

Электрические нагрузки

Виды электрических нагрузок и их применение

Когда говорят о нагрузке, то чаще всего под этим понятием подразумевают мощность активную P и мощность реактивную Q . Однако в расчетах электроснабжения под нагрузкой могут подразумевать также ток I . Таким образом, существует три вида нагрузок: P , Q , I .

Следует различать понятия: электрическая нагрузка, электроприемник, электропотребитель. Электрическая нагрузка может быть у электроприемники и у электропотребителя.

Электроприемником называют электродвигатель, электрическую печь, электромагнит и другую одиночную электроустановку.

Электропотребителем является предприятие в целом, цех предприятия, участок цеха предприятия или какая либо установка в цехе - все они содержат множество электроприемников.

Электроприемники характеризуются **номинальными** нагрузками: $P_H = P_{\text{пасп}}$; $Q_H = Q_{\text{пасп}}$; $S_H = S_{\text{пасп}}$; $I_H = I_{\text{пасп}}$.

Для электроприемников с повторнократковременным режимом работы:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}, \text{ кВт};$$

$$S_H = S_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}, \text{ кВА}.$$

Групповая номинальная активная мощность:

$$P_{H\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{H i}$$

Номинальная реактивная мощность:

$$Q_H = Q_{\text{пасп}} = P_H \operatorname{tg} \varphi_H \quad \text{или} \quad Q_H = Q_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}, \text{ квар.}$$

Групповая номинальная реактивная мощность:

$$Q_H = \sum_{i=1}^n Q_{H i}, \text{ квар.}$$

Номинальные токи:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} = \frac{\sqrt{P_H^2 + Q_H^2}}{\sqrt{3}U_H}, \text{ A};$$
$$I_{H\Sigma} = \frac{S_{H\Sigma}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{\sqrt{P_{H\Sigma}^2 + Q_{H\Sigma}^2}}{\sqrt{3}U_H}, \text{ A}.$$

Для повторно-кратковременного режима:

$$I_H = I_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} = \frac{S_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}}{\sqrt{3}U}, \text{ A}.$$

Номинальный ток группы электроприемников при близких значениях $\cos\varphi_{Hi}$

$$I_{H\Sigma} = \sum_{i=1}^n I_{Hi}, \text{ A}.$$

Средняя нагрузка:

$$P_c = \frac{W_a}{T}; \quad Q_c = \frac{W_p}{T} \quad S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$$

Для группы электроприемников средняя нагрузка

$$P_{c\Sigma} = \frac{W_{a\Sigma}}{T} \quad Q_c = \frac{W_{p\Sigma}}{T} \quad S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}$$

или

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{ci} \quad Q_{ci} = \sum_{i=1}^n Q_{ci}$$

По P_c , Q_c можно определить средние нагрузки по току.

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену $P_{см}$, $Q_{см}$. Наиболее загруженной сменой является смена с **наибольшим потреблением электроэнергии** данной группой электроприемников: цехом или предприятием в целом для характерных суток. Характерными являются те сутки, в течение которых потребление электроэнергии примерно равно **величине средневзвешенного потребления** электроэнергии за каждый рабочий день в рассматриваемом периоде времени (месяц, квартал, год).

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену $P_{см}$, $Q_{см}$. Наиболее загруженной сменой является смена с **наибольшим потреблением электроэнергии** данной группой электроприемников: цехом или предприятием в целом для характерных суток. Характерными являются те сутки, в течение которых потребление электроэнергии примерно равно **величине средневзвешенного потребления** электроэнергии за каждый рабочий день в рассматриваемом периоде времени (месяц, квартал, год).

Максимальные значения нагрузки P_m , Q_m , S_m .

По продолжительности различают два вида максимальных нагрузок: максимальные длительные (10, 30, 60 мин); максимальные кратковременные (1 - 2 с).

2.2. Расчетные нагрузки одного электроприемника

Электроприемниками являются:

1. двигатели
2. трансформаторы
3. нагревательные элементы
4. источники света
5. электромагниты

Графики нагрузки и их показатели

Графиками нагрузки называют зависимости $P = f(t)$ и $Q = f(t)$, построенные на бумаге.

На подстанциях и распределительных пунктах показания счетчиков снимают через каждые 15, 30, 60 мин. По снятым показаниям определяют мощности, Получают ступенчатые графики нагрузки. Ордината ступени равна средней

нагрузке за принятый интервал t_i : $P_{ci} = \frac{W_{ai}}{t_i}$ $Q_{ci} = \frac{W_{pi}}{t_i}$

Средняя нагрузка:

$$P_c = \frac{\sum P_i}{n}$$

$$Q_c = \frac{\sum Q_i}{n}$$

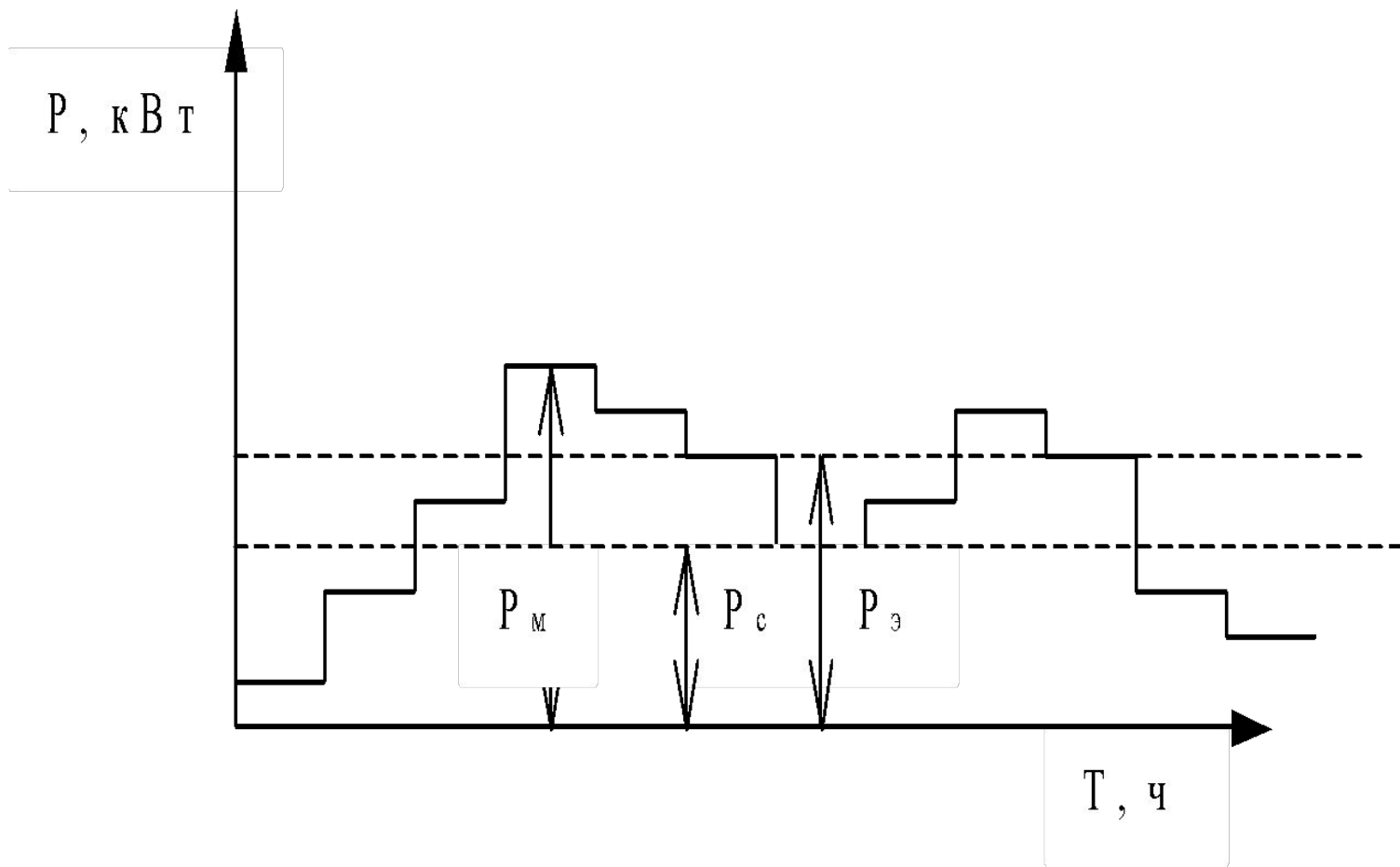


Рис. 2.7. Суточный график $P=f(t)$

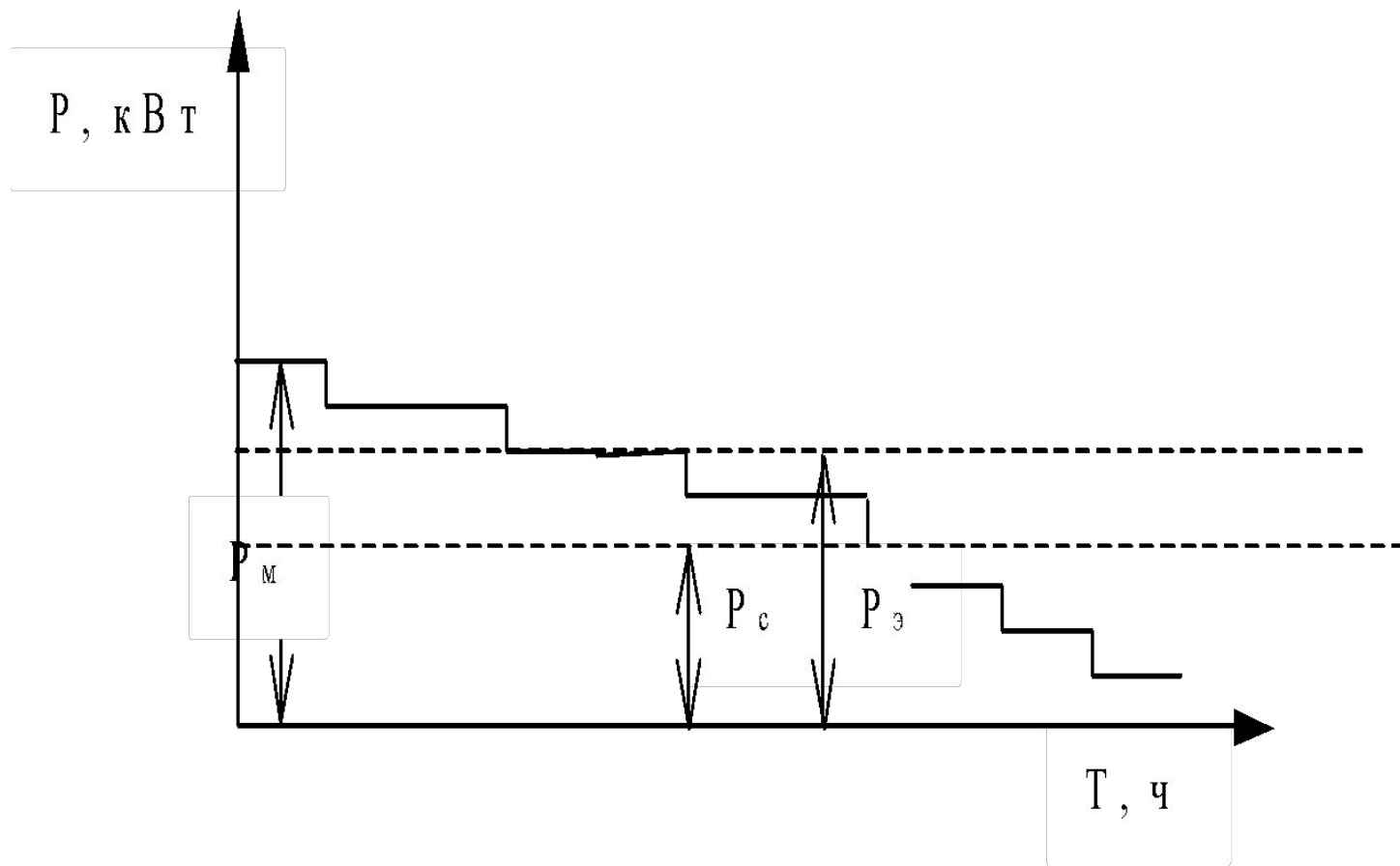


Рис. 2.8. Суточный график активной нагрузки по продолжительности

Среднеквадратичная нагрузка

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{T}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{n}}$$

$$Q_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum Q_i^2}{T}} = \sqrt{\frac{\sum Q_i^2}{n}}$$

где $n = T/t_i$ (T - период времени, равный 24 ч, $t_i = 1$ ч).
Среднеквадратичная нагрузка определяется для потерь мощности в сетях.

Площадь графика:

$$W_a = P_c T, \text{ кВт.ч}; W_p = Q_c T, \text{ квар.ч.}$$

Для характеристики графиков применяют следующие зависимости:

1) коэффициент ***заполнения*** графика нагрузки

$$K_{за} = P_c / P_m; K_{зр} = Q_c / Q_m;$$

2) коэффициент ***максимума*** нагрузки

$$K_{ма} = 1/K_{за} = P_m / P_c; K_{мр} = 1/K_{зр} = Q_m / Q_c;$$

3) коэффициент ***формы*** графика нагрузки

$$K_{фа} = P_{\text{э}} / P_c; K_{фр} = Q_{\text{э}} / Q_c;$$

4) число ***часов*** использования ***максимума*** нагрузки

$$T_{иа} = W_a / P_m = P_c T / K_{ма} P_c = T / K_{ма} = K_{за} T;$$
$$T_{ир} = W_p / Q_m = Q_c T / K_{мр} Q_c = T / K_{мр} = K_{зр} T.$$

Показатели и связь графиков нагрузки с номинальными мощностями электроприемников и их количеством:

1) коэффициенты использования

$$K_{\text{иа}} = \frac{P_c}{\sum P_{\text{ни}}}$$

$$K_{\text{ир}} = \frac{Q_c}{\sum Q_{\text{ни}}}$$

2) коэффициенты спроса

$$K_{ca} = \frac{P_M}{\sum P_{ni}}$$

$$K_{cp} = \frac{Q_M}{\sum Q_{ni}}$$

или

$$K_{ca} = (K_{ма} P_c K_{иа}) / P_c = K_{ма} K_{иа}$$

$$K_{cp} = (K_{мр} Q_c K_{ир}) / Q_c = K_{мр} K_{ир}$$

Коэффициент спроса является обобщенным показателем, учитывающим степень загрузки электропотребителей, их КПД и КПД сети.

Расчет электрических нагрузок

При выборе проводов и аппаратов в качестве нагрузки принимается расчетная нагрузка по допустимому нагреву и тридцатиминутный или получасовой максимум $P_m(30)$. Постоянная времени нагрева проводников $\tau = 10$ мин. За время действия равное 3τ , проводник нагревается до установившейся температуры.

При выборе трансформаторов в качестве расчетной нагрузки принимают также $P_M(30)$, $Q_M(30)$, однако учитывают, что для них постоянная нагрева τ больше и составляет уже часы. Это обстоятельство определяет допустимость перегрузки трансформатора в часы максимума в зависимости от степени загрузки и продолжительности работы с неполной нагрузкой. Поэтому при выборе трансформаторов кроме $P_M(30)$ учитывают $K_{за}$, $K_{зр}$. Таким образом выбор трансформаторов должен осуществляться по **средней мощности** P_c и Q_c .

При расчете линий электропередачи **по потере напряжения** принимают **пиковую нагрузку** $I_{пик}$, $P_{пик}$, $S_{пик}$.

Метод установленной мощности и коэффициента спроса

Для расчета необходимы прежде всего номинальная мощность электроприемников $P_{нi}$ (кВт) и их количество n (шт).

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1) Электроприемники разделяют по величине напряжения и роду тока.

2) Выделяются группы электроприемников одинаковых по мощности и назначению.

3) Для каждой группы электроприемников определяется установленная мощность

$$P_{уст} = nP_{нi}, \text{ кВт.}$$

4) По таблицам справочной литературы для каждой группы электроприемников определяют расчетные коэффициенты:

коэффициент спроса K_c ;

коэффициент мощности $\cos\varphi$;

коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$.

5) Определяют расчетную мощность каждой группы электроприемников:

активную

$$P_p = K_c \sum P_{ni}$$

реактивную

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi$$

полную

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

б) Определяют расчетную мощность узлов электроприемников по активным и реактивным расчетным мощностям групп электроприемников

$$S_{p\Sigma} = K_{pм} \sqrt{\left(\sum P_{pi}\right)^2 + \left(\sum Q_{pi}\right)^2}$$

где $K_{pм} = 0,85...1,0$ коэффициент совмещения максимума расчетной мощности.

В связи с однообразием расчетов их рекомендуется сводить в таблицу (табл.1).

Таблица 1

Расчет нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса

Наименование ЭП	n, шт	P_{ni} , кВт	$P_{уст} = nP_{ni}$, кВт	Расчетные коэффициенты		
				K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6	7

Расчетная мощность		T, ч/год	Расход электроэнергии	
кВт	квар		Активной кВт·ч	Реактивной квар·ч
$P_p = P_{уст} K_c,$	$Q_p = P_p \operatorname{tg}\varphi,$		$W_a = P_p T,$	$W_p = Q_p T,$
8	9	10	11	12

Силовые трансформаторы и их выбор

Типы трансформаторов и их основные характеристики

- 1) Номинальная мощность S_n , кВА.
- 2) Номинальное напряжение U_n (на всех обмотках), кВ.
- 3) Условные обозначения схем и групп соединения обмоток;
- 4) Вид переключения ответвлений (РПН - регулирование под нагрузкой; ПБВ - переключение без возбуждения; диапазон и число ступеней регулирования напряжения).
- 5) Потери короткого замыкания $\Delta P_{кз}$ и холостого хода $\Delta P_{хх}$ на основном ответвлении;
- 6) Напряжение короткого замыкания ($U_{кз} \%$) на основном и крайних ответвлениях;

Обозначение силового трансформатора складывается из букв и цифр:

ТМ-1000/10/0,4 – трансформатор трехобмоточный масляный; мощность трансформатора 1000 кВА; напряжение первичное 10 кВ; напряжение вторичное 0,4 кВ.

Буквы в обозначениях трансформаторов определяют следующее:

А - автотрансформатор;

О - однофазный трансформатор;

Т - трехфазный трансформатор;

2) Условные обозначения видов охлаждения:

Сухие трансформаторы:

- С - естественное воздушное охлаждение;

- СЗ - естественное воздушное охлаждение при защитном исполнении;

- СГ - естественное воздушное охлаждение при герметичном исполнении;

- СД - воздушное охлаждение при герметичной циркуляции воздуха;

Масляные трансформаторы:

- М - *естественная* циркуляция воздуха и масла;
- Д - *принудительная* циркуляция *воздуха* и естественная масла;
- МЦ - *естественная* циркуляция *воздуха* и принудительная *масла с ненаправленным* потоком;
- НМЦ - *естественная* циркуляция *воздуха* и принудительная *масла с направленным* потоком;
- ДЦ - *принудительная* циркуляция *воздуха* и масла с *ненаправленным потоком масла*;
- НДЦ - *принудительная* циркуляция *воздуха* и масла с *направленным потоком масла*;
- Ц - *принудительная циркуляция воды и масла* с *ненаправленным* потоком масла;
- НЦ - *принудительная циркуляция воды и масла* с *направленным* потоком масла;

Основные расчетные соотношения для трансформаторов

1. Активное сопротивление трехфазного двухобмоточного трансформатора, Ом:

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} U_H^2}{S_H^2} = \frac{\Delta P_{кз}}{3I_H^2}$$

2. Реактивное (индуктивное) сопротивление двухобмоточного трансформатора ($U_r = U_{кз}$), отнесенное к номинальному напряжению, Ом

$$X_m = \frac{U_{кз} \% \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H}$$

где U_H - номинальное напряжение, кВ; S_H - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Потери мощности в трансформаторах

В справочной литературе приводятся величины характеристик трансформатора при номинальной нагрузке:

ΔP_{xx} - активные потери холостого хода, кВт; $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, кВт; I_n - номинальный ток, А; I_{xx} - ток холостого хода, А;

S_n - номинальная мощность трансформатора, кВА; $U_{кз}\%$ - напряжение короткого замыкания, %.

Соответственно получаем для номинальной нагрузки трансформатора:

реактивные потери холостого хода

$$\Delta Q_{xx} = \sqrt{I_{xx} \cdot S_H^2 - P_{xx}^2} \approx S_H \cdot I_{xx}$$

- реактивные потери короткого замыкания

$$\Delta Q_{кз} = 3I_H^2 X = S_H \cdot U_{кз}$$

Режимы работы и выбор числа и мощности трансформаторов

С увеличением мощности трансформаторов растут токи короткого замыкания. Поэтому единичная мощность трансформаторов, питающих электроустановки до 1000 В, ограничивается допустимыми величинами тока короткого замыкания. Считается нецелесообразным применение трансформаторов со вторичным напряжением до 0,4 кВ мощностью более 2500 кВА. Число типоразмеров трансформаторов в цехе должно быть минимальным.

Однотрансформаторные подстанции рекомендуется применять при наличии в цехе (корпусе) приемников электроэнергии, допускающих перерыв электроснабжения на время доставки “складского” резерва, или при резервировании, осуществляемом на линиях низкого напряжения от соседних ТП, т. е. они допустимы для потребителей III и II категорий, а также при наличии в сети 380 - 660 В небольшого количества (до 20%) потребителей I категории.

Двухтрансформаторные подстанции рекомендуется применять в следующих случаях: при преобладании потребителей I категории и наличии потребителей особой группы; для сосредоточенной цеховой нагрузки и отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (компрессорных и насосных станций); для цехов с высокой удельной плотностью нагрузок (выше 0,5 - 0,7 кВА/м²).

При выборе количества и мощности цеховых трансформаторов учитывается потребляемая нагрузка цеха и удельная плотность нагрузки s_n . При плотности нагрузки до $s_n = 0,15$ кВА/м² целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1000 и 1600 кВА, при плотности 0,15 - 0,35 кВА/м² - мощностью 1600 кВА. При плотности более 0,35 кВА/м² целесообразность применения трансформаторов мощностью 1600 или 2500 кВА обосновывается технико-экономическими расчетами .

Ориентировочный выбор числа и мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности s_n нагрузки

$$s_n = S_p / F,$$

где S_p - расчетная нагрузка цеха (корпуса, отделения), кВА; F - площадь цеха (корпуса, отделения), м².

Оптимальная загрузка цеховых трансформаторов зависит от категории надежности потребителей электроэнергии, от числа трансформаторов и способа резервирования. Рекомендуется принимать следующие коэффициенты загрузки трансформаторов: для цехов с преобладающей нагрузкой I категории для двухтрансформаторных ТП $k_3 = 0,75 - 0,8$; для цехов с преобладающей нагрузкой II категории для однострансформаторных подстанций в случае взаимного резервирования трансформаторов на низшем напряжении $k_3 = 0,8 - 0,9$; для цехов с нагрузкой III категории $k_3 = 0,95 - 1$.