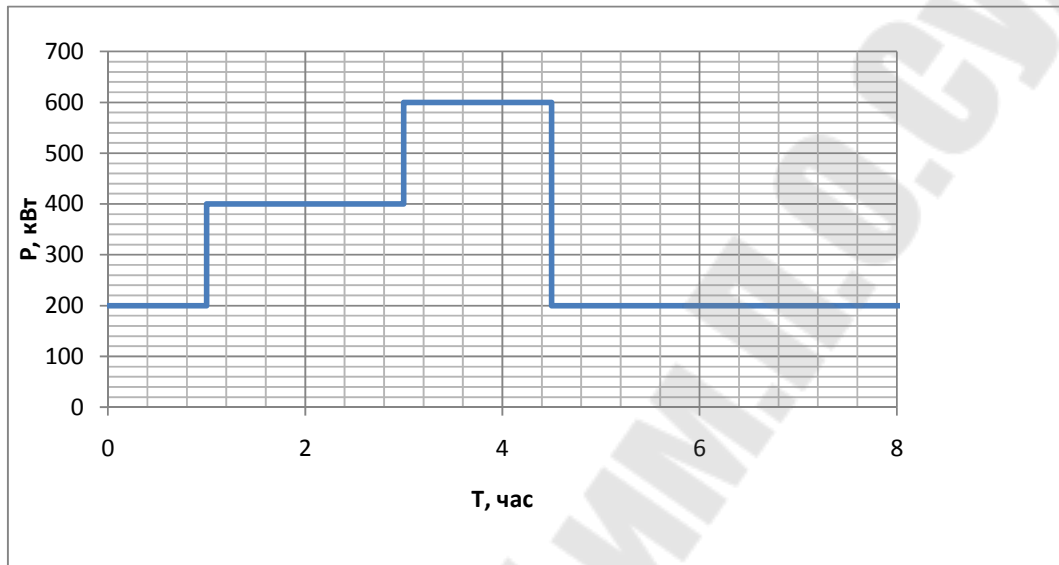


Рис. 1.8. График нагрузки потребителя электроэнергии за смену

Средняя нагрузка:

$$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T} = \frac{200 \cdot 1 + 400 \cdot 2 + \dots + 200 \cdot 3,5}{8} = 325 \text{ кВт}$$

Среднеквадратическая нагрузка:

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}} = \sqrt{\frac{200^2 \cdot 1 + 400^2 \cdot 2 + \dots + 200^2 \cdot 3,5}{8}} = 360,6 \text{ кВт}$$

Коэффициент максимума графика нагрузки:

$$K_{мг} = \frac{P_m}{P_c} = \frac{600}{325} = 1,85$$

Коэффициент формы графика нагрузки:

$$K_{фг} = \frac{P_{ск}}{P_c} = \frac{360,6}{325} = 1,11$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки:

$$K_{зг} = \frac{P_c}{P_m} = \frac{325}{600} = 0,54$$

Коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{P_c}{P_{уст}} = \frac{325}{1000} = 0,325$$

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{P_{св}}{P_{уст}} = 0,325$$

где $P_{св}$ – средняя мощность за время включения:

$$P_{св} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_B} = 325 \text{ кВт}$$

где T_B – время включения.

Коэффициент включения:

$$K_B = \frac{t_B}{t_{ц}} = \frac{t_B}{t_B + t_0} = 1$$

где $t_{ц}$ - время цикла.

Коэффициент спроса:

$$K_c = \frac{P_m}{P_{уст}} = \frac{600}{1000} = 0,6.$$

ЗАДАЧА 1.7

Для предприятия черной металлургии (установленная мощность электроприемников $P_{уст} = 500$ МВт), типовой график нагрузки которого приведен на рис. 1.9, табл. 1.3, определить:

– физические величины и безразмерные коэффициенты графика нагрузки;

– время использования максимума нагрузки и время максимальных потерь за сутки и за год.

Расчеты представить в виде табл. 1.4.

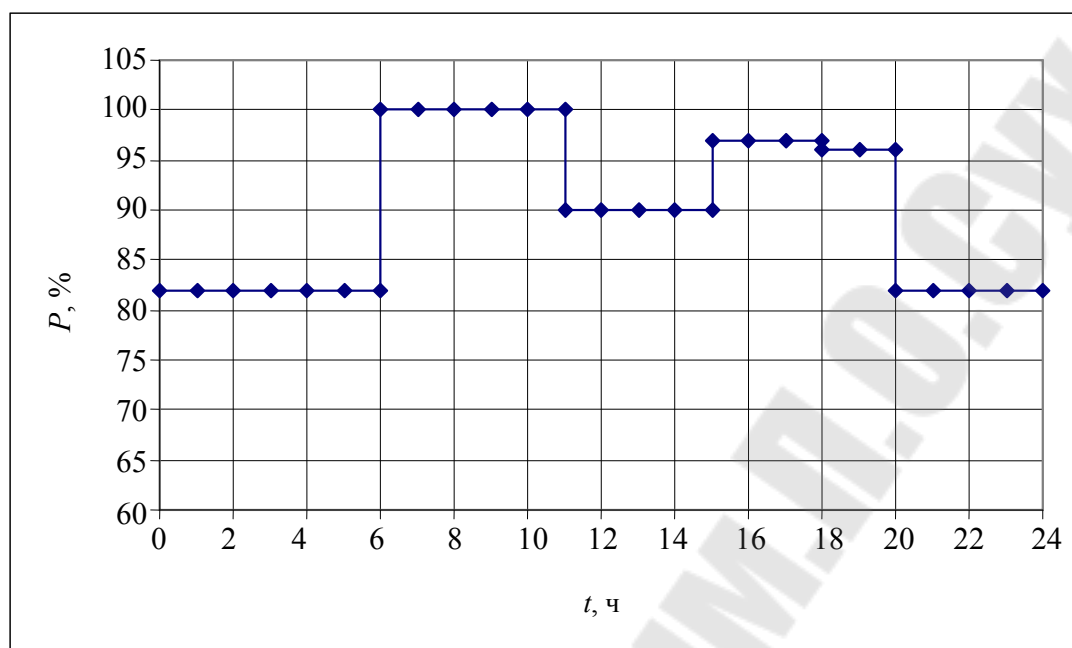


Рис. 1.9. Типовой график нагрузки предприятия черной металлургии

Таблица 1.3

Данные типового графика нагрузки предприятия черной металлургии

<i>t</i> , час	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
<i>P</i> , %	82	82	82	82	82	82	100	100
<i>t</i> , час	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16
<i>P</i> , %	100	100	100	90	90	90	90	97
<i>t</i> , час	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21	21–22	22–23	23–24
<i>P</i> , %	97	97	96	96	82	82	82	82

Таблица 1.4

Ход и результаты расчетов

Величина	Расчет	Значение	
		о. е.	именованные
Уст. мощность, $P_{уст}$	-	-	500 МВт
Коэффициент спроса, K_c	Определяются по справочным данным	0,5	-
$\cos\varphi$		0,8	-
Средняя нагрузка, P_c	$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}$	0,9	225,2 МВт
Среднеквадратическая нагрузка, $P_{ск}$	$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$	0,904	226 МВт
Максимальная нагрузка, P_m	$P_m = P_{уст} \cdot K_c$	1	250 МВт
Коэффициент максимума графика, $K_{м.г.}$	$K_{м.г.} = \frac{P_m}{P_c}$	1,11	-
Коэффициент заполнения графика, $K_{з.г.}$	$K_{з.г.} = \frac{P_c}{P_m}$	0,901	-
Коэффициент формы графика, $K_{ф.г.}$	$K_{ф.г.} = \frac{P_{ск}}{P_c}$	1,003	-
Коэффициент использования, $K_{и}$	$K_{и} = \frac{P_c}{P_{уст}}$	0,45	-
Коэффициент спроса, K_c	$K_c = \frac{P_m}{P_{уст}}$	0,5	-
*Время использования максимума нагрузки, T_m	$T_m = K_{з.г.} \cdot T$	-	21,6 ч/сут; 7880 ч/год
Время максимальных потерь, τ	$\tau_{сут} = (K_{ф.г.} \cdot K_{з.г.})^2 \cdot T_{сут};$ $\tau = (0,124 + T_{м.г.} \cdot 10^{-4})^2 \cdot T_{г}$	-	19,6 ч/сут; 7290 ч/год

ТЕМА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ПИКОВЫХ НАГРУЗОК

Правильное определение электрических нагрузок является важной задачей, так как способствует обоснованному выбору любого элемента электроснабжения с точки зрения допустимого нагрева.

К основным методам определения расчетных электрических нагрузок относятся метод упорядоченных диаграмм, предложенный профессором Каяловым Г. М., и статистический метод.

2.1. Определение расчетной электрической нагрузки методом упорядоченных диаграмм

Метод упорядоченных диаграмм используется, как правило, на стадии проектирования и реконструкции систем электроснабжения, когда неизвестны графики электрических нагрузок.

Согласно методу упорядоченных диаграмм активная расчетная нагрузка при количестве электроприемников в группе более трех определяется как:

$$P_p = K_p \cdot P_{см} = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст}, \quad (2.1)$$

где $P_{уст}$ – установленная мощность группы электроприемников:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{пасп.i}; \quad (2.2)$$

$K_{и}$ – групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum_1^n P_{пасп.i} \cdot k_{иi}}{\sum_1^n P_{пасп.i}}. \quad (2.3)$$

K_p – коэффициент расчетной активной мощности, зависит от эффективного числа электроприемников $n_{э}$ и группового (средневзвешенного) коэффициента использования $K_{и}$, а также от постоянной времени нагрева сети T_0 , на которую рассчитывается электрическая нагрузка:

$$K_p = f(K_{и}; n_{э}; T_0), \quad (2.4)$$

Эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_{\text{э}} = \frac{P_{\text{уст}}^2}{\sum P_{\text{пасп.}i}^2}. \quad (2.5)$$

Для определения значений K_p существуют номограммы, в которых приняты следующие постоянные времени нагрева (приложение 2.1):

$T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты;

$T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов, вводно-распределительных устройств и цеховых трансформаторов;

$T_0 \geq 30$ мин – для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства. Расчетная мощность нагрузки для этих элементов определяется при $K_p = 1$.

В случае, когда расчетная мощность P_p , определенная по выражению (2.1), окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника в группе $p_{\text{н.мах}}$, следует принимать $P_p = p_{\text{н.мах}}$.

Для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты расчетная реактивная мощность нагрузки определяется по формуле:

$$Q_p = K_{\text{м.р}} \cdot P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi, \quad (2.6)$$

где $K_{\text{м.р}}$ – коэффициент расчетной реактивной нагрузки. Для питающих сетей напряжением до 1 кВ определяется в зависимости от $n_{\text{э}}$:

$$\text{– при } n_{\text{э}} \leq 10 \quad K_{\text{м.р}} = 1,1; \text{ при } n_{\text{э}} > 10 \quad K_{\text{м.р}} = 1. \quad (2.7)$$

$\text{tg} \varphi$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности группы электроприемников:

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sum_1^n p_{\text{н}i} \cdot \text{tg} \varphi_i}{\sum_1^n p_{\text{н}i}}, \quad (2.8)$$

$\operatorname{tg}\varphi_i$ – справочное значение коэффициента реактивной мощности характерной категории электроприемников, к которой относится i -й электроприемник в группе.

Для магистральных шинопроводов, вводно-распределительных устройств и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности нагрузки в целом по цеху, корпусу, предприятию:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.9)$$

Расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (2.10)$$

Расчет электрических нагрузок на напряжении выше 1 кВ производится в целом аналогично. При этом в зависимости от числа присоединений к распределительному устройству высокого напряжения и группового коэффициента использования $K_{\text{г}}$, определяется значение коэффициента одновременности K_o .

Расчетная мощность нагрузки определяется по выражениям:

$$P_p = K_o \cdot \sum k_{\text{г}} \cdot p_{\text{н}}, \quad (2.11)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum k_{\text{г}} \cdot p_{\text{н}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.12)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.13)$$

Результирующая нагрузка на стороне высокого напряжения определяется с учетом средств компенсации реактивной мощности и потерь мощности в трансформаторах.

ЗАДАЧА 2.1.

Используя метод упорядоченных диаграмм определить расчетную нагрузку группы трехфазных электроприемников.

Таблица 2.1.

Мощность, потребляемая электроприемниками

Номер электроприемника	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	1	4	2	3,5	1,5	0	3	4	2,38
2	9	13	0	8	4,5	10	3	7	6,81
3	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0	0,35
4	1,8	4	0	2,5	0,5	3,5	0,45	0	1,6
5	10	36	15	33	8	0	38	5	18,3
Итого	21,8	57,7	17,2	48	14,6	13,5	45,25	16	29,43

Таблица 2.2.

Паспортные характеристики электроприемников

№ э/п	$P_{\text{пасп}}$, кВт	$S_{\text{пасп}}$, кВ·А	$\eta_{\text{н}}$, %	$\cos\varphi_{\text{н}}$	$i_{\text{п}}/i_{\text{н}}$	ПВ, %
1	–	16	–	0,5	3	60
2	22	–	90	0,83	6,5	60
3	1,5	–	77	0,76	4,5	40
4	–	9	–	0,5	3	80
5	–	122	–	0,4	2	60

1. Определение расчетной нагрузки методом упорядоченных диаграмм.

1.1. Расчет индивидуальных коэффициентов использования $k_{\text{и}i}$:

для электроприемника № 1 (сварочный трансформатор):

$$P_{\text{н}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 16 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,6} = 6,19 \text{ кВт}, \quad k_{\text{и}1} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{н}}} = \frac{2,38}{6,19} = 0,38;$$

для электроприемника № 2 (конвейер):

$$P_{\text{н}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 22 \cdot \sqrt{0,6} = 17,04 \text{ кВт}, \quad k_{\text{и}2} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{н}}} = \frac{6,81}{17,04} = 0,4;$$

для электроприемника № 3 (транспортёр):

$$P_{\text{н}} = 0,95 \text{ кВт}, \quad k_{\text{и}3} = 0,368;$$

для электроприемника № 4 (сварочный дуговой автомат):

$$p_H = 4,02 \text{ кВт}, k_{и4} = 0,4;$$

для электроприемника № 5 (сварочный дуговой автомат):

$$p_H = 37,8 \text{ кВт}, k_{и5} = 0,48.$$

1.2. Расчет установленной мощности группы электроприемников:

$$P_{уст} = \sum p_{пасп.i} = 8 + 22 + 1,5 + 4,5 + 48,8 = 84,8 \text{ кВт}.$$

1.3. Определение группового коэффициента использования:

$$K_{и} = \frac{\sum k_{иi} \cdot p_{пасп.i}}{P_{уст}} = \frac{0,38 \cdot 8 + 0,4 \cdot 22 + 0,368 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 4,5 + 0,48 \cdot 48,8}{84,8} = 0,444.$$

1.4. Определение эффективного числа электроприемников:

$$n_{э} = \frac{P_{уст}^2}{\sum p_{пасп.i}^2} = \frac{84,8^2}{8^2 + 22^2 + 1,5^2 + 4,5^2 + 48,8^2} = 2,44.$$

1.5. Определяем коэффициент расчетной нагрузки:

$$K_p = f(n_{э} = 2,44; K_{и} = 0,444) = 1,6.$$

1.6. Определение расчетной мощности нагрузки:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 1,6 \cdot 0,444 \cdot 84,8 = 60,2 \text{ кВт},$$

что больше номинальной мощности самого мощного электроприемника в группе;

$$Q_p = K_{м.р} \cdot \sum (k_{иi} \cdot p_{пасп.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) = 1,1 \cdot (0,38 \cdot 8 \cdot 2,29 + \dots + 0,48 \cdot 48,8 \cdot 1,73) = 64,7 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{60,2^2 + 64,7^2} = 88,4 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{88,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 134,2 \text{ А}.$$

Полученная нагрузка используется для выбора токоведущих элементов системы электроснабжения по условию их допустимого нагрева.

ЗАДАЧА 2.2

Определим расчетные электрические нагрузки группы металлообрабатывающих станков методом упорядоченных диаграмм. Состав группы: 4 электроприемника с $p_n = 5,5$ кВт (шлифовальные станки), 2 электроприемника с $p_n = 5,5$ кВт (заточные станки), 1 электроприемник с $p_n = 3$ кВт (расточной станок), 3 электроприемника с $p_n = 4$ кВт (фрезерный станок). Коэффициент использования $k_{и}$ для металлообрабатывающих станков равен $0,12-0,16$. Принимаем $k_{и} = 0,16$.

Установленная мощность группы электроприемников составит:

$$P_{уст} = 4 \cdot 5,5 + 2 \cdot 5,5 + 3 + 3 \cdot 4 = 48 \text{ кВт.}$$

Определим групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum P_{ни} \cdot k_{иi}}{\sum P_{ни}} = \frac{4 \cdot 5,5 \cdot 0,16 + 2 \cdot 5,5 \cdot 0,16 + 3 \cdot 0,16 + 3 \cdot 4 \cdot 0,16}{48} = 0,16.$$

Эффективное количество электроприемников составит:

$$n_{э} = \frac{48^2}{4 \cdot 5,5^2 + 2 \cdot 5,5^2 + 3^2 + 3 \cdot 4^2} = 9,66.$$

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

$$K_p = f(0,16; 9,66) = 1,63.$$

Активная расчетная нагрузка составит:

$P_p = K_{и} \cdot K_p \cdot P_{уст} = 0,16 \cdot 1,63 \cdot 48 = 12,5$ кВт, что больше номинальной мощности самого мощного электроприемника в группе.

Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = K_p' \cdot Q_{см} = 1,1 \cdot (4 \cdot 5,5 \cdot 0,16 \cdot 1,73 + 2 \cdot 5,5 \cdot 0,16 \cdot 1,73 + 3 \cdot 0,16 \cdot 1,73 + 3 \cdot 4 \cdot 0,16 \cdot 1,33) = 13,8 \text{ квар,}$$

Полная расчетная мощность, кВ·А:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{12,5^2 + 13,8^2} = 18,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$\text{Расчетный ток: } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{18,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 28,3 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы электроприемников составит:

$$I_{\Pi} = 93,75 + 28,3 - 12,5 \cdot 0,16 = 120 \text{ А.}$$

ЗАДАЧА 2.3

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

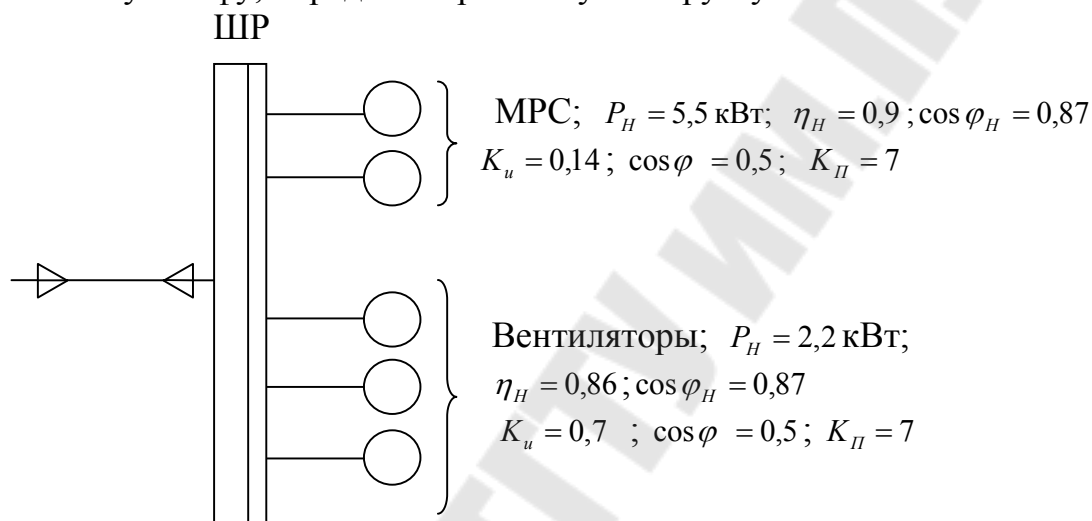


Рис.2.1. Схема питания электроприемников

1. Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{\text{уст}} = \sum_1^n P_{\text{наст.}i} = 2 \cdot 5,5 + 3 \cdot 2,2 = 17,6 \text{ кВт}$$

2. Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{\text{наст.}i} \cdot k_{ui}}{\sum_1^n P_{\text{наст.}i}} = \frac{5,5 \cdot 0,14 \cdot 2 + 2,2 \cdot 0,7 \cdot 3}{17,6} = 0,35$$

3. Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_3 = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{насл.i}^2} = \frac{17,6^2}{2 \cdot 5,5^2 + 3 \cdot 2,2^2} = 4,1$$

4. Определяем коэффициент расчетной нагрузки:

$$P_M = K_C \cdot K_{и} \cdot P_{уст}$$

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст}$$

K_p определяется по справочным номограммам в зависимости от группового коэффициента использования, эффективного количества электроприемников в группе и постоянной времени нагрева электрической сети, на которую рассчитывается электрическая нагрузка.

$$K_p = f(K_{и}; n_3; T_0)$$

Для цеховых сетей, выполненных шкафами и шинопроводами распределительными, постоянную времени нагрева принимают равной 10 мин.

$$K_p = f(K_{и} = 0,35; n_3 = 4,1; T_0 = 10) = 1,47$$

5. Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 1,47 \cdot 0,35 \cdot 17,6 = 9,1 \text{ кВт}$$

6. Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = K'_p \sum (P_{Hi} \cdot K_{Hi} \cdot \text{tg} \varphi_i)$$

где K'_p - коэффициент расчетной реактивной нагрузки:

В нашем случае $K'_p = 1,1$, т.к. $4,1 < 10$,

$$Q_p = 1,1 \cdot (2 \cdot 5,5 \cdot 0,14 \cdot 1,73 + 3 \cdot 2,2 \cdot 0,7 \cdot 0,75) = 6,7 \text{ квар}$$

7. Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{9,1^2 + 6,7^2} = 11,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

8. Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{11,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 17,2 \text{ А}$$

Полученный ток используется для выбора токоведущих элементов системы электроснабжения (в данном случае шкафа распределительного и кабеля).

ЗАДАЧА 2.4

Для группы электроприемников цеха, данные которой представлены на рисунке 2.2, определить электрическую нагрузку, необходимую для выбора питающего кабеля и распределительного устройства (шкафа распределительного ШР).

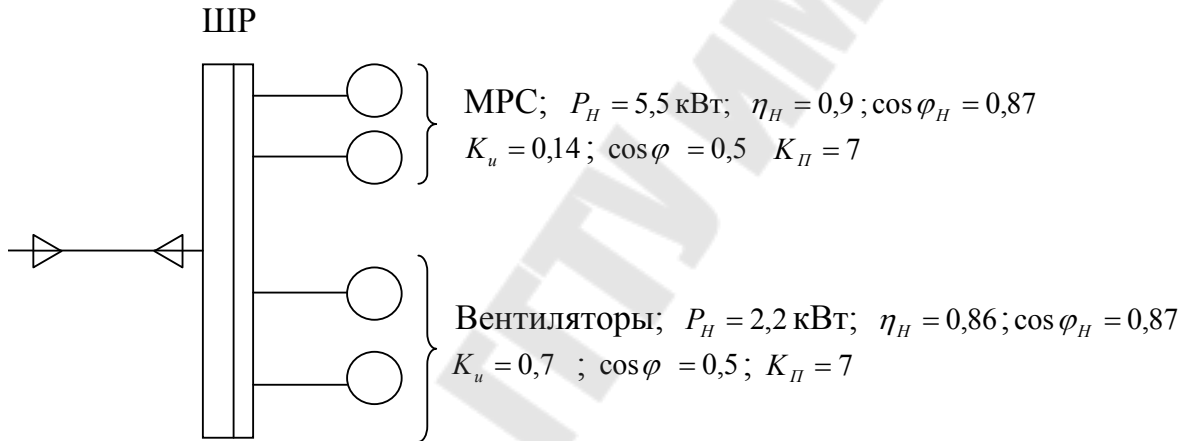


Рис.2.2. Схема питания электроприемников

1. Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{наст.и} = 2 \cdot 5,5 + 2 \cdot 2,2 = 15,4 \text{ кВт}$$

2. Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_u = \frac{\sum k_{ui} \cdot P_{ни}}{\sum P_{ни}} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot 5,5 + 2 \cdot 0,7 \cdot 2,2}{15,4} = 0,3$$

3. Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_3 = \frac{15,4^2}{2 \cdot 5,5^2 + 2 \cdot 2,2^2} = 3,38$$

4. Определяем коэффициент расчетной нагрузки:

$$K_p = f(0,3; 3,38) = 1,47 = 1,47$$

5. Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_n \cdot P_{уст} = 1,47 \cdot 0,3 \cdot 15,4 = 6,8 \text{ кВт}$$

6. Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = K_p \sum (P_{Hi} \cdot K_{Hi} \cdot \text{tg} \varphi_i) = 1,1 \cdot (2 \cdot 5,5 \cdot 0,14 \cdot 1,73 + 2 \cdot 2,2 \cdot 0,7 \cdot 0,75) = 5,47 \text{ квар}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{6,8^2 + 5,47^2} = 8,72 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

7. Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{8,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 13,25 \text{ А}$$

ЗАДАЧА 2.5

Методом упорядоченных диаграмм определить расчетную нагрузку механического цеха на напряжении 380 В и 10 кВ при следующих условиях:

Электроприемники напряжением до 1 кВ														
Металлорежущие станки мелкосерийного производства		То же, крупносерийного производства		Вентиляторы		Насосы, компрессоры		Тельферы		Сварочные машины шовной сварки (мощность дана в кВ·А)		Элеваторы, конвейеры, блокировальные		Площадь цеха, м ²
n	P _{н min}	n	P _{н min}	n	P _{н min}	n	P _{н min}	n	P _{н min}	n	S _{н min}	n	P _{н min}	
P _н	P _{н max}	P _н	P _{н max}	P _н	P _{н max}	P _н	P _{н max}	P _н	P _{н max}	S _н	S _{н max}	P _н	P _{н max}	
80	5	230	0,5	20	5	15	10	60	5	30	10	100	10	23200
850	40	750	10	400	30	2200	200	600	40	500	40	1800	40	

1. Находим установленную мощность электроприемников цеха:

$$P_{уст} = \sum_{i=1}^n P_{ni} = 850 + 750 + 400 + 2200 + 600 + 500 \cdot 0,8 + 1800 = 7000 \text{ кВт.}$$

2. Групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot k_{иi}}{P_{уст}} = \frac{850 \cdot 0,12 + 750 \cdot 0,16 + 400 \cdot 0,7 + 2200 \cdot 0,7 + 600 \cdot 0,15 + 0,8 \cdot 500 \cdot 0,35 + 1800 \cdot 0,55}{7000} = 0,466.$$

3. Эффективное число электроприемников (по упрощенной формуле):

$$n_{э} = \frac{2 \cdot P_{уст}}{P_{н max}} = \frac{2 \cdot 7000}{200} = 70.$$

4. Находим коэффициент расчетной нагрузки для определения расчетной нагрузки на напряжении 380 В (постоянная времени нагрева $T_0=2,5$ ч):

$$K_p = f(K_{и}, n_{э}) = f(0,466; 70) = 0,7.$$

5. Определим активную расчетную нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 0,7 \cdot 0,466 \cdot 7000 = 2283,4 \text{ кВт.}$$

6. Определим расчетную реактивную нагрузку механического цеха на напряжении 380 В:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ср.взв.}} = P_p \cdot \frac{\sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot \text{tg}\varphi_i}{P_{уст}} =$$
$$= \frac{2283,4}{7000} \cdot (850 \cdot 2,29 + 750 \cdot 1,73 + 400 \cdot 0,88 + 2200 \cdot 0,75 +$$
$$+ 600 \cdot 1,73 + 0,8 \cdot 500 \cdot 1,02 + 1800 \cdot 0,88) = 2699,6 \text{ квар.}$$

7. Определяем полную расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2};$$
$$S_p = \sqrt{2283,4^2 + 2699,6^2} = 3535,8 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

8. Определяем расчетный ток механического цеха на напряжении 380 В:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H};$$
$$I_p = \frac{3535,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5372 \text{ А.}$$

9. Коэффициент расчетной нагрузки для определения расчетной мощности на напряжении 10 кВ (постоянная времени нагрева $T_0 \geq 30$ мин):

$$K_p = 1.$$

10. Активная расчетная нагрузка:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 1 \cdot 0,466 \cdot 7000 = 3262 \text{ кВт.}$$

11. Расчетная реактивная нагрузка цеха на напряжении 10 кВ:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ср.взв.}} = 3262 \cdot 1,18 = 3856 \text{ квар.}$$

12. Полная расчетная нагрузка:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{3262^2 + 3856^2} = 5051 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

13. Расчетный ток механического цеха на напряжении 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{5051}{\sqrt{3} \cdot 10} = 291,6 \text{ А}.$$

Результаты расчетов представляются в виде таблицы 2.3.

Таблица 2.3

Определение расчетных нагрузок механического корпуса

Наименование электроприемника	Кол-во, N, шт.	P _н , кВт	P _{н.мах} , кВт	K _и	tgφ	n, шт.	K _p	Расчетная нагрузка			I _p , А	K _p	Расчетная нагрузка			I _p , А	
								P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА		
МРС (мелкие)	80	850	40	0,12	2,29												
МРС (крупные)	230	750	10	0,16	1,73												
Тельферы	60	600	40	0,15	1,73												
Вентиляторы	20	400	30	0,7	0,88												
Насосы, компрессоры	15	2200	200	0,7	0,75												
Элеваторы	100	1800	40	0,55	0,88												
Сварка	30	500*	40	0,35	1,02												
Итого по цеху:	535	7000	200	0,46	1,18	70	0,7	2283,4	2699,6	3536	5372	1	3262	3856	5051	292	

Примечание: *Мощность сварочных электроустановок указана в кВ·А.

ЗАДАЧА 2.6

Для группы электроприемников механического цеха, данные которых представлены на рисунке 2.3, определить расчетные электрические нагрузки на распределительный шинопровод, цеховую трансформаторную подстанцию, а так же на кабельную линию напряжением 10 кВ.

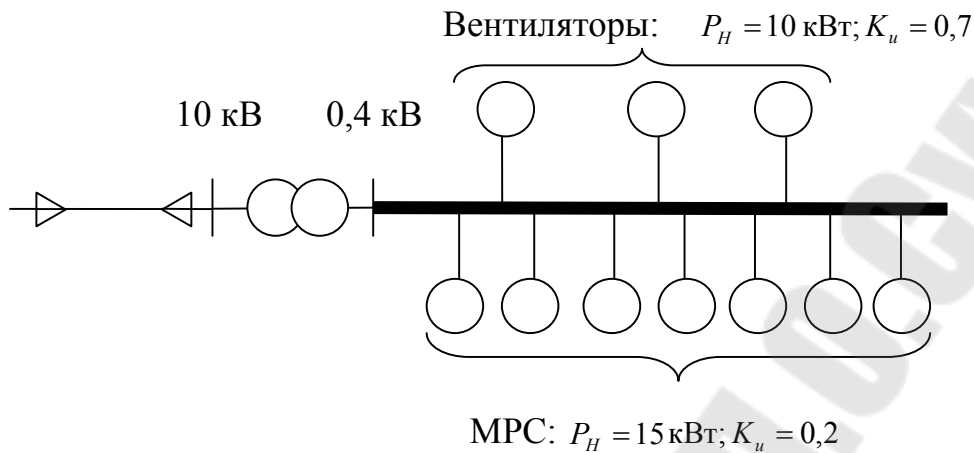


Рис.2.3. Схема питания электроприемников

1. Определяем расчетную нагрузку на распределительный шинопровод.

Расчетная активная нагрузка:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{наст.и} = 7 \cdot 15 + 3 \cdot 10 = 135 \text{ кВт}$$

$$K_u = \frac{\sum k_{ui} \cdot P_{ни}}{\sum P_{ни}} = \frac{7 \cdot 15 \cdot 0,2 + 3 \cdot 10 \cdot 0,7}{135} = 0,31$$

$$n_s = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{наст.и}^2} = \frac{135^2}{7 \cdot 15^2 + 3 \cdot 10^2} = 9,7$$

$$K_p = f(K_u = 0,31; n_s = 9,7; T_0 = 10 \text{ мин}) = 1,14$$

$$P_p = K_p \cdot K_u \cdot P_{уст} = 1,14 \cdot 0,31 \cdot 135 = 47,7 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная нагрузка:

$$Q_p = K'_p \sum (P_{ни} \cdot K_{ни} \cdot \text{tg} \varphi_i)$$

В нашем случае $K'_p = 1,1$

$$Q_p = 1,1 \cdot (3 \cdot 10 \cdot 0,7 \cdot 0,75 + 7 \cdot 15 \cdot 0,2 \cdot 1,73) = 57,3 \text{ квар}$$

Полная расчетная мощность и ток нагрузки на распределительный шинопровод:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{47,7^2 + 53,7^2} = 74,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{74,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 113,3 \text{ А}$$

Полученный ток используется для выбора распределительного шинпровода и питающей его электропроводки.

2. Определяем расчетную нагрузку на цеховую трансформаторную подстанцию.

$$P_{\text{усм}} = \sum_1^n P_{\text{наст.}i} = 7 \cdot 15 + 3 \cdot 10 = 135 \text{ кВт}$$

$$K_u = \frac{\sum k_{ui} \cdot P_{ni}}{\sum P_{ni}} = \frac{7 \cdot 0,15 \cdot 0,2 + 3 \cdot 10 \cdot 0,7}{135} = 0,31$$

$$n_s = \frac{P_{\text{усм}}^2}{\sum P_{\text{наст.}i}^2} = \frac{135^2}{7 \cdot 15^2 + 3 \cdot 10^2} = 9,7$$

$$K_p = f(K_u = 0,31; n_s = 9,7; T_0 = 2,5\text{ч}) = 0,9$$

$$P_p = K_p \cdot K_u \cdot P_{\text{усм}} = 0,9 \cdot 0,31 \cdot 135 = 37,7 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ср.взв.}} = 37,7 \cdot 1,51 = 56,9 \text{ квар}$$

$$\text{tg} \varphi_{\text{ср.взв.}} = \frac{\sum P_{ni} \cdot \text{tg} \varphi_i}{P_{\text{усм}}} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 0,75 + 7 \cdot 15 \cdot 1,73}{135} = 1,51$$

$$Q_p = 37,7 \cdot 1,51 = 56,9 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{37,7^2 + 56,9^2} = 68,3 \text{ кВА}$$

Расчетный ток группы электроприемников на цеховую трансформаторную подстанцию:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{68,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 103,7 \text{ А}$$

Полученная нагрузка используется для выбора трансформатора цеховой подстанции.

3. Определяем расчетную нагрузку на высоковольтную кабельную линию напряжением 10 кВ.

$$P_{уст} = \sum P_{насп.i} = 7 \cdot 15 + 3 \cdot 10 = 135 \text{ кВт}$$
$$K_{и} = \frac{\sum k_{иi} \cdot P_{насп.i}}{P_{уст}} = \frac{7 \cdot 15 \cdot 0,2 + 3 \cdot 10 \cdot 0,7}{135} = 0,31$$
$$n_3 = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{насп.i}^2} = \frac{135^2}{7 \cdot 15^2 + 3 \cdot 10^2} = 9,7$$
$$K_p = 1 \text{ (т.к. } T_0 = 30 \text{ мин)}$$
$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст} = 1 \cdot 0,31 \cdot 135 = 41,85 \text{ кВт}$$
$$Q_p = P_p \cdot tg \varphi_{ср.взв}$$
$$tg \varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{иi} \cdot tg \varphi_i}{P_{уст}} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 0,75 + 7 \cdot 15 \cdot 1,73}{135} = 1,51$$
$$Q_p = 41,85 \cdot 1,51 = 63,19 \text{ квар}$$
$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{41,85^2 + 63,19^2} = 75,8 \text{ кВА}$$

Расчетный ток группы электроприемников на кабель напряжением 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{75,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,4 \text{ А}$$

Полученная нагрузка используется для выбора кабеля напряжением 10 кВ.

ЗАДАЧА 2.7

Определить расчетную нагрузку на шкаф распределительный, цеховую трансформаторную подстанцию и высоковольтную кабельную

линию напряжением 6 кВ участка цеха, данные которого представлены на рисунке 2.4.

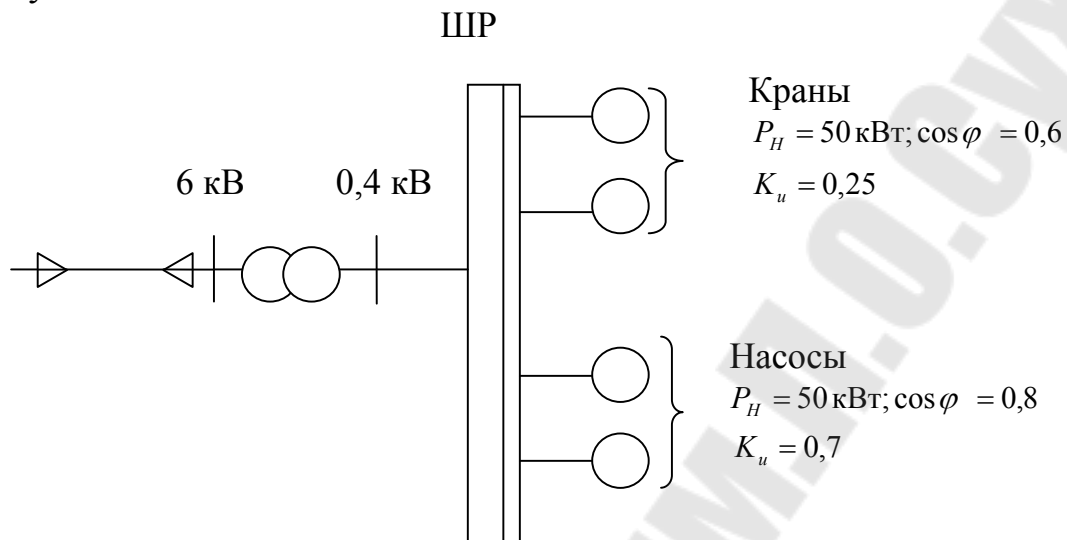


Рис.2.4. Схема питания электроприемников

Шкаф распределительный:

1. Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{уст} = \sum_1^n p_{наcn.i} = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 50 = 200 \text{ кВт}$$

2. Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_u = \frac{\sum_1^n p_{наcn.i} \cdot k_{ui}}{\sum_1^n p_{наcn.i}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 0,25 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7}{200} = 0,48$$

3. Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_э = \frac{P_{уст}^2}{\sum_1^n p_{наcn.i}^2} = \frac{200^2}{2 \cdot 50^2 + 2 \cdot 50^2} = 4$$

4. Определяем коэффициент расчетной нагрузки:

$$K_p = f(K_u; n_э; T_0) = 1,22$$

5. Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_u \cdot P_{уст} = 1,22 \cdot 0,48 \cdot 200 = 117,12 \text{ кВт}$$

6. Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = K_p' \sum (P_{Hi} \cdot K_{Hi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i)$$

В нашем случае $K_p' = 1,1$

$$Q_p = 1,1 \cdot (2 \cdot 50 \cdot 0,25 \cdot 1,33 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7 \cdot 0,75) = 94,33 \text{ квар}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{117,2^2 + 94,33^2} = 150,45 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

7. Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{150,45}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 228,6 \text{ А}.$$

Цеховая трансформаторная подстанция:

1. Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{насл.i} = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 50 = 200 \text{ кВт}.$$

2. Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{насл.i} \cdot k_{ui}}{\sum_1^n P_{насл.i}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 0,25 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7}{200} = 0,48.$$

3. Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_э = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{насл.i}^2} = \frac{200^2}{2 \cdot 50^2 + 2 \cdot 50^2} = 4.$$

4. Определяем коэффициент расчетной активной нагрузки:

$$K_p = f(K_u; n_э; T_0) = 1,05$$

5. Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_n \cdot P_{уст} = 1,05 \cdot 0,48 \cdot 200 = 108 \text{ кВт}$$

6. Определяем расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{P_{уст}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 1,33 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7}{200} = 1,04;$$

$$Q_p = 108 \cdot 1,04 = 104,8 \text{ квар}$$

7. Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{108^2 + 104,8^2} = 145,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

8. Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{145,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 221,06 \text{ А}$$

Кабель напряжением 6 кВ

1. Определяем установленную мощность электроприемников в группе:

$$P_{уст} = \sum_1^n P_{насн.i} = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 50 = 200 \text{ кВт.}$$

2. Рассчитываем групповой коэффициент использования электроприемников:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{насн.i} \cdot k_{ui}}{\sum_1^n P_{насн.i}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 0,25 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7}{200} = 0,48$$

3. Определяем эффективное количество электроприемников в группе:

$$n_s = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{насн.i}^2} = \frac{200^2}{2 \cdot 50^2 + 2 \cdot 50^2} = 4$$

4. Определяем коэффициент расчетной нагрузки

$$K_p = 1$$

5. Определяем расчетную активную электрическую нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot K_n \cdot P_{уст} = 1 \cdot 0,48 \cdot 200 = 96 \text{ кВт}$$

6. *Определяем расчетную реактивную нагрузку:*

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{P_{уст}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 1,33 + 2 \cdot 50 \cdot 0,7}{200} = 1,04$$

$$Q_p = 96 \cdot 1,04 = 99,84 \text{ квар}$$

7. *Определяем полную расчетную мощность:*

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{96^2 + 99,84^2} = 138,5 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

8. *Определяем расчетный ток группы электроприемников:*

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{138,5}{\sqrt{3} \cdot 6} = 13,33 \text{ А}$$

2.2. Определение расчетной электрической нагрузки статистическим методом

Статистический метод основан на анализе графика электрической нагрузки, получить который возможно при наличии системы учета параметров электропотребления. Поэтому метод используется на стадии эксплуатации при реконструкции системы электроснабжения.

Данный метод основывается на результатах исследований, согласно которым групповая нагрузка (начиная с 4–5 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. По этому закону, нагрузка от электроприемников может быть описана следующим выражением:

$$P = P_c \pm \beta \cdot \sigma;$$

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

$$P_c = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_m}{m};$$

σ – среднее квадратичное (стандартное) отклонение, определяемое по выражению:

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

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

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

Придавая β различные значения, можно получить возможные значения нагрузки. В теории вероятностей часто пользуются «трехсигмовой» вероятностью, т.е. вероятностью появления максимальной нагрузки:

$$P_{\max} = P_c + 3 \cdot \sigma,$$

а также минимальной ее величины:

$$P_{\min} = P_c - 3 \cdot \sigma.$$

Этим значениям нагрузки соответствуют предельные вероятности 0,001 и 0,999, которые крайне редки.

Чем меньше β , тем выше вероятность того, что реальная нагрузка превысит расчетную (табл. 2.4). Поэтому важным моментом статистического метода является определение (обоснование) значения β .

Таблица 2.4

Вероятность превышения рассчитанной нагрузки

β	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0,5	1	1,5	2	2,5	3
P	0,9973	0,995	0,975	0,935	0,84	0,69	0,31	0,16	0,065	0,025	0,005	0,003

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

$$P_{\max} = P_c + 2,5 \cdot \sigma.$$

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). Принятие значения $\beta = 2,5$ оставляет неиспользованным значительный резерв в тепловом износе проводников, особенно для линий с неравномерным графиком нагрузки. Частота же появления нормированной температуры проводника будет близкой к вероятности 0,001.

В некоторых случаях $\beta = 1,65$, при этом вероятность превышения реальной нагрузки составляет 0,05 или 5 %, что является приемлемым для инженерных расчетов.

Под вероятностью превышения реальной нагрузки расчетной понимается доля времени, в течение которого реальная нагрузка может быть больше, чем расчетная.

Формула лежит в основе определения расчетной нагрузки статистическим методом по фактическому (действительному) графику нагрузки.

ЗАДАЧА 2.8

Для потребителя электроэнергии с заданными индивидуальными графиками нагрузки электроприемников (см. таблицу 2.5), построить групповой график нагрузки и используя статистический метод определить расчетную электрическую нагрузку.

Таблица 2.5.

Мощность, потребляемая электроприемниками

Номер электроприемника	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	1	4	2	3,5	1,5	0	3	4	2,38
2	9	13	0	8	4,5	10	3	7	6,81
3	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0	0,35
4	1,8	4	0	2,5	0,5	3,5	0,45	0	1,6
5	10	36	15	33	8	0	38	5	18,3
Итого	21,8	57,7	17,2	48	14,6	13,5	45,25	16	29,43

Групповой график нагрузки электроприемников представлен на рис. 2.5.

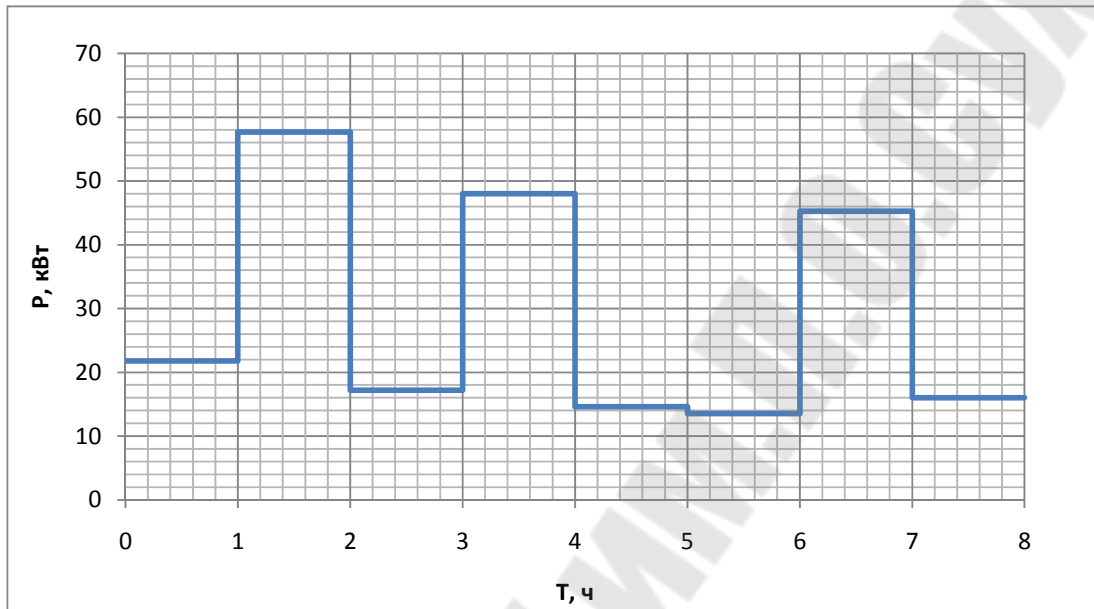


Рис. 2.5. Групповой график нагрузки

Предполагая, что групповая нагрузка (в данном случае 5 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения вероятности, определяем среднюю фактическую нагрузку по выражению:

$$P_c = \frac{21,8 + 57,7 + 17,2 + 48 + 14,6 + 13,5 + 45,25 + 16}{8} = 29,2 \text{ кВт.}$$

Среднеквадратичное отклонение определяем по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(21,8 - 29,2)^2 + (57,7 - 29,2)^2 + \dots + (16 - 29,2)^2}{8}} = 16,8 \text{ кВт.}$$

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

$$P_p = 29,2 + 2,5 \cdot 16,8 = 71,2 \text{ кВт.}$$

Таким образом, в результате выполнения расчетов получена активная мощность расчетной нагрузки статистическим методом $P_p = 71,2$ кВт.

Фактическая максимальная активная мощность нагрузки для заданной группы электроприемников составила $P_{\max} = 57,7$ кВт (рис. 2.5).

ЗАДАЧА 2.9

Определить расчетную нагрузку потребителя электроэнергии, график нагрузки за смену которого представлен на рисунке 2.6.

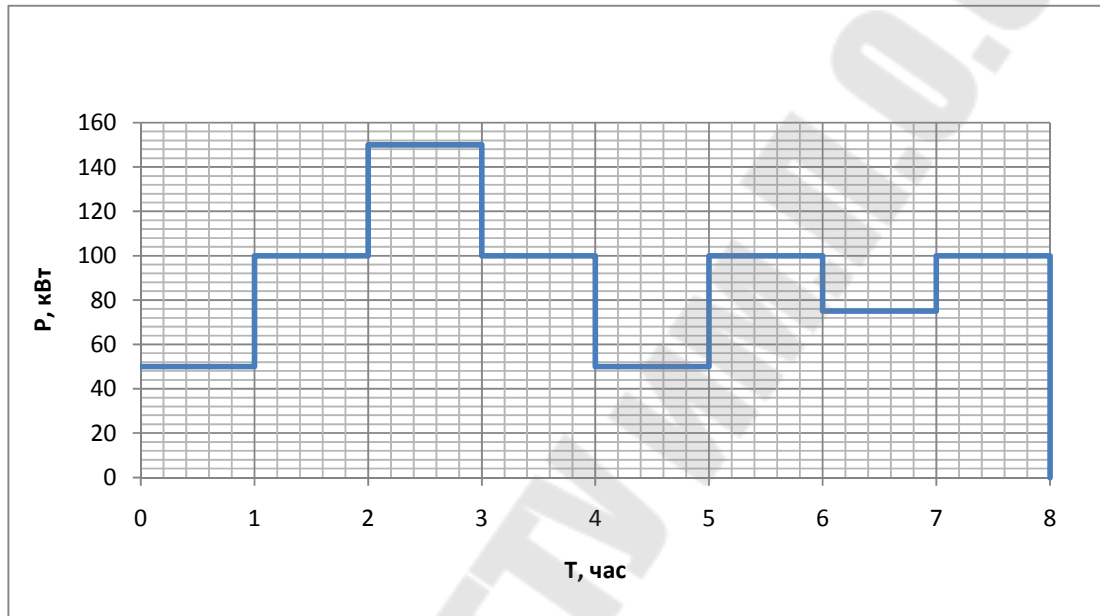


Рис. 2.6. График нагрузки потребителя электроэнергии за смену

Определяем среднюю нагрузку:

$$P_c = \frac{\sum P_i}{T} = \frac{50 + 100 + 150 + \dots + 100}{8} = 90,6 \text{ кВт}$$

Определяем среднее квадратичное отклонение нагрузки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{T}} = \sqrt{\frac{(50 - 90,6)^2 + \dots + (100 - 90,6)^2}{8}} = 30,5 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 0,5%:

$$P_{\max} = P_c + 2,5 \cdot \sigma = 90,6 + 2,5 \cdot 30,5 = 166,8 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 5%:

$$P_{\max} = P_c + 1,65 \cdot \sigma = 90,6 + 1,65 \cdot 30,5 = 141 \text{ кВт}$$

ЗАДАЧА 2.10

Определить расчетную нагрузку потребителя электроэнергии, график нагрузки которого представлен на рисунке 2.7.

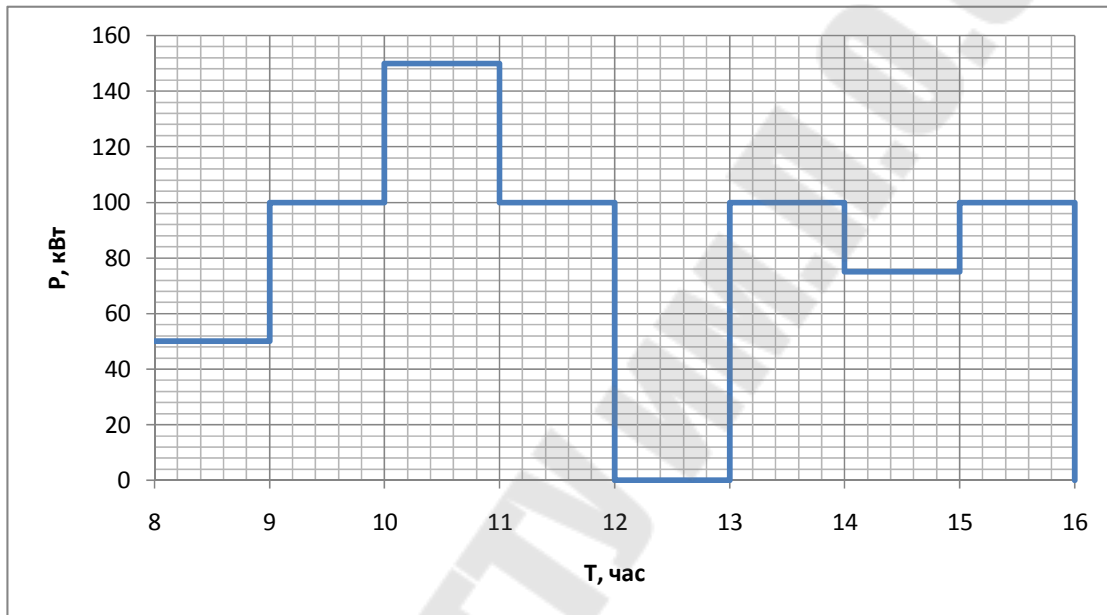


Рис. 2.7. График нагрузки потребителя электроэнергии

Определяем среднюю нагрузку:

$$P_c = \frac{\sum P_i}{T} = \frac{50 + 100 + 150 + 100 + 100 + 75 + 100}{8} = 84,38 \text{ кВт}$$

Определяем среднее квадратичное отклонение нагрузки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{T}} = \sqrt{\frac{(50 - 84,38)^2 + \dots + (100 - 84,38)^2}{8}} = 41,3 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 0,5%:

$$P_p = P_c + 2,5 \cdot \sigma = 84,38 + 2,5 \cdot 41,3 = 187,6 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 5%:

$$P_p = P_c + 1,65 \cdot \sigma = 90,6 + 1,65 \cdot 41,3 = 152,64 \text{ кВт.}$$

ЗАДАЧА 2.11

Определить расчетную нагрузку потребителя электроэнергии, график нагрузки которого представлен на рисунке 2.8.

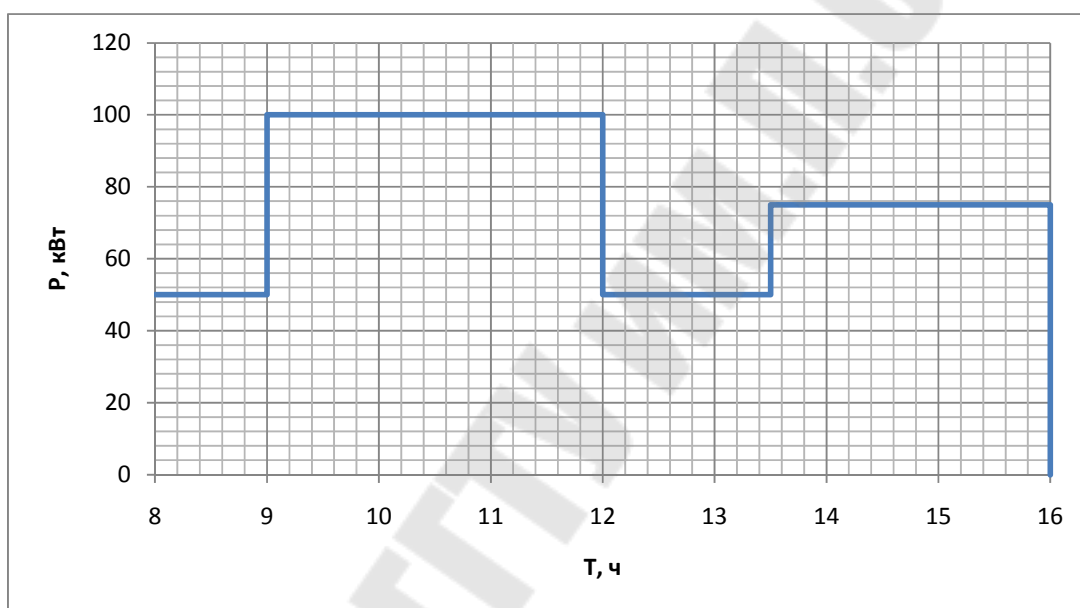


Рис. 2.8. График нагрузки потребителя электроэнергии

Определяем среднюю нагрузку:

$$P_c = \frac{\sum P_i}{T} = \frac{50 + 100 \cdot 3 + 50 \cdot 1,5 + 75 \cdot 2,5}{8} = 76,6 \text{ кВт}$$

Определяем среднее квадратичное отклонение нагрузки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{T}} = \sqrt{\frac{(50 - 76,6)^2 + \dots + (75 - 76,6)^2}{8}} = 20,67 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 0,5%:

$$P_p = P_c + 2,5 \cdot \sigma = 76,6 + 2,5 \cdot 20,67 = 128,28 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную нагрузку с вероятностью ее превышения реальной нагрузкой 5%:

$$P_p = P_c + 1,65 \cdot \sigma = 76,6 + 1,65 \cdot 20,67 = 110,7 \text{ кВт}$$

ЗАДАЧА 2.12

Определить статистическим методом расчетную нагрузку потребителя электроэнергии, если известно, что расход электроэнергии за наиболее нагруженную восьмичасовую смену составляет 1000 кВт·ч; коэффициент формы графика нагрузки $K_{\phi z} = 1,1$.

$$P_c = \frac{W}{T} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ кВт}$$

$$\sigma = \sqrt{P_{ск}^2 - P_c^2}$$

$$P_{ск} = K_{\phi z} \cdot P_c = 1,1 \cdot 125 = 137,5 \text{ кВт}$$

$$\sigma = \sqrt{137,5^2 - 125^2} = 57,3 \text{ кВт}$$

или:

$$\sigma = P_{ск} \cdot \sqrt{K_{\phi z}^2 - 1} = 57,3 \text{ кВт}$$

$$P_p = P_c + 1,65 \cdot \sigma = 219,5 \text{ кВт.}$$

2.3. Определение электрических нагрузок при количестве электроприемников в группе, не более трех

В случаях, когда количество электроприемников в группе 3 и менее, расчетная нагрузка определяется как суммарная номинальная электрическая нагрузка.

Для одиночных электроприемников в качестве расчетной принимается номинальная электрическая нагрузка, приведенная к длительному режиму работы.

ЗАДАЧА 2.13

Для группы из трех электроприемников определить расчетную электрическую нагрузку.

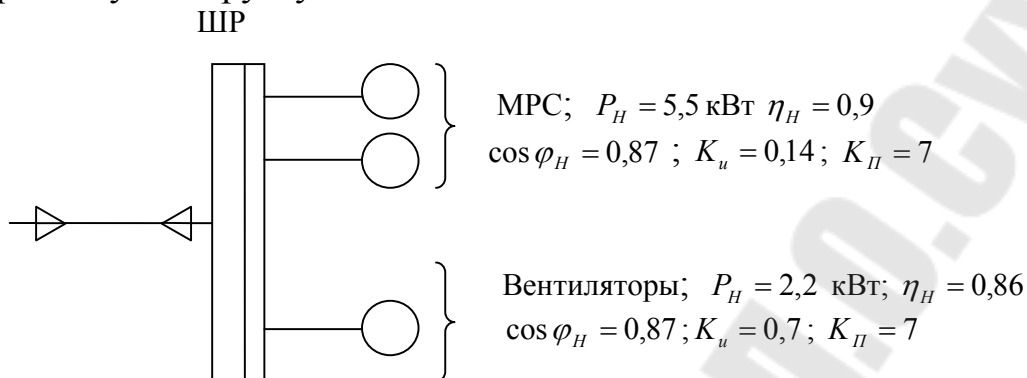


Рис.2.9 Схема питания электроприемников

Определяем расчетную активную мощность электроприемников:

$$P_p = \sum \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} = \frac{2 \cdot 5,5}{0,9} + \frac{2,2}{0,86} = 14,2 \text{ кВт.}$$

Определяем расчетную реактивную мощность электроприемников:

$$Q_p = \sum \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ni} = \frac{2 \cdot 5,5}{0,9} \cdot 0,57 + \frac{2,2}{0,86} \cdot 0,57 = 8,4 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{14,2^2 + 8,4^2} = 16,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 25,1 \text{ А}.$$

ЗАДАЧА 2.14

Определить расчетную электрическую нагрузку крана, подключенного к шкафу распределительному.

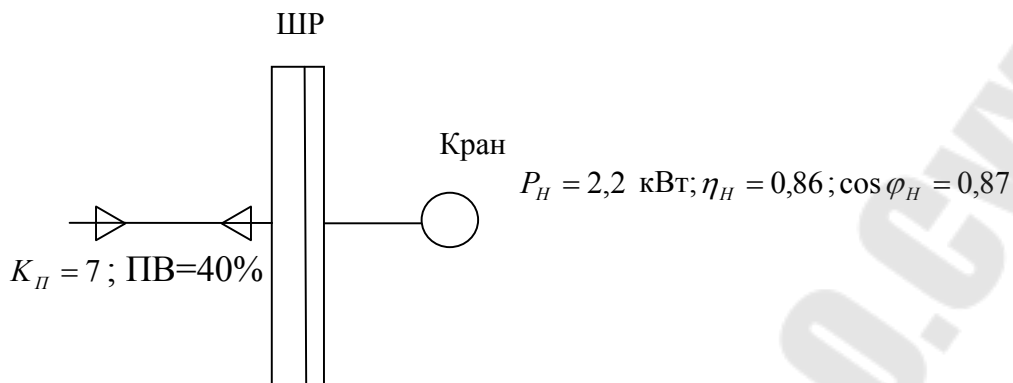


Рис.2.10 Схема питания электроприемника

Определяем расчетную активную мощность электроприемника:

$$P_p = \frac{P_H}{\eta_H} \cdot \sqrt{ПВ} = \frac{2,2}{0,86} \cdot \sqrt{0,4} = 1,6 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную реактивную мощность электроприемника:

$$Q_p = \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_H \cdot \sqrt{ПВ} = \frac{2,2}{0,86} \cdot 0,57 \cdot \sqrt{0,4} = 0,9 \text{ квар}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1,6^2 + 0,9^2} = 1,84 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток группы электроприемников:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,84}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,8 \text{ А}$$

Расчетный ток также можно определить по формуле:

$$I_p = \frac{P_H \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{2,2 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,86 \cdot 0,87} = 2,83 \text{ А}$$

2.4. Определение электрических нагрузок вспомогательными методами

Отсутствие в ряде случаев информации об индивидуальных электроприемниках привело к необходимости разработки эмпирических методов расчета, к которым относятся: метод коэффициента спроса, метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, метод удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади. В основу эмпирических методов положена информация о режимах электропотребления нагрузки в виде различных коэффициентов и показателей (K_c , $C_{уд}$, $\rho_{уд}$). Эти методы более просты, но точность расчета по ним зависит от аналогии технологического процесса и оборудования вновь проектируемого потребителя технологическому процессу и оборудованию потребителя, для которых получены значения K_c , $C_{уд}$, $\rho_{уд}$, рекомендуемые в справочной литературе.

Метод коэффициента спроса. Основная расчетная формула имеет вид:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}; Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где $P_{уст}$ – суммарная установленная мощность электроприемников потребителя; K_c – коэффициент спроса установленной мощности потребителя; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности потребителя.

Значения K_c и $\operatorname{tg} \varphi$ для различных потребителей приведены в приложении 2. Данный метод может применяться при определении расчетных нагрузок цехов и предприятия в целом.

Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции. По данному методу можно определить только среднюю нагрузку за определенный интервал времени (час, смену, сутки, месяц, квартал, год). Расчетное выражение по данному методу имеет вид:

$$P_{cp} = C_{уд} \cdot \Pi / T,$$

где Π – объем выпуска продукции за интервал времени T ; $C_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на производство продукции.

Значения $C_{уд}$ для ряда электроприемников цехов и предприятий приведены в справочной литературе.

Метод удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади. Удельная плотность нагрузки определяется на основании обследования нагрузок цехов действующих промышленных предприятий:

$$s_{уд} = S_{max} / F_{ц},$$

где S_{max} – максимальная полная нагрузка цеха, которая определяется по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии, снимаемым через 0,5 ч в период максимально загруженной смены; кВт·А; $F_{ц}$ – производственная площадь цеха, м².

Этот метод был предложен проф. Ю. Л. Мукосеевым для проектирования цехов с часто меняющимся технологическим процессом (механические, сборочные, ткацкие и т. д.). Зная намеченную проектом площадь цеха и значения $s_{уд}$, наблюдаемые на аналогичных действующих предприятиях, можно определить расчетную нагрузку цеха по выражению:

$$S_p = s_{уд} \cdot F_{ц}.$$

Этот метод широко применяется для определения расчетных нагрузок от осветительных электроприемников:

$$P_{p.o} = p_{уд} \cdot F_{ц} \cdot K_{c.o},$$

где $p_{уд}$ – удельная плотность осветительной нагрузки, кВт/м²; $K_{c.o}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки.

При определении расчетной нагрузки на шинах высокого напряжения необходимо учитывать потери мощности в элементах системы электроснабжения потребителя (трансформаторы, линии электропередачи).

На стадии, когда нет схемы заводского электроснабжения, допускается принимать потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p.сум}, \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p.сум}, \text{ квар.})$$

Соответственно, потери в кабельных линиях принимаются:

$$\Delta P_L = 0,035 \cdot S_{p.сум}, \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_L = 0 \text{ квар},$$

где $\Delta P_T, \Delta Q_T$ – активные и реактивные потери мощности в трансформаторах, $\Delta P_{л}, \Delta Q_{л}$ – активные и реактивные потери мощности в сетях, $S_{p.сум}$ – геометрическая сумма расчетных мощностей цехов завода:

$$S_{p.сум} = \sqrt{\left(\sum_1^n P_{pi}\right)^2 + \left(\sum_1^n Q_{pi}\right)^2}.$$

Таким образом, расчетная нагрузка потребителя составит:

$$P_p = K_o \cdot \left(\sum_1^n P_{pi} + \Delta P_T + \Delta P_{л}\right);$$

$$Q_p = K_o \cdot \left(\sum_1^n Q_{pi} + \Delta Q_T\right);$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

где K_o коэффициент одновременности для определения расчетной нагрузки на шинах 6 (10) кВ РП и ГПП.

ЗАДАЧА 2.15

От магистрали инструментального цеха питаются токарные, строгальные, сверлильные и другие металлообрабатывающие станки с установленной мощностью электроприемников $P_{уст} = 240$ кВт.

Требуется определить расчетную активную и реактивную нагрузки данной группы электроприемников.

Решение. Находим $K_C = 0,2$ и $\cos\varphi = 0,65$ для инструментальных цехов и участков.

Тогда $P_p = K_C \cdot P_{уст} = 0,2 \cdot 240 = 48$ кВт, $Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 48 \cdot 1,17 = 56,2$ квар.

ЗАДАЧА 2.16

Компрессорная за 30 суток выработала 13,7 млн. m^3 сжатого воздуха. Удельный расход электрической энергии на 1000 m^3 сжатого воздуха составил $C_{уд} = 116$ кВт·ч/тыс. m^3 . Требуется определить P_p .

Решение. Определяем среднечасовую выработку сжатого воздуха:

$$\Pi_{час} = \Pi / (24 \cdot N) = 13700 / (24 \cdot 30) = 19,03 \text{ тыс.}m^3/\text{час}.$$

$$\text{Тогда } P_p = \Pi_{час} \cdot C_{уд} = 19,03 \cdot 116 = 2207 \text{ кВт}.$$

ЗАДАЧА 2.17

Заданы площади помещений и установленные мощности силовых электроприемников в них. Используя вспомогательные методы, определить полную расчетную нагрузку силовых и осветительных электроприемников. Определить расчетную нагрузку на шинах РП-10 кВ. Для осветительной нагрузки коэффициент спроса $K_{с.осв.}$ принять равным 0,8; удельную плотность нагрузки принять произвольно в пределах 15...30 Вт/м². Суммарные активные и реактивные мощности нагрузки на шинах напряжением 10 кВ рассчитать с упрощенным учетом потерь мощности в кабелях и трансформаторах.

Таблица 2.6

Исходные данные

Наименование цеха	$P_{уст.}$ кВт	K_c	$tg\phi$	F, m^2
Кузнечно-прессовый цех	8500	0,25	1,17	52500
Механический цех	1500	0,22	1,02	45000
Сборочный цех	1500	0,35	1,02	84000
Инженерный корпус	680	0,35	0,88	15000
Блок вспомогательных цехов	1250	0,16	1,73	31500
Компрессорная (0,38 кВ)	200	0,75	0,75	3750
Синхронные двигатели 10 кВ	2000			

Для данного завода определение расчетных нагрузок начинают с определения расчетной осветительной нагрузки. Осветительную нагрузку каждого цеха определяем методом удельной плотности нагрузок на единицу производственной площади $P_{уд.}$. Определение расчетной силовой нагрузки для цехов производим по методу коэффициента спроса. Результаты расчета сводим в таблицу 2.7.

Для механического цеха установленная мощность освещения составит:

$$P_{осв} = P_{уд.} \cdot F = 8,4 \cdot 45000 = 378 \text{ кВт.}$$

Расчетную нагрузку освещения определяем методом коэффициента спроса:

$$P_{po} = P_{ocv} \cdot K_{c.o} = 378 \cdot 0,8 = 302,4 \text{ кВт.}$$

Для остальных цехов расчет освещения производится аналогично. Результаты расчета сводятся в таблицу 2.7.

Расчетная силовая нагрузка механического цеха определяется как:

$$P_p = 0,22 \cdot 1500 = 330 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = 330 \cdot 1,02 = 336,6 \text{ квар.}$$

$$S_p = 716 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Для остальных цехов расчет аналогичен.

На практике полная расчетная нагрузка определяется с учетом компенсации реактивной мощности. Для компенсации реактивной мощности в данном случае могут быть выбраны 6 синхронных электродвигателей СДН-18-19-40 для компрессорной: $p_{ном} = 400 \text{ кВт}$; $s_{ном} = 505 \text{ кВА}$; $q_{ном} = 308 \text{ квар}$, один из которых находится в резерве. Результаты расчета представлены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты расчета нагрузки предприятия

№ цеха	Наименование	Р _{уст.} , кВт	K _C	tgφ	Силовая нагрузка		Осветительная нагрузка					Полная нагрузка		
					Р _P , кВт	Q _P , квар	F, м ²	Р _{уд.} , Вт/м ²	Р _{уст.} , кВт	K _{C.о}	Р _{P.о.} , кВт	Р _{P.сум.} , кВт	Q _{P.сум.} , квар	S _{P.сум.} , кВ·А
1	Кузнечно-прессовый	8500	0,25	1,17	2125	2486,3	52500	8,4	441	0,8	352,8	2478	2486	3510
2	Механический	1500	0,22	1,02	330	336,6	45000	8,4	378	0,8	302,4	632	337	716
3	Сборочный	1500	0,35	1,02	525	535,5	84000	8,4	705,6	0,8	564,5	1089	536	1214
4	Инженерный корпус	680	0,35	0,88	238	209,4	15000	12,3	184,5	0,8	147,6	386	209	439
5	Блок вспомогательных цехов	1250	0,16	1,73	200	346	31500	4,2	132,3	0,8	105,84	306	346	462
6	Компрессорная (0,38 кВ)	200	0,75	0,75	150	112,5	3750	4,2	15,8	0,8	12,6	163	113	198
Итого									1841		1473,1	4891	4026	6335,1
7	Компрессорная (0,38 и 10 кВ)	2200	0,98	-0,086	2150	-185,7						2162,6	-185,7	2171
	Синхр. двигатели	2000												
ИТОГО												6891	3728	7835

ЗАДАЧА 2.18

Определить расчетную нагрузку цехов завода и предприятия в целом вспомогательными методами.

Таблица 2.8

Данные о потребителях электроэнергии

Исходные данные		
Наименование	$P_{уст}^c$, кВт	F , м ²
Ремонтно-механический цех	400	600
Компрессорная	350	300
Сборочный цех	150	400
Заводоуправление	150	700

1. Определяем расчетную силовую нагрузку (на примере РМЦ):

$$P_p^c = K_c \cdot P_{уст} = 0,2 \cdot 400 = 80 \text{ кВт}$$

$$Q_p^c = P_p^c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 80 \cdot 1,33 = 106,4 \text{ квар}$$

2. Определяем осветительную нагрузку:

$$P_p^o = K_{co} \cdot P_{уд}^o \cdot F_{цеха}$$

$$P_{уст}^o = P_{уд}^o \cdot F$$

3. Определяем суммарную расчетную нагрузку цехов:

$$P_p = P_p^c \cdot P_p^o$$

$$Q_p = Q_p^c \cdot Q_p^o$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

Таблица 2.9

Определение расчетной нагрузки цехов предприятия

Исходные данные			Силовая нагрузка				Осветительная нагрузка				Расчетная нагрузка		
Наименование	$P_{\text{уот}}^0$, кВт	F, м ²	K_o	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{расч}}^0$, кВт	$Q_{\text{расч}}^0$, квар	K_o^0	$P_{\text{уд}}^0$, Вт/м ²	$P_{\text{уот}}^0$, кВт	P_p^0 , кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А
Ремонтно-механический цех	400	600	0,2	1,33	80	106,4	0,8	20	12	9,6	89,6	106,4	139,1
Компрессорная	350	300	0,7	0,75	245	183,8	0,8	8	2,4	1,92	246,92	183,8	307,8
Сборочный цех	150	400	0,25	1,33	37,5	49,9	0,8	24	9,6	7,7	4,2	49,9	67,3
Заводоуправление	150	700	0,4	0,75	60	45	0,8	30	24	19,2	79,2	45	91,1
Итого	1050				423	385			48	38	461	385	601

Полученные значения S_p используются для расчета внутризаводского электроснабжения и выбора трансформаторов цеховых подстанций одновременно с компенсацией реактивной мощности нагрузки.

4. Определяем расчетную нагрузку предприятия в целом:

$$P_{pn} = K_o \cdot (\sum P_p + \Delta P_T + \Delta P_{\lambda})$$

$$Q_{pn} = K_o \cdot (\sum Q_p + \Delta Q_T + \Delta Q_{\lambda})$$

При определении расчетной нагрузки предприятия необходимо учитывать потери мощности в элементах внутризаводского электроснабжения, а также одновременность возникновения максимумов нагрузки цехов и участков завода.

На предпроектных стадиях потери мощности допускается определять упрощенно по следующим выражениям:

$$\Delta P_{\lambda} = 0,035 \cdot S_p = 0,035 \cdot 601 = 21,035 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\lambda} = 0$$

$$\Delta P_T = 0,025 \cdot S_p = 0,025 \cdot 601 = 15,025 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p = 0,1 \cdot 601 = 60,1 \text{ квар}$$

Определим коэффициент спроса для данного предприятия:

$$K_C = \frac{P_M}{P_{уст}} = \frac{P_p}{P_{уст}^c + P_{уст}^o} = \frac{461}{1050 + 48} = 0,42$$

$$K_o = f(n = 4; K_{II} = 0,42) = 0,95$$

$$P_{pn} = 0,95(461 + 15 + 21) = 472,15 \text{ кВт}$$

$$Q_{pn} = 0,95(385 + 60) = 422,8 \text{ квар}$$

$$S_{pn} = \sqrt{P_{pn}^2 + Q_{pn}^2} = \sqrt{472,15^2 + 422,8^2} = 634 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Полученная расчетная нагрузка используется для выбора источника электроснабжения предприятия и расчета ЛЭП внешнего электроснабжения завода.

2.5. Определение электрических нагрузок при наличии однофазных электроприемников в группе

Однофазные электроприемники, включенные на фазные и линейные напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15 % по отношению к общей мощности трехфазных электроприемников в группе, учитываются как трехфазные электроприемники той же суммарной мощности. При превышении указанных пределов неравномерности расчетная нагрузка принимается равной тройному значению наиболее загруженной фазы.

Нагрузки отдельных фаз при включении однофазных электроприемников на линейное напряжение определяются как полусуммы нагрузок двух плеч, прилегающих к данной фазе:

$$p_a = \frac{P_{ab} + P_{ac}}{2}; \quad p_b = \frac{P_{ab} + P_{bc}}{2}; \quad p_c = \frac{P_{ca} + P_{bc}}{2}.$$

Неравномерность нагрузки по фазам расчетного узла определяется как разность между активными нагрузками более и менее нагруженных фаз с отнесением ее к менее нагруженной фазе:

$$\Delta p_{\text{ном},p} = \frac{P_{\text{ном.мах}} - P_{\text{ном.мин}}}{P_{\text{ном.мин}}}.$$

Определение средних нагрузок от однофазных электроприемников производится аналогично трехфазным электроприемникам независимо от неравномерности по фазам.

При числе однофазных электроприемников до трех включительно условная трехфазная номинальная мощность $P_{\text{ном,усл}}$ определяется упрощенным способом.

а) При включении однофазного электроприемника на фазное напряжение $U_{\text{ф}}$ он учитывается как эквивалентный трехфазный электроприемник с утроенным значением номинальной мощности:

$$P_{\text{ном,усл}} = 3 \cdot p_{\text{ном}}; \quad Q_{\text{ном,усл}} = 3 \cdot q_{\text{ном}}$$

где $p_{\text{ном}}$, $q_{\text{ном}}$ – активная и реактивная номинальные мощности однофазного электроприемника.

б) При включении однофазного электроприемника на линейное напряжение $U_{л}$ он учитывается как эквивалентный трехфазный электроприемник с номинальной мощностью:

$$P_{\text{ном.усл}} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{ном}}, \quad Q_{\text{ном.усл}} = \sqrt{3} \cdot Q_{\text{ном}},$$

где $P_{\text{ном}}$, $Q_{\text{ном}}$ – активная и реактивная номинальные мощности однофазного электроприемника, включенного на $U_{л}$.

в) При двух-трех электроприемниках, включенных в разные плечи трехфазной системы на линейное напряжение $U_{л}$:

$$P_{\text{ном.усл}} = 3 \cdot P_{\text{ном.мах.ф}},$$

где $P_{\text{ном.мах.ф}}$ – суммарная номинальная мощность электроприемников наиболее загруженной фазы.

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

Расчетная нагрузка однофазных электроприемников при числе их больше трех и одинаковых $K_{и}$ и $\cos \varphi$, включенных на фазное или линейное напряжение, определяется по формулам:

$$P_p = 3 \cdot K_{и} \cdot K_p \cdot P_{\text{ном.мах.ф}};$$

$$Q_p = 3 \cdot K_{и} \cdot K_{м.р} \cdot P_{\text{ном.мах.ф}} \cdot \text{tg} \varphi.$$

Величина $n_э$ для однофазных нагрузок определяется по формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{\text{ном.о}}}{3 \cdot P_{\text{ном.о.макс}}},$$

где $\sum P_{\text{ном.о}}$ – сумма номинальных мощностей однофазных электроприемников данного расчетного узла; $P_{\text{ном.о.макс}}$ – наибольшая номинальная мощность однофазного электроприемника в группе.

При числе однофазных электроприемников более трех и при различных значениях $k_{и}$ и $\cos \varphi$, а также при включении их на фазные и линейные напряжения определение максимальной нагрузки произ-

водится следующим образом. Все однофазные электроприемники, включенные на фазное напряжение и на линейное напряжение распределяются по возможности равномерно по фазам. Общая средняя нагрузка по отдельным фазам определяется суммированием однофазных нагрузок с одинаковыми $k_{и}$ и $\cos\varphi$, включенных на линейное напряжение с соответствующим приведением этих нагрузок по табл. 2.10 к нагрузкам одной фазы и фазному напряжению.

Например, для фазы «а» будем иметь ($P_{см.а}$, кВт; $Q_{см.а}$, квар):

$$P_{см.а} = k_{и} \cdot P_{ab} \cdot p_{(ab)a} + k_{и} \cdot P_{ca} \cdot p_{(ca)a} + k'_{и} \cdot P_{a0};$$

$$Q_{см.а} = k_{и} \cdot P_{ab} \cdot q_{(ab)a} + k_{и} \cdot P_{ca} \cdot q_{(ca)a} + k'_{и} \cdot P_{a0} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где $k_{и}$ и $k'_{и}$ – соответствующие коэффициенты использования;
 P_{ab} – нагрузка, присоединенная на линейное напряжение между фазами «а» и «б»; P_{ca} – то же между фазами «с» и «а»; P_{a0} и Q_{a0} – нагрузки, присоединенные на фазное напряжение; $\operatorname{tg}\varphi$ соответствует $\cos\varphi$ нагрузки фаза – нуль; $p_{(ab)a}$, $p_{(ca)a}$, $q_{(ab)a}$, $q_{(ca)a}$ – коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение U_{ab} и U_{ca} к фазе «а» (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе трехфазного тока и фазному напряжению

Коэффициенты приведения	$\cos\varphi$							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$P_{(ab)a} \cdot P_{(bc)b} \cdot P_{(ca)c}$	1,4	1,17	1	0,89	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(ab)b} \cdot P_{(bc)c} \cdot P_{(ca)a}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,2	0,28	0,36	0,6
$q_{(ab)a} \cdot q_{(bc)b} \cdot q_{(ca)c}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q_{(ab)b} \cdot q_{(bc)c} \cdot q_{(ca)a}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,8	0,67	0,53	0,29

Из полученных значений находится наиболее загруженная фаза по активной и реактивной мощности, например, фаза «а».

Коэффициент использования $K_{и}$ определяется для наиболее загруженной фазы, например фазы «а»:

$$K_{и.а} = \frac{P_{см(а)}}{\left(\frac{P_{ab} + P_{ca}}{2}\right) + P_{ao}},$$

где P_{ab} , P_{ca} – суммарные номинальные мощности однофазных электроприемников, включенных на $U_{л}$ между наиболее загруженной фазой и смежные с ней фазы в 3-х фазной системе; P_{ao} – суммарная номинальная мощность однофазных электроприемников, включенных на фазное напряжение наиболее загруженной фазы.

Далее определяется коэффициент расчетной мощности $K_p = f(n, K_{и})$ и расчетная нагрузка:

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot K_{и} \cdot P_{ном.макс.ф} = 3 \cdot K_p \cdot P_{ср}, \quad Q_p = 3 \cdot Q_{ср} \cdot K_{м.р}.$$

ЗАДАЧА 2.19

Сварочный трансформатор включен на $U_{л}$. Данные трансформатора следующие: $s_{ном} = 25 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $\cos \varphi_{пасп} = 0,5$, $U_{л} = 380 \text{ В}$.

Требуется определить $p_{ном.усл}$.

Решение.

Определяем номинальную активную мощность трансформатора:

$$p_n = s_{ном} \cdot \cos \varphi_{пасп} = 25 \cdot 0,5 = 12,5 \text{ кВт}, \text{ тогда } p_{ном.усл} = \sqrt{3} \cdot 12,5 = 21,6 \text{ кВт}.$$

ЗАДАЧА 2.20

Определить трехфазную нагрузку от трех сварочных трансформаторов при $\cos \varphi = 0,5$, номинальные мощности которых составляют: $p_{ном1,ab} = 28 \text{ кВт}$, $p_{ном2,bc} = 13 \text{ кВт}$, $p_{ном3,ca} = 14 \text{ кВт}$. Трансформаторы присоединены на $U_{л} = 380 \text{ В}$.

Решение.

Определяем нагрузку наиболее загруженной фазы

$$p_a = \frac{28 + 14}{2} = 21 \text{ кВт}, \quad p_b = \frac{28 + 13}{2} = 20,5 \text{ кВт}, \quad p_c = \frac{13 + 14}{2} = 13,5 \text{ кВт}.$$

Наиболее загруженной является фаза «а»: $p_{ном.макс.ф} = p_a = 21 \text{ кВт}$.

Следовательно $p_{ном.усл} = 3 \cdot 21 = 63 \text{ кВт}$, $s_{ном.усл} = 63/0,5 = 126 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Тогда расчетный ток группы составит: $I_p = \frac{126}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 190 \text{ А}$.

ЗАДАЧА 2.21

Определить расчетную нагрузку от группы однофазных электроприемников, подключенных на $U_{л}$ и $U_{ф}$ и имеющих следующие данные:

$U_{ф}$:

«а-о» – 2×5 кВт $k_{и} = 0,3$ $\cos\varphi = 0,6$ ($\operatorname{tg}\varphi = 1,33$),
 «в-о» – 1×6 кВт $k_{и} = 0,2$ $\cos\varphi = 0,8$ ($\operatorname{tg}\varphi = 0,75$),
 «с-о» – 2×8 кВт $k_{и} = 0,4$ $\cos\varphi = 0,7$ ($\operatorname{tg}\varphi = 1,0$);

$U_{л}$:

«а-в» – 2×4 кВт $k_{и} = 0,2$ $\cos\varphi = 0,8$,
 «с-а» – 3×2 кВт $k_{и} = 0,3$ $\cos\varphi = 0,7$,
 «в-с» – 1×10 кВт $k_{и} = 0,3$ $\cos\varphi = 0,65$.

Решение.

Рассчитываем среднесменную нагрузку по фазам:

$$P_{см(а)} = K_{и} \cdot P_{ab} \cdot p_{(ab)a} + K_{и} \cdot P_{ca} \cdot p_{(ac)a} + K'_{и} \cdot P_{ao} =$$

$$= 0,2 \cdot (2 \cdot 4) \cdot 0,72 + 0,3 \cdot (3 \cdot 2) \cdot 0,2 + 0,3 \cdot (2 \cdot 5) = 4,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{см(а)} = K_{и} \cdot P_{ab} \cdot q_{(ab)a} + K_{и} \cdot P_{ca} \cdot q_{(ca)a} + K'_{и} \cdot P_{ao} \cdot \operatorname{tg}\varphi =$$

$$= 0,2 \cdot 8 \cdot 0,09 + 0,3 \cdot 6 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 10 \cdot 1,33 = 5,7 \text{ квар},$$

$$P_{см(в)} = K_{и} \cdot P_{ab} \cdot p_{(ab)b} + K_{и} \cdot P_{cb} \cdot p_{(cb)b} + K'_{и} \cdot P_{bo} =$$

$$= 0,2 \cdot 8 \cdot 0,28 + 0,3 \cdot 10 \cdot 0,84 + 0,2 \cdot 6 = 4,17 \text{ кВт},$$

$$Q_{см(в)} = K_{и} \cdot P_{ab} \cdot q_{(ab)b} + K_{и} \cdot P_{cb} \cdot q_{(cb)b} + K'_{и} \cdot P_{bo} \cdot \operatorname{tg}\varphi =$$

$$= 0,2 \cdot 8 \cdot 0,67 + 0,3 \cdot 10 \cdot 0,3 + 0,2 \cdot 6 \cdot 0,75 = 2,87 \text{ квар}.$$

$$P_{см(с)} = K_{и} \cdot P_{ca} \cdot p_{(ca)c} + K_{и} \cdot P_{cb} \cdot p_{(cb)c} + K'_{и} \cdot P_{co} =$$

$$= 0,3 \cdot 6 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 10 \cdot 0,16 + 0,4 \cdot 16 = 8,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{см(с)} = K_{и} \cdot P_{ca} \cdot q_{(ca)c} + K_{и} \cdot P_{cb} \cdot q_{(cb)c} + K'_{и} \cdot P_{co} \cdot \operatorname{tg}\varphi =$$

$$= 0,3 \cdot 6 \cdot 0,22 + 0,3 \cdot 10 \cdot 0,88 + 0,4 \cdot 16 \cdot 1 = 9,4 \text{ квар}.$$

Наиболее загруженной является фаза «с».

Определяем эффективное число электроприемников:

$$n_3 = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{ном.о}}{3 \cdot P_{ном.о.макс}} = \frac{2 \cdot (10 + 6 + 16 + 8 + 6 + 10)}{3 \cdot 10} = 3,7.$$

Коэффициент использования для наиболее загруженной фазы:

$$K_{и.с} = \frac{P_{см(с)}}{\left(\frac{P_{са} + P_{bc}}{2}\right) + P_{со}} = \frac{8,3}{\frac{6+10}{2} + 16} = \frac{8,3}{24} = 0,35.$$

Определяем коэффициент расчетной нагрузки $K_{р.с} = f(n_э, K_{и.с}) = 2$.

Тогда расчетная нагрузка составит:

$$P_p = 3 \cdot K_{р.с} \cdot P_{см(с)} = 3 \cdot 2 \cdot 8,3 = 50 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 3 \cdot Q_{см(с)} \cdot K_{мр} = 3 \cdot 9,4 \cdot 1,1 = 31,02 \text{ квар}.$$

2.6. Определение расчетной электрической нагрузки с учетом постоянной времени нагрева проводников

Одной из причин выхода из строя силовых трансформаторов, проводов и кабелей, распределительных устройств и коммутационно-защитной аппаратуры является недостаточно точное определение электрических нагрузок на эти элементы при их выборе. Поэтому учет дополнительных факторов, оказывающих влияние на формирование электрической нагрузки, является весьма актуальной задачей.

Выбор проводников, распределительных устройств в цеховых электрических сетях осуществляется, как правило, по условию нагрева:

$$I_{д.доп.} \geq I_p.$$

Иными словами, длительно допустимый ток проводника $I_{д.доп.}$ определяется расчетным током группы электроприемников.

Выше было показано, что при определении расчетной электрической нагрузки постоянная времени нагрева T_0 электрической сети учитывается в коэффициентах расчетной нагрузки K_p , определяемых дифференцированно на каждом уровне системы электроснабжения. Однако постоянная времени нагрева проводников определяется более сложным законом. В частности, для проводов с резиновой изоляцией постоянная времени нагрева изменяется в зависимости от сечения проводника и способа его прокладки, что представлено в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Зависимость постоянной времени нагрева провода от его сечения

Сечение, мм ²	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Постоянная времени нагрева при открытой прокладке, мин, длительно допустимый ток, А	3	4,2	5,5	7,2	9	12	15	18,4	21,4
	39	60	75	105	130	165	210	255	295
Постоянная времени нагрева при прокладке в трубах, мин, длительно допустимый ток, А	6	9	12	17	19	23	27	32	36
	30	39	55	70	85	120	140	175	200

Аналогично проводам, постоянная времени нагрева распределительных устройств отличается от 10 мин для пунктов и шкафов распределительных, а также, строго говоря, не равна 2,5 ч для магистральных шинопроводов и вводно-распределительных устройств. Поэтому расчетные нагрузки и выбранные по ним параметры элементов цехового электроснабжения могут быть уточнены с учетом постоянной времени нагрева токоведущих частей.

Для учета постоянной времени нагрева проводников при определении расчетной электрической нагрузки и выборе проводников может использоваться способ, основанный на следующем итерационном алгоритме:

Пусть определены расчетный ток I_p и значение K_p группы электроприемников цеха методом упорядоченных диаграмм при $T_0 = 10$ мин.

Руководствуясь условием нагрева, по справочнику выбираем провод определенного сечения F для питания данной группы электроприемников.

Для выбранного проводника по таблицам, аналогичным табл. 2.10, определяем реальную постоянную времени нагрева. Пересчитываем коэффициент K_p с учетом полученной постоянной времени нагрева относительно ее начального значения (для первой итерации $T_0 = 10$ мин) по известному выражению:

$$K_{pt} = 1 + \frac{K_p - 1}{\sqrt{\frac{3 \cdot T_0}{3 \cdot 10}}}$$

Исходный расчетный ток I_p уточняем по формуле:

$$I'_p = I_p \cdot \frac{K_{pt}}{K_p}$$

Используя уточненное значение расчетного тока I'_p по условию нагрева выбираем проводник сечением F' .

Если $F' \neq F$ то расчет повторяется по пунктам 2 – 4 алгоритма до тех пор, пока сечения проводников, полученные на предшествующей F_{t-1} и последней F_t итерации не будут равны.

Алгоритм предполагает, что после нескольких итераций расчетная нагрузка группы электроприемников будет соответствовать длительно допустимому току питающей сети с реальной постоянной времени нагрева.

ЗАДАЧА 2.22

Методом упорядоченных диаграмм определено: расчетный ток группы электроприемников $I_p = 186$ А при $K_p = 2$ и $T_0 = 10$ мин. Уточнить расчетную нагрузку с учетом реальной постоянной времени нагрева питающего провода, проложенного в трубе.

Решение

Руководствуясь условием допустимого нагрева проводника, по табл. 2.10 принимаем провод со следующими данными при прокладке в трубах:

$$F = 120 \text{ мм}^2, I_{\text{д.доп.}} = 200 \text{ А}, T_0 = 36 \text{ мин.}$$

2) Пересчитываем коэффициент K_p с учетом полученной постоянной времени нагрева относительно начальной постоянной времени нагрева:

$$K_{pt} = 1 + \frac{K_p - 1}{\sqrt{\frac{3 \cdot T_0}{30}}} = 1 + \frac{2 - 1}{\sqrt{\frac{3 \cdot 36}{30}}} = 1,53$$

3) Уточняем исходный расчетный ток I_p :

$$I'_p = I_p \cdot \frac{K_{pt}}{K_p} = 186 \cdot \frac{1,53}{2} = 142,3 \text{ А}.$$

4) Используя уточненное значение расчетного тока I'_p выбираем проводник:

$$F' = 95 \text{ мм}^2; I_{\text{д.доп.}} = 175 \text{ А}, T_0 = 32 \text{ мин.}$$

Так как $F' \neq F$, расчет по пунктам 2 – 4 алгоритма повторяется:

– пересчитываем коэффициент K_{pt} при $T_0 = 32$ мин:

$$K'_{pt} \approx 1 + \frac{1,53 - 1}{\sqrt{\frac{3 \cdot 32}{3 \cdot 36}}} = 1,56;$$

– уточняем расчетный ток:

$$I''_p = I'_p \cdot \frac{K'_{pt}}{K_{pt}} = 142,3 \cdot \frac{1,56}{1,53} = 145,3 \text{ А};$$

– по условию допустимого нагрева выбираем проводник:

$$F'' = 95 \text{ мм}^2; I_{д.доп.} = 175 \text{ А, при этом } F' = F''.$$

При открытом способе прокладки ход расчетов аналогичен.

Таким образом, результаты определения расчетной нагрузки и выбора проводника с учетом постоянной времени нагрева точнее.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ

Таблица П 2.1

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1000 В ($T_0 = 10$ мин)

n,	Коэффициент использования K_i								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	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	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	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	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	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	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	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

Продолжение табл. П.2.1

40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица П 2.2

**Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p
для сетей напряжением до 1000 В ($T_0 = 2,5$ ч)**

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

Таблица П 2.3

**Значение коэффициента одновременности K_0 для определения расчетной
нагрузки на шинах 6 (10) кВ РП и ГПП**

Средневзвешенный коэффициент использования	Число присоединений 6 (10) кВ на сборных шинах РП, ГПП			
	2-4	5-8	9-25	Более 25
$K_{и} < 0,3$	0,9	0,8	0,75	0,7
$0,3 \leq K_{и} < 0,5$	0,95	0,9	0,85	0,8
$0,5 \leq K_{и} \leq 0,8$	1,0	0,95	0,9	0,85
$K_{и} > 0,8$	1,0	1,0	0,95	0,9

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Таблица П 2.4

Коэффициенты использования и мощности электроприемников

Электроприемники	Коэффициенты	
	использова- ния $k_{\text{и}}$	мощности $\cos\phi$
1. Горнообогатительные комбинаты, аглофабрики		
Насосы водяные	0,7	0,8
То же, песковые	0,75	0,8
Вентиляторы	0,7	0,75
Вентиляторы высокого давления аглофабрик	0,75	0,85
Дробилки	0,8	0,85
Мельницы шаровые	0,8	0,8
Грохоты	0,5	0,6
Транспортеры ленточные свыше 170 кВт с асинхронными двигателями	0,6	0,7
Транспортеры ленточные до 170 кВт	0,5	0,65
Конвейеры до 10 кВт	0,4	0,4
То же, свыше 10 кВт	0,55	0,7
Питатели пластинчатые, тарельчатые, барабанные и дисковые	0,5	0,75
Элеваторы, шнеки	0,6	0,7
Сгустители	0,7	0,8
Барабаны смесительные и чашевые охладители	0,6	0,8
Столы и баки концентрационные, чаны, сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Классификаторы спиральные и речные	0,65	0,8
Флотационные машины	0,9	0,8
Электрофильтры	0,4	0,87
Насосы водяные	0,7	0,8
Насосы питательные мартеновских цехов	0,9	0,9
Вентиляторы доменных цехов	0,8	0,8
Вентиляторы принудительного сырья	0,7	0,8
Компрессоры	0,7	0,8
Краны разные	0,25	0,6
Сушильные шкафы	0,8	1
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1

Продолжение табл. П.2.4

2. Машиностроительная и металлообрабатывающая промышленность		
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные и т.п.	0,12-0,2	0,4-0,5
То же при крупносерийном производстве	0,16	0,5
То же, при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные	0,17	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: молоты, ковочные машины, волочильные станы и т.п.	0,2	0,65
Многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,2	0,5
Краны тельферы	0,15	0,5
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,6	0,8
Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,8
Сварочные трансформаторы	0,3	0,4
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,35	0,7
То же, стыковые и точечные	0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы типа АДС	0,4	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75	0,95
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой	0,6	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,7	0,75
Двигатель-генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,8
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,65
Элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры не сблокированные	0,4	0,75
То же, сблокированные	0,55	0,75

Таблица П 2.5

**Значения коэффициентов спроса и мощности цехов и участков
предприятий**

Наименование	K_c	$\cos \varphi$
1	2	3
1. Корпуса, цеха, насосные и прочие установки общепромышленного назначения		
Ремонтно-механические	0,2–0,3	0,65–0,75
Электроремонтные	0,3–0,4	0,7–0,8
Насосные, кислородные и компрессорные станции с электродвигателями низкого напряжения	0,7–0,8	0,7–0,85
То же, высокого напряжения:		
а) с асинхронными электродвигателями	0,75–0,85	0,8–0,9
б) с синхронными электродвигателями	0,75–0,85	0,9–0,95
Вентиляционные установки и отопление	0,65–0,8	0,8
Газогенераторные станции	0,4–0,6	0,7–0,8
Литейные черных металлов	0,6–0,8	0,7–0,9
Литейные цветных металлов	0,7–0,8	0,8–0,95
Блоки основных цехов	0,3	0,75
Блоки вспомогательных цехов	0,25	0,7
Штамповочные, механические и токарные	0,25–0,4	0,6–0,8
Инструментальные	0,2–0,25	0,65–0,8
Механосборочные и заготовительные	0,25–0,4	0,65–0,75
Металлоконструкций	0,5–0,7	0,6
Закалочные	0,7	0,75
Кузнечно-прессовые	0,25–0,4	0,65–0,7
Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,8–0,9	0,85–0,95
Крановая нагрузка, подъемники	0,3–0,4	0,5–0,7
Электросварка	0,3–0,5	0,3–0,5
Столярные	0,2–0,4	0,6–0,8
Малярные, модельные	0,5–0,6	0,5–0,6
Собственные нужды электростанций	0,7–0,8	0,75–0,8
Лаборатории	0,6–0,9	0,7–0,9
Заводоуправление, проходные и т.п. (силовая нагрузка)	0,3–0,5	0,5–0,7
Депо (ж.д., пожарные)	0,4–0,6	0,6–0,8
Гаражи	0,4–0,6	0,65–0,8
Котельные	0,6–0,8	0,7–0,8
Склады открытые	0,2–0,4	0,6–0,7
Склады закрытые, готовой продукции, магазины	0,6–0,8	0,8–1,0
Столовые	0,6–0,8	0,9
Лесозаводы	0,4–0,6	0,7
Лесосушилки	0,76–0,8	0,75–0,9

Продолжение табл. П. 2.5

1	2	3
2. Заводы тяжелого машиностроения		
Главный корпус	0,5	0,75
Моторный цех	0,3	0,75
Кузнечный цех	0,4	0,75
Экспериментальный цех	0,2	0,7
3. Машиностроительные заводы		
Главный корпус	0,2	0,65
Кузнечный корпус	0,27	0,65
Термический цех	0,8	0,65
Гальванический цех	0,5–0,6	0,7–0,8
4. Электротехнические заводы		
Изоляционный корпус	0,7	0,9
Лаковарочный цех	0,7	0,9
5. Автомобильные и тракторные заводы		
Цех шасси и главный конвейер	0,4	0,75
Моторный цех	0,27	0,7
Прессово-кузнечный цех	0,25	0,7
Кузнечный цех	0,25	0,75
Арматурно-агрегатный цех	0,2	0,7
Рессорный цех	0,3	0,55
Кузовной цех	0,4	0,8
Цех обкатки двигателей	0,7–0,8	0,6
6. Бумажные фабрики		
Бумажные машины	0,65–0,8	0,75–0,85
Кислотный цех	0,6	0,8
Дереворубка	0,3	0,5
Варочное отделение	0,4	0,7
Отбельный отдел	0,7	0,7
Тряпковарка	0,7	0,75
Лесотаски	0,4	0,5
7. Текстильные, ситценабивные и меланжевые фабрики		
Прядильное отделение	0,7–0,8	0,75
Ткацкое отделение	0,8	0,8
Красильное отделение	0,6–0,7	0,65–0,75
Отбельное отделение	0,5	0,7
Сновальный корпус	0,7	0,7
Красильно-сортировочный корпус	0,6	0,7

Продолжение табл. П 2.5

1	2	3
Сортировочно-тренажный корпус	0,4	0,75
Крутильный корпус	0,6	0,8
8. Строительная промышленность		
Завод железобетонных изделий	0,45–0,5	0,73
Арматурный завод	0,3–0,4	0,6–0,65
Арматурная мастерская	0,45	0,5
Механическая мастерская	0,2–0,4	0,5
Сантехническая мастерская	0,35–0,4	0,5
Опалубочная мастерская	0,7	0,7
Плотничная мастерская	0,6	0,7
Растворный узел	0,4–0,6	0,5–0,6
Формовочная машина	0,2–0,25	0,6

3. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В энергетических системах порядка (10–15) % электрической энергии теряется при ее транспортировке и трансформации. Поэтому актуальной является задача воздействия на факторы, определяющие потери электроэнергии, с целью их снижения.

Основные потери электрической энергии в системах электро-снабжения имеют место в линиях электропередачи и трансформаторах. Существуют несколько способов определения потерь мощности и энергии.

1. Определение потерь мощности и энергии по средней (среднеквадратичной) нагрузке:

$$\Delta P = 3(I_c \cdot K_{ф.г.})^2 \cdot R = \left(\frac{S_c \cdot K_{ф.г.}}{U_H} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{S_{ск}}{U_H} \right)^2 \cdot R,$$

где I_c , S_c – средний ток и мощность потребителя; $K_{ф.г.}$ – коэффициент формы графика нагрузки; R – сопротивление элемента системы электроснабжения; $S_{ск}$ – среднеквадратичная нагрузка потребителя.

В данном случае потери электрической энергии определяются по выражению:

$$\Delta W_{год} = \Delta P \cdot T_r,$$

где T_r – годовой фонд рабочего времени.

2. Определение потерь мощности и энергии по максимальной мощности нагрузки (метод времени максимальных потерь):

$$\Delta P_M = \left(\frac{S_M}{U_H} \right)^2 \cdot R,$$

где S_M – максимальная мощность нагрузки.

Потери электрической энергии здесь определяются по выражению:

$$\Delta W_{год} = \Delta P_M \cdot \tau,$$

где τ – время максимальных потерь. Это время, в течение которого теряется столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько за время работы потребителя по реальному графику:

$$\tau = \left(\frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{м}}} \right)^2 \cdot T = (K_{\text{ф.г.}} \cdot K_{\text{з.г.}})^2 \cdot T.$$

Время максимальных потерь может также определяться по эмпирическому выражению:

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

Данное выражение может быть использовано для определения годового времени максимальных потерь потребителей, у которых $T_{\text{м}} > 3000$ ч, если $\cos \varphi > 0,6$.

$T_{\text{м}}$ – время использования максимальной нагрузки – время, в течение которого потребитель израсходует столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе с реальной нагрузкой за годовой фонд рабочего времени:

$$T_{\text{м}} = K_{\text{з.г.}} \cdot T_{\text{г.}}$$

Для определения τ могут также использоваться номограммы, представляющие собой зависимости $\tau = f(T_{\text{м}}, \cos \varphi)$.

Потери мощности в трансформаторах определяются по выражению

$$\Delta P_{\text{т}} = \frac{1}{n} \left(\frac{S}{S_{\text{н}}} \right)^2 \Delta P_{\text{кз}} + n \Delta P_{\text{xx}}.$$

Потери энергии:

$$\Delta W_{\text{т}} = \frac{1}{n} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{нт}}} \right)^2 \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau + n \Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{г}} = \left(\frac{1}{n} \left(\frac{S_{\text{ск}}}{S_{\text{нт}}} \right)^2 \Delta P_{\text{кз}} + n \Delta P_{\text{xx}} \right) \cdot T_{\text{г}},$$

где $T_{\text{г}}$ – время работы трансформаторов в течение года.

Определение диапазона нагрузки потребителя, при которых целесообразна работа одного (двух) трансформаторов выполняется, исходя из равенства:

$$\left(\frac{S}{S_{\text{н}}} \right)^2 \Delta P_{\text{кз}} + \Delta P_{\text{xx}} = \frac{1}{2} \left(\frac{S}{S_{\text{н}}} \right)^2 \Delta P_{\text{кз}} + 2 \Delta P_{\text{xx}}, \quad S_{\text{г}} = S_{\text{нт}} \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{кз}}}},$$

где $S_{\text{г}}$ – граничная мощность нагрузки потребителя электроэнергии.

При $S > S_r$ целесообразна работа 2-х трансформаторов, если же $S < S_r$, то следует использовать в работе один трансформатор.

В общем случае, при количестве трансформаторов n , S_r определяется как:

$$S_r = S_{HT} \sqrt{\frac{n(n-1) \cdot \Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}}.$$

Задача оптимизации загрузки трансформаторов потребителя заключается в перераспределении нагрузок потребителя таким образом, чтобы КПД установленных трансформаторов был максимальным, что имеет место при выполнении условия

$$\Delta P_M = \Delta P_{ст},$$

откуда следует уравнение

$$\frac{1}{n} \left(\frac{S_o}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{кз} = n \Delta P_{xx}, \quad S_0 = n S_{HT} \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}}.$$

В данном случае речь идет об оптимизации режимов работы уже установленных трансформаторов. Однако снижение потерь мощности и энергии необходимо планировать уже на стадии проектирования. На этой стадии целесообразно говорить не о минимальных потерях электроэнергии, а о минимальных затратах, которые учитывают стоимость потерь электроэнергии и трансформаторов.

3. Приближенный расчет потерь мощности в линиях электропередачи и трансформаторах

На предпроектных стадиях, когда отсутствуют сведения о схеме электроснабжения и неизвестны параметры ее элементов, при определении расчетной нагрузки вспомогательными методами потери мощности в линиях и трансформаторах допускается учитывать приближенно используя следующие выражения.

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p\Sigma}; \quad \Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p\Sigma},$$

где $S_{p\Sigma}$ – суммарная расчетная мощность нагрузки потребителя.

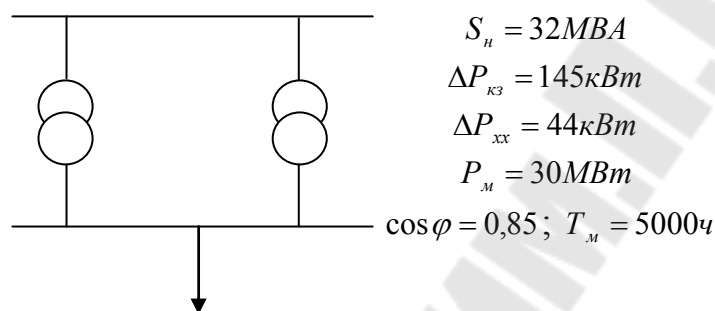
Потери в линиях электропередачи:

$$\Delta P_L = 0,035 \cdot S_{p\Sigma}; \quad \Delta Q_L \approx 0.$$

На предприятиях канализация электроэнергии осуществляется, как правило, кабельными линиями. При этом активное сопротивление кабеля в 10 и более раз превышает реактивное сопротивление, поэтому потерями реактивной мощности пренебрегают.

ЗАДАЧА 3.1

Для подстанции предприятия с двумя трансформаторами мощностью 32МВ·А определить потери активной мощности и оценить годовые потери электроэнергии (в процентах от электропотребления).



Решение:

$$\Delta P_T = \frac{1}{n_T} \cdot \Delta P_{кз} \left(\frac{S_m}{S_n} \right)^2 + n_T \cdot \Delta P_{xx}$$

$$S_m = \frac{P_m}{\cos \varphi} = \frac{30}{0,85} = 35,3 \text{ MVA}$$

$$\Delta P_T = \frac{1}{2} \cdot 145 \cdot \left(\frac{35,3}{32} \right)^2 + 2 \cdot 44 = 176,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_T = \frac{1}{n_T} \cdot \Delta P_{кз} \left(\frac{S_m}{S_n} \right)^2 \cdot \tau + n_T \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_T$$

$$\text{где } \tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 3411 \text{ ч}$$

$$\Delta W_T = \frac{1}{2} \cdot 145 \cdot \left(\frac{35,3}{32} \right)^2 \cdot 3411 + 2 \cdot 44 \cdot 8760 = 1071,8 \text{ тыс.кВт} \cdot \text{ч}$$

$$W_T = P_m \cdot T_m = 30 \cdot 5000 = 15000 \text{ тыс.кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\delta W = \frac{\Delta W_T}{W_T} = \frac{1071,8}{15000} \cdot 100\% = 0,71\%$$

ЗАДАЧА 3.2

Определить потери активной и реактивной мощности и годовые потери электроэнергии в кабелях и трансформаторах (6 шт.), питающих один из цехов промышленного предприятия по радиальной схеме (каждый трансформатор подключен к отдельному кабелю). Расчетная мощность нагрузки цеха $S_p = 6166,8$ кВ·А.

а) Для расчета потерь в трансформаторах воспользуемся каталожными данными:

Тип трансформатора	U_k %	ΔP_k кВт	ΔP_x кВт	I_{xx} %	ΔQ_x квар
ТМ 1600/10	5,5	18	3,3	1,3	21

Потери в трансформаторах составят:

$$\Delta P_{T\Sigma} = \frac{\Delta P_k}{n_{тр}} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{н.тр}} \right)^2 + \Delta P_x \cdot n_{тр} = \frac{18}{6} \cdot \left(\frac{6166,8}{1600} \right)^2 + 3,3 \cdot 6 = 64,37 \text{ кВт}.$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = \frac{U_k \cdot S_p^2}{100 \cdot n_{тр} \cdot S_{н.тр}} + \Delta Q_x \cdot n_{тр} = \frac{5,5 \cdot 6166,8^2}{100 \cdot 6 \cdot 1600} + 21 \cdot 6 = 343,88 \text{ квар}.$$

б) Определим потери мощности в кабелях ($L = 0,8$ км):

$$R_k = r_0 \cdot l = 0,62 \cdot 0,8 = 0,496 \text{ Ом};$$

$$X_k = x_0 \cdot l = 0,09 \cdot 0,8 = 0,072 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_{каб} = 3 \cdot I_p^2 \cdot R_k \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 59,3^2 \cdot 0,496 \cdot 10^{-3} = 5,23 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{каб} = 3 \cdot I_p^2 \cdot X_k \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 59,3^2 \cdot 0,072 \cdot 10^{-3} = 0,76 \text{ квар}.$$

Следовательно, потери мощности во всех кабелях составят:

$$\Delta P_{K\Sigma} = \Delta P_{каб} \cdot n = 5,23 \cdot 6 = 31,38 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{K\Sigma} = \Delta Q_{каб} \cdot n = 0,76 \cdot 6 = 4,56 \text{ квар}.$$

в) Годовые потери электроэнергии в трансформаторах:
– активной энергии:

$$\Delta W = \Delta W_M + \Delta W_{ст},$$

где ΔW_M – потери в меди трансформаторов (обмотки):

$$\Delta W_M = \frac{\Delta P_K}{n_{\text{тр}}} \left(\frac{S_p}{S_{\text{н.тр}}} \right)^2 \cdot \tau;$$

$\Delta W_{\text{ст}}$ – потери в стали трансформаторов (магнитопровод):

$$\Delta W_{\text{ст}} = \Delta P_x \cdot n_{\text{тр}} \cdot T_{\Gamma};$$

$$\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 5000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 3410 \text{ ч.}$$

Годовые потери во всех трансформаторах:

$$\Delta W_{T\Sigma} = \frac{\Delta P_K \cdot S_p^2}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.тр}}^2} \cdot \tau + \Delta P_x \cdot n_{\text{тр}} \cdot T_{\Gamma}, \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{T\Sigma} = \frac{18}{6} \cdot \left(\frac{6166,8}{1600} \right)^2 \cdot 3410 + 3,3 \cdot 6 \cdot 8760 = 325417 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

реактивной энергии:

$$\Delta V_{T\Sigma} = \frac{U_K \cdot S_p^2}{100 \cdot n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.тр}}} \cdot \tau + \Delta Q_x \cdot n_{\text{тр}} \cdot T_{\Gamma}, \text{ квар} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta V_{T\Sigma} = \frac{5,5 \cdot 6166,8^2}{100 \cdot 6 \cdot 1600} \cdot 3410 + 21 \cdot 6 \cdot 8760 = 1103978 \text{ квар} \cdot \text{ч.}$$

з) Годовые потери энергии в кабелях:

$$\Delta W_{K\Sigma} = \Delta P_{K\Sigma} \cdot \tau = 31,38 \cdot 3410 = 107005,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta V_{K\Sigma} = \Delta Q_{K\Sigma} \cdot \tau = 4,56 \cdot 3410 = 15549,6 \text{ квар} \cdot \text{ч.}$$

Таким образом, имеем:

потери активной мощности в трансформаторах и кабелях:

$$\sum (\Delta P_{K\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma}) = 31,38 + 64,37 = 95,75 \text{ кВт};$$

потери реактивной мощности в трансформаторах и кабелях:

$$\sum (\Delta Q_{K\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma}) = 4,56 + 343,88 = 348,44 \text{ квар};$$

потери активной энергии за год в трансформаторах и кабелях:

$$\sum(\Delta W_{K\Sigma} + \Delta W_{T\Sigma}) = 107005,8 + 325417 = 432422 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

– потери реактивной энергии за год в трансформаторах и кабелях:

$$\Delta V_{K\Sigma} + \Delta V_{T\Sigma} = 15549,6 + 1103978 = 1119527,6 \text{ квар} \cdot \text{ч}.$$

ЗАДАЧА 3.3

1. Построить зависимость потерь мощности в двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами ТСЗ – 1600/10 от её загрузки.
2. Определить нагрузку потребителя, при которой двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами ТСЗ – 1600/10 работает в оптимальном режиме (с максимальным КПД). Определить максимальный КПД трансформаторной подстанции.
3. Определить диапазоны нагрузки потребителя, при которых целесообразна работа одного трансформатора, двух трансформаторов цеховой подстанции с трансформаторами ТСЗ – 1600/10.

РЕШЕНИЕ:

Рассмотрим 2-трансформаторную подстанцию цеха с трансформаторами ТСЗ – 1600/10.

Паспортные данные: $S_{\text{НОМ}} = 1600$ кВА, $\Delta P_{\text{ХХ}} = 4,2$ кВт, $\Delta P_{\text{КЗ}} = 16,0$ кВт,

$$U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}, \cos \varphi = 0,8.$$

1. Изменяя коэффициент загрузки трансформаторов подстанции от 0,1 до 1, заполним таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Зависимость потерь мощности в двухтрансформаторной подстанции от её загрузки

Мощность	Коэффициент загрузки	Потери мощности
S , кВА	K_3	ΔP , кВт
320	0,1	8,72
640	0,2	9,68
960	0,3	11,28
1280	0,4	13,52
1600	0,5	16,4
1920	0,6	19,92
2240	0,7	24,08
2560	0,8	28,88
2880	0,9	34,32
3200	1	40,4

$$S = 2 \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot K_3;$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_{\text{ХХ}}.$$

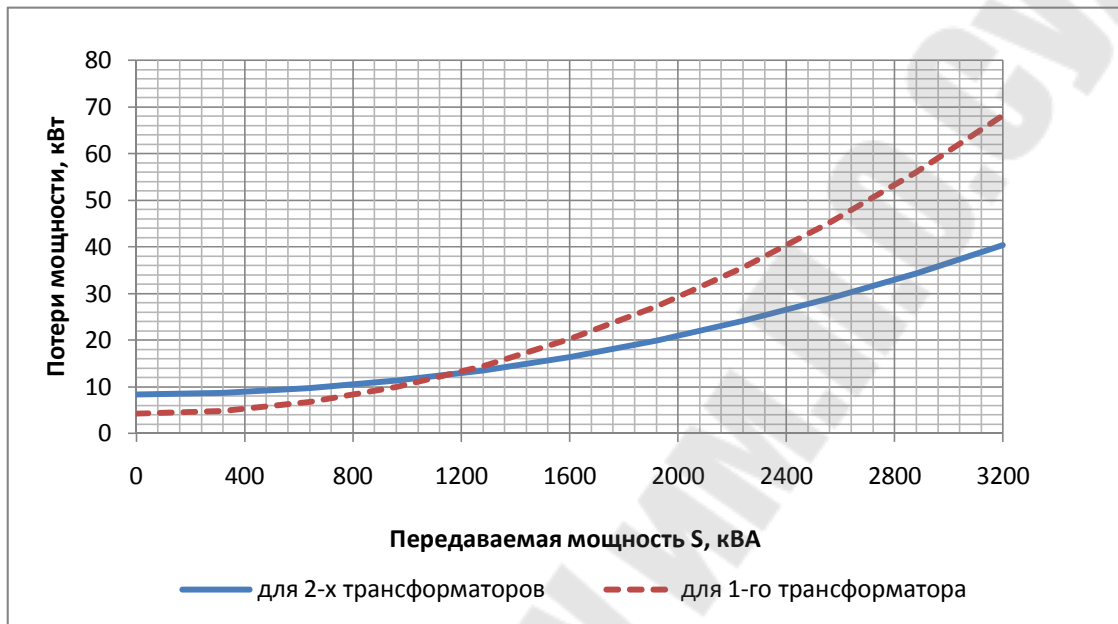


Рис.3.1. Полученный график зависимости $\Delta P = f(S)$

2. Для того, чтобы определить нагрузку потребителя при оптимальном режиме (под оптимальным режимом будем понимать режим с наибольшим КПД), необходимо приравнять потери мощности в стали с потерями мощности в меди трансформаторов. Для двух, параллельно работающих трансформаторов равенство выглядит так:

$$\frac{1}{2} \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_o}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 = 2 \cdot \Delta P_{\text{ХХ}}$$

откуда

$$S_o = 2 \cdot S_{\text{НОМ}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ХХ}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}}$$

$$S_o = 2 \cdot 1600 \sqrt{\frac{4.2}{16}} = 1639.5 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

Максимальный кпд определяется по формуле:

$$\eta_{\max} = \frac{S_o \cdot \cos \varphi}{S_o \cdot \cos \varphi + \Delta P}$$

где мощность потребителя S_o и потери ΔP определяются в оптимальном режиме.

Определяем потери мощности для оптимального режима.

$$\Delta P = 0,5 \cdot 16 \cdot (1639,5/1600)^2 + 2 \cdot 4,2 = 16,79 \text{ кВт}$$

$$\eta = 1639,5 \cdot 0,8 / (1639,5 \cdot 0,8 + 16,79) = 0,987 \text{ (98,7\%)}$$

3. Для определения нагрузки, при которой целесообразна работа одного или двух трансформаторов, необходимо приравнять потери мощности одного трансформатора и потери мощности двух трансформаторов.

$$\Delta P_{1T} = \Delta P_{2T};$$

$$\Delta P_{K3} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{XX} = \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{K3} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_{XX};$$

откуда

$$S = S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{0,5 \cdot \Delta P_{K3}}} = 1600 \cdot \sqrt{\frac{4,2}{0,5 \cdot 16}} = 1159,3 \text{ кВА}.$$

Таким образом, трансформаторная подстанция будет работать в оптимальном режиме при нагрузке потребителя, равной 1639,5 кВА, с наибольшим КПД, равным 98,7 %;

при нагрузке потребителя, менее 1159,3 кВА, целесообразна работа одного трансформатора подстанции. При нагрузке потребителя, более 1159,3 кВА, целесообразна работа двух трансформаторов подстанции.

ЗАДАЧА 3.4

В настоящее время на заводе работают 2 ГПП:

– ГПП-1 с трансформаторами 2хТДН-20000;

– ГПП-2 с трансформаторами 2хТРДН-40000.

От шин ГПП-1 и ГПП-2 по кабельным линиям напряжением $U = 6$ кВ запитаны распределительные пункты и цеховые трансформаторные подстанции предприятия. Средняя нагрузка трансформаторов ГПП-1 $S_{C1} = 3500$ кВ·А, а ГПП-2 – $S_{C2} = 13000$ кВ·А. Коэффициент формы графиков нагрузки трансформаторов 1,05, время работы в течение года – 8700 ч. Трансформаторы ГПП предприятия работают с низкой загрузкой, которая не превышает 0,2. Необходимо рассмотреть мероприятия по перераспределению нагрузки:

1. Вывод из работы одной из ГПП, отключение соответствующих трансформаторов и перевод их нагрузки на другую ГПП.

В результате мероприятия можно ожидать снижения потерь мощности и энергии в трансформаторах ГПП завода.

Определим потери энергии в трансформаторах 2хТДН-20000 для ГПП-1:

$$\begin{aligned}\Delta W_{T1} &= \left(\frac{1}{n} \cdot \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_C}{S_{HT}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \cdot \Delta P_{xx} \right) \cdot T_r = \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 3500}{20000} \right)^2 \cdot 100 + 2 \cdot 23 \right) \cdot 8700 = 414,89 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

Потери энергии в трансформаторах 2хТРДН-40000 для ГПП-2:

$$\begin{aligned}\Delta W_{T2} &= \left(\frac{1}{n} \cdot \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_C}{S_{HT}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \cdot \Delta P_{xx} \right) \cdot T_r = \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 13000}{40000} \right)^2 \cdot 172 + 2 \cdot 36 \right) \cdot 8700 = 713,53 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

Суммарные потери в трансформаторах при работе ГПП-1 и ГПП-2:

$$\Delta W_{T(1+2)} = \Delta W_{T1} + \Delta W_{T2} = 414,89 + 713,53 = 1128,42 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

1. Определим потери в трансформаторах 2хТДН-20000 при работе трансформаторов одной ГПП-1:

$$\Delta W_T = \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 16500}{20000} \right)^2 \cdot 100 + 2 \cdot 23 \right) \cdot 8700 = 726,62 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

2. Определим потери в трансформаторах 2хТРДН-40000 при работе одной ГПП-2:

$$\Delta W_T = \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 16500}{40000} \right)^2 \cdot 172 + 2 \cdot 36 \right) \cdot 8700 = 766,72 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Таким образом, при существующих нагрузках целесообразно перераспределение нагрузки ГПП-2 на трансформаторы ГПП-1.

При этом экономия электроэнергии составит:

$$1. \Delta W = \Delta W_{T(1+2)} - \Delta W_T = 1128,42 - 726,62 = 401,8 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

В связи с возможными техническими проблемами перераспределения нагрузки завода на ГПП-1 рассмотрим вариант перераспределения нагрузки завода на ГПП-2. При перераспределении нагрузки ГПП-1 на ГПП-2 экономия электроэнергии составит:

$$2. \Delta W = \Delta W_{T(1+2)} - \Delta W_T = 1128,42 - 766,72 = 361,7 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Учитывая прогнозируемый рост собственных генерирующих мощностей предприятия, постоянное совершенствование технологии и внедрение мероприятий по экономии электроэнергии (несмотря на развитие производства можно ожидать снижения электрической нагрузки ГПП), снижение потерь электроэнергии в трансформаторах от перераспределения нагрузки будет более существенной и составит не менее 400 тыс.кВт·ч.

В связи с необходимостью задействования кабельных линий – связь между ГПП-1 и ГПП-2 протяженностью 1350 м, с целью перераспределения нагрузки ГПП-1 на ГПП-2 при определении эффекта от данного мероприятия необходимо проверить нагрузочную способность существующих кабельных линий сечением 150 мм² и учесть потери электроэнергии в кабельных линиях. Также целесообразно рассмотреть вопрос замены существующих трансформаторов ГПП-2 трансформаторами меньшей мощности, например, путем перемещения трансформаторов ГПП-1.

ГПП-1 подключена к ГПП-2 по двум параллельно проложенным кабелям сечением 150 мм². Проверим кабели по длительно допустимому току из условий нагрева в нормальном (1) и аварийном режимах (2):

$$I_{\text{раб}} \leq I'_{\text{доп}} ; \quad (1)$$

$$I_{\text{п/ав}} \leq I'_{\text{допав}} , \quad (2)$$

где
$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 3500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 235,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{п/ав}} = \frac{S_{\text{расч}}}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 3500}{(2-1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 471,5 \text{ А},$$

где $I'_{\text{доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток кабеля с учетом реальных условий прокладки:

$k_1 = 1$ (при расчетной температуре почвы 15°C и предельной температуре проводника 60°C) – поправочный коэффициент на температуру почвы;

$k_2 = 0,9$ (в земле проложено два кабеля) – поправочный коэффициент на число параллельно проложенных кабелей;

$k_3 = 1$ (кабель проложен в нормальной почве) – поправочный коэффициент позволяет учитывать удельное сопротивление земли.

$I'_{\text{допав}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}}$ – допустимая нагрузка кабеля в аварийном режиме,

где $k_{\text{пер}} = 1,17$ – перегрузочная способность кабеля, проложенного в земле.

Для кабелей 6 кВ 3×150 :

$$I'_{\text{доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп}} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 275 = 247,5 \text{ А};$$

$$235,8 \text{ А} < 247,5 \text{ А}.$$

Условие (1) выполняется.

$$I'_{\text{допав}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 275 = 289,6 \text{ А};$$

$$471,5 \text{ А} > 289,6 \text{ А}.$$

Условие (2) не выполняется.

Целесообразно дополнительно к существующим проложить 2 кабельные линии, например, марки АПвП 3×150 с изоляцией из сшитого полиэтилена, количество параллельно проложенных кабелей увеличить до 4-х.

Рабочий ток одного кабеля:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 3500}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 117,9 \text{ А.}$$

Нагрузка кабеля в аварийном режиме:

$$I_{\text{п/ав}} = \frac{S_{\text{расч}}}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 3500}{(4-1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 157,2 \text{ А.}$$

Длительно допустимый ток кабеля:

$$I'_{\text{доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп}} = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 275 = 220 \text{ А ;}$$

$$117,9 \text{ А} < 220 \text{ А.}$$

Условие (1) выполняется.

Допустимая нагрузка кабеля в аварийном режиме:

$$I'_{\text{допав}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 275 = 273,5 \text{ А ;}$$

$$157,2 \text{ А} < 273,5 \text{ А.}$$

Условие (2) выполняется.

Таким образом, нагрузка ГПП-1 будет транспортироваться по четырем параллельно проложенным кабелям сечением 150 мм^2 .

Годовые потери электроэнергии в кабельных линиях:

1. в случае 2-х параллельно проложенных кабелей

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{к1}} &= \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_{\text{с}}}{U_{\text{н}}} \right)^2 \cdot R \cdot T_{\Gamma} = \left(\frac{1,05 \cdot 3500}{6} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,21 \cdot 1,35 \cdot 8700 = \\ &= 463,47 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

2. в случае 4-х параллельно проложенных кабелей

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{к2}} &= \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_{\text{с}}}{U_{\text{н}}} \right)^2 \cdot R \cdot T_{\Gamma} = \left(\frac{1,05 \cdot 3500}{6} \right)^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,21 \cdot 1,35 \cdot 8700 = \\ &= 231,73 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

2. Вывод из работы одного из трансформаторов ГПП-2, прокладка дополнительных кабельных линий от ГПП-1 к ГПП-2 для обеспечения резервирования в аварийном режиме.

В результате мероприятия можно ожидать снижения потерь мощности и энергии в трансформаторах ГПП-2 завода.

Определим потери энергии в трансформаторах 2хТДН-20000 для ГПП-1:

$$\begin{aligned}\Delta W_{T1} &= \left(\frac{1}{n} \cdot \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_C}{S_{HT}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \cdot \Delta P_{XX} \right) \cdot T_{\Gamma} = \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 3500}{20000} \right)^2 \cdot 100 + 2 \cdot 23 \right) \cdot 8700 = 414,89 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

Потери энергии в оставшемся в работе трансформаторе ТРДН-40000 для ГПП-2:

$$\begin{aligned}\Delta W_{T2} &= \left(\frac{1}{n} \cdot \left(\frac{k_{\phi} \cdot S_C}{S_{HT}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \cdot \Delta P_{XX} \right) \cdot T_{\Gamma} = \\ &= \left(\left(\frac{1,05 \cdot 13000}{40000} \right)^2 \cdot 172 + 36 \right) \cdot 8700 = 487,5 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

Суммарные потери в трансформаторах при работе ГПП-1 и ГПП-2:

$$\Delta W_{T(1+2)} = \Delta W_{T1} + \Delta W_{T2} = 414,89 + 487,5 = 902,4 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим потери в трансформаторах 2хТДН-20000 при работе трансформаторов одной ГПП-1:

$$\Delta W_T = \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1,05 \cdot 16500}{20000} \right)^2 \cdot 100 + 2 \cdot 23 \right) \cdot 8700 = 726,62 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, при существующих нагрузках более целесообразно отключение 2-х трансформаторов ГПП-2, перераспределение всей нагрузки ГПП-2 на трансформаторы ГПП-1, прокладка двух дополнительных кабельных линий между ГПП-2 и ГПП-1. Также целесообразно перемещение трансформаторов ГПП-2 типа 2хТДН - 20000 на место ГПП-1 и отключение трансформаторов ГПП-1 2хТРДН – 40000.

Тогда годовая экономия электроэнергии при перераспределении нагрузки от ГПП-1 к ГПП-2 составит:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W - \Delta W_{K2} = 401,8 - 231,73 = 170,1 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Расход электроэнергии электроприемником, группой электроприемников, потребителем является важнейшим интегральным показателем электропотребления, определяемым величиной потребляемой мощности и продолжительностью этого потребления.

Расчет расхода электроэнергии выполняется для решения широкого круга задач при проектировании систем электроснабжения, эксплуатации электроустановок, в тех случаях, когда приборный учет электроэнергии не осуществим или экономически неоправдан.

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

Так как нагрузка в течении времени изменяется, неодинаково используется по мощности (W_t) и во времени расход активной электроэнергии электроприемника за время t может быть определен по следующей формуле

$$W_t = p_{\text{ср}t} \cdot t = k_{\text{ит}} \cdot p_{\text{н}} \cdot t = k_{3.в} \cdot k_{в.т} \cdot p_{\text{н}} \cdot t, \quad (4.1)$$

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 по активной мощности) за время t ;

$k_{3.в}$ – коэффициент загрузки электроприемника по активной мощности за время включения;

$k_{в.т}$ – 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

$$W_t = p_{\text{н}} \cdot t; \quad (4.2)$$

если приемник в течении времени включения $t_{\text{в}}$ работает со средним коэффициентом загрузки $k_{3.в}$, то расход электроэнергии за время включения можно определить по следующей формуле

$$W_{t_{\text{в}}} = k_{3.в} \cdot p_{\text{н}} \cdot t_{\text{в}}; \quad (4.3)$$

за наиболее загруженную смену расход электроэнергии ($W_{\text{см}}$) можно определить по справочному значению коэффициента использования $k_{\text{и}}$ (табл. П...)

$$W_{\text{см}} = k_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot t_{\text{см}}, \quad (4.4)$$

где $t_{\text{см}}$ – продолжительность смены.

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

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

$$K_{\text{з.в}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{з.в}i} P_{\text{н}i}}{\sum_1^n P_{\text{н}i}} = \frac{P_{\text{см.в}}}{P_{\text{н}}},$$

где n – количество электроприемников в группе;

$P_{\text{см}}$, $P_{\text{см.в}}$ – групповые средние нагрузки соответственно за наиболее загруженную смену и за время включения.

При определении годового расхода активной энергии формула (4.1) принимает следующий вид:

$$W_{\text{г}} = P_{\text{сг}} \cdot T_{\text{г}} = K_{\text{иг}} \cdot P_{\text{н}} \cdot T_{\text{г}} = \alpha \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot T_{\text{г}} = \alpha \cdot P_{\text{см}} \cdot T_{\text{г}}, \quad (4.5)$$

где $P_{\text{сг}}$ – среднегодовая активная мощность;

$T_{\text{г}}$ – годовое число часов работы потребителя (см. табл. 3.3, стр. 53, Равкова);

α – коэффициент сменности по энергоиспользованию (табл. ..., стр. 67, ...).

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

$$W_{\text{г}} = P_{\text{см}} (T_1 + \beta_2 T_2 + \beta_3 T_3 + \beta_4 T_4) \cdot c, \quad (4.6)$$

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 силовой или общей (T_{\max} , табл. П...) или осветительной ($T_{\max o}$, табл. П...) по следующим формулам:

$$\begin{aligned} W_{\Gamma} &= P_{\text{p}} T_{\max}; \\ W_{\text{го}} &= P_{\text{po}} T_{\max o} = K_{\text{co}} P_{\text{н}} T_{\text{но}}, \end{aligned} \tag{4.7}$$

где $P_{\text{p}}, P_{\text{po}}$ – расчетная нагрузка, соответственно общая (силовая и осветительная) и осветительная;

K_{co} – коэффициент спроса для осветительных установок (табл. П...).

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

$$W_t = \omega_{\text{уд}} \Pi_t. \tag{4.8}$$

Расход реактивной энергии электроприемником или группой электроприемников (потребителей) определяется по формулам, аналогичным (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.7) либо по выражению:

$$V_t = W_t \cdot \text{tg} \varphi_{\text{с.т}}, \tag{4.8}$$

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 .

При наличии в группе электроприемников (потребителей), работающих с опережающим током (синхронные двигатели, работающие с перевозбуждением, батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы) вырабатываемая ими реактивная энергия вычитается из величины реактивной энергии, потребляемой электроприемниками с отстающим током. Имеет место процесс компенсации реактивной мощности (энергии).

В зависимости от конкретно стоящей задачи в величину расхода электроэнергии могут включаться или должны быть включены потери в элементах системы электроснабжения.

Задача 4.1

Для группы трехфазных электроприемников длительного режима работы со следующими исходными данными

$$p_{н1} = 3 \text{ кВт}, \quad n_1 = 2, \quad k_{и1} = 0,14;$$

$$p_{н2} = 5 \text{ кВт}, \quad n_2 = 6, \quad k_{и2} = 0,3;$$

$$p_{н3} = 30 \text{ кВт}, \quad n_3 = 5, \quad k_{и3} = 0,6$$

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

Решение

$$P_{см} = K_{и} \sum_1^n p_{нi};$$

средневзвешенный, групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum_1^n k_{иi} p_{нi}}{\sum_1^n p_{нi}};$$

$$K_{и} = \frac{0,14 \cdot 2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 6 \cdot 5 + 0,6 \cdot 5 \cdot 30}{2 \cdot 3 + 6 \cdot 5 + 5 \cdot 30} = 0,54;$$

$$P_{см} = 0,54 \cdot 186 = 100,4 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{см}} \cdot \alpha = 100,4 \cdot 0,75 = 75,3 \text{ кВт};$$

$$W_{\Gamma} = P_{\text{ср}} \cdot T_{\Gamma} = 75,3 \cdot 5000 = 376500 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задача 4.2

Для группы трехфазных электроприемников длительного режима работы со следующими исходными данными

$$p_{\text{н1}} = 5 \text{ кВт}, \quad n_1 = 3, \quad k_{\text{и1}} = 0,2;$$

$$p_{\text{н2}} = 7 \text{ кВт}, \quad n_2 = 3, \quad k_{\text{и2}} = 0,4;$$

$$p_{\text{н3}} = 10 \text{ кВт}, \quad n_3 = 2, \quad k_{\text{и3}} = 0,6$$

присоединены к силовому распределительному шкафу. Определить годовой расход активной энергии по кабелю, питающему этот силовой шкаф, если время использования максимума нагрузки $T_{\text{max}} = 4000 \text{ ч}$. Расчет выполнить без учета потерь энергии в кабеле.

Решение

$$W_{\Gamma} = P_{\text{р}} \cdot T_{\text{max}};$$

Расчетная активная нагрузка равна:

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

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{и}i} p_{\text{н}i}}{\sum_1^n p_{\text{н}i}}; \quad K_{\text{и}} = \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 5 + 0,4 \cdot 3 \cdot 7 + 0,6 \cdot 2 \cdot 10}{3 \cdot 5 + 3 \cdot 7 + 2 \cdot 10} = 0,37;$$

Так как $K_{\text{р}} = f(K_{\text{и}}, n_{\text{э}})$, то

$$n_{\text{э}} = \frac{\left(\sum_1^n p_{\text{н}i} \right)^2}{\sum_1^n p_{\text{н}i}^2}; \quad n_{\text{э}} = \frac{(3 \cdot 5 + 3 \cdot 7 + 2 \cdot 10)^2}{3 \cdot 5^2 + 3 \cdot 7^2 + 2 \cdot 10^2} = 7,4.$$

По табл. П.... $K_{\text{р}} = 1,2$.

$$P_{\text{р}} = 1,2 \cdot 0,37 \cdot 56 = 24,9 \text{ кВт}.$$

$$W_{\Gamma} = 24,9 \cdot 4000 = 99600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задача 4.3

На рис. 4.1 приведен график нагрузки за наиболее загруженную смену по активной мощности группы трехфазных электроприемников длительного режима работы суммарной номинальной мощностью $P_{\text{н}} = 200$ кВт.

Определить годовой расход активной энергии, если коэффициент сменности по энергоиспользованию $\alpha = 0,7$, а годовой фонд рабочего времени $T_{\Gamma} = 4500$ ч.

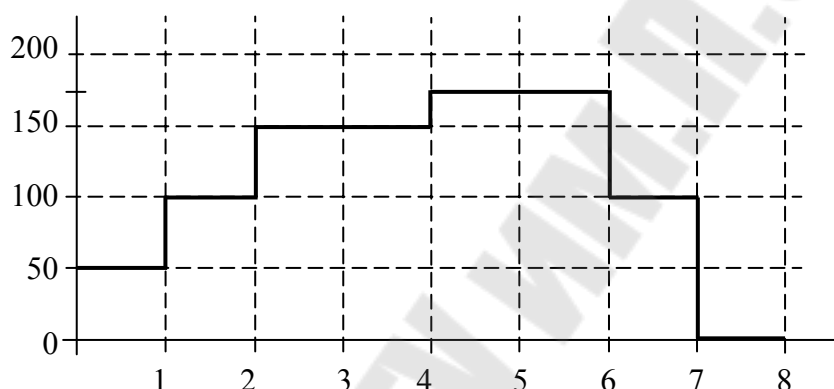


Рис. 4.1

Решение

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

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{с}i}}{N};$$

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

$$W_{\Gamma} = 0,7 \cdot 112,5 \cdot 4500 = 354375 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задача 4.4

Для группы цехов машиностроительного производства, исходные данные по которым приведены в табл. 4.1, определить годовое потребление активной и реактивной электроэнергии отдельными це-

хами и всем производством, а также значения коэффициента мощности для этой группы потребителей за смену и за год.

Таблица 4.1

Номер цеха	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	α	T_r , час	Годовое потребление электроэнергии	
					W_r , кВт·ч	V_r , квар·ч
№ 1	850	600	0,7	5500	3 272 500	2 310 000
№ 2	1000	-250	0,6	6000	3 600 000	-900 000
№ 3	650	400	0,8	8000	4 160 000	2 560 000
Итого:	2500	750			11 032 500	3 970 000

Примечания: α – годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию;
 T_r – годовое число часов работы оборудования;
 в цеху № 2 имеет место генерация реактивной мощности в питающую сеть.

Решение

Годовое потребление активной энергии рассчитывается по формуле (4.5). Реактивной энергии – по аналогичной формуле. Например, для цеха № 1:

$$W_{r1} = 850 \cdot 0,7 \cdot 5500 = 3272500 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$V_{r1} = 600 \cdot 0,7 \cdot 5500 = 2310000 \text{ квар} \cdot \text{ч}.$$

Расход энергии всем производством:

$$W_{r1} = 3272500 + 3600000 + 4160000 = 11032500 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$V_{r1} = 2310000 - 900000 + 2560000 = 3970000 \text{ квар} \cdot \text{ч}.$$

По данным таблицы 4.1 находятся:

$$\operatorname{tg} \varphi_{см} = \frac{750}{2500} = 0,3, \text{ соответственно } \cos \varphi_{см} = 0,96;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{с.г} = \frac{3970000}{11032500} = 0,36, \text{ соответственно } \cos \varphi_{с.г} = 0,94.$$

Задача 4.5

Электроприемник номинальной мощностью $p_n = 10$ кВт за время включения имеет средний коэффициент загрузки по активной мощности $k_3 = 0,7$, коэффициент включения за время суток (24 ч)

$k_b = 0,6$. Определить расход активной энергии этим электроприемником за сутки.

Решение

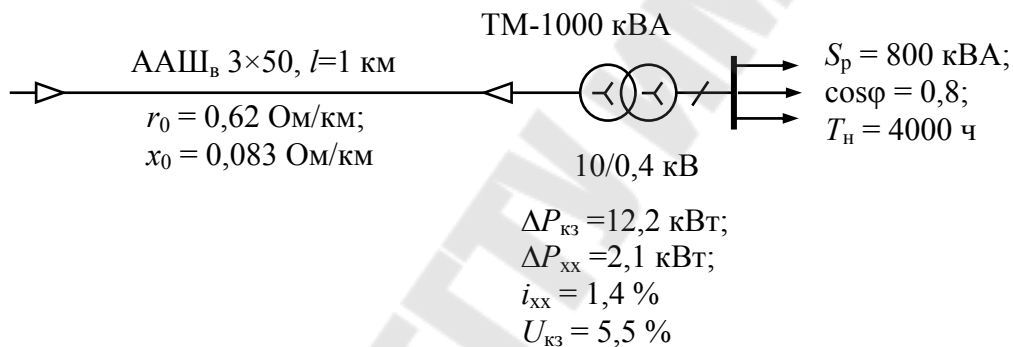
Расход электроэнергии за сутки можно определить по формуле:

$$W_{24} = k_n \cdot p_n \cdot 24 = k_3 \cdot k_b \cdot p_n \cdot 24;$$

$$W_{24} = 0,7 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 24 = 100,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задача 4.6

Определить годовой расход активной электроэнергии через электрическую сеть, представленную на рис. 4.2. В расчете учесть номера электроэнергии в элементах сети (силовом трансформаторе, питающем кабеле).



Решение

Годовой расход активной электроэнергии без учета потерь в элементах сети:

$$W_r = P_p \cdot T_m = S_p \cdot \cos \varphi \cdot T_m = 800 \cdot 0,8 \cdot 4000 = 2560000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Потери мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}; \quad K_3 = \frac{S_p}{S_{HT}}; \quad K_3 = \frac{800}{1000} = 0,8;$$

$$\Delta P_T = 2,1 + 0,8^2 \cdot 12,2 = 9,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_H}{100} (i_{xx} \% + K_3^2 \cdot U_{кз} \%);$$

$$\Delta Q_T = \frac{1000}{100} (1,4 + 0,8^2 \cdot 5,5) = 49,2 \text{ квар}.$$

Годовые потери активной электроэнергии в трансформаторе:

$$\Delta W_T = \Delta P_{xx} \cdot T_B + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \tau;$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_H}{10^4} \right)^2 \cdot 8760;$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 2405;$$

$$\Delta W_T = 2,1 \cdot 8760 + 0,8^2 \cdot 12,2 \cdot 2405 = 37174 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Расчетная нагрузка питающего кабеля:

$$S_{pk} = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2};$$

$$P_p = S_p \cdot \cos \varphi; \quad P_p = 800 \cdot 0,8 = 640 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{P_p}{S_p} \right) = S_p \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{P_p}{S_p} \right);$$

$$Q_p = 640 \cdot 0,75 = 480 \text{ квар};$$

$$S_{pk} = \sqrt{(640 + 9,9)^2 + (480 + 49,2)^2} = 838 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Потери активной мощности в питающем кабеле:

$$\Delta P_k = 3I_{pk}^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{S^2}{U^2} \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ кВт};$$

$$I_{pk} - \text{А}; \quad R - \text{Ом}; \quad S - \text{кВ} \cdot \text{А}; \quad U - \text{кВ}.$$

$$\Delta P_k = \frac{838^2}{10^2} \cdot 0,62 \cdot 10^{-3} = 4,4 \text{ кВт}.$$

Годовые потери активной энергии в питающем кабеле:

$$\Delta W_k = \Delta P_k \cdot \tau; \quad \Delta W_k = 4,4 \cdot 2405 = 10582 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовой расход активной энергии с учетом потерь в трансформаторе и питающем его кабеле:

$$W_{r\Sigma} = W_r + W_T + W_k;$$

$$W_{r\Sigma} = 2560000 + 37174 + 10582 = 2607756 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

5. РАСЧЕТ ЦЕХОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Под расчетом электрических сетей понимается выбор сечений проводников, шинпроводов и расчет защиты их от ненормальных режимов.

Провода, кабели и шинпроводы должны выдерживать допустимый нагрев длительным расчетом током в нормальном (I_p) и в послеаварийном ($I_{ав}$) режимах работы, потеря напряжения в них (ΔU) не должна превышать допустимых значений ($\Delta U_{доп}$). Кроме этого, допустимый ток выбранного проводника должен соответствовать току аппарата, защищающего этот проводник по условиям нагрева токами перегрузки и КЗ.

Сети, имеющие числа часов использования максимума нагрузки (T_n) более 5000 ч (кроме ответвлений к отдельным электроприемникам и осветительных сетей) могут рассчитываться по экономической плотности тока.

Шинпроводы, кроме этого, должны обладать электродинамической стойкостью к токам КЗ.

Минимальные сечения жил проводников определяются требованиями механической прочности. Так, например, минимальные сечения алюминиевых жил проводников для присоединения к неподвижным электроприемникам внутри помещений должны быть не менее 4 мм^2 при прокладке на изоляторах, 2 мм^2 – при других способах прокладки.

Таким образом, основными расчетами цеховых электрических сетей, определяющими выбор сечений их проводников, являются расчет по допустимому нагреву и расчет по допустимой потере напряжения (при минимально к осветительным электрическим сетям расчет по допустимой потере напряжения применяется в виде расчета по минимуму затрат на проводниковый материал).

В связи с действующими в настоящее время нормативными документами, разработанными на основе международного стандарта МЭК 364 «Электрические установки зданий» установлены ряд обязательных требований к выбору сечений нулевых рабочих (N), совмещенных нулевых рабочих и защитных (PEN) и защитных (PE) проводников.

- Для однофазных, а также трехфазных сетей при питании по ним однофазных нагрузок сечение нулевого рабочего N-проводника

во всех случаях принимается равным сечению фазных проводников. Для варианта питания трехфазных симметричных нагрузок (в т.ч. и многоламповых светильников, включаемых в трехфазную сеть) нулевой рабочий N-проводник должен иметь сечение, равное сечению фазных проводников, если те имеют сечение до 16 мм^2 по меди или до 25 мм^2 по алюминию. При больших сечениях фазных проводников он может иметь сечение, составляющее не менее 50 % сечения фазных проводников, при этом N-проводник должен отключаться как и фазные проводники от сверхтока.

- Для совмещенного PEN-проводника можно принимать его сечение равным 10 мм^2 и выше по меди и 16 мм^2 и выше по алюминию, при этом сечение PEN-проводника должно быть не менее требуемого сечения N-проводника.

- Сечение защитного PE-проводника должно равняться:
 - сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм^2 ;
 - 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 ;
 - не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях последних.

5.1. Выбор шинопроводов и сечений проводников

5.1.1. Выбор сечения проводников и кабелей по допустимому нагреву

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный I_p и допустимый $I_{\text{доп}}$ (табл. 5.1 – 5.13) токи проводника (проводов, кабелей и шин) принятой марки с учетом условий его прокладки.

Должно соблюдаться следующее соотношение:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{п}}}, \quad (5.1)$$

где I_p – расчетный ток длительного режима работы:

$I_p = i_{\text{н}}$ – для одиночного электроприемника длительного режима работы ($i_{\text{н}}$ – номинальный ток);

$I_p = \frac{i_{\text{ПВ}} \sqrt{ПВ}}{0,875}$ – для электроприемника с повторно-кратковременным (ПКР) или кратковременном (КР) режимах

работы с общей длительностью цикла до 10 мин и длительностью рабочего периода не более 4 мин ($PВ \leq 0,4$), а также для КР с длительностью включения не более 4 мин и перерывами между включениями, достаточными для охлаждения проводников до температуры окружающей среды для алюминиевых проводников более 10 мм² (или допустимый ток умножить на коэффициент $\frac{0,875}{\sqrt{PВ}}$). При длительности включения более 4 мин, а также при перерывах недостаточной длительности между включениями наибольшие допустимые токи следует принимать как для установок с длительным режимом работы;

0,875 – коэффициент запаса;

$PВ$ – продолжительность включения в о.е.;

$i_{PВ}$ – номинальный ток электроприемника ПКР работы;

$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$ – расчетный ток группы электроприемников;

K_{II} – поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на температурные условия окружающей среды, в которой прокладывается проводник (табл. П5.14).

Во взрывоопасных помещениях сечения проводников для ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором принимаются исходя из условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1,25 \cdot i_H}{K_{II}}. \quad (5.2)$$

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься: для проводов – по табл. П5.1, П5.2, как для проводов, проложенных в трубах, для кабелей – по табл. П5.3, П5.4, П5.5, как для кабелей, проложенных в воздухе. При количестве одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, токи для проводов должны приниматься по табл. П5.1, П5.2, как для проводов, проложенных открыто (в воздухе), с введением снижающих коэффициентов 0,68 для 5 и 6; 0,63 для 7-9 и 0,6 для 10-12 проводников.

Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках, при однородной прокладке (не в пучках) следует принимать, как для проводов, проложенных в воздухе.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. П5.1 – П5.7, как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе), с применением снижающего коэффициента $K_{п1}$, значения которого указаны в табл. П5.15.

При выборе значений $K_{п1}$ контрольные и резервные кабели не учитываются.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{п} \cdot K_{п1}}. \quad (5.3)$$

Длительно допустимые токи кабелей с бумажной изоляцией, проложенные в траншее, корректируются поправочными коэффициентами, учитывающими удельное сопротивление земли $K_{п2}$ (табл. П5.16) и совместное количество работающих кабелей $K_{п3}$ (табл. П5.17):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{п} \cdot K_{п2} \cdot K_{п3}}. \quad (5.4)$$

На период ликвидации послеаварийного режима продолжительностью не более 6 ч в сутки в течении 5 суток допускается перегрузка для кабелей: с полиэтиленовой изоляцией – до 10 % номинальной нагрузки; с поливинилхлоридной – до 15 %; с бумажной изоляцией – пределах 1,1...1,5 в соответствии с табл. П5.18. И в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{р.ав}}}{K_{п} \cdot K_{\text{ав}}}, \quad (5.5)$$

где $I_{\text{р.ав}}$ – расчетный ток послеаварийного режима;

$K_{\text{ав}}$ – коэффициент, учитывающий послеаварийную перегрузку кабелей: 1,1; 1,15; 1,3.

Выбранный проводник согласовывается с защищаемым аппаратом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п}}}, \quad (5.6)$$

где K_3 – коэффициент защиты, представляющий собой кратность длительно допустимого тока проводника к току защитного аппарата (табл. П5.19);

I_3 – ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки или расцепителя автомата или ток срабатывания защитного аппарата).

Наличие аппаратов защиты с завышенными значениями I_3 не являются обоснованием для увеличения сечения проводников, выбранных по длительно расчетному току. Если условие (5.6) не выполняется, то необходимо проверить защитный аппарат на успешность срабатывания от токов КЗ (.....) или применяются аппараты защиты с другими характеристиками. По условию (5.6) можно принимать меньшее стандартное сечение, но не меньшее чем выбранное по длительно расчетному току.

6. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

6.1. Светотехническая часть

Системы освещения. Системы искусственного освещения обуславливаются способами размещения светильников. По способам размещения светильников в помещениях различают системы общего и комбинированного освещения.

Система общего освещения предназначена для освещения всего помещения и рабочих поверхностей. Общее освещение может быть равномерным и локализованным. Светильники общего освещения располагают в верхней зоне помещения и крепят их на строительных основаниях здания непосредственно к потолку, на фермах, на стенах, колоннах или на технологическом производственном оборудовании, на тросах и т.д.

Выбор той или иной системы освещения определяется в основном размещением оборудования и соответственно расположением рабочих мест, технологией выполняемых работ, экономическими соображениями.

Одним из основных показателей, характеризующим целесообразность применения общей или комбинированной системы освещения является плотность расположения рабочих мест в помещении ($\text{м}^2/\text{чел}$). В табл. 1.1 в соответствии с [9] приведены рекомендуемые системы освещения для различных разрядов зрительной работы в зависимости от плотности расположения рабочих мест и дается при этом возможная экономия электроэнергии.

Виды освещения. В соответствии с [2] искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение может быть освещением безопасности и эвакуационным.

Рабочим называется освещение, которое обеспечивает нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Рабочее освещение выполняется для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих

зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы должно предусматриваться раздельное управление освещением таких зон.

Освещением безопасности называется освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Такой вид освещения предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы ответственных объектов, таких как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.

Эвакуационным называется освещение для эвакуации людей из помещений при аварийном отключении нормального освещения. Эвакуационное освещение предусматривается в помещениях или в местах производства работ вне зданий в основном в следующих случаях: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуируемых более 50 чел; по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 чел; в помещениях общественных зданий, административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если в помещениях могут одновременно находиться более 100 чел; в производственных помещениях без естественного света и др.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) в помещениях 0,5 лк, на открытых территориях 0,2 лк.

Охранное освещение, при отсутствии специальных технических средств охраны, должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. И оно должно создавать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

Дежурным освещением называется освещение в нерабочее время. Область применения, величины освещенности, равномерность и требования к качеству для дежурного освещения не нормируются.

6.1.1. Выбор источников света

При существующем многообразии источников света (ИС) все они могут быть разделены на ИС, работающие на принципе теплового излучения – лампы накаливания общего назначения (ЛОН) (вакуумные, газонаполненные, одно- и биспиральные), гаголенные лампы

(КГ) и ИС, в основе работы которых лежат электрический разряд в газах или парах металлов – люминесцентные лампы низкого давления трубчатые (ЛЛ), компактные люминесцентные энергосберегающие (КЛЭ); разрядные лампы высокого давления дуговые ртутные лампы (ДРЛ), металлогалогенные лампы (ДРИ), натриевые – (ДНаТ); индукционные; светодиодные и др.

Выбор того или иного ИС определяется требованиями к освещению (цветность излучения, зрительный комфорт, показатель блескости и др.) и выполняется на основании сопоставления достоинств и недостатков существующих источников света. При этом предпочтение необходимо отдавать разрядным источникам света как наиболее экономичным, имеющим световую отдачу более 50 лм/Вт, и в связи с этим обеспечивающие минимальное потребление электроэнергии.

В соответствии с [2], общее (независимо от принятой системы освещения) искусственное освещение производственных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться разрядными источниками света.

Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование разрядных источников света невозможно или нецелесообразно.

Для местного освещения кроме разрядных источников света рекомендуется использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

Лампы накаливания ввиду их низкой световой отдачи можно использовать в следующих случаях:

а) в помещениях с нормируемой освещенностью 50 лк и ниже, т.е. когда с помощью газоразрядных источников света невозможно обеспечить зрительный комфорт;

б) в помещениях с тяжелыми условиями среды и взрывоопасных, при отсутствии необходимых светильников с газоразрядными лампами;

в) в помещениях, где недопустимы радиопомехи;

г) для аварийного и эвакуационного освещения, когда рабочее освещение выполнено разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРН, ДНаТ).

В табл. П1, П2 приведены параметры соответственно ламп накаливания и галогенных ламп.

Люминесцентные лампы низкого давления рекомендуется применять в помещениях:

- а) где работа связана с большим и длительным напряжением зрения;
- б) где требуется распознавание цветовых оттенков;
- в) без естественного света;
- г) где люминесцентное освещение целесообразно по архитектурно-художественным соображениям.

При отсутствии ограничений к цветопередачи следует применять люминесцентные лампы типа ЛБ, имеющие наибольшую световую отдачу и наименьшую пульсацию светового потока. При повышенном требовании к цветопередаче используют лампы ЛД и ЛДЦ.

Энергоэкономичные люминесцентные лампы 18, 36, 58 Вт с узкополосным спектром излучения отличаются от обычных люминесцентных ламп 20, 40, 80 Вт высокой световой отдачей и позволяют получить экономию электроэнергии в пределах до 8 %.

Широкое распространение получили компактные люминесцентные энергосберегающие лампы мощностью 7,9,11,13,15,20 Вт и более, позволяющие производить замену ламп накаливания без переделки светильников.

Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) применяются в высоких производственных помещениях ($H \geq 6$ м). Причем при отсутствии требований к цветопередаче можно применять лампы ДРЛ, при наличии требований к цветопередаче – ДРИ.

По применению натриевых ламп (ДНаТ) на настоящее время нет еще достаточных данных о влиянии монохроматического желтого излучения этих ламп на зрительную работоспособность и физическое состояние людей. Поэтому пока эти лампы рекомендуется применять в запыленных цехах, в помещениях с интенсивным парообразованием, где выполняются работы малой и очень малой точности.

Разрядные лампы высокого давления в значительной степени используются для освещения открытых пространств, заводских территорий, улиц, площадей. Здесь учитываются положительные свойства ламп нормально работать в широком диапазоне температур – $\pm 40^\circ\text{C}$.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) применяются: лампы накаливания; люминесцентные лам-

пы – в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5°С при условии питания ламп во всех режимах напряжения не ниже 90 % номинального; разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Если рабочее освещение выполнено люминесцентными лампами, то и аварийное освещение также выполняется ЛЛ при условии, что напряжение в сети снижается в аварийных или ремонтных режимах не ниже 90 % номинального.

Для охранного освещения могут использоваться любые источники света.

6.1.2. Выбор освещенности и коэффициента запаса

Выбор нормируемой освещенности выполняемой работы, рабочих мест является одним из важнейших этапов проектирования осветительных установок. При завышенных значениях освещенности возрастают приведенные затраты на осветительную установку, увеличивается расход электроэнергии на освещение. Заниженное освещение может являться причиной утомляемости и появления брака в работе, снижения производительности труда. Поэтому правильное определение нормируемой освещенности в значительной степени обуславливает эффективность осветительной установки.

Под нормируемой освещенностью понимается минимальная освещенность, которая должна иметь место в "наихудших" точках освещаемой поверхности. Установлена следующая шкала нормируемых значений освещенности: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 7500 лк.

Основным нормативным документом, первоисточником для выбора норм освещенности является СНБ 2.04.05-98, [2].

В табл. 1 [2] приведены значения нормируемой освещенности при системе общего и комбинированного освещения для помещений промышленных предприятий в зависимости от характеристики зрительной работы (точности выполняемой работы), размера объекта различения (от менее 0,15 мм до более 5 мм), разряда зрительной работы (установлено восемь разрядов зрительной работы (I - VIII) в зависимости от точности выполняемой работы и размера объекта различения), контраста объекта с фоном (установлено три контраста – малый, средний и большой), характеристики фона (светлый, средний,

темный) и подразряда зрительной работы (установлены подразряды – а, б, в, г в зависимости от состояния контраста объекта с фоном и характеристики фона).

В общих нормах [2, табл. 2] значения освещенности внутри помещений промышленных предприятий приводятся для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания нормируемые освещенности должны быть снижены на 1 или 2 ступени стандартной шкалы.

В [2] приведены нормируемые значения освещенности общепромышленных помещений и сооружений основных помещений общественных и жилых зданий, административных и бытовых зданий предприятий.

Нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего времени эксплуатации осветительной установки. Однако в связи с тем, что период эксплуатации имеет место постоянное уменьшение освещенности, начальная освещенность должна быть принята больше нормированной, а именно равна последней, умноженной на коэффициент запаса, значения которого регламентированы нормами. Этот коэффициент учитывает снижение светового потока источников света к концу срока службы, загрязнение светильников, старение последних, т.е. ухудшение характеристик, не восстанавливаемых очисткой, и снижение коэффициентов отражения стен и потолков помещения. Необходимый коэффициент запаса зависит от количества и характера пыли в воздухе, степени старения данного типа источников света (в связи с чем для газоразрядных ламп коэффициент запаса повышается), типа светильников, и, конечно периодичности очистки последних. В зависимости от указанных обстоятельств значение коэффициента запаса может находиться в пределах 1,3 ... 2.

Таким образом при выполнении проекта осветительной установки для каждого помещения должны быть определены минимальные уровни освещенности (E_{\min}) на рабочих местах в зависимости от принятой системы освещения, ориентировочно определен коэффициент запаса (K_3), который при выборе светильников может быть скорректирован, а также выписаны регламентированные значения всех качественных показателей освещения.

Таблица 6.1

Нормы освещенности производственных и вспомогательных помещений

Наименование помещений	Плоскость нормирования освещенности и ее высота от пола, м	Рекомендуемые значения			
		газоразрядные		накаливания	
		освещенность, лк	коэффициент запаса	освещенность, лк	коэффициент запаса
Камеры трансформаторов		75	1,5	30	1,3
Помещение КТП		100	1,5	75	1,3
Помещение щитов при постоянном пребывании людей	В	200	1,5	150	1,3
Ремонтное отделение автога- ражей	Г-0,8	200	1,5	150	1,3
Слесарно-механическое от- деление	Г-0,8	300	1,5	150	1,3
Сборочное отделение	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
Инструментальное отделение	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
Заготовительное отделение	Г-0,8	150	1,5	100	1,3
Склад	Г-00	75	1,5	30	1,3
Кабинеты, комнаты для заня- тий	Г-0,8	300		150	
Конструкторские	Г-0,8	500		300	
Машинописные помещения, вычислительный центр	Г-0,8	400		200	
Ступени лестниц	Г	100		50	
Коридоры и проходы	Г-0,0	75		30	
Душевые	Г-0,0	50		20	
Санузлы	Г-0,0	75		30	
Кладовые МОП	Г-0,0	50		20	
Венткамеры	Г-0,0	50		20	
Тепловой пункт	Г-0,0	75		30	
Гардероб домашней и рабо- чей одежды	Г-0,0	50		20	
Электроремонтные цеха:					
разборочно-промывочное отделение	Г-0,8	200	1,5	150	1,3
механическое отделение	Г-0,8	300	1,5	150	1,3
отделение обмотки	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
отделение ремонта аппаратов	Г-0,8	300	1,5	100	1,3
отделение ремонта транс- форматоров	Г-00	200	1,5	150	1,3
отделение восстановления обмоточного провода	Г-0,8	200	1,5	150	1,3
эмалировочное отделение	Г-0,8	300	1,5	200	1,3

Наименование помещений	Плоскость нормирования освещенности и ее высота от пола, м	Рекомендуемые значения			
		газоразрядные		накаливания	
		освещенность, лк	коэффициент запаса	освещенность, лк	коэффициент запаса
сушильно-пропиточное отделение	Г-0,8	100	1,5	50	1,3
Литейное производство:					
закрытые механизированные склады	Г-0,0	50	1,8	20	1,5
смесеприготовительное отделение	Г-0,0	100	1,8	50	1,5
формовочное отделение	Г-0,0	300	1,8	150	1,5
плавильное отделение	Г-0,0	200	1,8	150	1,5
выбивное отделение	Г-0,0	150	1,8	75	1,5
обрубочное отделение	Г-0,0	200	1,8	150	1,5
Деревообрабатывающие цеха:					
лесопильное отделение (пути подачи древесины)	Г-0,0	50	1,6	20	1,4
лесопильные станки	Г-0,8	200	1,6	150	1,4
лесосушильное отделение	Г-0,0	100	1,5	50	1,3
заготовительное отделение	Г-0,8	300	1,6	200	1,4
столярно-сборочное отделение	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
плотницкое отделение	Г-0,0	150	1,5	100	1,3
тарное отделение	Г-0,0	150	1,5	100	1,3
Окрасочные цеха:					
склад лакокрасочных материалов	Г-0,0	75	1,5	30	1,3
окрасочное отделение	Г и В	200	1,8	150	1,3
Автогаражи:					
отделение ТО	Г-0,0	200	1,5	150	1,3
закрытая стоянка машин	Г-0,0	50	1,5	20	1,3
кузовное отделение	Г-0,8	150	1,5	100	1,3
отделение ремонта топливной аппаратуры	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
агрегатно-механическое отделение	Г-0,8	300	1,5	200	1,3
шиномонтажное отделение	Г-0,0	150	1,5	100	1,3

6.1.3. Выбор типа светильников

Светильники являются осветительными приборами ближнего действия и предназначены для рационального перераспределения

светового потока ламп, а также защита глаз от чрезмерной яркости, предохраняют источники света от загрязнения и механических повреждений. Конструктивно они состоят из корпуса-отражателя и (или) рассеивателя, патрона и крепящего устройства.

Каждый из светильников характеризуется одной из семи типовых кривых силы света: концентрированной (К), глубокой (Г), косинусной (Д), полуширокой (Л), широкой (Ш), равномерной (М) и синусной (С). Типовые кривые приведены на рис. 6.1.

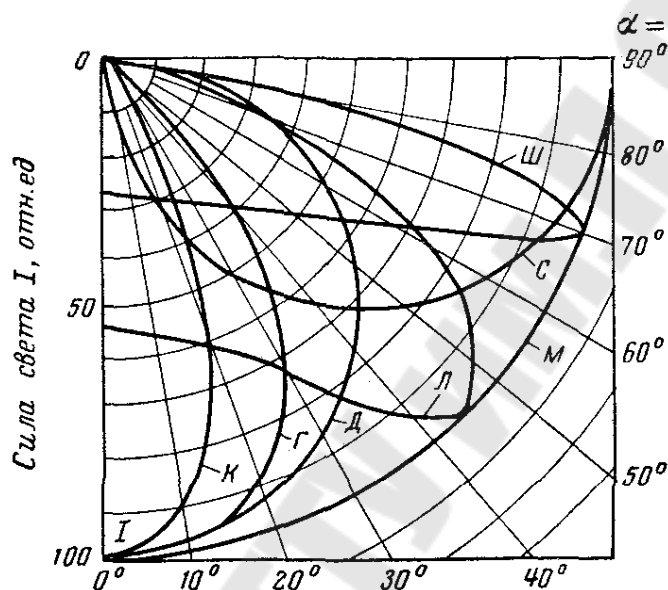


Рис. 6.1. Типовые кривые силы света светильников

Соотношение световых потоков и кривые светораспределения являются важнейшими светотехническими характеристиками светильника, определяющими распределение его светового потока в пространстве, окружающем светильник.

По конструктивному исполнению в общем случае светильники подразделяются на:

- | | |
|-------------------|--|
| открытые | – лампа не отделена от внешней среды; |
| защищенные | – лампа защищена от механических повреждений; |
| закрытые | – защищены от проникновения пыли и механических повреждений лампы; |
| пыленепроницаемые | – защищены от проникновения тонкой пыли; |
| влагозащищенные | – противостоят воздействию влаги; |

взрывозащищенные – противостоят появлению взрыва (В – взрывонепроницаемые, Н – повышенной надежности против взрыва).

Конструкция светильников предусматривает защиту от проникновения внутрь твердых тел и воды в соответствии с международной системой защиты, состоящей из букв IP (International Protection) и двух цифр, обозначающих степень защиты.

Первая цифра определяет защиту лампы от пыли. Существует шесть следующих классов защиты светильников от пыли:

Таблица 6.3

Значения и расшифровка первой цифры обозначения степени защиты (ГОСТ 14254 – 80)

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например руки, и твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки, и других предметов диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твердых тел размером более 2,5 мм
4	Защита от твердых тел размером более 1 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм
5	Защита от пыли	Проникновение внутрь оболочки пыли не предотвращено полностью. Однако пыль не может проникнуть в количестве, достаточном для нарушения работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Вторая цифра определяет защиту от попадания внутрь оболочки светильника воды. Существует восемь следующих классов защиты светильников от воды:

**Значения и расшифровка второй цифры обозначения степени защиты
(ГОСТ 14254 – 80)**

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от воды при наклоне до 15°	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при наклоне его оболочки на любой угол до 15°
3	Защита от дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
5	Защита от водяных струй	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от волн воды	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных условиях давления и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду	Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем. Для некоторых типов изделий допускается проникновение воды внутрь оболочки, но без нанесения вреда изделию

Категория размещения электрических аппаратов:

- 1 – для работы на открытом воздухе;
- 2 – для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ;
- 3 – для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха, а также воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе;

4 – для работы в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных и других помещениях);

5 – для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолках).

Защита светильников от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, конструкционными и светотехническими материалами, различной степенью герметизации внутреннего объема светильника или его отдельных полостей, токоведущих элементов и (или) электрических контактов.

Кроме этого, основными характеристиками светильников являются:

– **коэффициент усиления** (K_y), представляющий отношение максимальной силы света светильника (I_{\max}) к средней сферической силе света ($I_{\text{ср.сф}}$):

$$K_y = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ср.сф}}},$$

где $I_{\text{ср.сф}} = \frac{\Phi_{\text{л}}}{4\pi}$.

Коэффициент усиления характеризует увеличение силы света светильника в заданном направлении;

– **коэффициент полезного действия** (η):

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}},$$

где $\Phi_{\text{св}}$ – световой поток светильника;

$\Phi_{\text{фл}}$ – световой поток источника света;

– **защитный угол** (γ) – определяет степень защиты глаза от воздействия ярких частей источника света.

На рис. 2.2 приведена структура обозначения и маркировка светильников.

X	X	X	XX-X	×	X-XXX-XX	
						Тип источника света (одна буква на первом месте в шифре): Н – лампа накаливания; И – галогенные; Л – люминесцентные лампы; Р – ДРЛ; Г – металлогалогенные; Ж – натриевые; Ф – флюорисцентные; Б – бактерицидные; К – ксеноновые.
						Основной способ установки светильника: С – подвесные; П – потолочные; Б – настенные; Н – настольные; Т – напольные; В – встраиваемые; К – консольные; Р – ручные.
						Основное назначение светильника: П – для промышленных предприятий; Р – для рудников и шахт; О – для общественных зданий; Б – для жилых (бытовых) помещений; У – для наружного освещения; Т – для телевизионных студий.
						Номер серии, к которой принадлежит светильник (две цифры).
						Количество ламп в светильнике.
						Мощность ламп, Вт.
						Номер модификации светильника (трехзначное число).
						Обозначение климатического исполнения и категории размещения.

Рис. 6.2. Структура обозначения и маркировка светильников

Пример 1

НСП05×500-016-У3 – светильник с лампой накаливания мощностью 500 Вт, общего назначения, подвесной для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатическое исполнение У, категория размещения 3.

Пример 2

ЛС02-2×36-005-У3 – светильник с люминесцентными с двумя лампами мощностью по 36 Вт, подвесной, для общественных зданий,

серии 02, модификации 005, климатическое исполнение У, категория размещения 3.

Пример 3

РКУ08×400-014-ХЛ1 – светильник с ртутной лампой типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатическое исполнение ХЛ (холодный климат), категория размещения 1.

Пример 4

ФСП01 2х57-У3 – светильник с флюорисцентными с двумя лампами мощностью по 57 Вт, подвесной для производственных зданий, серии 01, климатическое исполнение У, категория размещения 3.

Правильный выбор светильника по светораспределению обуславливает экономичное использование светового потока источника света, приводит к снижению установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с более высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость. Эти дополнительные затраты окупаются за счет экономии электроэнергии.

В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света класса П со светораспределением типа К (концентрированная) при высоких потолках (более 6-8 м), с меньшей высотой потолков – со светораспределением типа Д (косинусная), реже Г (глубокая). С увеличением высоты помещения применяемый светильник должен иметь большую степень концентрации светового потока (К, Г) и наоборот в низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением (Д, Г).

При высоких отражающих свойствах стен и потолков производственных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света класса Н.

При высоких отражающих свойствах пола или рабочих поверхностей преимущество получают светильники класса П, поскольку в этом случае за счет отражения в верхнюю полусферу попадает достаточно светового потока для создания приемлемого зрительного комфорта.

Светильники преимущественно прямого света класс П и рассеянного света класса Р с кривыми светораспределения Д (косинусная) и Л (полуширокая) целесообразно применять для освещения административных, учебных помещений, лабораторий и т.п.

Светильники классов В (преимущественно отраженного света) и О (отраженного света) применяют для создания архитектурного освещения производственных помещений, гражданских зданий. Для наружного освещения – светильники с кривой силы света Ш (широкая).

Учет при выборе светильников слепящего их действия осуществляется по показателю ослепленности, который нормируется [2] и сравнивается с фактическим показателем ослепленности. Расчет этого показателя приведен в [11], но на практике при проектировании осветительных установок в связи с трудностью расчета этого показателя эта характеристика учитывается косвенно минимально допустимой высотой подвеса светильников.

Выбор светильников по критерию экономичности выполняется по минимуму приведенных затрат. Однако учитывая что основной составляющей годовых эксплуатационных расходов являются затраты на электроэнергию, можно с некоторым приближением оценивать экономичность светильника по критерию энергетической экономичности ($\mathcal{E}_э$). Под энергетической экономичностью понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности (E_{\min}) к удельной мощности $P_{уд}$:

$$\mathcal{E}_э = \frac{E_{\min}}{P_{уд}},$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, равная отношению установленной мощности ламп к площади освещаемого помещения.

Рост энергетической экономичности в соответствии с выражением (6.3), является следствием уменьшения удельной установленной мощности источников света, необходимой для создания заданной освещенности.

Было установлено, что энергетическая экономичность является функцией комбинированного аргумента $E_{\min} K_з H_p^2$, где E_{\min} – освещенность по нормам, $K_з$ – коэффициент запаса, H_p – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Это позволяет определить области, целесообразного с экономической точки зрения, использования различных типов светильников.

Размещение светильников

Размещение по высоте

При системе общего освещения светильники можно размещать над освещаемой поверхностью либо равномерно, либо локализовано. При равномерном освещении светильники располагают правильными симметричными рядами, создавая при этом относительно равномерную освещенность по всей площади, а при локализованном – индивидуально для каждого рабочего места или участка производственного помещения, создавая при этом требуемые освещенности только на рабочих местах.

Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью (расчетная высота подвеса) светильников в значительной степени определяет характеристику и технико-экономические показатели проектируемой осветительной установки.

Минимальная высота подвеса светильников ограничена условием ослепляющего из действия (нормированный показатель ослепленности).

Максимальная высота ограничена размерами помещения и условиями обслуживания светильников.

При выборе высоты подвеса учитываются строительные особенности помещений – наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля; одновременно рассматриваются способы прокладки и монтажа проводов и кабелей осветительной сети.

В помещениях ограниченной высоты светильники устанавливаются либо на свесах, либо непосредственно на потолке и обслуживаются с лестниц или стремянок. По условию доступности высота подвеса светильников не должна превышать 5 м от пола, причем светильники не должны располагаться над крупным оборудованием, приемками и в других местах, где невозможна установка лестниц или стремянок.

В помещениях с ферменным перекрытием чаще всего светильники общего освещения устанавливаются на фермах. В этих случаях они могут обслуживаться с мостовых кранов, причем светильники должны быть размещены на уровне не менее 1,8 м над настилом площадки обслуживания на кране или же на уровне нижнего пояса ферм.

При проектировании осветительных установок необходимо предусматривать, чтобы возможно большая часть светильников была

доступна для обслуживания с пола с помощью переносных приспособлений (табуретов, лестниц и стремянок).

На рисунке 6.3 показано расположение светильников общего освещения по высоте помещения. Минимальная высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью определяется условиями ограничения ослепленности. Большинство помещений общественных зданий имеют высоту 2,5...3 м, поэтому высота подвеса ограничивается высотой помещения.

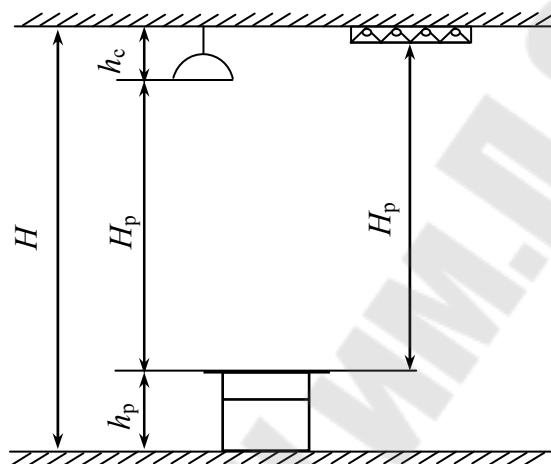


Рис. 6.3. Размещение светильников по высоте помещения

В общем случае расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (6.4)$$

где H – высота помещения; h_c – высота свеса светильника; h_p – высота рабочей поверхности, при отсутствии конкретной величины принимается равной 0,8 м.

Пример 1

Определить расчетную высоту H_p для производственного помещения.

Высота помещения до ферм перекрытия производственного цеха составляет 8,6 м, высота свеса светильника 0,6 м, освещенность Γ -пол 0,00.

Решение:

$$H_p = 8,6 - 0,6 = 8 \text{ м.}$$

Пример 2

Определить расчетную высоту H_p для административного помещения.

Высота помещения от потолка до пола составляет 3,0 м, светильник закреплен непосредственно к перекрытию над рабочей поверхностью, освещенность Γ -0,8.

Решение:

$$H_p = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Расположение светильников на плане помещения

При общем равномерном освещении лучшими вариантами расположения светильников с точечными источниками света являются расположение их по углам прямоугольника или в шахматном порядке (рис. 6.2, а, б) этим достигается наиболее равномерное распределение освещенности по всей площади помещения.

Выбор расстояния между светильниками зависит от типа светильника, высоты его подвеса над рабочей поверхностью, а иногда способ расположения светильников зависит от архитектурных или строительных условий.

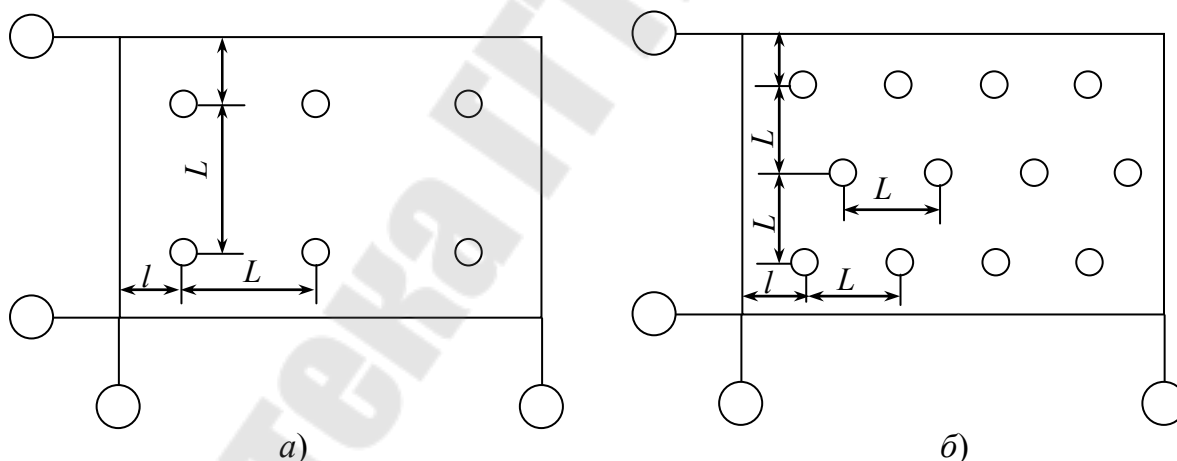


Рис. 6.4. Размещение светильников на плане помещения:
а) – по углам прямоугольника; б) – в шахматном порядке

При расположении светильников на плане помещения следует учитывать, что увеличение расстояния между светильниками в ряду или между рядами светильников приводит к увеличению мощности

ламп и к увеличению неравномерного распределения освещенности на освещаемой поверхности, так как при этом освещенность под светильниками намного больше освещенности точек между ними. При частом расположении светильников неравномерность распределения освещенности снижается, однако в этом случае применять лампы малой мощности с невысокой светоотдачей, а это приводит к повышенному расходу электроэнергии и росту первоначальных затрат. Отсюда следует, что при выборе расстояния между светильниками, необходимо определить такое, которое обеспечило бы наименьшую установленную мощность осветительной установки и достаточную для практических условий равномерность освещения.

Установлено, что расстояние между светильниками зависит от наивыгоднейшей величины отношения L/H_p , где L – расстояние между светильниками или рядами, м; H_p – высота подвеса светильника над расчетной поверхностью, м.

Наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами L/H_p равно для классифицированных кривых: Д1 – 1,3; Д2 – 1,1; Г1 – 0,91; Г2 – 0,77; Г3 – 0,66; Г4 – 0,57; К1 – 0,49; К2 – 0,42, К3 – 0,36.

Наивыгоднейшие величины отношения L/H_p в зависимости от кривой силы света приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5

Величина отношения L/H_p

Тип кривой силы света	L/H_p		Тип кривой силы света	L/H_p	
	Рекомендуемые значения	Наибольшие допустимые значения		Рекомендуемые значения	Наибольшие допустимые значения
К	0,4...0,7	0,9	М	1,8...2,6	3,4
Г	0,8...1,2	1,4	Л	1,4...2,0	2,3
Д	1,2...1,6	2,1			

Ряды светильников с люминесцентными лампами следует располагать параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами. Если проемы расположены на короткой стороне, то ряды светильников можно располагать и вдоль и поперек помещения.

Расстояние от крайнего ряда светильников до стен (l) рекомендуется принимать около $0,5L$ при наличии у стен проходов и $0,3L$ в остальных случаях.

При общем освещении рабочих помещений светильники с люминесцентными лампами для создания равномерного освещения следует располагать непрерывными рядами, если в каждом светильнике число ламп менее четырех. Светильники можно распола-

гать и рядами с разрывами, при этом расстояние между их торцами не должно превышать 0,5 высоты подвеса светильников над освещаемой поверхностью.

Расстояние от потолка до светильника h_c обычно принимается 0,5...0,7 м (в жилых и общественных пониженной высоты 0,3...0,4 м).

Намечается размещение светильников на плане по углам прямоугольника.

Определяется количество рядов светильников

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1.$$

Определяется количество светильников в ряду

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1.$$

Полученные результаты округляются до ближайшего целого числа и пересчитываются реальные расстояния:

между рядами светильников

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1};$$

между светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R}.$$

Для прямоугольных помещений проверяется условие

$$1 \leq L_A / L_B \leq 1,5.$$

Если $L_A/L_B < 1$, то необходимо уменьшить число светильников в ряду на один или увеличить число рядов на один.

Если $L_A/L_B > 1,5$, то необходимо увеличить число светильников в ряду на один или уменьшить число рядов на один.

Общее число светильников определяем по формуле

$$N_{\text{св}} = RN_R.$$

Светильники с трубчатыми люминесцентными лампами могут располагаться вплотную друг к другу по длине или с разрывом.

При применении светильников с люминесцентными лампами из светотехнического расчета определяется световой поток Φ_R ряда светильников, а затем рассчитывается число светильников в ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{n_{\text{св}} \Phi_{\text{л}}},$$

где $n_{\text{св}}$ – число ламп в одном светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы, лм.

При этом расстояние между соседними светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l - N_R l_c}{N_R - 1},$$

где l_c – длина одного светильника.

В процессе расчетов необходимо сделать, чтобы суммарная длина светильников с люминесцентными лампами в одном ряду не превышала длины помещения.

Пример 1

Выполнить размещение светильников на плане для общего равномерного освещения.

Исходные данные: Геометрические размеры помещения 18×12 м; светильники с разрядными лампами

РЕШЕНИЕ:

Определим количество рядов

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1 = (12 - 2 \cdot 1,5) / 3 + 1 = 4 \text{ шт.}$$

Определим количество светильников в ряду

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1 = (18 - 2 \cdot 1,5) / 3 + 1 = 6 \text{ шт.}$$

Уточняем расстояние между рядами

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1} = (12 - 2 \cdot 1,5) / 4 - 1 = 3 \text{ м.}$$

Уточняем расстояние между светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R} = (18 - 2 \cdot 1,5) / 6 = 2,5 \text{ м.}$$

6.1.4. Светотехнический расчет освещения

Общие рекомендации

Светотехнические расчеты позволяют выполнить следующее:

а) определить количество и единичную мощность источников света осветительной установки, обеспечивающей требуемую освещенность в помещении (на рабочей поверхности);

б) для существующей (спроектированной) осветительной установки рассчитать освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения;

в) определить качественные показатели осветительной установки (коэффициент пульсации, цилиндрическую освещенность, показатели ослепленности и дискомфорта).

Основной светотехнический расчет освещения заключается в решении задач по приведенным выше пунктам а) и б). Для этой цели применяются два метода расчета электрического освещения: метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Метод коэффициента использования светового потока применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей, в основном для расчета светового потока источника (источников) света. Этот метод позволяет рассчитывать также среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Он не применим при неравномерном размещении светильников, расчете освещенности в характерных точках как негоризонтальных, так и горизонтальных поверхностей.

Упрощенной формой метода коэффициента использования светового потока является метод удельной мощности на единицу освещаемой площади. Применяется этот метод для ориентировочных расчетов общего равномерного освещения. Максимальная погрешность расчета по методу удельной мощности составляет $\pm 20\%$.

Точечный метод расчета освещения позволяет определить освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения при любом равномерном или неравномерном размещении светильников. Он часто используется как проверочный метод для расчета освещенности в характерных точках поверхности. С помощью точечного метода можно проанализировать распределение освещенности по всему помещению, определить минимальную освещенность не только на горизонтальной, но и наклонной поверхности, рассчитать аварийное и местное освещение.

Основной недостаток точечного метода расчета заключается в неучете отраженного светового потока от стен, потолка и рабочей поверхности помещения.

В тех случаях, когда не может быть применен ни один из названных методов, например, при расчете неравномерного освещения помещения со значительными отражающими свойствами стен, потоло-

ка и рабочей поверхности, то используют оба метода, действуя комбинированным способом

Расчет метод коэффициента использования светового потока

Помещения, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей, освещение рассчитывают методом коэффициента использования светового потока.

По этому методу расчетную освещенность на горизонтальной поверхности определяют с учетом светового потока, падающего от светильников непосредственно на расчетную поверхность и отраженного от стен, потолка и самой поверхности.

Метод коэффициента использования применим для расчета освещения помещений светильниками с лампами накаливания и газоразрядными.

Коэффициентом использования светового потока осветительной установки называется отношение светового потока, падающего на горизонтальную поверхность, к суммарному потоку всех ламп, размещенных в данном освещаемом помещении

$$\eta = (\Phi_{\text{п}} + \Phi_{\text{отр}}) / n\Phi_{\text{л}} = \Phi_{\text{р}} / n\Phi_{\text{л}},$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – световой поток, падающий от светильников непосредственно на освещаемую поверхность, лм;

$\Phi_{\text{отр}}$ – отраженный световой поток, лм;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы, лм;

$\Phi_{\text{р}}$ – результирующий световой поток, лм; n – количество ламп в освещаемом помещении.

При расчете по методу коэффициента использования световой поток лампы, необходимый для создания заданной минимальной освещенности определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta},$$

где E – заданная минимальная нормируемая освещенность, лк;

k – коэффициент запаса (принимается 1,3...2,0);

S – площадь помещения, м²;

z – отношение $E_{\text{cp}}/E_{\text{min}}$ (неравномерность освещения принимается 1,15 – для ламп накаливания и ДРЛ; 1,1 – для люминесцентных ламп);

n – число светильников (как правило, намечается до расчета);

η – коэффициент использования, о.е. (для некоторых типов светильников можно определить по таблицам [5]).

Коэффициент использования определяется в зависимости от значений индекса помещения i и коэффициентов отражения потолка, стен, рабочей поверхности – $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$.

Индекс помещения можно вычислить по выражению:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)},$$

где A и B – длина и ширина помещения, м;

h – расчетная высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью, м.

Приблизительные значения коэффициентов отражения можно определить по следующим рекомендациям:

- побеленный потолок и стены – 80...70 %;
- побеленный потолок, стены окрашены в светлые тона – 50 %;
- бетонный потолок, стены оклеены светлыми обоями, бетонные стены – 30 %;
- стены и потолки в помещениях оштукатуренные, темные обои – 10 %.

Определить количество и мощность ламп можно двумя способами:

после расчета общего светового потока ламп, требуемого для создания нормированной освещенности в помещении, можно определить количество ламп, как отношение общего светового потока к световому потоку одной лампы, мощность которой выбрана предварительно

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы, лм.

Пример 1

Выполнить расчет электрического освещения производственного помещения методом коэффициента использования светового потока. Разместить светильники на плане помещения.

Исходные данные: Размеры помещения: длина – $A = 12$ м; ширина – $B = 6$ м; высота – $h = 3,6$ м. Нормируемая освещенность $E = 100$ лк, коэффициент запаса $k = 1,5$. Коэффициенты отражения: потолка, стен, расчетной поверхности соответственно $\rho_{\text{п}} = 50\%$; $\rho_{\text{с}} = 30\%$; $\rho_{\text{р}} = 10\%$. Светильники с лампами накаливания типа НСП17.

Решение:

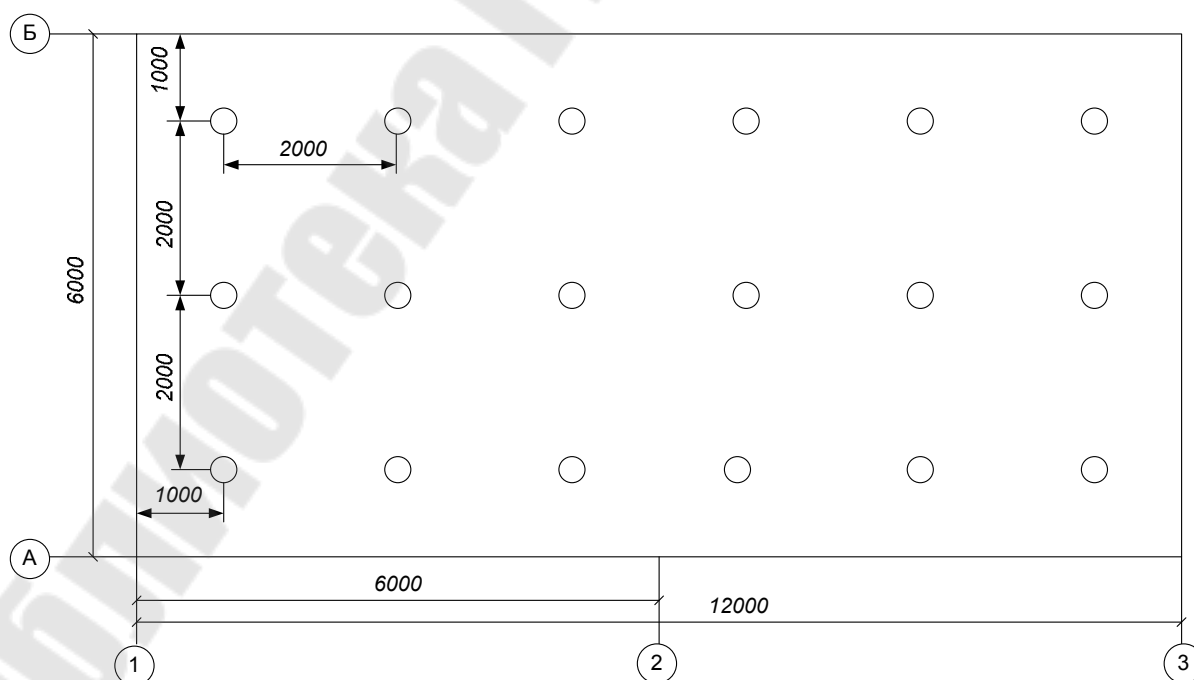


Рис. 6.5. Размещение светильников на плане помещения

Определим индекс помещения

$$i = 12 \cdot 6 / 3,6(12 + 6) = 1,1.$$

По таблице 5.2 [5] определим коэффициент использования по заданным коэффициентам отражения потолка, стен, расчетной поверхности и индексу помещения для светильника с лампами накаливания типа НСП – $\eta = 0,22 \%$.

Определим световой поток

$$\Phi = 100 \cdot 1,5 \cdot 72 \cdot 1,15 / 0,22 = 56454 \text{ лм}.$$

Лампа накаливания типа Б215-225-200 обладает световым потоком равным 3150 лм.

Определим количество ламп

$$n = 56454 / 3150 = 17,9 \approx 18 \text{ ламп}.$$

Распределим светильники на плане помещения (рис. 7.1).

Пример 2

Выполнить расчет электрического освещения административного помещения.

Исходные данные: Размеры помещения: длина – $A = 6$ м; ширина – $B = 6$ м; высота – $h = 2,9$ м. Нормируемая освещенность $E = 300$ лк, коэффициент запаса $k = 1,3$. Коэффициенты отраже-

ния: потолка, стен, расчетной поверхности соответственно

$\rho_{\text{п}} = 70\%$; $\rho_{\text{с}} = 50\%$; $\rho_{\text{р}} = 30\%$. Светильники с лампами накаливания серии ЛПО 4×18 Вт, кривая силы света Л (полуширокая).

Решение:

Определим индекс помещения

$$i = 6 \cdot 6 / 2,9(6 + 6) = 36 / 34,8 = 1,03.$$

По таблице 8,1, а [6] определим коэффициент использования по заданным коэффициентам отражения потолка, стен, расчетной поверхности и индексу помещения для светильника серии ЛПО 4×18 с трубчатыми люминесцентными лампами типа ЛБ18 – $\eta = 0,54\%$.

Определим световой поток всех ламп

$$\Phi = 300 \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 1,1 / 0,54 = 28600 \text{ лм.}$$

Определим количество светильников

$$n_{\text{св}} = \Phi \cdot n_{\text{св}} = \Phi / n_{\text{л}} \cdot \Phi_{\text{л}} ;$$
$$n_{\text{св}} = 28600 / 4 \cdot 1250 = 5,72 \text{ шт.}$$

Принимаем 6 светильника серии ЛПО 4×18 Вт.

Пример 3

Рассчитать количество светильников необходимых для освещения помещения с минимальным уровнем освещенности

$$E = 300 \text{ лк.}$$

Исходные данные: Размеры помещения: длина – $A = 8$ м; ширина – $B = 6$ м; высота – $h = 2,8$ м. Коэффициент запаса $k = 1,3$. Коэффициенты отражения: потолка, стен, расчетной поверхности соответственно $\rho_{\text{п}} = 70\%$; $\rho_{\text{с}} = 50\%$; $\rho_{\text{р}} = 30\%$. Светильники с трубчатыми люминесцентными лампами серии ЛПО 4×18 Вт, кривая силы света Л (полуширокая).

Решение:

Определим индекс помещения

$$i = 8 \cdot 6 / 2,8(8 + 6) = 48 / 39,2 = 1,22.$$

По таблице 8,1, a [6] определим коэффициент использования по заданным коэффициентам отражения потолка, стен, расчетной поверхности и индексу помещения для светильника серии ЛПО 1×36 с трубчатыми люминесцентными лампами типа ЛБ36 – $\eta = 0,59\%$.

Определим количество ламп

$$n = E \cdot k_3 \cdot S \cdot z / \Phi_{\text{л}} \cdot \eta.$$

$$n = 300 \cdot 1,3 \cdot 48 \cdot 1,1 / 3050 \cdot 0,59 = 11,44 \text{ шт.}$$

Принимаем 12 одноламповых светильников серии ЛПО

1×36 Вт.

Пример 4

Рассчитать количество светильников необходимых для освещения производственного помещения цеха с минимальным уровнем освещенности $E = 300$ лк.

Исходные данные: Размеры помещения: длина – $A = 54$ м; ширина – $B = 30$ м; высота – $h = 8$ м. Коэффициент запаса $k = 1,3$. Коэффициенты отражения: потолка, стен, расчетной поверхности соответственно $\rho_{\text{п}} = 50\%$; $\rho_{\text{с}} = 30\%$; $\rho_{\text{р}} = 10\%$. Светильники с разрядными лампами ДРЛ.

Решение:

Определим расчетную высоту подвеса светильников

$$H_{\text{р}} = H - h_{\text{с}} = 8 - 0,6 = 7,4 \text{ м.}$$

Определим индекс помещения

$$i = 54 \cdot 30 / 7,4(54 + 30) = 2,6.$$

По таблице 8,1, в [6] определим коэффициент использования по заданным коэффициентам отражения потолка, стен, расчетной поверхности и индексу помещения для светильника серии РСП с лампами ДРЛ, по кривым силы света Д – $\eta = 0,6 \%$

Определим количество ламп ДРЛ мощностью 400 Вт

$$n = E \cdot k_3 \cdot S \cdot z / \Phi_{\text{л}} \cdot \eta = 300 \cdot 1,3 \cdot 1620 \cdot 1,15 / 24000 \cdot 0,6 = 50 \text{ шт.}$$

Принимаем 50 светильников серии РСП-05 с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт.

Пример 5

В помещении обеспечить минимальный уровень освещенности $E = 30$ лк и $k_3 = 1,5$ используя светильники с лампами накаливания.

Исходные данные: Площадь помещения – $S = 360 \text{ м}^2$, индекс помещения 1,25, коэффициенты отражения потолка, стен, рабочей поверхности соответственно равны $\rho_{\text{п}} = 50 \%$; $\rho_{\text{с}} = 30 \%$; $\rho_{\text{р}} = 10 \%$. Световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт $\Phi_{\text{л}} = 1500$ лм.

Решение:

По табл. 6.4 [6] для светильника с лампой накаливания серии НПП05-100 КСС типа М, тогда по табл. 8.1 [6] коэффициент использования светового потока при $i = 1,25$ равен $\eta = 0,45$.

$$n = E \cdot k_3 \cdot S \cdot z / \Phi_{\text{л}} \cdot \eta = 30 \cdot 1,5 \cdot 360 \cdot 1,15 / 1500 \cdot 0,45 = 28 \text{ шт.}$$

Метод расчета освещения по удельной мощности

Метод удельной мощности широко применяют в проектной практике, и позволяет без выполнения светотехнических расчетов оп-

ределять мощность всех ламп общего равномерного освещения, требуемого по нормам в данном помещении.

В основу расчета по удельной мощности положен метод коэффициента использования светового потока.

Из светотехники известно, что световая отдача лампы (лм/Вт) определяется по выражению

$$\omega = \Phi / P_{\text{л}},$$

$$\text{где } \Phi = \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}.$$

Отсюда

$$\Phi = P_{\text{л}} \cdot \omega + \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}.$$

(6.12)

Решив, это уравнение относительно $nP_{\text{л}}$ и разделив обе части уравнения на площадь S , получим

$$nP_{\text{л}} / S = P_{\text{уд}}.$$

Из этого выражения видно, что удельная мощность является функцией переменных величин, входящих в формулу расчета по методу коэффициента использования. На основании светотехнических расчетов, выполненных этим методом, составлены таблицы удельной мощности при равномерном размещении стандартных светильников общего освещения.

Удельной мощностью $P_{\text{уд}}$ называется отношение суммарной мощности всех ламп, установленных в данном помещении, к площади освещаемой поверхности (пола), Вт/м²:

$$P_{\text{уд}} = nP_{\text{л}} / S.$$

Метод расчета заключается в определении удельной мощности $P_{\text{уд}}$.

Установленная мощность всех ламп определяется как произведение удельной мощности на площадь всего помещения

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд}} \cdot S.$$

После того как определена мощность всех ламп, можно определить мощность одной лампы, намечая предварительно количество

ламп, или определить количество ламп, намечая конкретную стандартную мощность ламп:

$$P_{\text{л}} = P_{\text{расч}}/n \quad \text{или} \quad n = P_{\text{расч}}/P_{\text{л}}. \quad (6.16)$$

Пример 1

Выполнить расчет освещения по удельной мощности. Определить, мощность и количество ламп в складском помещении, а также суммарную мощность осветительной установки.

Исходные данные: Нормируемая освещенность $E = 50$ лк; коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$, расчетной поверхности $\rho_{\text{р}} = 10\%$; светильники с лампами накаливания типа НСП17; размеры помещения $A = 24$ м, $B = 12$ м, $H = 6$ м.

Решение:

Вычислим площадь помещения

$$S = A \cdot B;$$

$$S = 24 \cdot 12 = 288 \text{ м}^2.$$

По табл. 5.29 [5] при расчетной высоте подвеса светильников ($H_{\text{р}}$) – 5,5 м и площади 288 м^2 , а также нормируемой освещенности 50 лк определим удельную мощность Вт/м² для светильника НСП17 составит $P_{\text{уд}} = 8,8 \text{ Вт/м}^2$.

$$P_{\text{уст}} = 8,8 \cdot 288 = 2534,4 \text{ Вт};$$

$$n = 2534,4/200 \approx 12 \text{ ламп}.$$

Пример 2

Определить количество ламп накаливания для освещения электропомещения (ТП) с минимальной освещенностью 50 лк.

Исходные данные: Размеры помещения $A = 6$ м, $B = 6$ м, $H = 3,0$ м; коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$, расчетной поверхности $\rho_{\text{р}} = 10\%$; светильники серии НПП60.

Решение:

Вычислим площадь помещения

$$S = A \cdot B = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

По табл. 5.29 [5] при расчетной высоте (H_p) – 3 м и площади 36 м^2 , а также нормируемой освещенности 50 лк определим удельную мощность $\text{Вт}/\text{м}^2$ для светильника НПП100 составит $P_{\text{уд}} = 16,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Определим установленную мощность всех ламп в помещении

$$P_{\text{уст}} = 16,2 \cdot 36 = 583 \text{ Вт},$$

тогда

$$n = 583/100 = 6 \text{ ламп}.$$

Пример 3

Определить количество и мощность ламп накаливания для освещения электрощитовой с минимальной освещенностью 100 лк.

Исходные данные: Размеры помещения $A = 9 \text{ м}$, $B = 6 \text{ м}$, $H = 3,0 \text{ м}$; удельная мощность $P_{\text{уд}} = 24,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Решение:

Пользуясь рекомендациями размещения светильников для равномерного освещения, произведем размещение светильников на плане помещения.

После размещения светильников имеем два ряда светильников по 4 светильника в ряду итого 8 светильников.

Вычислим площадь помещения

$$S = 9 \cdot 6 = 54 \text{ м}^2.$$

Определим мощность установленных ламп

$$P_{\text{уст}} = 222,2 \cdot 54 = 1198,8 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{л}} = 1198,8/8 = 149,85 \text{ Вт},$$

принимая стандартную лампу мощностью 150 Вт.

Пример 4

Определить количество трубчатых люминесцентных ламп для освещения коридора с минимальной освещенностью 75 лк; коэффи-

коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$, расчетной поверхности $\rho_{\text{р}} = 10\%$;

Исходные данные: Размеры помещения $A = 30$ м, $B = 3$ м, $H = 3,0$ м.

Решение:

Вычислим площадь помещения

$$S = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^2.$$

По табл. 8.7 [Козловская] при расчетной высоте ($H_{\text{р}}$) – 3 м и площади 90 м^2 , а также нормируемой освещенности 75 лк определим удельную мощность $\text{Вт}/\text{м}^2$ для светильника ЛПО 1×36 Вт с кривой силы света – Д составит $P_{\text{уд}} = 4,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при уровне освещенности 100 лк, тогда для уровня освещенности 75 лк – 3,07.

Определим установленную мощность ламп

$$P_{\text{уст}} = 3,07 \cdot 90 = 276,3 \text{ Вт}.$$

Определим количество ламп

$$n = 276,3/36 = 7,675 \text{ ламп},$$

принимаем 8 светильников ЛПО 1×36 Вт.

Расчет освещения точечным методом

Точечный метод расчета освещения является обязательным для расчета освещенности негоризонтальных поверхностей, общего локализованного, эвакуационного, местного и наружного освещения. Он позволяет рассчитывать световой поток источника света, светильника, ряда светильников.

Точечный метод в отличие от метода коэффициента использования позволяет определить освещенность любой точки на рабочей поверхности, как угодно расположенной в пространстве, например, горизонтально, вертикально или наклонно. Расчет освещения точечным методом производят тогда, когда невозможно применить метод коэффициента использования, например расчеты локализованного освещения, освещения наклонных или вертикальных поверхностей. Точечный метод также часто применяют в качестве проверочного расчета, когда необходимо оценить фактическое распределение освещенности на освещаемой поверхности. Однако точечный метод имеет

существенный недостаток: не учитывает освещенность, создаваемую световым потоком, отраженным от стен и потолков, вследствие чего освещенность получается несколько заниженной. Поэтому точечный метод можно применять для расчета освещения помещений, в которых, отраженный световой поток составляет незначительную долю по сравнению со световым потоком, падающим непосредственно на освещаемую поверхность, например производственных помещений с низкими коэффициентами стен и потолков, местного освещения, наружного освещения.

Определение горизонтальной освещенности. Горизонтальная поверхность Q освещается светильником общего освещения с точечным источником света (лампа накаливания или ДРЛ) (рис. 6.6).

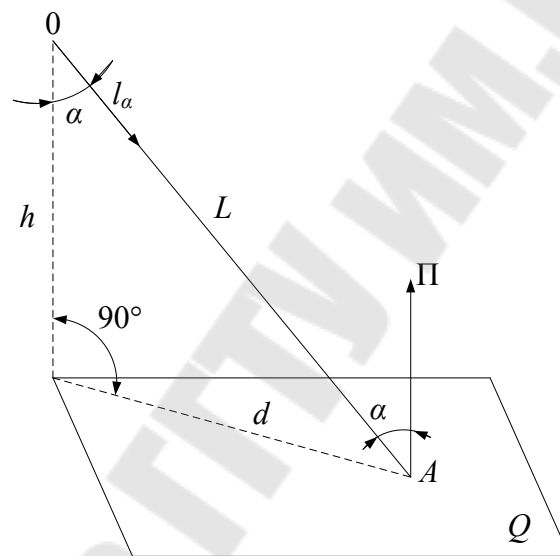


Рис. 6.6. К расчету точечным методом

Точка A , в которой необходимо определить освещенность находится на расстоянии l от источника света. Для определения освещенности в точке A применим соотношение между освещенностью и силой света:

????????????????????

Из рисунка 6.6 выразим расстояние l через высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью h :

$$l = h / \cos \alpha.$$

Отсюда горизонтальная освещенность в точке A

$$E'_{\Gamma A} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha (h^2 \cdot k_3). \quad (6.17)$$

Расчет освещения точечным методом с использованием пространственных изолюкс

Пространственные изолюксы или кривые значений освещенности составлены для стандартных светильников с условной лампой 1000 лм в прямоугольной системе координат [10] в зависимости от высоты подвеса светильника H_p и расстояния в проекции светильника на горизонтальную поверхность до контрольной (характерной) точки.

Порядок расчета данным методом следующий:

а) на плане помещения с известным расположением светильников намечается одна или две контрольные точки, в которых ожидается наименьшая освещенность. Например, т. А (рис. 6.7);

б) определяются расстояния от контрольной точки до ближайших светильников, т.е. расстояния d_1, d_2, \dots, d_6 ;

в) в зависимости от типа светильников по кривым пространственных изолюкс [10] для каждого значения H_p и d находятся условные освещенности в люксах, т.е. соответственно e_1, e_2, \dots, e_6 . Значения e в большинстве случаев определяются путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс.

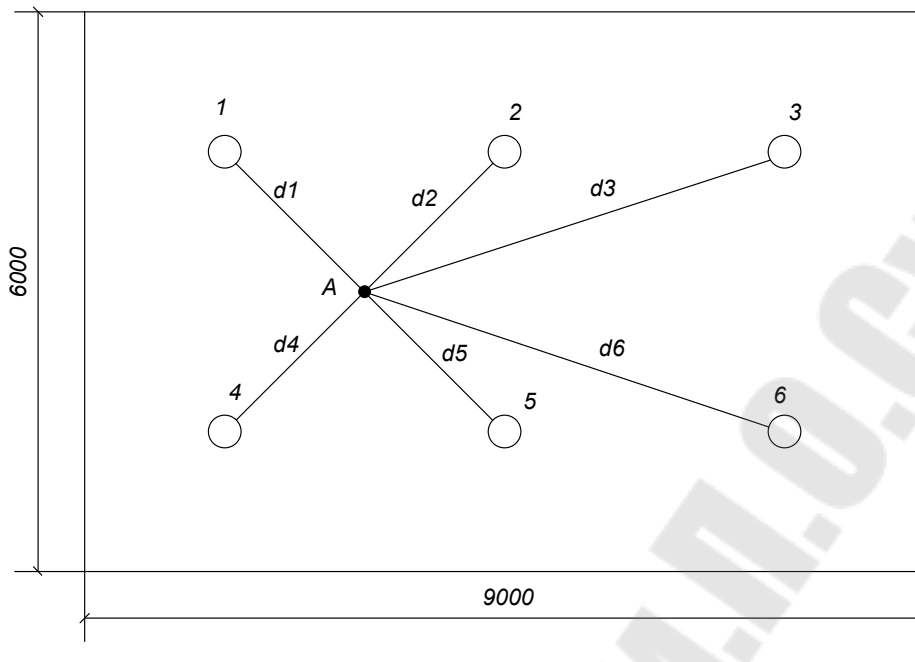


Рис. 6.7. Размещение контрольной точки

Если заданные H_p и d выходят за пределы шкал на графиках в ряде случаев возможно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз, так чтобы точка оказалась в пределах графика и определенное по графику значение e увеличить (уменьшить) в n^2 раз. При отсутствии изолюкс для данного светильника можно воспользоваться графиком для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света 100 кд (рис. 6.8).

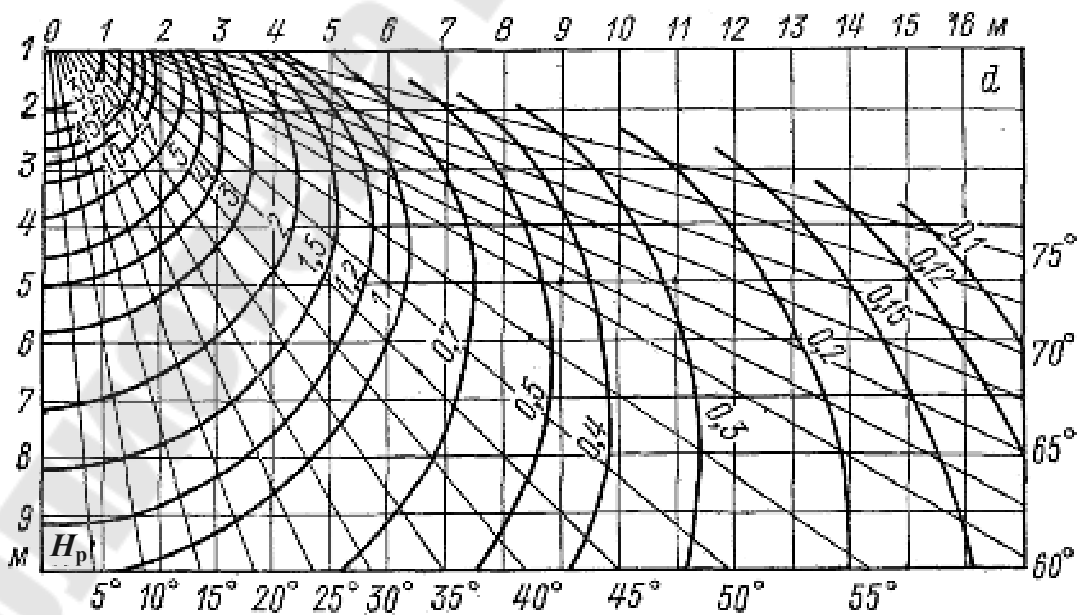


Рис. 6.8. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

Значение условной освещенности e_{100} определяется по координатам H_p и d , одновременно по радиальным лучам находится значение α и по кривой силы света светильников I_α , тогда

$$e = e_{100} \frac{I_\alpha}{100}; \quad (6.18)$$

г) находится общая условная освещенность контрольной точки:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_6; \quad (6.19)$$

д) определяется потребный световой поток лампы в одном светильнике по формуле:

$$\Phi = \frac{1000 E_{\min} k_3}{\mu \sum e}, \quad (6.20)$$

где E_{\min} – нормируемая освещенность, лк;

k_3 – коэффициент запаса;

μ – коэффициент, учитывающий освещенность от удаленных источников света, принимается равным 1,1...1,2;

е) по полученному расчетному световому потоку выбирают мощность стандартной лампы.

При выборе контрольной точки на вертикальной или наклонной плоскости освещенность ее может быть определена по следующей исходной формуле:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{H_p^2 k_3} \left(\cos \theta \pm \frac{d}{H_p} \sin \theta \right), \quad (6.21)$$

где I_α – сила света излучателя по направлению т. А (рис. 6.9);

α – угол между направлением к расчетной точке осью симметрии светильника;

θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость). Знак "-" принимается при условии $\theta > \frac{\pi}{2} + \alpha$.

В частном случае при горизонтальном расположении поверхности $\theta = 0$:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2 k_3}. \quad (6.22)$$

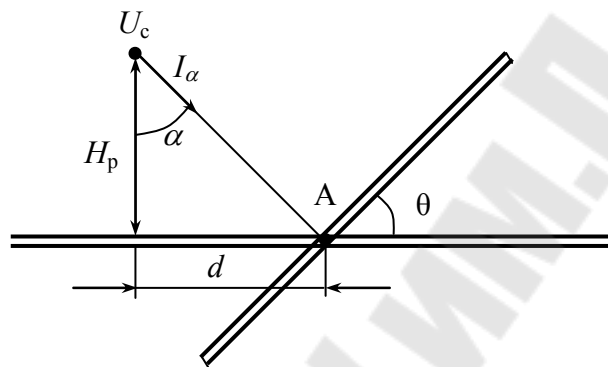


Рис. 6.9. К расчету освещенности от точечного источника света

Освещенность наклонной плоскости, выраженная через освещенность горизонтальной плоскости:

$$E_{\text{н}} = E_{\Gamma} \left(\cos \theta \pm \frac{d}{H_p} \sin \theta \right). \quad (6.23)$$

Освещенность вертикальной поверхности:

$$E_{\text{в}} = E_{\Gamma} \frac{d}{H_p} \quad (6.24)$$

или

$$E_{\text{в}} = E_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.25)$$

Пример 1

В помещении план (рис. 6.10) требуется обеспечить $E_{\min} = 50$ лк, коэффициент запаса $k_3 = 1,4$.

Исходные данные: Светильники с лампами накаливания серии НСП-17 имеют КСС – Г-1. Высота подвеса светильников $H_p = 5,5$ м. Расстояние между светильниками в ряду – 6 м, между рядами – 8 м.

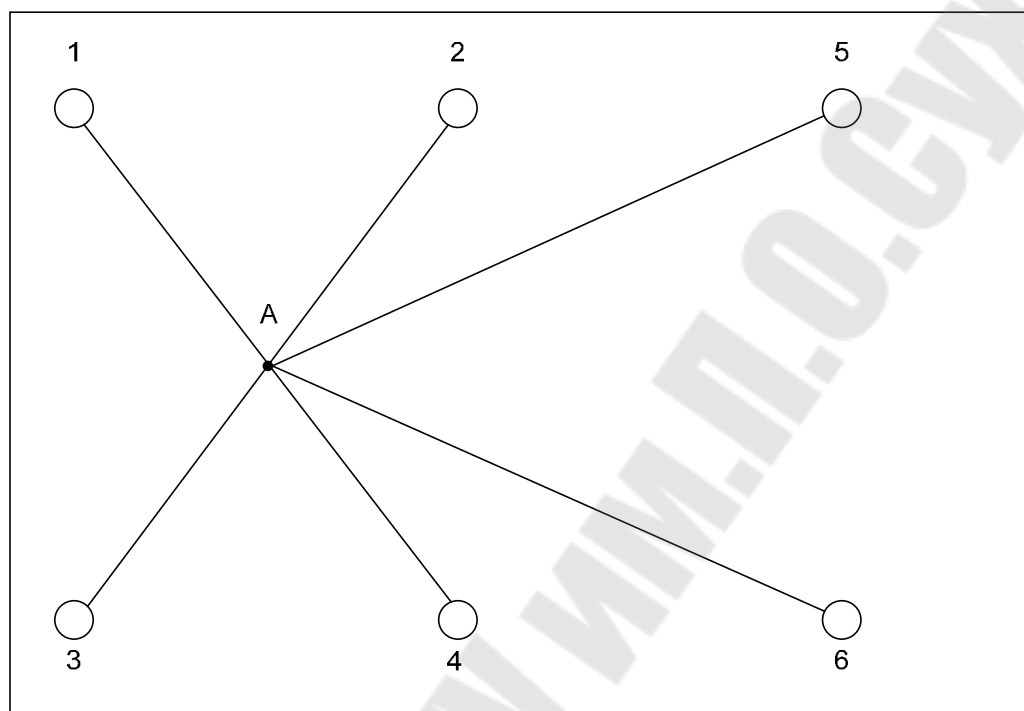


Рис. 6.10. Размещение светильников к примеру 1

Решение. Расстояние d определяется замерами на плане помещения. Расстояние от проекции светильника 1 на горизонтальную плоскость до точки А: $d_{A-1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{8^2 + 6^2} = 5,0$ м.

Определив проекцию d_{A-1} и зная расчетную высоту H_p , вычисляем $\operatorname{tg} \alpha$ по которому определяем значение угла α :

$$\operatorname{tg} \alpha = d/H_p = 5/5,5 = 0,9;$$

$$\alpha = 42,3^\circ.$$

По табл. 8.11 [6], интерполируя значения силы света для углов 40° и 45° , определим значение силы света $I_\alpha = 283,9$ кд.

Определим освещенность E_{1000} в точке А от светильника 1 с условной лампой 1000 лм:

$$E_{1000} = I_{\alpha 1000} \cdot \cos^3 \alpha / H_p^2 = 283,9 \cdot 0,739^3 / 5,5^2 = 3,79 \text{ лк}.$$

Светильники 2, 3, 4 находятся на таком же расстоянии от т. А, как и светильник 1, поэтому они будут создавать в т. А такую же освещенность, полная освещенность в т. А будет равна их сумме 15,16 лк. Результаты расчета заносим в таблицу 6.6.

Таблица 6.6

Результаты расчета к примеру 1

Контрольная точка	Номер светильника	d , м	α , град.	I_{α}	Освещенность в точке А	
					от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 3, 4	5,0	42,3	283,9	3,79	15,16

Определим необходимый световой поток лампы по формуле 6.20, принимая коэффициент $\mu = 1,1$ от удаленных светильников 5, 6.

$$\Phi_{\text{л}} = 50 \cdot 1,4 \cdot 1000 / 1,1 \cdot 15,16 = 4211 \text{ лм}.$$

Такому световому потоку соответствует лампа накаливания мощностью 300 Вт ($\Phi_{\text{л}} = 4850 \text{ лм}$).

Пример 2

Определить освещенность в контрольной точке А (рис. 6.11). Для освещения помещения применены светильники типа НСП17 с лампами накаливания мощностью 200 Вт. Расчет производится методом коэффициента использования светового потока при нормируемой освещенности 200 лк.

Решение. Определим расстояние (в метрах) d проекции каждого светильника до точки А. По кривым равной освещенности (изолюксам) для светильника типа НСП17 находим значения условных освещенностей [10] и заносим в табл. 6.7.

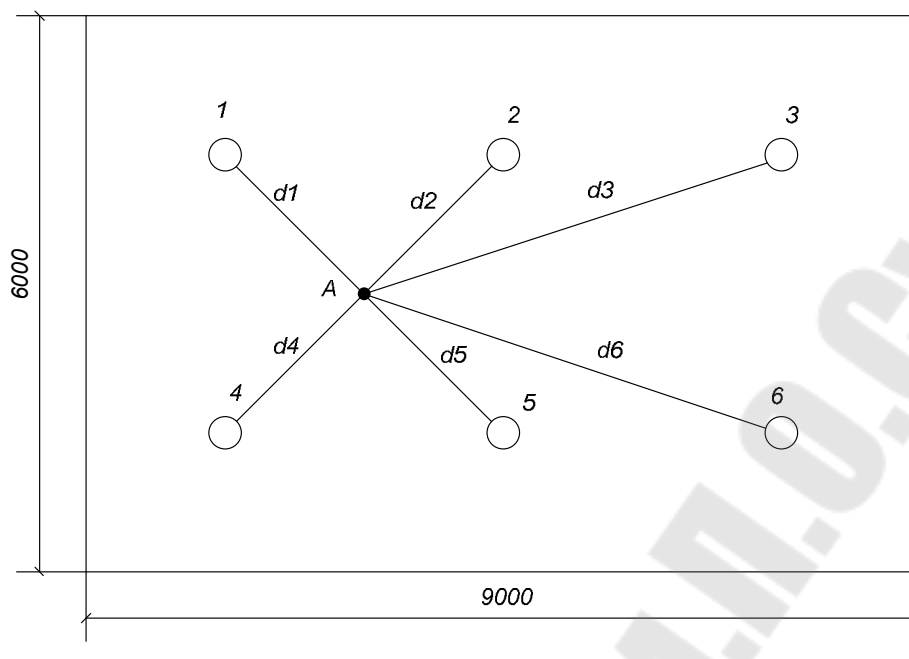


Рис. 6.11. Размещение контрольной точки

Таблица 6.7

Значения условных освещенностей

Номер светильника	Расстояние от проекции d , м	Условная освещенность, лк
1	2,1	15
2	2,1	15
3	4,7	2
4	2,1	15
5	2,1	15
6	4,7	2

Сумма условных освещенностей от светильников 1, ..., 6 для расчетной точки A составит:

$$\sum e = 15 + 15 + 2 + 15 + 15 + 2 = 64 \text{ лк.}$$

Определяем действительную расчетную освещенность в т. A :

$$E_A = \Phi_{л\mu} \sum e / 1000 k_3,$$

принимаяем $\mu = 1,1$.

$$E_A = 2950 \cdot 1,1 \cdot 64 / 1000 \cdot 1,3 = 159 \text{ лк,}$$

т.е. расчетная освещенность намного меньше нормируемой освещенности 200 лк.

Точечный метод с использованием линейных изолукс применяется для расчета освещения от светящихся линий.

Светящей линией является непрерывный ряд светильников с люминесцентными лампами или ряд с разрывами между светильниками (λ) при условии, если $\lambda < 0,5H_p$, или отдельный излучатель (светильник), если его длина превышает $0,5H_p$.

Для расчета освещения от светящихся линий применяются линейные изолуксы светильников, составленные при плотности светового потока $\Phi'_n = 1000 \text{ лм/м}$ и расчетной высоте $H_p = 1 \text{ м}$ в координатах

$$p' = \frac{p}{H_p} \text{ и } L' = \frac{L}{H_p} \text{ (см. рис. 6.12).}$$

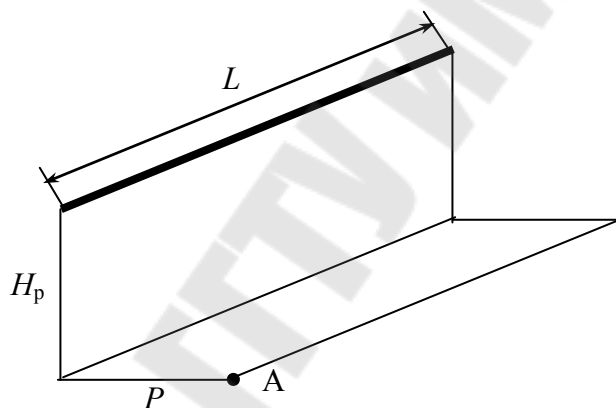


Рис. 6.12. Светящая линия (L) с указанием размеров, определяющих положение ее по отношению к контрольной точке; H_p – расчетная высота подвеса светильников; p – расстояние от контрольной точки в плоскости перпендикулярной светящей линии до перпендикуляра, опущенного на расчетную плоскость от светящей линии

На рис. 6.13, ..., 6.16 приведены линейные изолуксы для некоторых типов светильников с люминесцентными лампами.

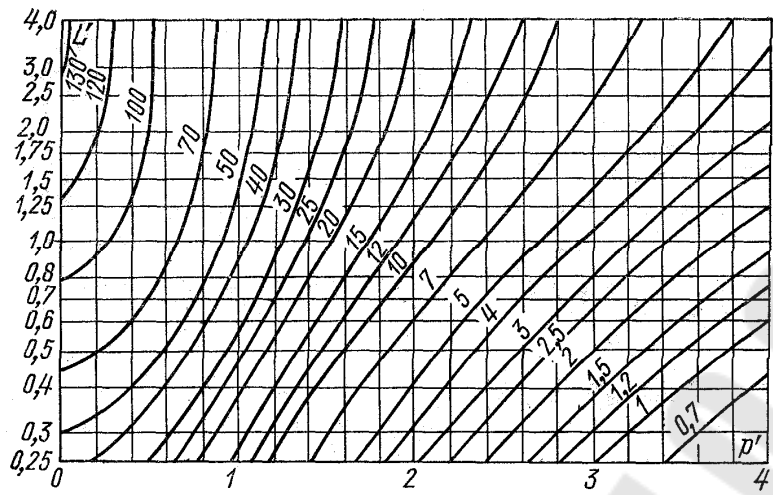


Рис. 6.13. Линейные изолюксы для светильников ЛСП

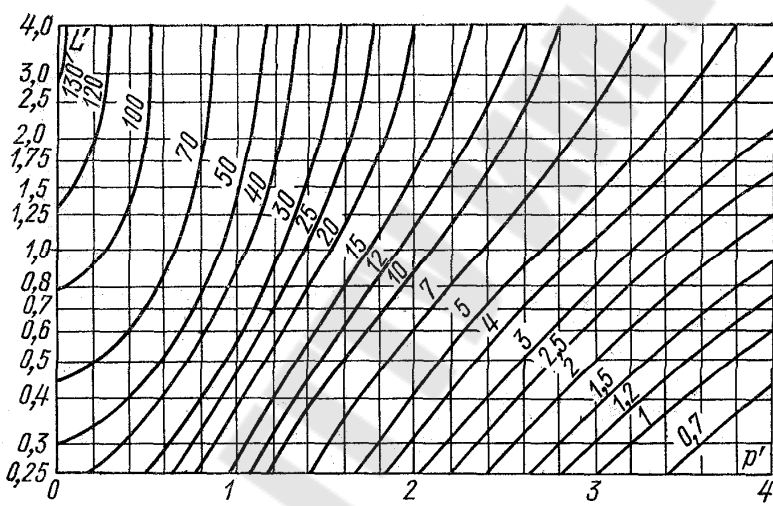


Рис. 6.14. Линейные изолюксы для светильников ЛПП

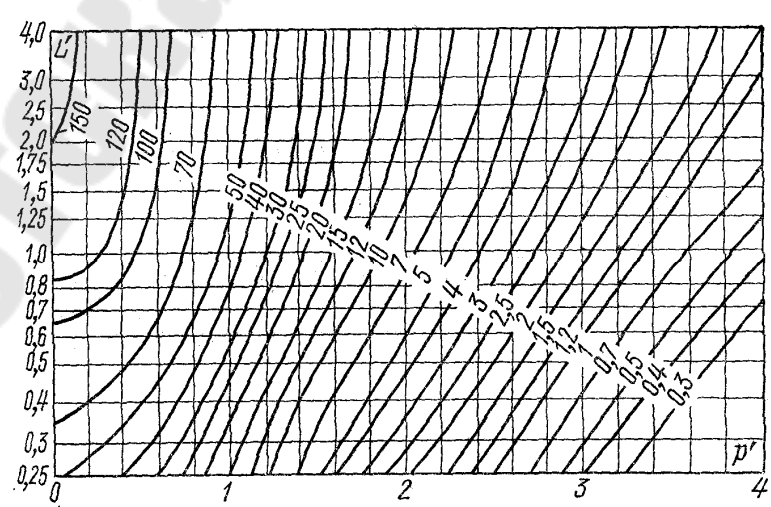


Рис. 6.15. Линейные изолюксы для светильников ЛПО

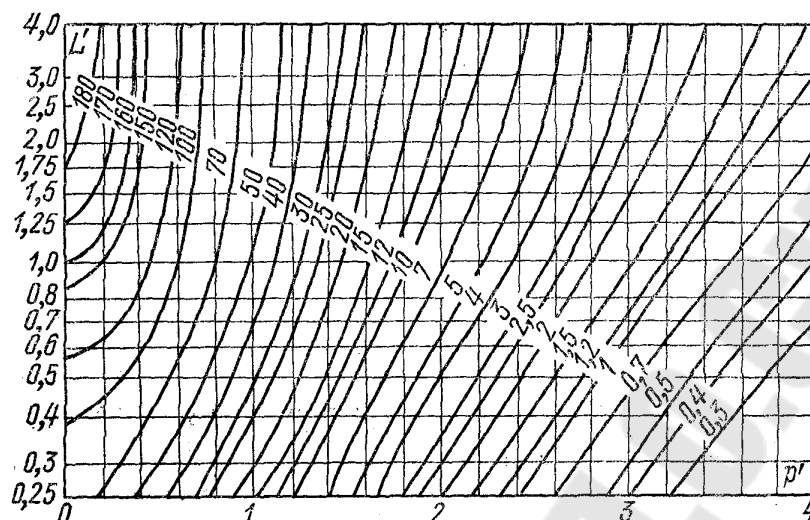


Рис. 6.16. Линейные изолюксы для светильников ЛПО

Расчет светового потока всех ламп в ряду выполняется в следующей последовательности:

а) на плане помещения с указанием светящихся линий отмечают расчетную точку в конце ряда светильников и лежащую посередине между параллельными рядами. Находят ее относительные координаты, т.е. p' и L' ;

б) по кривым линейных изолюкс ([10] или рис. 6.13, ..., 6.16) определяют относительную освещенность ε по найденным p' и L' .

в) потребный световой поток ламп в ряду рассчитывают по следующей формуле:

$$\Phi_p = \frac{1000 E_{\min} k_3 H_p L}{\mu \sum e}, \quad (6.26)$$

где μ – коэффициент, учитывающий освещенность от удаленных источников света, $\mu = 1,1$;

$\sum \varepsilon$ – сумма относительных освещенностей от ближайших рядов (части рядов) светильников.

г) по Φ_p подбирается число и мощность ламп в ряду.

По формуле 6.26 может быть решена задача определения E в контрольной точке A . При этом, если контрольная точка не находится напротив конца светящей линии, поступают следующим образом. Линия либо разделяется условно на две части, относительные освещенности от которых суммируются (рис. 6.17, а), либо дополняется

воображением отрезком, освещенность которого затем вычитается (рис. 6.17, б).

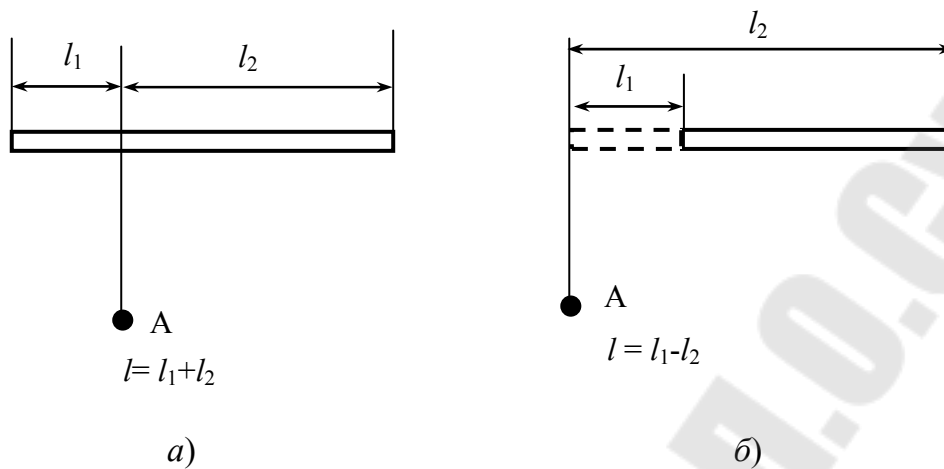


Рис. 6.17. Схема расчета относительной освещенности для точек, не лежащих в конце светящей линии

ПРИМЕР 2

Освещение помещения производственного участка, имеющего размеры 15×6 м, выполняется светильниками типа ЛПО 2×36 Вт. Подвешены они на высоте 4 м над освещаемой поверхностью. Светильники располагаются в два непрерывных ряда (рис. 6.18).

Определить освещенность в точке А (рис. 6.17).

Решение. Точка А освещается четырьмя полурядами, обозначенными цифрами от 1 до 4.

Определяем относительные величины p' и L' для каждого отрезка ряда светильников, а по кривым линейных изолюкс для светильника типа ЛСП (рис. 6.13) находим значения относительной освещенности и заносим в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Относительные величины p' и L' , e

Номер отрезка ряда светильников	p	L	p'	L'	e
1	1,7	1,5	0,475	0,375	50

2	1 ,7	1 ,5	0, 475	0, 375	50
3	1 ,7	1 3,5	0, 475	3, 375	100
4	1 ,7	1 3,5	0, 475	3, 375	100
					$\sum \varepsilon = 3$

Световой поток светильника ЛПО 2×36 Вт – $\Phi_{\text{св}} = 2 \times 3200 = 6400$ лм. Длина ЛЛ-40 Вт – 1199 мм. Коэффициент запаса $k_3 = 1,5$, $\mu = 1,1$. Тогда освещенность в т. А составит:

$$E_A = \frac{1,1 \cdot 300 \cdot 6400}{1000 \cdot 1,5 \cdot 4 \cdot 1,199} = 294 \text{ лк.}$$

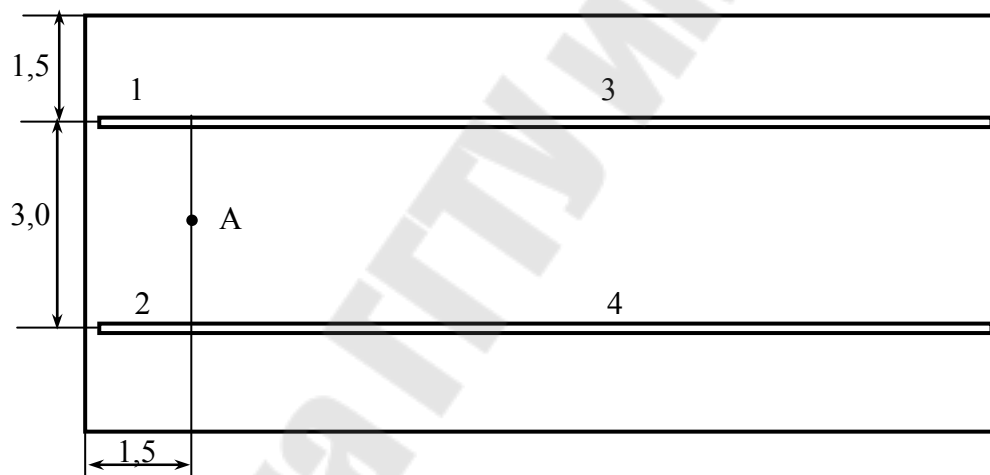


Рис. 6.18. Схема к расчету освещенности в точке А

Наружное освещение

Для освещения наружных пространств применяются светильники и прожекторы. Прожекторы создают возможность освещения больших открытых пространств без установки на них большого числа мачт, а также значительно сокращают протяженность сети электропитания. С другой стороны, при применении прожекторов создается повышенное слепящее действие.

При освещении дорог, проездов и территории предприятий и организаций светильники рационально применять с натриевыми лам-

пами ДНаТ, с компактными люминесцентными лампами, светодиодными светильниками и прожекторами.

Светильники для наружного освещения классифицируются по светотехническим и конструктивным характеристикам. К светотехническим характеристикам относят светораспределение, типы кривой силы света и защитный угол.

Для наружного освещения производятся светильники с лампами ртутными разрядными лампами ДРЛ, натриевыми лампами ДНаТ, компактными фигурными люминесцентными лампами.

В зависимости от применяемых ламп и способа установки светильники имеют буквенное обозначение:

РКУ – с ртутной лампой ДРЛ консольный;

РТУ – с ртутной лампой ДРЛ торшерный;

ЖКУ – с натриевой лампой ДНаТ консольный;

ЖКУ – с натриевой лампой ДНаТ торшерный;

ЛКУ – с компактной люминесцентной лампой консольный.

Основными источниками света, применяемыми в прожекторах, являются лампы накаливания, галогенные лампы, лампы ДРЛ, ДНаТ. В прожекторах общего назначения (заливного света) для получения более широкого пучка света применяют обычные лампы накаливания общего назначения, а при необходимости получения сконцентрированного пучка света – специальные прожекторные лампы накаливания.

В осветительной технике наиболее распространены прожекторы заливного света серии ПЗС (рис. 8.2). Эти прожекторы имеют стеклянные серебряные параболические отражатели. Прожекторы серии ПЗС комплектуются патронами с цоколем Е27 или Е40. В прожекторах устанавливаются лампы накаливания ЛОН500, ЛОН1000, а также лампы типа ДРВ 160/250 Вт, ДРЛ 150/250 Вт, ДНаТ 150/250 Вт.

Прожекторы с галогенными лампами серии ИО применяются

для освещения фасадов зданий, архитектурных сооружений, терри-

торий промышленных предприятий, строительных и спортивных

площадок и других открытых пространств. Комплектуются трубча-

тыми галогенными лампами мощность, 150, 500, 1000, 1500 Вт.

Корпус и отражатель изготовлены из алюминия. Отражатель может иметь гладкую полированную, микрорельеф, обеспечивающие разную ширину светового пучка.

В зависимости от типа применяемых ламп прожекторы имеют обозначение:

ИО – с галогенной лампой;

РО – с ртутной лампой ДРЛ;

ЖО – с натриевой лампой ДНаТ;

ГО – с металлогалогенной лампой ДРИ;

ФО – с компактной люминесцентной лампой.

Выбор светильников

Выбор светильников для наружного освещения производится по условиям окружающей среды и светотехническим характеристикам.

В зависимости от типа применяемых источников света, светильников, геометрического размещения их относительно освещаемой территории, высоты установки, интенсивности движения автотранспорта и людей, светотехнических характеристик дорожных покрытий применяется электрическое освещение территории промышленных предприятий, проездов, дорог и может выполняться различными способами с применением осветительных приборов с лампами накаливания и разрядными лампами. Светильники наружного освещения закрепляются на опорах, которые устанавливаются вдоль проездов, пешеходных проходов, по периметру территории предприятий, площадей, вдоль улиц.

В зависимости от ширины проезжей части улицы могут применяться различные схемы расположения светильников (рис. 6.19):

а) – однорядная, рекомендуемая при ширине проезжей части до 12 м; б) – двухрядная – свыше 12 м.

В большинстве случаев дорожное покрытие выполнено из асфальтобетона, которое характеризуется светоотражением, и подразделяются на гладкие и шероховатые. Гладкие – покрытия с пониженным содержанием щебня, имеющие среднюю высоту выступающих частей меньше 0,5 мм, а шероховатые поверхности – более 0,5 мм.

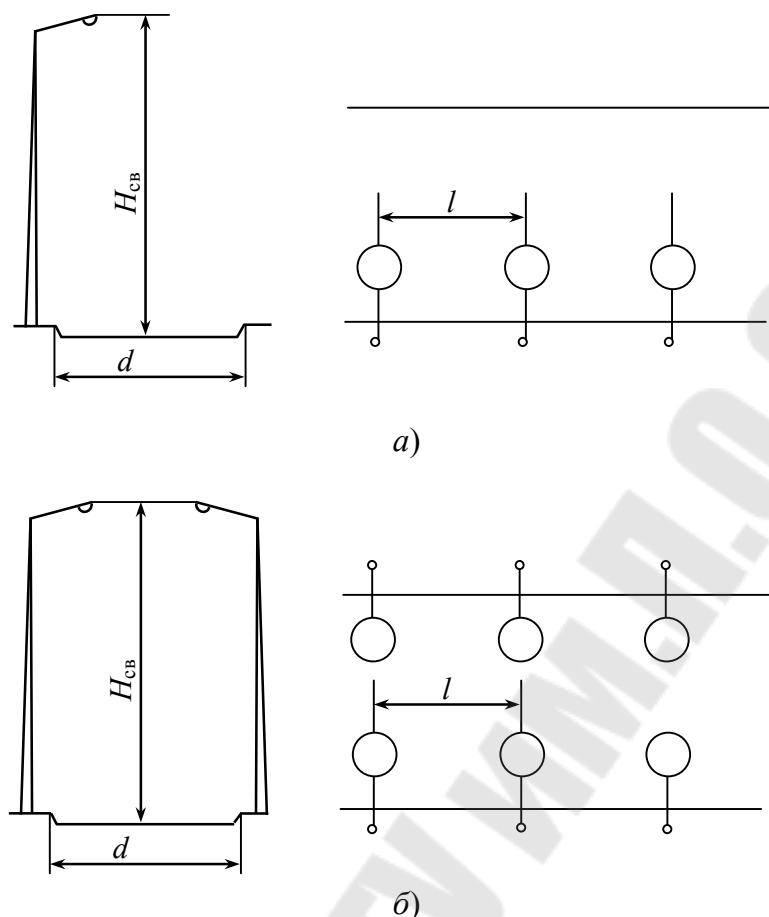


Рис. 6.19. Схемы расположения светильников:
а) – однорядная; б) – двухрядная

Расчет наружного освещения

Расчет наружного освещения заключается в определении расстояния между светильниками (шага светильников). Светотехнический расчет выполняется по методу коэффициента использования светового потока по формуле

$$\Phi = L \cdot K_3 \cdot \pi / \eta_L, \quad (6.27)$$

- где L – нормируемая яркость покрытия, кд/м²;
 K_3 – коэффициент запаса (принимается 1,3 – для ламп накаливания и 1,5 – для разрядных ламп);
 η_L – коэффициент использования светового потока (определяется по табл. 6.9 в зависимости от типа ламп, угла наклона светильника, характеристики покрытия, отношения ширины дороги к высоте к высоте установки светильников).

Таблица 6.9

Значение коэффициента использования светильников

Тип светильника	Покрытие	Угол наклона, град.	Коэффициент использования светильников по яркости η_L при отношении ширины дороги к высоте установки светильника, b/h					
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
НКУ 01-200	Гладкое	15	0,034	0,049	0,056	0,061	0,065	0,066
РТУ01-125	Гладкое	0	0,023	0,038	0,043	0,045	0,048	0,049
РТУ01-125	Шероховатое	0	0,018	0,028	0,032	0,035	0,037	0,039
РТУ02-250	Гладкое	0	0,017	0,029	0,033	0,034	0,036	0,037
РТУ02-250	Шероховатое	0	0,012	0,018	0,022	0,024	0,026	0,027
РКУ01-125	Гладкое	15	0,041	0,063	0,075	0,082	0,085	0,086
РКУ01-250	Гладкое	15	0,046	0,070	0,078	0,083	0,086	0,087
РКУ01-250	Шероховатое	15	0,044	0,065	0,073	0,077	0,080	0,081
РКУ01-400	Гладкое	15	0,046	0,072	0,081	0,086	0,089	0,091
РКУ01-400	Шероховатое	15	0,041	0,062	0,070	0,075	0,078	0,079
ГКУ02-250	Гладкое	15	0,065	0,099	0,109	0,115	0,117	0,119
ГКУ02-250	Шероховатое	15	0,054	0,079	0,087	0,092	0,094	0,095
ГКУ02-400	Гладкое	15	0,060	0,093	0,105	0,111	0,115	0,117
ГКУ02-400	Шероховатое	15	0,051	0,074	0,083	0,088	0,091	0,093
ЖКУ02-250	Гладкое	15	0,064	0,098	0,109	0,114	0,118	0,120
ЖКУ02-250	Шероховатое	15	0,053	0,076	0,085	0,090	0,092	0,094
ЖКУ02-400	Гладкое	15	0,056	0,086	0,096	0,102	0,105	0,107
ЖКУ02-400	Шероховатое	15	0,045	0,07	0,079	0,084	0,086	0,88

Пример 1

Выполнить расчет электрического освещения проезжей части территории промышленного предприятия с шероховатым покрытием. Определить шаг светильников типа РКУ01-250 с лампой ДРЛ-250.

Исходные данные. Ширина проезжей части – 6 м; Высота установки светильников 9 м. Нормируемая яркость покрытия – 0,4 кд/м².

Решение:

Отношение ширины проезжей части к высоте установки светильников

$$b/h = 6/9 = 0,66.$$

Определим коэффициент использования светового потока по табл. 6.9.

$$\eta_L = 0,044.$$

Определим световой поток по формуле 6.27:

$$\Phi = 0,4 \cdot 1,5 \cdot 3,14 / 0,044 = 42,8 \text{ лм}.$$

При двухрядном расположении светильников площадь, которую могут осветить лампы, равна

$$S = 2 \cdot 5900 / 42,8 = 275 \text{ м}^2.$$

Тогда шаг светильников равен

$$l = 275 / 6 = 45 \text{ м}.$$

Для наружного освещения проездов, проходов промышленных предприятий, улиц и площадей при средней яркости покрытия 0,4...1,6 кд/м², рекомендуется применять высокоэкономичные рядные источники света высокого давления: ртутные лампы ДРЛ; натриевые лампы ДНаТ.

По рассчитанному световому потоку Φ и световому потоку, предварительно выбранных ламп, определяется расстояние между светильниками

$$l = S/b,$$

где S – площадь, которую могут осветить лампы, м²;
 b – ширина проезда (улицы), м.

Выбор высоты установки светильников и прожекторов

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения на площадках промышленных предприятий высота установки светильников выбирается: для светильников с защитным углом меньше 15° – не менее значений указанных в табл. 6.9; для светильников с защитным углом больше или равно 15° – не менее 3,5 м при любых источниках света.

При применении прожекторов и наклонно установленных отношение осевой силы света прожекторов и светильников к квадрату высоты их установки, обозначаемой буквой c , в зависимости от нормируемой освещенности регламентируется значениями от 100 до 3500.

Исходя из этого, минимально допустимую высоту установки прожекторов можно выразить формулой

$$H = \sqrt{\frac{I_{\max}}{c}}, \quad (6.29)$$

$$H = m\sqrt{c}, \text{ откуда } m = \frac{1}{\sqrt{c}},$$

где I_{\max} – осевая сила света прожекторов и светильников прожекторного света, кд;

c – квадрат высоты установки прожекторов.

Таблица 6.10

Высота установки светильников наружного освещения

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре	Наименьшая высота установки светильников с разрядными лампами, м
Полуширокое	менее 5000	7,0
	5000-10000	7,5
	10000-20000	8,0
	20000-30000	9,0
	30000-40000	10,0
	свыше 40000	11,5
Широкое	менее 5000	7,5
	5000-10000	8,5
	10000-20000	9,5
	20000-30000	10,5
	30000-40000	11,5
	свыше 40000	13,0

Определение расхода электроэнергии на освещение

Годовой расход электроэнергии на искусственное освещение можно определить расчетным путем по выражению

$$W = P_p T_{\text{мо}}, \quad (6.30)$$

где P_p – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$T_{\text{мо}}$ – годовое число использования максимума осветительной нагрузки, значения которого для географической широты Республики Беларусь приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11

Годовое число использования максимума осветительной нагрузки наружного освещения

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов
Освещение территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	-	-	-	-	-

При отсутствии фактических данных работы осветительных приборов годовое число часов использования максимума нагрузки можно определить по выражению

$$T_{\text{н}} = 365 \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} + T_{\text{п}}, \quad (6.31)$$

где T_1 – длительность включения освещения в наиболее продолжительную зимнюю ночь (21 декабря), ч;

T_2 – продолжительность включения освещения в наиболее короткую летнюю ночь (21 июня), ч;

$T_{\text{п}}$ – дополнительная продолжительность включения электрического освещения в пасмурные дни. Дополнительное число часов освещения принимается равным 2...5% от числа часов включения.

ПРИМЕР 1

Определить расход электрической энергии на наружное электрическое освещение территории промышленного предприятия.

Исходные данные. Светильники серии ЖКУ с натриевыми лампами ДНаТ150. Количество светильников 25 шт. Режим включения – на всю ночь.

Решение:

Определим расчетную мощность осветительной установки:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot k_c ;$$

$$P_{\text{расч}} = 0,15 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1 = 4,125 \text{ кВт} .$$

Определим потребление электроэнергии осветительной установкой:

$$W = P_{\text{расч}} \cdot T_{\text{м}} ;$$

$$W = 4,125 \cdot 3600 = 14850 \text{ кВт} \cdot \text{ч} .$$

6.2. Электрическая часть

6.2.1. Определение установленной и расчетной мощности осветительной установки

На основании выполненных светотехнических расчетов осветительной установки и выбора ламп определяется установленная мощность осветительной нагрузки.

Установленная мощность ($P_{уст}$) складывается из мощности ламп выбранных для освещения помещений. При подсчете установленной мощности ламп следует суммировать отдельно мощность ламп накаливания ($\sum P_{лн}$), люминесцентных ламп низкого давления ($\sum P_{лл}$), дуговых ртутных ламп высокого давления ($\sum P_{рлвд}$).

Для получения расчетной мощности вводится поправочный коэффициент спроса (k_c) к установленной мощности, так как в зависимости от характера производства и назначения помещений часть ламп по разным причинам может быть не включена.

Расчетная нагрузка для ламп накаливания определяется умножением установленной мощности ламп на коэффициент спроса

$$P_{рлн} = \sum P_{лн} \cdot k_c, \quad (6.32)$$

В осветительных установках с разрядными лампами расчетная максимальная мощность включает потери мощности в пускорегулирующей – аппаратуре (ПРА) [6] и определяются:

– для люминесцентных ламп низкого давления с электромагнитными ПРА

$$P_{рлл} = 1,2 \cdot \sum P_{лл} \cdot k_c; \quad (6.33)$$

– для люминесцентных ламп низкого давления с электронными ПРА и для компактных люминесцентных энергосберегающих ламп

$$P_{рлл} = 1,05 \dots 1,08 \cdot \sum P_{лл} \cdot k_c; \quad (6.34)$$

– для дуговых ртутных ламп ДРЛ, ДРИ

$$P_{ррлвд} = 1,1 \cdot \sum P_{рлвд} \cdot k_c. \quad (6.35)$$

Значение коэффициента спроса для сети рабочего освещения производственных зданий равно:

1,0 – для мелких производственных зданий;

- 0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;
- 0,85 – для зданий, состоящих из малых отдельных помещений;
- 0,8 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;
- 0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений.

Коэффициент спроса для расчета сети освещения аварийного и эвакуационного освещения следует принимать равным 1,0 [1].

Расчетная нагрузка от понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12, 24, 36, 42 В складывается из осветительных приборов, установленных стационарно и нагрузки переносного освещения исходя из мощности одного ручного осветительного прибора 40 Вт с коэффициентом спроса 0,5...1,0, принимаемым в зависимости от степени использования переносного освещения.

В зависимости от нагрузки применяются однофазные понижающие трансформаторы ОСОВ-0,25; ОСО-0,25; однофазные комплектные ЯТП-0,25; АМО-3-50 и трехфазные ТСЗ-1,5/1; ТСЗ-2,5/1.

6.2.2. Расчет электрической сети освещения

Расчет электрической сети освещения заключается в определении сечения проводов и кабелей на всех участках групповой и питающей сети. Рассчитанное сечение жил проводов и кабелей должно удовлетворять условиям механической прочности, нагревания, потерь напряжения.

Действующие в настоящее время нормативные документы, разработанные на основе международного стандарта МЭК 364 «Электрические установки зданий, содержат ряд обязательных требований к выбору сечений нулевых рабочих (N), совмещенных нулевых рабочих и защитных (PEN) и защитных (PE) проводников. Правильный выбор этих проводников обеспечивает электрическую и пожарную безопасность электроустановок.

Для однофазных, а также трехфазных сетей при питании по ним однофазных нагрузок сечение нулевого рабочего N - проводника во всех случаях должно быть равно сечению фазных проводников, если те имеют сечение до 16 мм² по меди или 25 мм² по алюминию. При больших сечениях фазных проводников он может иметь сечение, составляющее не менее 50 % сечения фазных проводников.

Для однофазных линий групповой сети (сети до светильников, штепсельных розеток и других стационарных однофазных электроприемников) не допускается объединение N и PE - проводников с це-

лью образования PEN-проводника. Такие линии всегда необходимо выполнять трехпроводными: фазным проводником L, нулевым рабочим N, и защитным PE. Кроме того, в однофазных линиях групповой сети не допускается:

– объединять как нулевые рабочие проводники N, так и защитные PE различных групповых линий;

– подключать нулевой рабочий проводник N и защитный PE на щитках под общий контактный зажим (на таких щитках должны быть выполнены отдельные шинки: N – изолированная и PE – неизолированная).

Сечение защитного PE – проводника должно равняться:

- сечению фазных проводников при сечении их до 16 мм^2 ;
- 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 ;
- не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях проводников.

Выбор сечений проводов по механической прочности

По механической прочности расчет проводов и кабелей внутренних электрических сетей не производится. В практике проектирования электрических сетей соблюдают установленные в [13] минимальные сечения жил проводов по механической прочности. Наименьшие сечения проводов по механической прочности приведены в таблице П1 приложения.

Выбор сечений проводов по нагреву

Электрический ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами [1] установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов и кабелей. Исходя, из этого определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции, оболочки и условий прокладки.

Сечение жил проводов и кабелей для сети освещения можно определить по таблице П2...П6 приложения в зависимости от расчетного длительного значения токовой нагрузки при нормальных условиях прокладки по условию

$$I_{\text{п}} \geq I_{\text{р}} / K_{\text{п}},$$

где $I_{\text{п}}$ – допустимый ток на стандартное сечение провода, А (длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели приведены в приложении К);

$I_{\text{р}}$ – расчетное значение длительного тока нагрузки, А;

K_{Π} – поправочный коэффициент на условия прокладки можно определить по таблице 1.1 (при нормальных условиях прокладки $K_{\Pi} = 1$).

Таблица 6.12

Поправочные коэффициенты на токовые нагрузки проводников в зависимости от температуры окружающей среды

Проводники		Провода и кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией при прокладке	
		по воздуху	в земле
Расчетная температура среды, °С		25	15
Поправочные коэффициенты при фактической температуре среды, °С	-5	1,29	1,18
	0	1,24	1,14
	+5	1,20	1,10
	+10	1,15	1,05
	+15	1,11	1,00
	+20	1,05	0,95
	+25	1,00	0,89
	+30	0,94	0,84
	+35	0,88	0,77
	+40	0,81	0,71
	+45	0,74	0,63
+50	0,67	0,55	

Для выбора сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву необходимо определить расчетные токовые нагрузки линий в амперах.

Расчетные максимальные токовые нагрузки определяют по формулам:

– для однофазной сети

$$I_p = P_p / U_{\phi} \cdot \cos \varphi ;$$

– для трехфазной (четырёхпроводной) сети

$$I_p = P_p / \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi ;$$

– для двухфазной с нулем, при равномерной загрузке фаз

$$I_p = P_p \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi ;$$

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) следует принимать:

1,0 – для ламп накаливания;

0,85 – для одноламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,92 – для много ламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,5 – для светильников с разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ);

0,85 – для светильников с разрядными лампами высокого давления, имеющими ПРА с конденсатором [5].

Пример 1

Рассчитать сечение жил и выбрать провода для прокладки групповой сети электроосвещения производственного участка с нормальными условиями окружающей среды. Электрическая сеть однофазная трехпроводная напряжением 220 В. Провода прокладываются открыто. Групповая линия состоит из девяти ламп накаливания мощностью 9×200 Вт.

Коэффициент спроса освещения $k_c = 1$.

Решение:

Определим расчетную мощность

$$P_p = \sum P_n ;$$

$$P_p = 9 \times 200 = 1800 \text{ Вт} .$$

Определим расчетный ток

$$I_p = 1800/220 = 8,18 \text{ А} .$$

По механической порочности определено минимальное сечение жил проводов и составляет $2,5 \text{ мм}^2$.

Из табл. П5 приложения выбираем провод с алюминиевыми жилами сечением $2,5 \text{ мм}^2$ имеющего длительно допустимый ток 20 А. Подставим в условие 2.4

$$I_p = 20 \text{ А} > 8,18 \text{ А} .$$

Выбранное сечение удовлетворяет условию, следовательно, выбираем провод с алюминиевыми жилами марки АППВ $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$.

Расчет сети по потере напряжения

Располагаемая (допустимая) потеря напряжения в осветительной сети, т.е. потеря напряжения в линии от источника питания (шин 0,4 кВ КТП) до последней лампы в ряду, подсчитывается по формуле

$$\Delta U_p = 105 - U_{\min} - \Delta U_T ,$$

(6.40)

где 105 – напряжение холостого хода на вторичной стороне трансформатора, %;

U_{\min} – наименьшее напряжение, допускаемое на зажимах источника света, % (принимается равным 95 % [9]);

ΔU_T – потери напряжения в силовом трансформаторе, приведенные к вторичному номинальному напряжению и зависящие от мощности трансформатора, его загрузки β и коэффициента мощности нагрузки, %.

Потери напряжения в трансформаторе можно определить по таблице 1.2, или по выражению

$$\Delta U_T = \beta(U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi), \quad (6.41)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора;

U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, которые определяются следующими выражениями:

$$U_a = P_k / P_{\text{ном}} \cdot 100;$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2},$$

где P_k – потери короткого замыкания, кВт;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВт·А;

U_k – напряжение короткого замыкания, %.

Значения P_k и U_k можно определить по таблице 1.3, а более точные значения приводятся в каталогах на трансформаторы.

Таблица 6.13

Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВт·А	Потери напряжения в трансформаторах ΔU_T , при различных значениях коэффициента мощности и коэффициенте загрузки $\beta = 1^*$					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600, 2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

* Для определения ΔU_T его значение, найденное по таблице, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки β

Таблица 6.14

Значения P_k и U_k

Мощность трансформатора	160	250	400	630	1000	1600	2500

матора, кВ·А								
Потери, кВт	P_{xx}	0,73	1,05	1,45	2,27	3,3	4,5	6,2
	P_k	2,65	3,7	5,5	7,6	11,6	16,5	23,5
Напряжение, U_k %		4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5

Потери напряжения при заданном значении сечения проводов можно определить по выражению

$$\Delta U = M/C \cdot S,$$

И, наоборот, при заданном значении потери напряжения можно определить сечение провода

$$S = M/C \cdot \Delta U,$$

где M – момент нагрузки, кВт·м;

C – коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (определяется по таблице 1.4).

Таблица 6.15

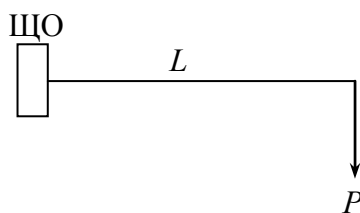
Значение коэффициента C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети, род тока	Коэффициент C проводов	
		медных	алюминиевых
380/220	Трёхфазная с нулем	72,4	44
380/220	Двухфазная с нулем	32,1	19,6
220	Однофазная с нулем	12,1	7,4
42	Двухпроводная, переменного и постоянного тока	0,4	0,244
24		0,324	0,198
12		0,036	0,022

Метод определения момента нагрузки выбирается в зависимости от конфигурации сети освещения:

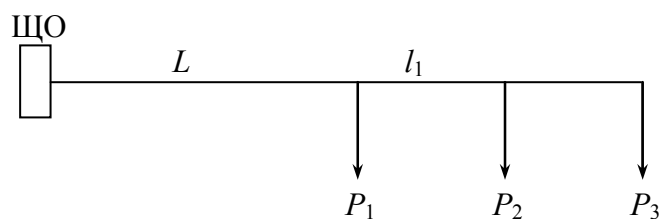
– в простом случае (рис. 6.18, а) момент определяется как произведение мощности ламп на длину участка сети

$$M = P_p \cdot L;$$



а)

– в проектной практике осветительная сеть имеет более сложную конфигурацию (рис. 6.18, б), тогда момент нагрузки можно определить по выражению

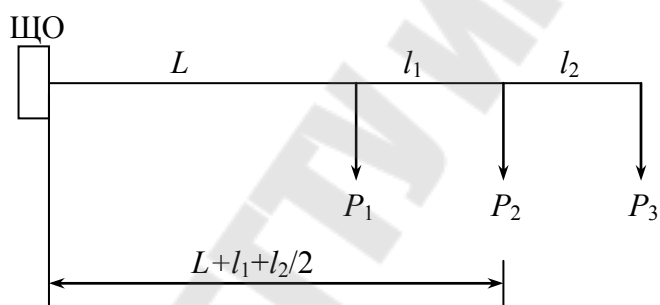


б)

$$M = P_1 \cdot L + P_2 \cdot (L + L_1) + P_3 \cdot (L + L_1 + L_2) =$$

$$= L \cdot (P_1 + P_2 + P_3) + L_1 \cdot (P_2 + P_3) + L_2 \cdot P_3 \quad (6.47)$$

для сети с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 6.18, в) момент нагрузки определяется, как произведение мощности ламп на половину длины групповой линии [6].



в)

Рис. 6.20. Конфигурация сети освещения: а – простая сеть; б – сложная сеть с неравномерно распределенной нагрузкой; в – сложная сеть с равномерно распределенной нагрузкой

$$M = \sum P_p \cdot L + (L_1 + L_2) / 2, \quad (10.13)$$

где L – длина участка сети от группового щитка до первого светильника в ряду, м.

Для сети более сложной конфигурации, когда участки сети имеют разное количество фазных проводов, определяется приведенный момент по выражению

$$M_{\text{пр}} = \sum M + \alpha \sum m, \quad (6.48)$$

где $\sum M$ – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке;

$\sum m$ – сумма моментов питаемых через данный участок линии с иным числом проводов, чем на данном участке;

α – коэффициент приведения моментов (определяется по табл. 10.5)

Таблица 6.16

Значение коэффициентов приведения моментов

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов, α
Трехфазное с нулем	Однофазное	1,85
Трехфазное с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазное с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Расчет сети на наименьший расход проводникового материала ведется по формуле

$$S = \sum M + \alpha \sum m / C \cdot \Delta U_p, \quad (6.49)$$

где ΔU_p – расчетные потери напряжения, %, допустимые от начала данного участка до конца сети.

По формуле 6.44 последовательно определяются сечения на всех участках сети освещения, начиная от участка ближайшего к источнику питания и округляются до ближайшего большего значения стандартного ряда. По выбранному сечению данного участка определяются потери напряжения в нем. Последующие участки сети рассчитываются по разности между расчетной потерей напряжения и потерями до начала каждого участка.

Пример 2

Определить момент нагрузки для групповой сети электроосвещения (рис. 6.19) и выбрать сечение проводов, при условии, что допустимая потеря напряжения (ΔU_p) для группового щитка ЩО равна 2,5 %.

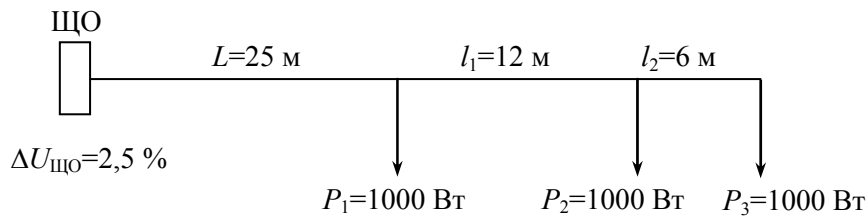


Рис. 6.21. Рисунок к примеру 2

Решение:

Определим момент нагрузки по формуле 6.47.

$$M = 25 \cdot (1000 + 1000 + 1000) + 12 \cdot (1000 + 1000) + 6 \cdot 1000 = (75 + 24 + 6) \cdot 1000 = 105 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Определим сечение провода по формуле 6.45.

$$S = 105 / 44 \cdot 2,5 = 0,95 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее большее стандартное сечение провода $2,5 \text{ мм}^2$, следовательно для подключения ряда светильников удовлетворяет пятижильный кабель сечением $5 \times 2,5 \text{ мм}^2$.

Пример 3

Определить сечение жил кабелей на участках от КТП до МЩ1 и от МЩ1 до ЩО1 (рис. 6.22). Мощность трансформатора КТП 250 кВ·А, коэффициент загрузки 0,8.

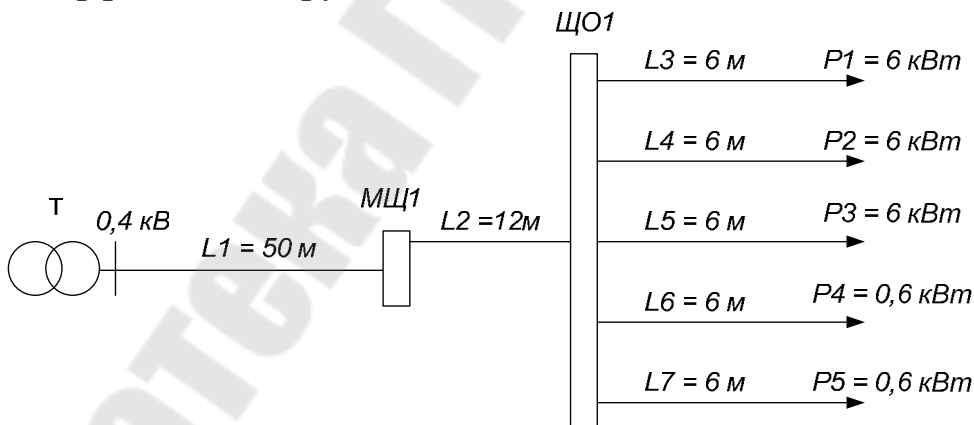


Рис. 6.22. Рисунок к задаче 3

Решение:

Определим потери напряжения в трансформаторе по табл. 5.1 $\Delta U_T = 3,7 \%$.

Располагаемую допустимую потерю напряжения определим по формуле 5.7

$$\Delta U_p = 105 - 95 - 3,7 = 6,3 \%$$

Определим момент нагрузки M_1 и M_2 :

$$M_1 = L_1 \cdot P_{1-5} = 50 \cdot 19,2 = 960 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = L_2 \cdot P_{1-5} = 12 \cdot 19,2 = 230,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Приведенный момент

$$\begin{aligned} M_{\text{пр}L1} &= M_1 + M_2 + \alpha(m_6 + m_7) = \\ &= 960 + 230,4 + 1,85 \cdot (3,6 + 3,6) = 1203,7 \text{ кВт} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Определить сечение жил кабеля на участке L_1 :

$$S = 1203,4 / 44 \cdot 6,3 = 4,34 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля от трансформатора КТП до МЩ сечением $5 \times 10 \text{ мм}^2$.

Фактическая потеря напряжения на участке L_1 составит

$$\Delta U_{\phi} = 1203,7 / 44 \cdot 10 = 2,7 \%$$

Располагаемые потери напряжения для последующего участка сети от МЩ1 до ЩО1 составят

$$\Delta U = 6,3 - 2,7 = 3,6 \%$$

Для определения сечения жил кабеля на втором участке L_2 определим приведенный момент $M_{\text{пр}L2}$:

$$M_{\text{пр}L2} = 230,4 + 1,85 \cdot 7,2 = 243,72 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$S = 243,72 / 44 \cdot 3,6 = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель сечением $4 \times 6 \text{ мм}^2$:

$$\Delta U_{\phi} = 243,72 / 44 \cdot 6 = 0,9 \%$$

Располагаемая потеря напряжения для групповой сети составляет

$$\Delta U = 3,6 - 0,9 = 2,7 \%$$

Пример 4

Произвести расчет на наименьшую затрату проводникового материала осветительной сети, изображенной на рисунке 6.23.

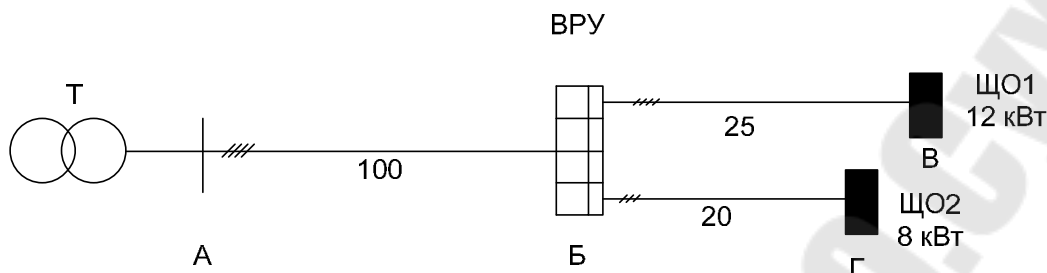


Рис. 6.23. Рисунок к примеру 4

Исходные данные: напряжение сети 380/220 В; полная потеря напряжения от точки А до точек В и Г задана $\Delta U_{\text{зад}} = 3\%$.

Решение:

По заданной полной потере напряжения $\Delta U_{\text{зад}}$ определяем сечение участка сети А – Б:

$$S_{\text{А-Б}} = \frac{\sum M + \sum \alpha m}{C \cdot \Delta U_{\text{зад}}};$$

$$S_{\text{А-Б}} = \frac{20 \cdot 100 + 12 \cdot 25 + 1,39(8 \cdot 20)}{46 \cdot 3} = 19 \text{ мм}^2.$$

По моменту участка $M_{\text{А-Б}}$ и выбранному сечению определяем потерю напряжения на этом участке

$$\Delta U_{\text{А-Б}} = \frac{M_{\text{А-Б}}}{C \cdot S};$$

$$\Delta U_{\text{А-Б}} = \frac{20 \cdot 100}{46 \cdot 25} = 1,7\%.$$

Остаточная потеря напряжения для последующих участков составит

$$\Delta U_{\text{ост}} = \Delta U_{\text{зад}} - \Delta U_{\text{А-Б}};$$

$$\Delta U_{\text{ост}} = 3 - 1,7 = 1,3\%.$$

Определим сечение участка Б-В

$$S_{Б-В} = \frac{M_{Б-В}}{C \cdot \Delta U_{\text{ост}}},$$

$$S_{Б-В} = \frac{12 \cdot 25}{46 \cdot 1,3} = 5,02 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение 6 мм².
 Определим сечение на участке Б-Г:

$$S_{Б-Г} = \frac{M_{Б-Г}}{C \cdot \Delta U_{\text{ост}}},$$

$$S_{Б-Г} = \frac{8 \cdot 20}{20 \cdot 1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение 6 мм².

6.2.3. Защита осветительной сети и выбор аппаратов защиты

Осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в некоторых случаях также от перегрузки [1].

Защите от перегрузки подлежат сети:

- внутри помещений, проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками и с горючей оболочкой;
- внутри помещений, проложенные защищенными проводниками в трубах, в негорючих строительных конструкциях и т. п.;
- осветительные в жилых, общественных и торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях;
- всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются только от токов короткого замыкания.

Аппараты, установленные для защиты от коротких замыканий и перегрузки, должны быть выбраны так, чтобы номинальный ток каждого из них $I_{\text{ном з.а.}}$ был не менее расчетного тока I_p , рассматриваемого участка сети:

$$I_{\text{ном з.а.}} \geq I_p, \quad (6.51)$$

где I_p – расчетный ток рассматриваемого участка сети, А.

Осуществляется защита осветительных сетей аппаратами защиты – плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, которые отключают защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах.

Для защиты осветительных сетей промышленных, общественных, жилых этажных зданий наибольшее распространение получили однополюсные и трехполюсные автоматические выключатели с расцепителями, имеющих обратно зависимую от тока характеристику, у которых с возрастанием тока время отключения уменьшается.

Аппараты защиты, защищающие электрическую сеть от токов КЗ должны обеспечивать отключение аварийного участка с наименьшим временем с соблюдением требований селективности. Для обеспечения селективности защит участков электрической сети номинальные токи аппаратов защиты (ток плавких вставок предохранителей или токи уставок автоматических выключателей) каждого последующего по направлению к источнику питания следует принимать выше не менее чем на две ступени, чем предыдущего, если это не приводит к завышению проводов. Разница не менее чем на одну ступень обязательна при всех случаях.

Номинальные токи уставок автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети, при этом должно соблюдаться соотношение между наибольшими допустимыми токами проводов $I_{\text{п}}$ и номинальными токами аппаратов защиты $I_{\text{з}}$ табл. 10.6.

$$I_{\text{п}} \geq K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}} / K_{\text{п}}, \quad (6.52)$$

где $K_{\text{з}}$ – кратность защиты (кратность длительно допустимого тока для проводов или кабелей по отношению к току срабатывания защитного аппарата, определяется по табл. 10.6);

$I_{\text{з}} = I_{\text{ном пл.вст.}}$, если линия защищается предохранителями;

$I_{\text{з}} = I_{\text{ном з.а.}}$, если линия защищается автоматическим выключателем.

Таблица 10.6

Соотношение между длительно допустимыми токами проводов $I_{\text{п}}$ и номинальными токами аппаратов защиты $I_{\text{з}}$ и значение кратности защиты $K_{\text{з}}$

Помещения, здания	Тип провода при любом способе прокладки	Длительно допустимый ток провода $I_{\text{п}}$ при аппарате защиты		
		Предохранители	Автоматы с обратно зависимой от тока характеристикой	
			Нерегулируемый расцепитель	Регулируемый расцепитель
Сети, не защищаемые от перегрузки				
Всех назначений	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 0,33 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 0,33$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq 0,8 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Сети, защищаемые от перегрузки				
Производственные	Открыто проложенные, с горючей наружной оболочкой или изоляцией	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Общественные и жилые, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, в том числе для бытовых и переносных электроприемников	С ПВХ, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Пожароопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Взрывоопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$

Устанавливаются аппараты защиты плавкие предохранители и автоматические выключатели в металлических щитках, которые следует устанавливать:

- в местах присоединения сети к источнику питания (распределительные щиты КТП, вводно-распределительные устройства, распределительные пункты, магистральные шинопроводы);
- на водах в зданиях;
- в начале каждой групповой линии;
- в местах уменьшения сечения проводов по направлению к электроприемникам;
- со стороны высшего напряжения понижающих трансформаторов;
- со стороны низшего напряжения понижающих трансформаторов.

Аппараты защиты должны устанавливаться в цепи следующих проводов:

- при защите сетей предохранителями они должны устанавливаться во всех нормально незаземленных полюсах или фазах (установка предохранителей в нулевом рабочем проводе запрещена);
- при защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями их расцепители должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводах;
- в однофазных двухпроводных линиях во взрывоопасных зонах класса В-1 расцепители автоматических выключателей должны устанавливаться в цепи фазного и нулевого рабочего проводов, при этом для одновременного отключения фазного и нулевого проводов должны применяться двухполюсные автоматические выключатели.

Номинальный ток аппаратов защиты (расцепители автоматических выключателей и плавкие вставки предохранителей) для групповых линий внутреннего освещения должен быть не более 25 А, а групповые линии, питающие разрядные лампы мощностью 125 Вт и более, лампы накаливания на напряжение до 42 В любой мощности и лампы накаливания на напряжение выше 42 В мощностью 500 Вт и более могут защищаться аппаратами защиты на ток до 63 А.

ПРИМЕР 4

Для примера 1 выбранное сечение провода марки АППВ $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$, имеющего ток длительно допустимый 20 А проверить по току срабатывания защитного аппарата.

Решение:

По техническим данным на аппараты защиты выбираем автоматический выключатель серии ВА с номинальным током расцепителя 16 А. Так как участок сети не требуется защищать от перегрузки и провод проложен в нормальных условиях, то кратность защиты $K_3 = 1$ и поправочный коэффициент $K_n = 1$, тогда подставив значения длительно допустимого тока провода и номинальный ток расцепителя автоматического выключателя в условие 10.17 получим

$$20 \text{ А} > 16 \text{ А}.$$

Условие соблюдается, следовательно, выбираем однополюсный автоматический выключатель серии ВА51-29 63/16 А.

7. ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОГО ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Подстанция является одним из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия, поэтому правильное размещение подстанций является основой рационального построения схемы распределения электроэнергии.

Местоположение подстанций выбирается таким образом, чтобы трансформаторные и преобразовательные подстанции всех мощностей и напряжений располагались по возможности ближе к центру питаемых групп нагрузок.

Проектирование систем электроснабжения предприятий осуществляется на основе генерального плана объекта, на который наносятся все производственные цеха и отдельные участки.

Выбор типа и места расположения подстанций осуществляется следующим образом:

- на генеральный план предприятия наносятся нагрузки отдельных цехов или участков с подразделением по напряжению, роду тока и очередности ввода в эксплуатацию;
- выявляют сосредоточенные нагрузки и находят центры групп распределительных нагрузок;
- предварительно намечают места расположения подстанций и производят распределение нагрузок между ними;
- намечают типы подстанций (закрытая, пристроенная, открытая или отдельно стоящая) и определяют ориентировочные их габариты.

Для отыскания местоположения подстанции широко применяют картограмму нагрузок.

Картограмма нагрузок предприятия представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, площади которых в принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов.

Каждому цеху или участку соответствует окружность, центр которой совпадает с центром нагрузки цеха.

Главную понизительную, распределительную и цеховые подстанции следует располагать как можно ближе к центру нагрузок и значительно сократить расход проводникового материала.

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

Картограмма нагрузок предприятия состоит из окружностей πr^2 в выбранном масштабе m и равна расчетной нагрузке соответствующего цеха

$$P_i = \pi \cdot r_i^2 m,$$

где P_i – мощность i -го цеха;

m – масштаб для определения площади круга.

Из этого выражения радиус нагрузки

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}.$$

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

$$\alpha_{oi} = \frac{P_{po_i} \cdot 360}{P_{pi}},$$

а силовой нагрузки

$$\alpha_{ci} = 360 - \alpha_{oi}.$$

Величины осветительной и силовой нагрузок указываются на картограмме, приведенной на рисунке 7.1.

В настоящее время имеется ряд математических методов, позволяющих аналитическим путем определить центр электрических нагрузок как отдельных цехов, так и всего предприятия.

Наибольшее распространение получил метод, использующий некоторые положения теоретической механики, заключающиеся в том, что если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по его площади, то центр нагрузок можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане.

Наличие многоэтажных зданий цехов обуславливает учитывать значение третьей координаты Z . Но ПУЭ разрешает размещать ТП не выше 2-го этажа, учет третьей координаты в реальном проектировании не требуется.

Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками цехов, координаты центра электрических нагрузок определяют по формулам:

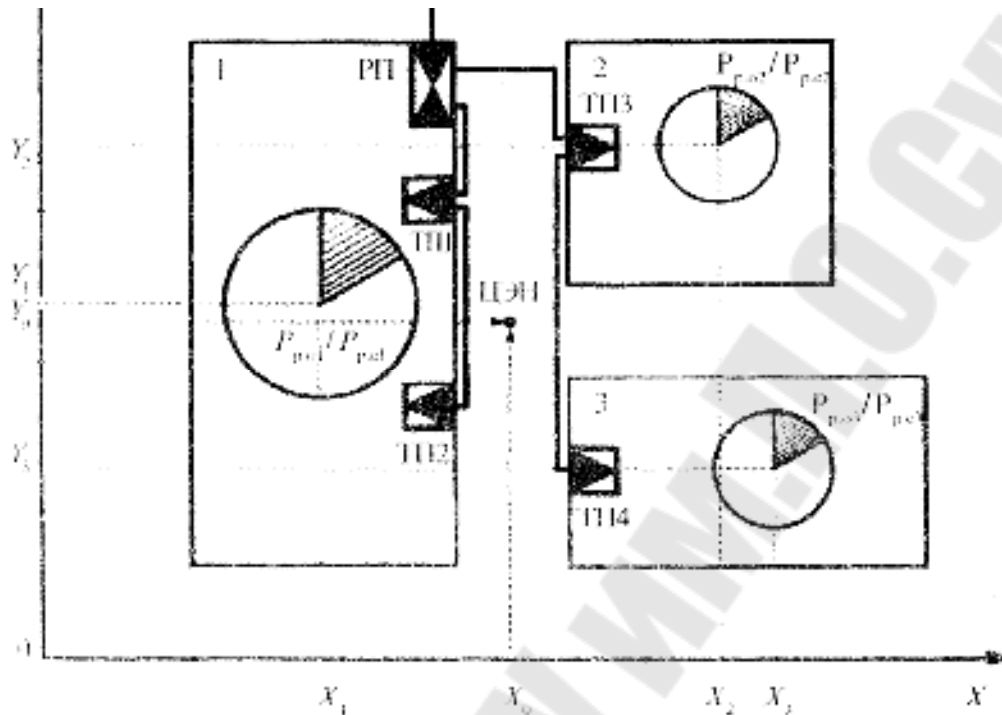


Рис. 7.1. Картограмма электрической нагрузки предприятия

Для реактивных нагрузок строят аналогичную картограмму, что позволяет определить рациональное размещение компенсирующих устройств.

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

Метод отличается простотой, наглядностью, при значительном количестве цехов легко реализуется на ПК. Недостатком является точность, погрешность находится в пределах 5 – 10 %.

Второй метод является разновидностью первого, но учитывает не только электрические нагрузки потребителей электроэнергии, но и продолжительность работы этих потребителей в течение расчетного периода времени.

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

Третий метод, согласно которому рациональное размещение ГПП, ГРП или ТП должно соответствовать минимуму приведенных годовых затрат, предусматривает для определения электрических нагрузок решение системы алгебраических уравнений методом простой итерации.

Порядок расчета координат центра в этом случае следующий:

1) проверка возможного совпадения центра нагрузок с местоположением одного из цехов по уравнению

$$\left(\sum_{\substack{i=1 \\ k \neq i}}^n \frac{3_i(x_k - x_i)}{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}} \right)^2 + \left(\sum_{\substack{i=1 \\ k \neq i}}^n \frac{3_i(y_k - y_i)}{\sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2}} \right)^2 \leq 3_k,$$

где 3 – приведенные годовые затраты на единицу длины линии ($3_i = const$);

x_i, y_i – координаты i -го цеха;

x_k, y_k – координаты ЦЭН.

2) определение положения новой системы координат, при которой итерационный процесс будет заведомо сходящимся, по уравнениям

$$x'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n 3_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n 3_i}; \quad y'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n 3_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n 3_i};$$

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i(x_i - x'_0)(y_i - y'_0)}{\left(\sqrt{(x_i - x'_0)^2 + (y_i - y'_0)^2}\right)^3}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i\left((x_i - x'_0)^2 - (y_i - y'_0)^2\right)}{\left(\sqrt{(x_i - x'_0)^2 + (y_i - y'_0)^2}\right)^3}},$$

где x, y – начало новой системы координат;

β – угол между осями абсцисс (положительное направление) новой и старой систем координат;

3) определение искомым координат путем решения следующей системы уравнений методом простой итерации:

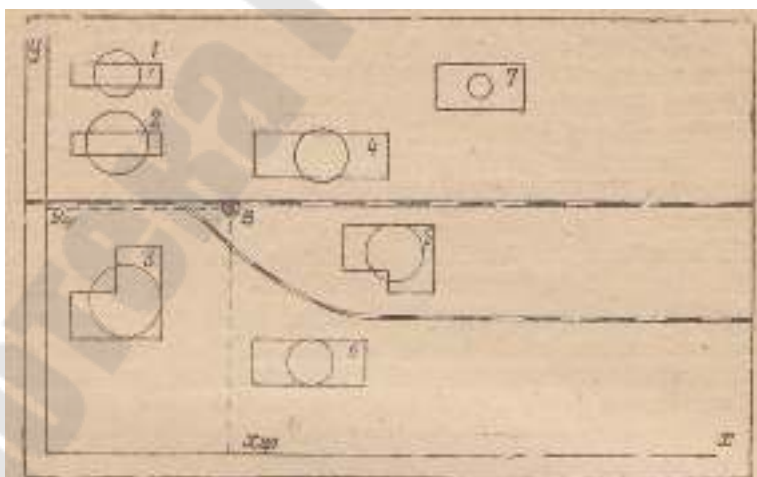
$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i \cdot x_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}};$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i \cdot y_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}.$$

Анализируя третий метод определения ЦЭН, следует указать на значительную трудоемкость расчетов, особенно в случае сложных систем электроснабжения

Пример 7.1

Определить положение центра электрических нагрузок завода, картограмма которых приведена на рисунке 7.2.



Определить положение центра активных нагрузок завода. В целях упрощения расчетов принимаем, что центры нагрузок цехов совпадают с центрами тяжести площадей цехов в плане и не делаем различия между видами активных нагрузок.

Решение:

Проводим произвольно оси координат и измеряем координаты центров нагрузок цехов.

Цех	X	Y	P, кВт
1	1,50	8,30	320
2	1,50	6,80	640
3	1,70	3,30	920
4	6,00	6,50	700
5	7,60	4,40	500
6	5,80	2,00	420
7	9,80	8,00	180

Подставив значения в формулу 7.5, получим координаты центра активных нагрузок завода, обозначенную точкой В.

$$x_0 = \frac{1,5 \cdot 320 + 1,5 \cdot 640 + 1,7 \cdot 920 + 6 \cdot 700 + 7,6 \cdot 500 + 5,8 \cdot 420 + 9,8 \cdot 180}{3680} =$$

$$= 4,13;$$

$$y_0 = \frac{8,3 \cdot 320 + 6,8 \cdot 640 + 3,3 \cdot 920 + 6,5 \cdot 700 + 4,4 \cdot 500 + 2,0 \cdot 420 + 8 \cdot 180}{3680} =$$

$$= 5,2.$$

Пример 7.2

Рассчитать электрическую активную нагрузку цехов и определить ЦЭН предприятия

		1							
	2			3					
50м			4						
							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

Цех	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²
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

Цех	Площадь, м ²	$P_{уд}$, кВт/м ²	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

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

$$x_0 = \frac{12 \cdot 71,5 + 1,5 \cdot 212,5 + 5 \cdot 309,4 + 3,5 \cdot 191,25 + 7 \cdot 206,25}{990,9} = 4,2;$$

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

2 вариант:

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

3. Определяем центры электрических нагрузок цехов

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

4. Определяем ЦЭН по формуле 7.5

$$x_0 = \frac{12 \cdot 71,5 \cdot 2500 + 1,5 \cdot 212,5 \cdot 7200 + 5 \cdot 309,4 \cdot 4500 + 3,5 \cdot 191,25 \cdot 4500 + 7 \cdot 206,25 \cdot 2500}{4477300} =$$

$$= 3,6;$$

$$y_0 = \frac{9 \cdot 71,5 \cdot 2500 + 6 \cdot 212,5 \cdot 7200 + 6,5 \cdot 309,4 \cdot 4500 + 3 \cdot 191,25 \cdot 4500 + 2 \cdot 206,25 \cdot 2500}{4477300} =$$

$$= 5,2.$$

8. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО И ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Выбор высоковольтных проводников осуществляется:

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

Экономически целесообразное сечение S_p , определяется по выражению

$$F_p = I_p / j_3,$$

где I_p – расчетный ток нормального режима работы, А;

j_3 – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм² (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 ² , 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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}}/K,$$

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:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{рmax}}/K_{\text{пер}},$$

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

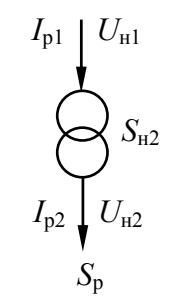
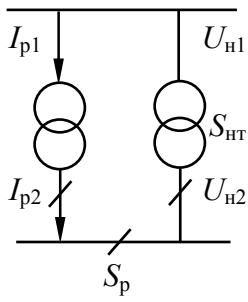
- с полиэтиленовой изоляцией – 1,1;
- с поливинилхлоридной изоляцией на время максимума нагрузки продолжительностью не более 6ч в сутки – 1,15;
- с бумажной изоляцией в течение 5 суток – 1,2...1,25;

$I_{\text{рmax}}$ – расчетный ток линии в послеаварийном режиме.

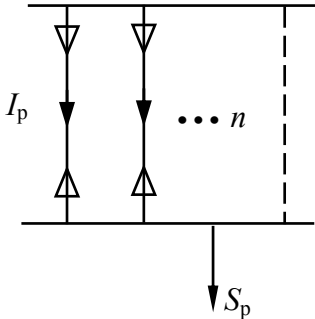
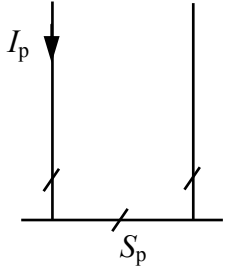
Расчетный ток линии в послеаварийном режиме для разных схем определяется согласно таблице 8.2.

Таблица 8.2

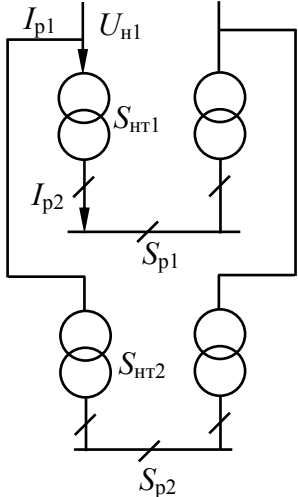
Расчетный ток линии в послеаварийном режиме

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

Продолжение табл. 8.2

1	2	3
	$\frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{(n-1)\sqrt{3}U_H}$
	$\frac{S_p}{2\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$

Окончание табл. 8.2

1	2	3
	$I_{p1} = \frac{\sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_{31}S_{HT1} + K_{32}S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}};$ $P_{p1} = \frac{P_{p1}}{2} + \Delta P_{T1} + \frac{P_{p2}}{2} + \Delta P_{T2};$ $Q_{p1} = \frac{Q_{p1}}{2} + \Delta Q_{T1} + \frac{Q_{p2}}{2} + \Delta Q_{T2}$	$\frac{\sqrt{(P_{p1} + P_{p2})^2 + (Q_{p1} + Q_{p2})^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} =$ $= \frac{K_{пер1}^{\phi} S_{HT1} + K_{пер2}^{\phi} S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}}$

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

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

$$F_m = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

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.

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

где I_{Π} – 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

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}},$$

где x_{Σ} , r_{Σ} – результирующее индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;

ω – угловая частота, $\omega = 2\pi \cdot f = 314$ рад/с.

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

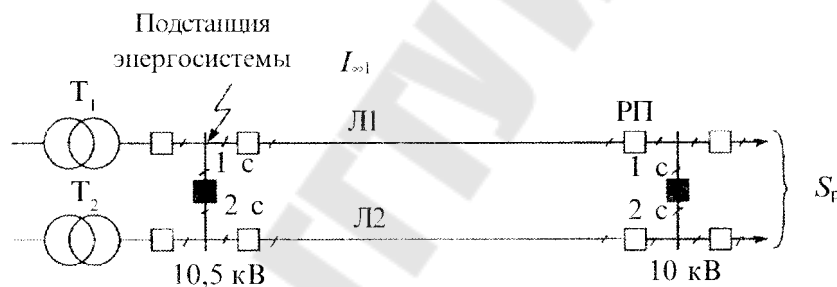
Таблице 8.3

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.

Пример 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 $I_{\text{КЗ}} = 8,6 \text{ кА}$, $T_a = 0,01 \text{ с}$. Время использования максимальной нагрузки 4800ч.



добавить третью линию

Определить сечение жил кабелей, питающих РП.

Решение:

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

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

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

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

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

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:

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

Суммарное индуктивное сопротивление схемы относительно точки КЗ равно

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

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

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

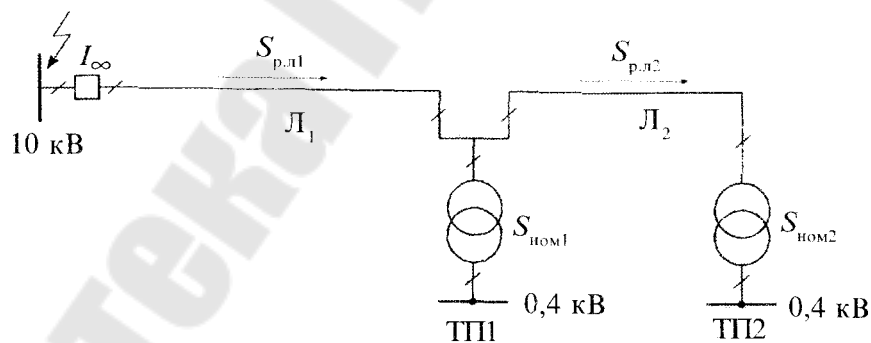
Минимальная площадь сечения по термической стойкости

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

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

Пример 2

Выбрать сечение кабелей линии Л₁ и Л₂ напряжением 10 кВ, питающих две одотрансформаторные подстанции. Расчетные нагрузки трансформаторов на напряжение до 1 кВ: $S_{\text{р1}} = 1000 + j \cdot 600 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ и $S_{\text{р2}} = 400 + j \cdot 280 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Время использования максимальной нагрузки $T_{\text{max}} = 4500 \text{ ч}$. Установившийся ток КЗ в начале линии $I_{\text{КЗ}} = 3,2 \text{ кА}$, $t_{\text{отк}} = 0,6 \text{ с}$; $T_{\text{а}} = 0,01 \text{ с}$. Кабели проложены в земле при температуре 10°C.



На подстанции установлены трансформаторы:

ТП1:

$$S_{\text{н}} = 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \Delta P_{\text{xx}} = 2,65 \text{ кВт}; \Delta P_{\text{КЗ}} = 16,5 \text{ кВт}; U_{\text{КЗ}} = 6,0 \%;$$

$$I_{\text{xx}} = 1,0 \%.$$

ТП2:

$$S_H = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \Delta P_{xx} = 1,31 \text{ кВт}; \Delta P_{K3} = 7,6 \text{ кВт}; U_{K3} = 5,5 \%; \\ I_{xx} = 1,8 \%.$$

Решение:

Определяем потери активной и реактивной мощности в трансформаторах.

Для ТП 1:

$$\beta_T = \sqrt{1000^2 + 600^2} / 1600 = 0,73.$$

9. Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ

Расчет токов КЗ в установках напряжением до 1 кВ в основном, в практической деятельности, выполняется с целью:

- а) проверки на успешность срабатывания защитных аппаратов;
- б) проверки элементов электрической сети напряжением до 1 кВ на термическую и динамическую к токам КЗ.

В связи с тем, что оборудование цеховых сетей имеет значительную стойкость к токам КЗ, может отпасть необходимость расчета токов КЗ с целью проверки оборудования на термическую и динамическую стойкость (оборудование и аппараты КТП, распределительные устройства – 30...50 кА, комплектные шинопроводы – 15...35 кА, за исключением осветительных шинопроводов, имеющих электродинамическую стойкость – 5 кА).

Для вычисления токов КЗ должна быть составлена расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным токам расчета. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые используются для последующего расчета.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется соответствующим сопротивлением.

Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ выполняется, как правило, в именованных единицах мегаомах (МОм), $1 \text{ МОм} = 10^{-3} \text{ Ом}$.

Особенностью расчетов является и то, что учитываются активные сопротивления элементов, общее суммарное значение (r_{Σ}) которых в большинстве случаев может составлять более 1/3 от общего суммарного индуктивного сопротивления (x_{Σ}), что влияет на полное сопротивление (z_{Σ}) и ток КЗ.

Кроме того, при расчете токов КЗ считают, что напряжение на первичной обмотке трансформатора цеховой ТП остается неизменным, равным номинальному значению.

Влияние сопротивления энергосистемы на результаты расчета токов КЗ невелико, поэтому в практических расчетах сопротивлением энергосистемы на стороне 6... кВ чисто пренебрегают, считая его равным нулю.

Вообще же, при необходимости, сопротивление системы в мОм до понижающего трансформатора цеховой ТП, приведенное к низшему напряжению можно определить по выражению:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.в}}}{\sqrt{3}I_{\text{к}}^{(3)}} \left(\frac{U_{\text{ср.н}}}{U_{\text{ср.в}}} \right)^2 \cdot 10^3, \quad (1)$$

где $I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток КЗ на выводах высшего напряжения трансформатора, кА;

$U_{\text{ср.в}}$, $U_{\text{ср.н}}$ – средние номинальные напряжения, соответственно сети высшего напряжения и сети, в которой рассчитываются токи КЗ.

Заметное влияние на результаты расчета оказывают сопротивления различных контактных соединений. При отсутствии достоверных данных о числе и сопротивлении контактов, рекомендуется учитывать их совокупно, вводя в цепь КЗ дополнительное активное сопротивление следующей величины (рис. ...):

- а) при КЗ на щите ТП (К1) – 15 мОм;
- б) при КЗ на цеховых ШР и зажимах аппаратов, питаемых радиальными и магистральными линиями от щитов ТП (К2) – 20 мОм;
- в) при КЗ на вторичных цеховых ШР, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных ШР (К3) – 25 мОм;
- г) при КЗ на зажимах аппаратов, получающих питание от вторичных ШР – 30 мОм.

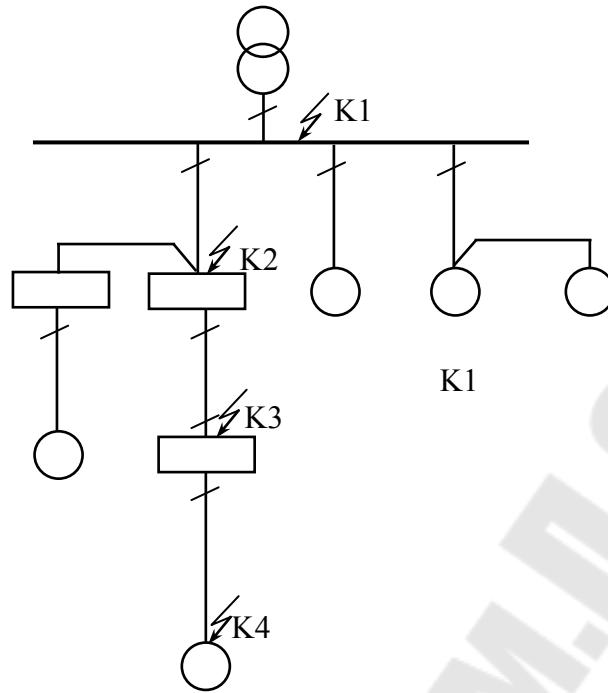


Рис. 9. ... К совокупному определению сопротивления контактов в электрической сети

Полное активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора цеховой ТП, приведенное к ступени низшего напряжения в мОм определяются по формуле:

$$z_T = \frac{U_{K3} \% U_{HH}^2}{S_{HT}} \cdot 10^4 ;$$

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{HT}} \cdot 10^6 ;$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} ,$$

где U_{K3} – напряжение короткого замыкания, %;

U_{HH} – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора;

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

ΔP_{K3} – потери КЗ в трансформаторе, кВт.

Активные и индуктивные сопротивления проводов, кабелей, шин и шинопроводов длиной l подсчитываются по выражениям:

$$r = r_0 \cdot l ;$$

$$x = x_0 \cdot l ,$$

где r_0 , x_0 – погонные (на единицу длины) соответственно активное и индуктивное сопротивления (табл. П...).

Для проводов, проложенных открыто, приближенно можно принять $x_0 = 0,3$ мОм/м, а для кабелей и проводов в трубах – $x_0 = 0,06$ мОм/м.

Активное сопротивление проводов и кабелей в мОм может быть найдено по формуле:

$$r_l = \frac{l}{\gamma \cdot F} \cdot 10^3,$$

где l – длина линии, м;

γ – удельная проводимость (для алюминия $\gamma = 34$ м/Ом·мм², для меди $\gamma = 57$ м/Ом·мм²);

F – сечение провода или жилы кабеля, мм².

Для прямоугольных шин погонное индуктивное сопротивление в мОм/м можно вычислить по формуле:

$$x_0 = 0,1445 \lg \frac{4a_{\text{ср}}}{h},$$

где $a_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между шинами;

h – высота шины.

При расположении шин в одной плоскости

$$a_{\text{ср}} = 1,26a,$$

где a – расстояние от средней шины до крайней.

Сопротивления катушек расцепителей автоматических выключателей и первичных обмоток трансформаторов тока могут быть ориентировочно приняты из табл. П..., П...

Преобразование схемы для определения токов КЗ сводится к сложению последовательно соединенных активных и индуктивных сопротивлений:

$$r_{\Sigma} = \sum_1^n r_i;$$

$$x_{\Sigma} = \sum_1^n x_i,$$

где n – число элементов в цепи КЗ.

Ток трехфазного КЗ в кА вычисляется по формуле:

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}},$$

где $U_{\text{ср.н}}$ – средненоминальное напряжение сети $U_{\text{ср.н}} = 400 \text{ В}$.

Ударный ток КЗ определяется по формуле

$$i_{\text{у}} = K_{\text{у}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{к}}.$$

Значение ударного коэффициента $K_{\text{у}}$ находят по кривым в зависимости от $\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$.

В приближенных расчетах при определении ударного тока $K_{\text{у}}$ можно принимать:

на стороне до 1 кВ

трансформаторов: 1600, 2500 кВ·А – 1,4;

630, 1000 кВ·А – 1,3;

100, 250, 400 кВ·А – 1,2;

удаленные точки КЗ с учетом

активного сопротивления – 1,0.

На величину тока КЗ могут оказывать влияние мощные АД, если они присоединены вблизи места КЗ. Объясняется это тем, что при КЗ резко снижается напряжение, и электродвигатели, вращаясь по инерции, генерируют ток в точку КЗ. Тогда:

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3} \cdot Z} + 4,5 \cdot \sum_1^m i_{\text{н.д}};$$

$$i_{\text{у}} = K_{\text{у}} \sqrt{2} I_{\text{к}} + 6,5 \cdot \sum_1^m i_{\text{н.д}},$$

где $i_{\text{н.д}}$ – суммарный номинальный ток одновременно работающих двигателей;

m – количество одновременно работающих двигателей.

Особую сложность составляет расчет однофазных токов КЗ в сетях до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью.

В таких сетях ток однофазного КЗ равняется утроенному току нулевой последовательности:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = 3I_{\text{ко}} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (9)$$

где $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – суммарные активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – то же обратной последовательности, мОм;

$r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ – то же нулевой последовательности, мОм.

Следует отметить, что $r_{1\Sigma} = r_{2\Sigma}$; $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$.

Сопротивления нулевой последовательности однофазных электрических аппаратов равны их сопротивлениям прямой последовательности.

Трансформаторы мощностью 400 кВ·А и более должны иметь схему соединения обмоток Δ/Y . При такой схеме их активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Сопротивления нулевой последовательности кабелей с алюминиевыми жилами определяются по табл. П...

Однофазный ток КЗ можно вычислить и по упрощенной формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\frac{Z_{\text{т}}}{3} + Z_{\text{п}}},$$

где $Z_{\text{т}}$ – полное сопротивление трансформатора тока однофазного замыкания на корпус;

$Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление фазный провод – нулевой провод.

Ток $I_{\text{КЗ}}^{(1)}$ вблизи ИП (ТП) может быть больше трехфазного тока КЗ, при удалении от ИП $I_{\text{КЗ}}^{(1)}$ уменьшается.

13. Расчет контуров заземления и молниезащиты

13.1. Расчет заземляющего устройства

Заземлением какой-либо части электроустановки или другой установки называется преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством.

Защитным заземлением называется заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности.

Рабочим заземлением называется заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем называется проводник (электрод) или совокупность металлически соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Искусственным заземлителем называется заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Естественным заземлителем называются находящиеся с соприкосновением с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, используемые для целей заземления. Водопроводные и другие металлические трубопроводы (кроме трубопроводов горючих или взрывчатых жидкостей и газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией от коррозии), металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие надежное соединение с землей.

Заземляющим проводником называется проводник, соединяющий заземленные части с заземлителем.

Защитным отключением называется дополнительная мера защиты от поражения электрическим током в случае прямого прикосновения к токоведущим частям, либо металлическим корпусам электроустановок, оказавшихся под потенциалом относительно «земли».

При расчете заземляющего устройства определяют тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Расчет производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ.

В месте расположения заземляющего устройства производится измерение удельного сопротивления грунта ρ . При отсутствии дан-

ных измерения для расчета пользуются примерными значениями удельных сопротивлений грунтов:

песок	700 Ом·м;
супесок	300 Ом·м;
суглинок	100 Ом·м;
глина	40 Ом·м;
садовая земля	40 Ом·м;
чернозем	20 Ом·м;
торф	20 Ом·м.

Зная удельное сопротивление грунта, можно определить сопротивление одиночного заземлителя.

Сопротивление вертикального заземлителя при длине l (м), диаметре d (мм) определяется по выражению

$$R_0 = \frac{0,366\rho}{l} \cdot \lg \frac{4l}{d}.$$

Для монтажа заземляющего устройства используются:

– прутковые стержни (электроды) диаметром 12 мм, длиной 5 м, которые ввинчиваются в грунт;

– угловая сталь размером $50 \times 50 \times 5$ мм, длиной 2,5 м;

– стальная труба диаметром 60 мм, длиной 2,5 м.

При пересчете сопротивления одиночного электрода для стального прутка, угловой стали, стальной трубы получим:

– для пруткового электрода – $R_{0\text{пр}} = 0,00227 \cdot \rho$;

– для угловой стали – $R_{0\text{уг}} = 0,0034 \cdot \rho$;

– для трубы – $R_{0\text{тр}} = 0,00325 \cdot \rho$, где ρ выражено в Ом·см.

Количество вертикальных электродов (заземлителей) определяется по выражению

$$n = \frac{R_0}{\eta \cdot R_3},$$

где η – коэффициент экранирования, учитывается для трубчатых электродов;

R_3 – нормируемое сопротивление заземления в зависимости от величины напряжения сети. При напряжении сети 380 В сопротивление контура заземления должно быть не более 4 Ом.

Пример 1

Выполнить расчет количества электродов для заземляющего устройства трансформаторной подстанции, встроенной в помещение цеха. Разместить на плане помещения.

Исходные данные: грунт – суглинок; нормируемое сопротивление заземления $R_3 = 4 \text{ Ом}$; трубчатые электроды диаметром 60 мм, длиной 2,5 м.

Расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции сводится к определению количества и длины вертикальных электродов, длины горизонтальных соединительных полос, а также их размещение на плане территории (площадки) и т.д.

Расчет количества заземлителей производится в следующем порядке:

По [1] определяем нормируемое сопротивление заземления R_3 в зависимости от величины напряжения сети. При напряжении сети 380 В сопротивление контура заземления должно быть не более 4 Ом.

Определяем расчетное значение удельного сопротивления грунта в зоне сооружения контура заземления – грунт суглинок и имеет удельное сопротивление $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

В качестве вертикальных заземлителей применяем стальную трубу диаметром 50 мм, длиной 2,5 м.

Определим сопротивление искусственных заземлителей, выполненных из труб по формуле:

$$R_0 = 0,00325 \cdot \rho = 0,00325 \cdot 10000 = 32,5 \text{ Ом}.$$

Число вертикальных электродов определим по формуле:

$$n = R_0 / R_3 \cdot \eta,$$

где η – коэффициент экранирования. По таблице [4] определяем коэффициент экранирования равный 0,59.

$$n = 32,5 / 4 \cdot 0,59 = 13,7 = 14 \text{ штук}.$$

Расположим электроды на плане около цеха в зоне помещения подстанции. Схема размещения электродов представлена на рис. 2.2.

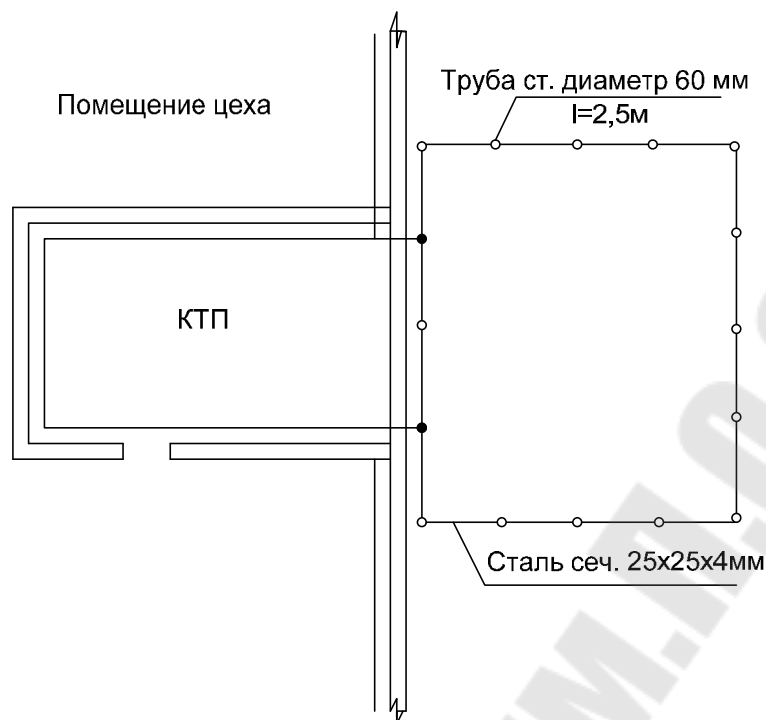


Рис. 13.1. Схема размещения электродов заземления

13 .2. Защитное отключение

На основании [11] защита от поражения электрическим током следует применять в электроустановках зданий и сооружений, включая жилые и общественные здания, устройства защитного отключения (УЗО) в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током в случае прямого прикосновения к токоведущим частям, либо металлическим корпусам электроустановок, оказавшихся под потенциалом относительно «земли».

Назначение УЗО

- защита от косвенного прикосновения, когда человек касается корпуса электроприемника, оказавшегося под напряжением вследствие повреждения изоляции;
- защита от прямого прикосновения, когда человек непосредственно касается фазного провода источника питания;
- защита от пожара, который может возникнуть из-за чрезмерных токов утечки.

Параметры УЗО

Согласно [14] нормируются следующие параметры УЗО:

Номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО

$$U_{\text{ном}} = 220, 380 \text{ В.}$$

Номинальный ток нагрузки ($I_{\text{нагр}}$) – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы

$$I_{\text{нагр}} = 6; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 \text{ А.}$$

Номинальный отключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta\text{ном}}$) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации

$$I_{\Delta\text{ном}} = 0,006 \text{ А (6 мА); } 0,01 \text{ А (10 мА); } 0,03 \text{ А (30 мА); } \\ 0,1 \text{ А (100 мА); } 0,3 \text{ А (300 мА); } 0,5 \text{ А (500 мА).}$$

Номинальный неотключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta\text{ном}0}$) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации

$$I_{\Delta\text{ном}0} = 0,5 \cdot I_{\Delta\text{ном}}.$$

Предельное значение неотключающего сверхтока ($I_{\text{м}}$) (сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки) – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО

$$I_{\text{м}} = 6 \cdot I_{\text{ном}}.$$

Выбор значения номинального отключающего дифференциального тока

Первое условие, которое необходимо учитывать при проектировании дополнительной дифференциальной защиты от поражения электрическим током [14] это значение номинального неотключающего дифференциального тока $I_{\Delta\text{ном}0}$, т.е. такого дифференциального тока, при котором и ниже которого УЗО не срабатывает равно 0,5

$I_{\Delta\text{ном}}$. Тогда зона уверенного срабатывания УЗО будет находиться в диапазоне от $0,5I_{\Delta\text{ном}}$ до $1,0I_{\Delta\text{ном}}$.

Второе условие связано с необходимостью отстройки отключающего дифференциального тока $I_{\Delta\text{ном}}$ от естественных (фоновых) токов утечки, величина которых не должна превышать $\frac{1}{3}I_{\Delta\text{ном}}$, т.е. значение фоновый ток утечки не должно приближаться к порогу срабатывания УЗО – $0,5I_{\Delta\text{ном}}$ [5].

Исходя из этих двух условий, можно вычислить предельное значение расчетного тока нагрузки, при котором для дополнительной защиты электрических сетей допустимо применять УЗО с $I_{\Delta\text{ном}} = 30 \text{ мА}$.

Пример1

Для групповой линия с током нагрузки 25 А рассчитать и выбрать УЗО.

Решение

Согласно второму условию фоновый ток утечки не должен превышать значение $\frac{1}{3}I_{\Delta\text{ном}} = \frac{1}{3} \cdot 30 = 10 \text{ мА}$.

Расчетное значение фоновый ток утечки от тока нагрузки равно

$$0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мА}.$$

Следовательно при токах нагрузки более 25 А фоновый ток утечки превысит значение 10 мА, что при уставке отключающего дифференциального тока 30 мА не допустимо.

Аналогично можно вычислить предельные значения расчетных токов нагрузки, при которых допустимо применять другие уставки отключающего дифференциального тока.

Чтобы соблюсти нормативные требования о дополнительной защите электрических сетей с уставкой дифференциального отключающего тока $I_{\Delta\text{ном}} = 10 \text{ мА}$ нагрузка не должна превышать 8,5 А; для 30 мА – 25 А; для 100 мА – 83 А; для 300 мА – 250 А.

13.3. Молниезащита зданий и сооружений

Молниеотвод – устройство, воспринимающее удар молнии и отводящее ее ток в землю.

Зона защиты молниеотвода – пространство, внутри которого или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не менее определенной величины. Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты; в глубине зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности.

В зависимости от надежности объектов народного хозяйства зоны защиты делятся на зоны защиты типа А и типа Б.

Зона защиты типа А обладает надежностью 99,5 % и выше, а типа Б – 95 % и выше.

Конструктивно молниеотводы подразделяются на следующие виды:

стержневые – с вертикальным расположением молниеприемника;

тросовые – с горизонтальным расположением молниеприемника, закрепленного на двух заземленных опорах;

сетки – многократные горизонтальные молниеприемники, пересекающиеся под прямым углом и укладываемые сверху на защищаемое здание.

В соответствии с Инструкцией по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122 – 87 здания и сооружения по устройству молниезащиты подразделяются на три категории: I, II, III.

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к I и II категориям, должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных проявлений молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) и подземные металлические конструкции.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми или тросовыми молниеотводами.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений II категории с неметаллической кровлей должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте стержневыми и тросовыми молниеотводами. При уклоне кровли не более 1:8 может быть использована также молниеприемная сетка, укладываемая на кровле с шагом ячеек не более 6 × 6 м.

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические конструкции.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений III категории должны выполняться молниеприемной сеткой с шагом ячеек не более 12×12 м.

Минимально допустимые сечения (диаметры) электродов искусственных заземлителей приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1

Минимально допустимые сечения (диаметры) электродов искусственных заземлителей

Форма токопроводов и заземлителей	Снаружи здания на воздухе	В земле
Круглые токопроводы и перемычки диаметром, мм	6	-
Круглые вертикальные электроды диаметром, мм	-	10
Круглые горизонтальные электроды диаметром, мм	-	10
Прямоугольные: сечением, мм ²	48	160
Прямоугольные: толщиной, мм	4	4

Заземляющее устройство молниезащиты выполняют аналогично заземляющим устройствам электроустановок. Эти устройства в ряде случаев объединяют.

В зависимости от особенности конструкции защищаемого объекта и условий его размещения стержневые и тросовые молниеотводы разделяют на одиночные, двойные и многократные.

Защита зданий и сооружений от атмосферных перенапряжений

Атмосферные перенапряжения возникают вследствие воздействия на электроустановки грозовых разрядов. В отличие от коммутационных перенапряжений они не зависят от величины рабочего напряжения электроустановки. Атмосферные перенапряжения подразделяют на индуцированные перенапряжения и перенапряжения от прямых ударов молнии.

Перенапряжения от прямых ударов молнии наиболее опасны. Измерения показывают, что токи молнии изменяются в пределах 10...250 кА.

Для защиты электроустановок, зданий и сооружений от атмосферных перенапряжений применяют защитные тросы, разрядники, молниеотводы.

Молниеотвод защищает сооружение от прямых ударов молнии. Стержневой молниеотвод представляет собой высокий столб с проложенным на нем по всей длине стальным проводом, соединенным с заземлителем. Тросовый молниеотвод это заземленный в нескольких точках стальной трос, расположенный над проводами линии электропередач (ЛЭП).

Все здания и сооружения подразделяются на три категории:

I – производственные здания и сооружения со взрывоопасными помещениями классов В – I и В – II по ПУЭ; здания электростанций и подстанций;

II – другие здания и сооружения со взрывоопасными помещениями, не относимые к I категории;

III – все остальные здания и сооружения, в том числе и пожароопасные помещения.

Молниезащита зданий и сооружений I категории выполняется:

– от прямых ударов молний отдельно стоящими стержневыми и тросовыми молниеотводами, обеспечивающими требуемую зону защиты;

– от электростатической индукции – заземлением всех металлических корпусов, оборудования и аппаратов, установленных в защищаемых зданиях через специальные заземлители с сопротивлением растеканию тока не более 10 Ом.

Молниезащита зданий и сооружений II категории от прямых ударов молнии выполняется: отдельно стоящими или установленными на здании стержневыми или тросовыми молниеотводами, обеспечивающими защитную зону; молниеприемной заземленной металлической сеткой размерами 6×6 м, накладываемой на неметаллическую кровлю; заземлением металлической кровли.

Защита зданий III категории выполняется, как и для II категории, но при этом молниеприемная сетка имеет ячейки размером 12×12 м или 6×24 м, а величина сопротивления заземлителя от прямых ударов молнии может повышаться до 20 Ом.

Пример 1

Молниезащита производственного здания выполняется молниеприемной сеткой, которая укладывается на кровле здания. План молниеприемной сетки приведен на рисунке 13.2.

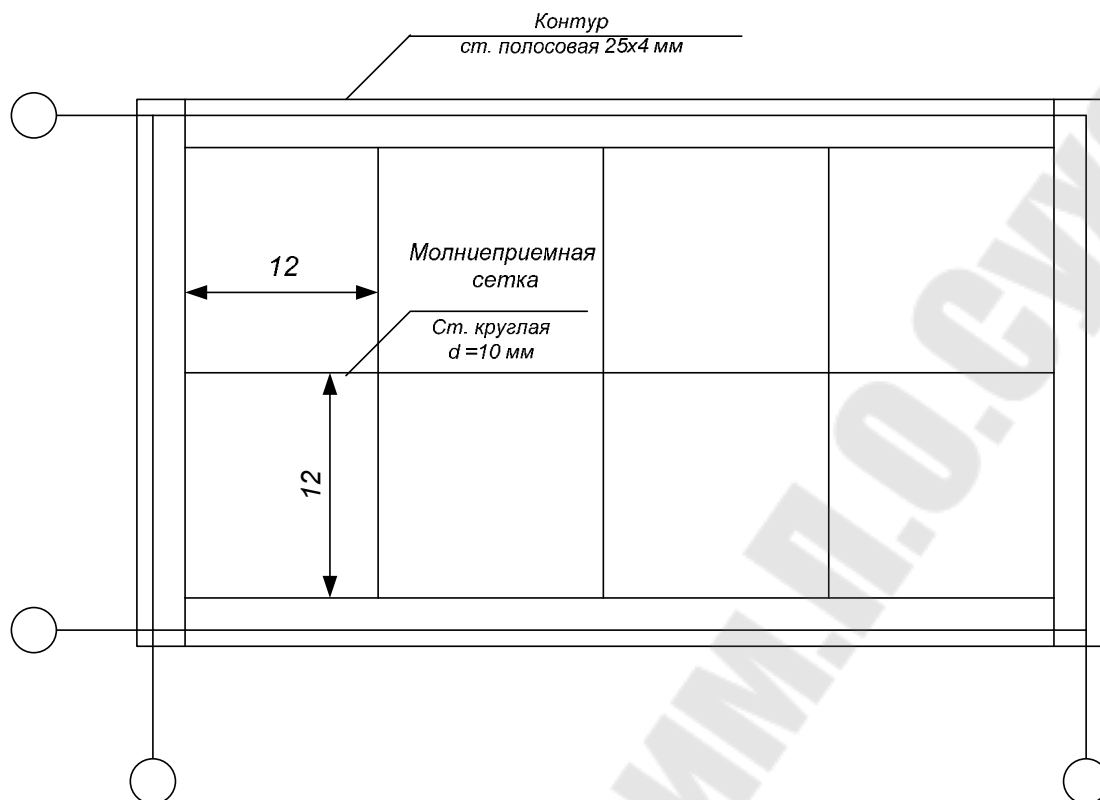


Рис. 13.2. План молниеприемной сетки

Конструкция и размеры сосредоточенных искусственных заземлителей принимается в зависимости от строительных конструкций зданий. В качестве искусственных заземлителей используются железобетонные конструкции фундаментов (подножки, сваи, колонны), а также металлические конструкции заземлителей выполненные из металлических профилей (угловая сталь, круглый профиль или стальная труба).

При использовании в качестве искусственных заземлителей железобетонные подножки фундаментов зданий конструкция и размеры приведены на рисунке 13.3.

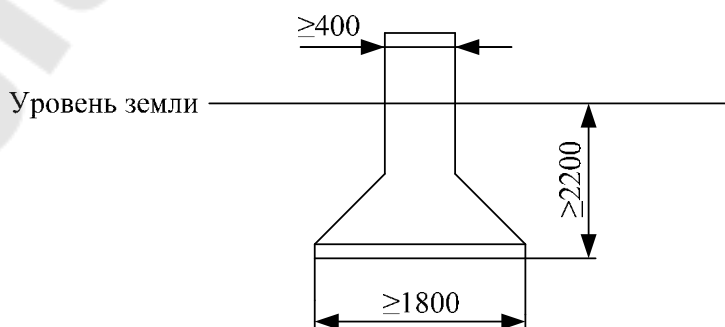


Рис. 13.3. Железобетонный подножник

При использовании в качестве искусственных заземлителей железобетонные сваи фундаментов зданий конструкция и размеры приведены на рисунке 13.4.

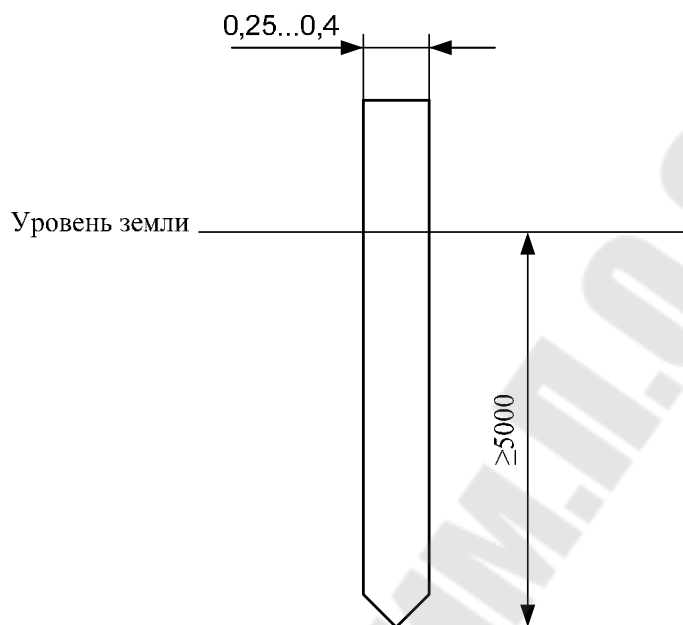


Рис. 13.4. Железобетонная свая

При использовании в качестве искусственных заземлителей выполняемых из металлических профилей конструкция и размеры приведены на рисунке ...

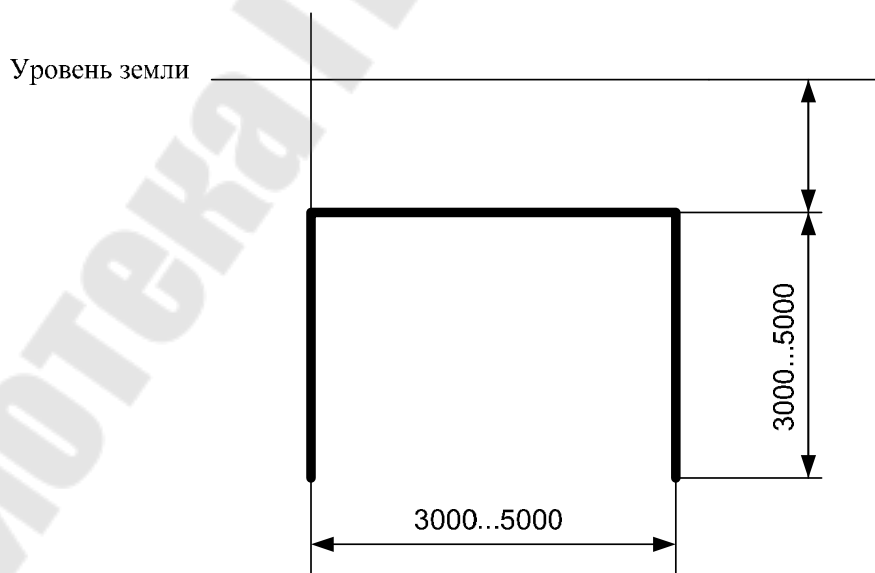


Рис. 13.5. Стальной двухстержневой заземлитель

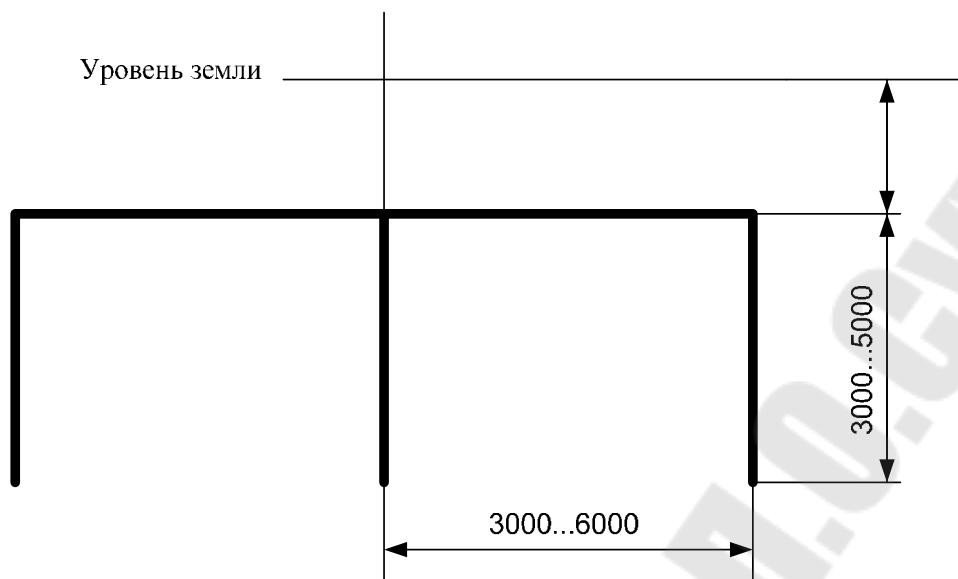


Рис. 13.6. Стальной трехстержневой заземлитель

При расчете молниеотводов учитывается необходимость получения определенной зоны защиты, которая представляет собой пространство, защищаемое от прямых ударов молнии.

Одиночные стержневые молниеотводы

Вариант 1. Построение зон защиты:

h – высота молниеотвода;

h_x – высота защищаемого объекта;

r – радиус или ширина зоны защиты на высоте h_x ;

(рисунок построения одиночного молниеотвода ЭТС стр. 255)

Для одиночного стержневого молниеотвода при высоте молниеотвода менее 60 м, радиус защиты определяется по выражению

$$r_x = 1,6 \cdot h \cdot (h - h_x) / (h + h_x),$$

где $h - h_x = h_a$ – разность высот молниеотвода и защищаемого объекта, или активная высота.

Вариант 2

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода представляет собой в вертикальном сечении конус с образующей в виде ломаной линии.

Для построения зоны защиты молниеотвода высотой h не более 60 м необходимо:

от основания молниеотвода отложить в противоположные стороны два отрезка, равные $0,75h$, и концы отрезков соединить с вершиной молниеотвода;

от основания молниеотвода отложить два отрезка, равные $1,5h$, и соединить их с точкой, находящейся на высоте $0,2h$ молниеотвода.

Тогда ломаная линия АОВ является границей зоны защиты в вертикальном сечении.

Зона защиты в горизонтальном сечении на высоте h_x представляет круг радиусом r_x .

Радиус зоны защиты определяется в зависимости от расчетной высоты по формулам:

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x), \text{ если } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h;$$

$$r_x = 0,75 \cdot (h - h_x), \text{ если } \frac{2}{3}h \leq h_x \leq h.$$

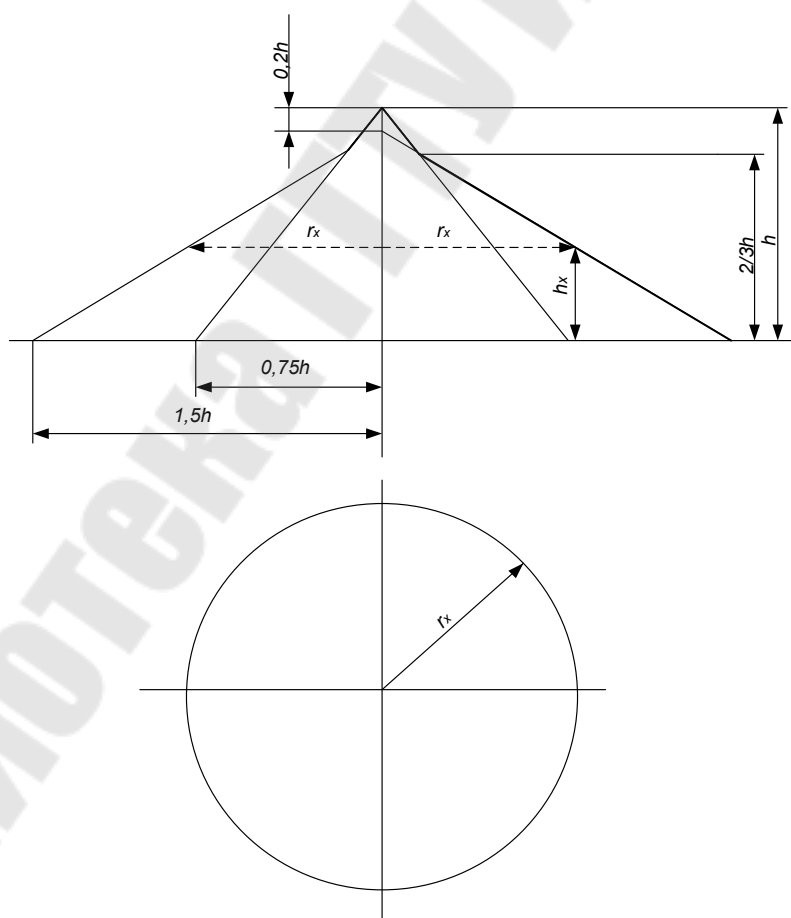


Рис. 13.7. Зона защиты стержневого молниеотвода

Два одиночных молниеотвода

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода изображена на рисунке 13.8.

Если расстояние между молниеотводами a , то наибольшая высота зоны защиты в средней части между молниеотводами h_0 определяется по формуле

$$h_0 = 4 \cdot h \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25a^2}.$$

Высота h по заданным значениям h_0 и a вычисляются по формуле

$$h = 0,571 \cdot h_0 + \sqrt{0,183 \cdot h_0^2 + 0,0357 \cdot a^2}.$$

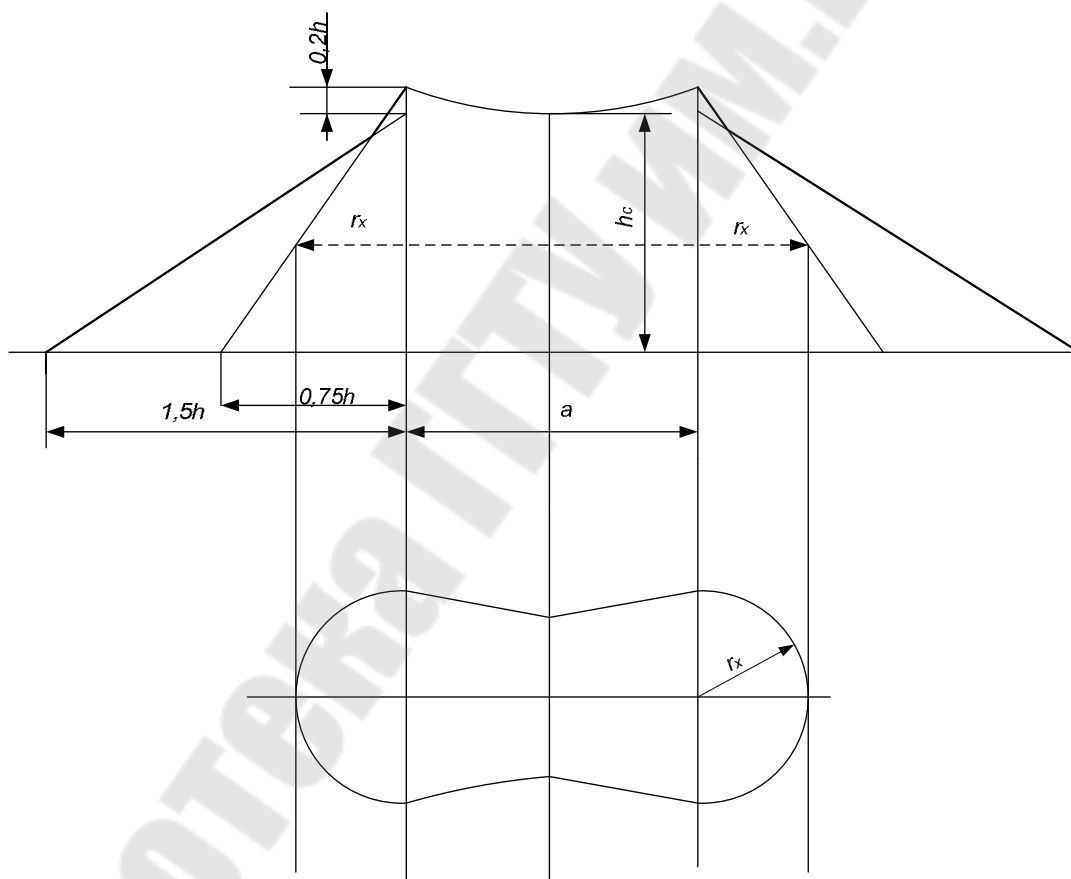


Рис. 13.8. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Три одиночных (четыре)

Здание или сооружение (распределительные подстанции) обычно защищаются несколькими молниеотводами. Уровень h_x внутри треугольника или прямоугольника, образованных ближайшими тремя или четырьмя стержневыми молниеотводами будет защищен, если

диаметр D окружности, проходящей через следы молниеотводов, удовлетворяет условию

$$D \leq 8(h - h_x)p,$$

где p – коэффициент, который равен 1 при $h \leq 30$ м и $5,5/\sqrt{h}$ при $h > 30$ м.

Для тросового молниеотвода при высоте подвеса менее 30 м радиус защиты определяется по выражению

$$r_x = 0,8 \cdot h \cdot (h - h_x) / (h + h_x),$$

где h – высота подвеса троса; h_x – высота подвеса защищаемых проводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок/ Министерство топлива и энергетики РФ. – 6-е изд. доп. и перераб. – М.: Главгосэнергоиздат России, 1998. – 608 с.
2. СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства, 1998. – 59 с.
3. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК-5-52-93). Электроустановки зданий. Ч.5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки – Мн.: Изд-во стандартов, 1993. – 17 с.
4. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК-5-52-93). Электроустановки зданий. Ч.5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники – Мн.: Изд-во стандартов, 1993. – 17 с.
5. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Л.: Энергия, 1976. – 385 с.
6. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 271 с.:ил.
7. ГОСТ 21.608-84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи. – Мн.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.
8. СНиП 1.02.01-85. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – 18 с.
9. Кузнецов В.С. Электроснабжение и электроосвещение городов: Учеб. пособие. – Мн.: высш. Шк., 1989. – 136 с.
10. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М.Кнорринг, И.М.Федин, В.Н.Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
11. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
12. Оболенцев Ю.Б. Электрическое освещение общепромышленных помещений / Ю.Б. Оболенцев, Э.Л.Гиндин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.
13. Епанешников М.М. Электрическое освещение / М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.
14. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г.М. Кнорринг. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
15. Правила устройства электроустановок / Министерство топлива и энергетики РФ. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999.

16. ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. – Мн.: Изд. Стандартов, 1995.
17. ГОСТ 30331.3-95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Мн.: Изд-во стандартов, 1992.
18. Пособие П2.2000 к СНиП 2.08.01-89 Электроустановки жилых и общественных зданий. – Мн.: АП «Институт Белпроект», 2000.
19. ГОСТ Р50807-95. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1995.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Номенклатура и основные параметры некоторых светильников

Тип, серия светильника	Количество и мощность, Вт	Степень защиты	КСС/ Класс светораспределения по ГОСТ 17677-82	КПД, %	Способ установки	Способ монтажа
Светильники с ртутными лампами высокого давления						
РСР05	250-1000	IP20	Д, Г	75	С	1; 2; 3
РСР08	250, 400	IP20	Д, Г	75	С	1
РСР11	400	IP52		72	С	1
РСР12	700	IP52		62	С	1
РСР13	400, 700, 1000	IP53		70	С	1; 2
ГСП15	400	IP52		72	С	1; 2; 3
ГСП18	250, 400, 700	IP20		75	С	1; 2
Светильники с люминесцентными лампами						
ЛСП02	1×36, 2×36	IP20	Д, Г	70	С	2; 3; 5
ЛВП02	1×58	IP20		50	В	5
ЛВП06	2×58	IP20		52	В	5
ЛСП13	2×40(2×36)	IP20		75	С	2; 3; 8
Светильники с лампами накаливания						
НСР01	100, 200	IP54		75	С	1; 3
НСР02	100	IP52		75	С	3
НСР03М	60	IP54		85	С	4
НПП04	60	IP20		55	Н, Б, Д	5; 6
НСР17	200-1000	IP20		75	С	1; 2; 3
НСР20	500, 1000	IP52		77	С	1; 2
Н4БН	150	IP54		55	С	1
Н4Б-300МА	300	IP54		50	С	1; 2
В3Г/В4А200	200	IP54		50	С	1
ПСХ 60М	60	IP54		60	С	1; 2; 3; 4
ППР-200С	200	IP52		67	С	1; 2; 3

Примечания:

Способ монтажа для светильников с ртутными лампами: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на монтажный профиль; 3 – на крюк; 4 – на опорную поверхность; 5 – специальное крепление.

Способ монтажа для светильников с люминесцентными лампами: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на шинопровод; 3 – на штангах; 5 – на потолок; 6 – на стержнях; 7 – на крюк; 8 – на монтажный профиль.

Способ монтажа для светильников с лампами накаливания: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на монтажный профиль; 3 – на крюк; 4 – на потолок; 5 – на горизонтальную опорную поверхность; 6 – на наклонную опорную поверхность.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Минимальные сечения проводников

Типы электропроводки		Назначение цепи	Проводник	
			Материал	Сечение, мм ²
Стационарные электроустановки	Кабели и изолированные проводники	Силовые и осветительные цепи	Медь Алюминий	1,5 2,5 (примечание 1)
		Цепи сигнализации и управления	Медь	0,5 (примечание 2)
	Неизолированные проводники	Силовые цепи	Медь Алюминий	10 16
		Цепи сигнализации и управления	Медь	4
Гибкие соединения с изолированными проводниками и кабелями		Внутренний монтаж в приборах и устройствах	Медь	По нормам и требованиям соответствующих стандартов
		В остальных случаях		0,75 (примечание 3)
		В цепях сверхнизкого напряжения для специального применения		0,75

Примечания:

1. Оконцеватели, применяемые для оконцевания алюминиевых проводников, должны быть испытаны и предназначены для этой цели.
2. Для цепей сигнализации и управления, предназначенных для электронного оборудования, минимально допустимый размер сечения проводников 0,1 мм².
3. Примечание 2 относится также и к многожильным гибким кабелям, имеющим семь и более жил.

Таблица П.3.

Длительно допустимые токовые нагрузки для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в резиновой, поливинилхлоридной, свинцовой оболочке бронированных и небронированных

Сечение жил, мм ²	Длительно допустимый ток, А				
	одножильный в воздухе	двухжильных		трехжильных	
		в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4,0	31	29	42	27	38
6,0	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385

Таблица П.4

Длительно допустимые токовые нагрузки для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией, пропитанной маслослосифольной и нестекающей массама в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле и в воздухе

Сечение жил, мм ³	Длительно допустимый ток, А					
	однож. до 1 кВ	двухж до 1 кВ	четырёхж. до 1 кВ	Трёхжильных напряжением, кВ		
				3	6	10
	Проложенные в земле					
6	-	60	-	55	-	-
10	110	80	65	75	60	-
16	135	110	90	90	80	75
25	180	140	115	125	105	90
35	220	175	135	145	125	115
50	275	210	165	180	155	140
70	340	250	200	220	190	165
95	400	290	240	260	225	205
120	460	335	270	300	260	240
150	520	385	305	335	300	275
185	580	-	345	380	340	310
240	675	-	-	440	390	355
300	770	-	-	-	-	-

Таблица П.5

Длительно допустимый ток для переносных шланговых легких и средних шнуров, переносных шланговых тяжелых кабелей, с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для шнуров, проводов и кабелей с нулевой жилой и без нее		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
0,5	-	12	-
0,75	-	16	14
1,0	-	18	16
1,5	-	23	20
2,5	40	33	28
4,0	50	43	36
6,0	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Таблица П.6

Длительно допустимые токовые нагрузки для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

Сечение жил, мм ²	Длительно допустимый ток, А для проводов проложенных					
	открыто	в трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	двухжильный	трехжильный
2,0	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3,0	27	24	22	21	22	18
4,0	32	28	28	23	25	21
5,0	36	32	30	27	28	24
6,0	39	36	32	30	31	28
8,0	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	-	-	-

Таблица П.7

Длительно допустимый ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение жил, мм ²	Ток, А, для проводов проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1,0	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	22,3	19	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	-	-	-
185	510	-	-	-	-	-
240	605	-	-	-	-	-
300	695	-	-	-	-	-
400	830	-	-	-	-	-

Таблица П.8

**Технические данные осветительных групповых щитков.
Щитки осветительные групповые серий ЯОУ, ЩО, ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ**

Тип	Вводной аппарат		Автоматические выключатели в групповых линиях		Степень защиты оболочки	Климатическое исполнение	Исполнение по способу установки
	Наименование	$I_{ном}, А$	$I_{ном}, А$	кол.			
ЯОУ-8501	не автом.	63	16; 25	6	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8502	не автом.	100	16; 25	12	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8503	не автом.	100	16; 25	6	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8504	не автом.	100	16; 25	2x3 ф	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8505	не автом.	63	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЯОУ-8506	не автом.	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ЩОЗ3-13	Зажимы	-	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЩОЗ3-24	Зажимы	-	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ЩОЗ2-21	Авт. выкл	100	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЩОЗ2-32	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ОП-3	Зажимы	-	16; 25	3	IP20	У3	на стене
ОП-6	Зажимы	-	16; 25	6	IP20	У3	на стене
ОП-9	Зажимы	-	16; 25	9	IP20	У3	на стене
ОП-12	Зажимы	-	16; 25	12	IP20	У3	на стене
ОЩ-6	Зажимы	-	16; 25	6		УХЛ4	на стене
ОЩ-12	Зажимы	-	16; 25	12		УХЛ4	на стене
ОЩВ-6А	Авт. выкл	63	16; 25	6	IP20	У3	на стене
ОЩВ-12А	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	на стене
УОЩВ-6А	Авт. выкл	63	16; 25	6	IP20	У3	в нише
УОЩВ-12А	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише

Примечание. Щитки имеют изолированную нулевую (N) и связанную с корпусом защитную (PE) шины, укомплектованные контактными зажимами

Щитки осветительные групповые серии ПР11

Типоисполнение шкафа		Номинальный ток, А	Тип вводного выключателя	Тип / кол. выключателей на фидерах	
Навесное исполнение	Утопленное исполнение			однополюсных	трехполюсных
ПР11-3045-21У3	ПР11-1045-21У3	100	-	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3-45-54У1	-	100	-	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3046-21У3	ПР11-1046-21У3	100	АЕ2066	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3046-54У1	-	100	АЕ2066	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3047-21У3	ПР11-1047-21У3	100	-	-	АЕ2046Б / 2
ПР11-3047-54У1	-	100	-	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3048-21У3	ПР11-1048-21У3	100	АЕ2066	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3048-54У1	-	100	АЕ2066	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3050-21У3	ПР11-1050-21У3	100	АЕ2066	АЕ2044 / 3	АЕ2046Б / 1
ПР11-3050-54У1	-	100	АЕ2066	АЕ2044 / 3	АЕ2046Б/1
ПР11-3052-21У3	ПР11-1052-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 12	-
ПР11-3052-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 12	-
ПР11-3054-21У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б / 4
ПР11-3054-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б / 4
ПР11-3056-21У3	ПР11-1056-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б / 2
ПР11-3056-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б / 2
ПР11-3058-21У3	ПР11-1058-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 18	-
ПР11-3058-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 18	-
ПР11-3060-21У3	ПР11-1060-21У3	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б / 6
ПР11-3060-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б / 6
ПР11-3062-21У3	ПР11-1062-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 12	АЕ2046Б/2
ПР11-3062-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 12	АЕ2046Б/2
ПР11-3064-21У3	ПР11-1064-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б/4
ПР11-3064-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б/4
ПР11-3068-21У3	ПР11-1068-21У3	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/8
ПР11-3068-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/8
ПР11-3070-21У3	ПР11-1070-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 18	АЕ2046Б/2
ПР11-3070-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 18	АЕ2046Б/2

Таблица П.10

Технические данные автоматических выключателей серий АП50, АЗ700

Тип выключателя	Ток $I_{ном}$, А	Число полюсов	Род распрепителя	Ток расцепителя $I_{ном.р}$, А	Отсечка $I_{отс}$, А
АП50-3МТ	50	3	Комбинированный	1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 12,5; 16; 25; 40; 50	$11I_{ном}$
АП50-2МТ		2			
АП50-3М	50	3	Электромагнитный	1,6...50	$11I_{ном}$
АП50-2М		2			
АП50-3Т	50	3	Тепловой	1,6...50	-
АП50-2Т		2			
АП50-3	50	3	Без распрепителя	1,6...50	-
АП50-2		2			
АЗ713Б	160	2	Электромагнитный	31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	$2...10I_{ном}$
АЗ714Б		3			
АЗ723Б	250	2	Электромагнитный	160; 200; 250	
АЗ724Б		3			
АЗ733Б	400	2	Электромагнитный	160; 200; 250; 315; 400	
АЗ734Б		3			
АЗ743Б	630	2	Электромагнитный	250; 315; 400; 630	
АЗ744Б		3			

Таблица П.11

Технические данные автоматических выключателей серий АЕ1000, АЕ2000

Тип	Число полюсов	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток максимальных тепловых и комбинированных расцепителей, А	Кратность тока трогания выключателя (отсечка), А
АЕ1000	1	10	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,0; 10	$12...18 I_{ном}$
АЕ2026	3	16	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,0; 10; 12,5; 16	$12 I_{ном}$
АЕ2034	1	25	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	$12 I_{ном}$
АЕ 2036	3	25		
АЕ2044	1	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	$12 I_{ном}$
АЕ2046	3	63		
АЕ2056	3	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	$12 I_{ном}$

Таблица П.12

Технические данные автоматических выключателей серий ВА51 и ВА 52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки, $I_{отс.}$
	выключателя	расцепителя	
Однополюсные			
ВА51-29	63	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	3;7;10
ВА51-31-1	100	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63; 80; 100	
Трёхполюсные			
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА51-25	25	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА51-31	100	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	7; 10
ВА5231	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА52-33			
ВА51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
ВА352-35			
ВА51-37	400	250; 320; 400	10
ВА52-37			
ВА51-39	630	400; 500; 630	10
ВА52-39			

Таблица П.13

Условный проход стальных и пластмассовых труб, мм, в зависимости от числа, марки и сечения проводников

Сечение, мм ²	Одножильные провода ПРТО - АПРТО, ПВ - АПВ, ПР - АПР, ПРВ - АПРВ при числе проводов, равном					Кабели АВВГ с однопроволочны- ми жилами 25 мм ² и выше при числе жил равном			АВВБ	Кабель АВВГ до 16 мм ² и ВВГ при числе жил		
	2	3	4	5	6	2	3	4		2	3	4
1,5	15	15	15	15	20							
2,5	15	15	15	20	20					25	25	
4	15	15	15	20	20					25	25	25
6	15	15	20	20	20					25	25	32
10	20	20	25	32	32					32	32	32
16	25	25	32	32	32					32	32	40
25	32	32	32	40	50	40	50	70	70	32	40	40
35	32	32	40	50	50	50	70	70	80	32	40	40
50	40	40	50	50	70			70	80			50
70	50	50	70	70	70			70	100			50
95	70	70	70					80				70
120	70	70	80					100				70
150	70	70	80									70
185	80	80	100									

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок – М.: Главгосэнергонадзор, 1998.
2. СНиП 23-05 – 95. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.
3. СНБ 2.04.05 – 98. Естественное и искусственное освещение.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кноринга. – Л.: Энергия, 1976.
5. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
6. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. – 3-е изд., испр. И доп. – М.: Высш. шк. 1988.
7. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

8. ГОСТ 21.608 – 84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи.
9. ГОСТ 13109 – 97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
10. ГОСТ 30331.2 – 95 (МЭК 364 – 3 – 93) Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики.
11. ГОСТ 30331.3 – 95 (МЭК 364-4-41-92) Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
12. ГОСТ 30331.10 –2001 (МЭК 364-5-54-80) Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.
13. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК 364-5-52-93) Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 5.2. Электропроводки.
14. ГОСТ Р 50807 – 95 «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний».
15. Пособие П2.2000 к СНиП 2.08.01 – 89. Электроустановки жилых и общественных зданий. АП «Институт «Белпроект», 2000.

**Ус Анатолий Георгиевич
Колесник Юрий Николаевич
Бахмутская Валентина Владимировна
Елкин Валерий Дмитриевич**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Практикум
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»,
специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение
промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 07.12.11.

Рег. № 54Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>