

ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
НАГРУЗОК, КОЭФФИЦИЕНТЫ ИХ  
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ,  
ПАРАМЕТРЫ  
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ.

---

□ Электрическая нагрузка – это электрическая мощность  $P(t)$  при равномерном потреблении электроэнергии  $W$  в течение времени  $t$ :

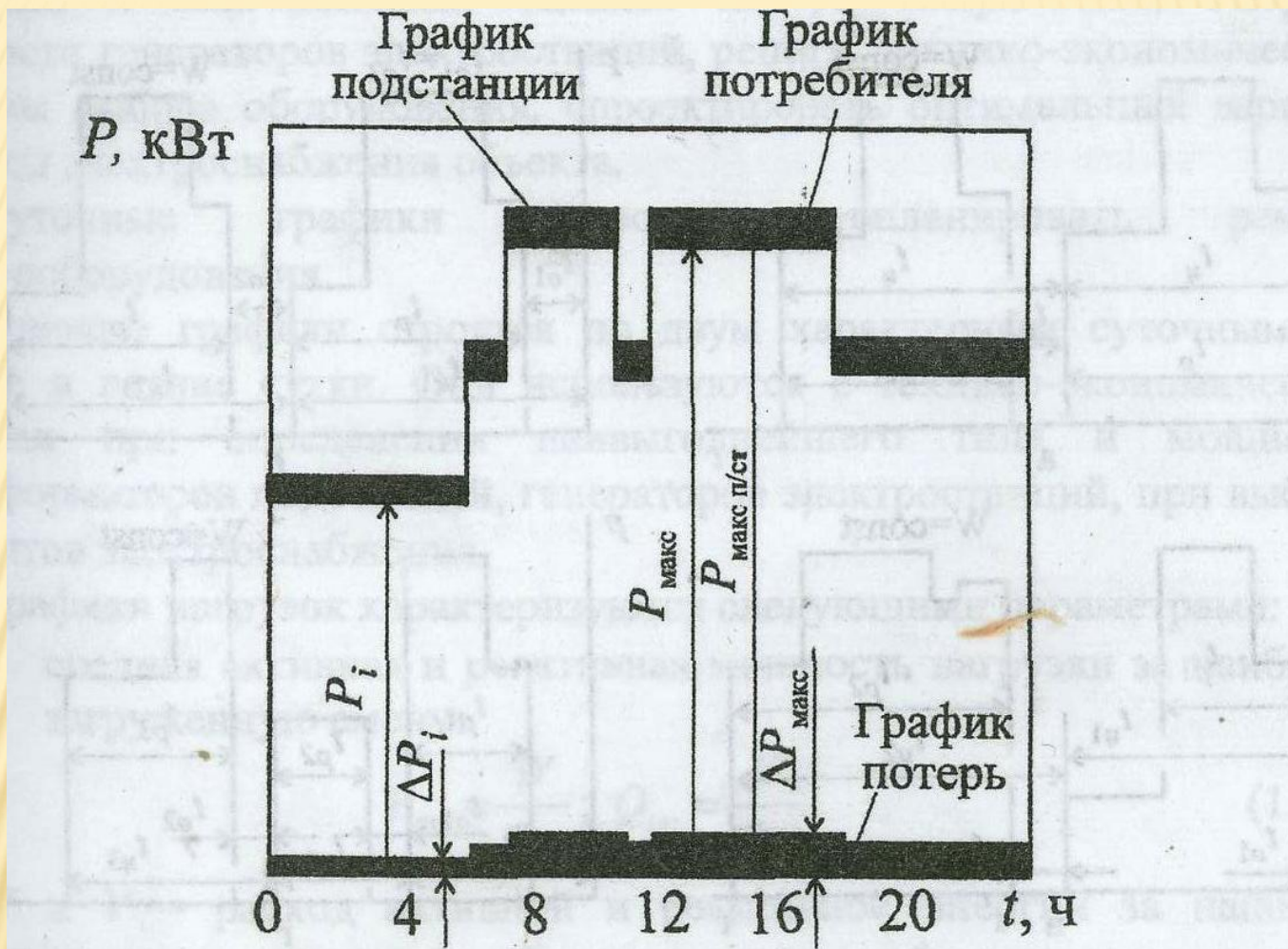
$$P=W/t$$

Для рационального проектирования необходимо знать изменение нагрузок в течение смены, суток, месяца, года.

График нагрузки – это кривая, показывающая изменение нагрузок за определенный промежуток времени.

- Графики строятся и анализируются за базисное время, кратное длительности законченного технологического цикла.
- Различают индивидуальные и групповые графики, графики активных и реактивных нагрузок.
- По продолжительности графики нагрузки строятся суточными и годовыми. При построении таких графиков необходимо определить графики потребителей и учесть потери мощности в электрооборудовании и в сети. Предприятия каждой отрасли имеют свой характерный график нагрузки, определяемый технологическим процессом производства.





Суммарный суточный график нагрузки промышленного предприятия

# ВИДЫ ГРАФИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕГУЛЯРНОСТИ ТЕХ ПРОЦЕССА:

- - периодические;
- -циклический;
- -нециклические;
- -нерегулярные.

У периодических графиков, соответствующих поточному производству, время цикла строго постоянно:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{о}}$$



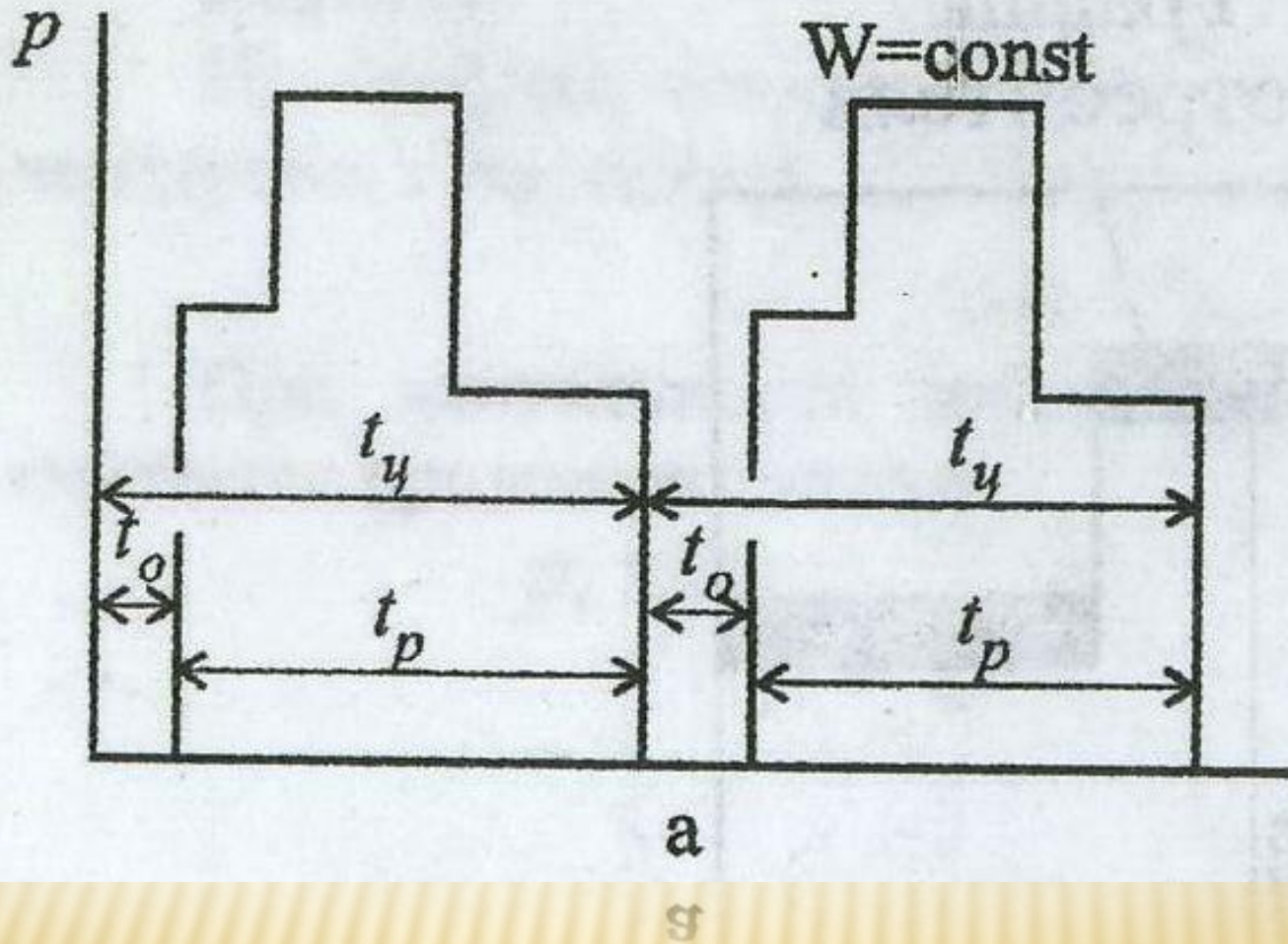


График периодических нагрузок

---

□ У циклических графиков, соответствующих непоточному производству, время остановок различно, но характер и продолжительность рабочих интервалов неизменны. За базисное время средняя продолжительность цикла составляет:

$$t_{ц\text{ ср}} = t_p + \sum t_{oi} / n,$$

где  $n$  - число циклов за базисное время;

$t_{oi}$  - время остановки внутри циклов



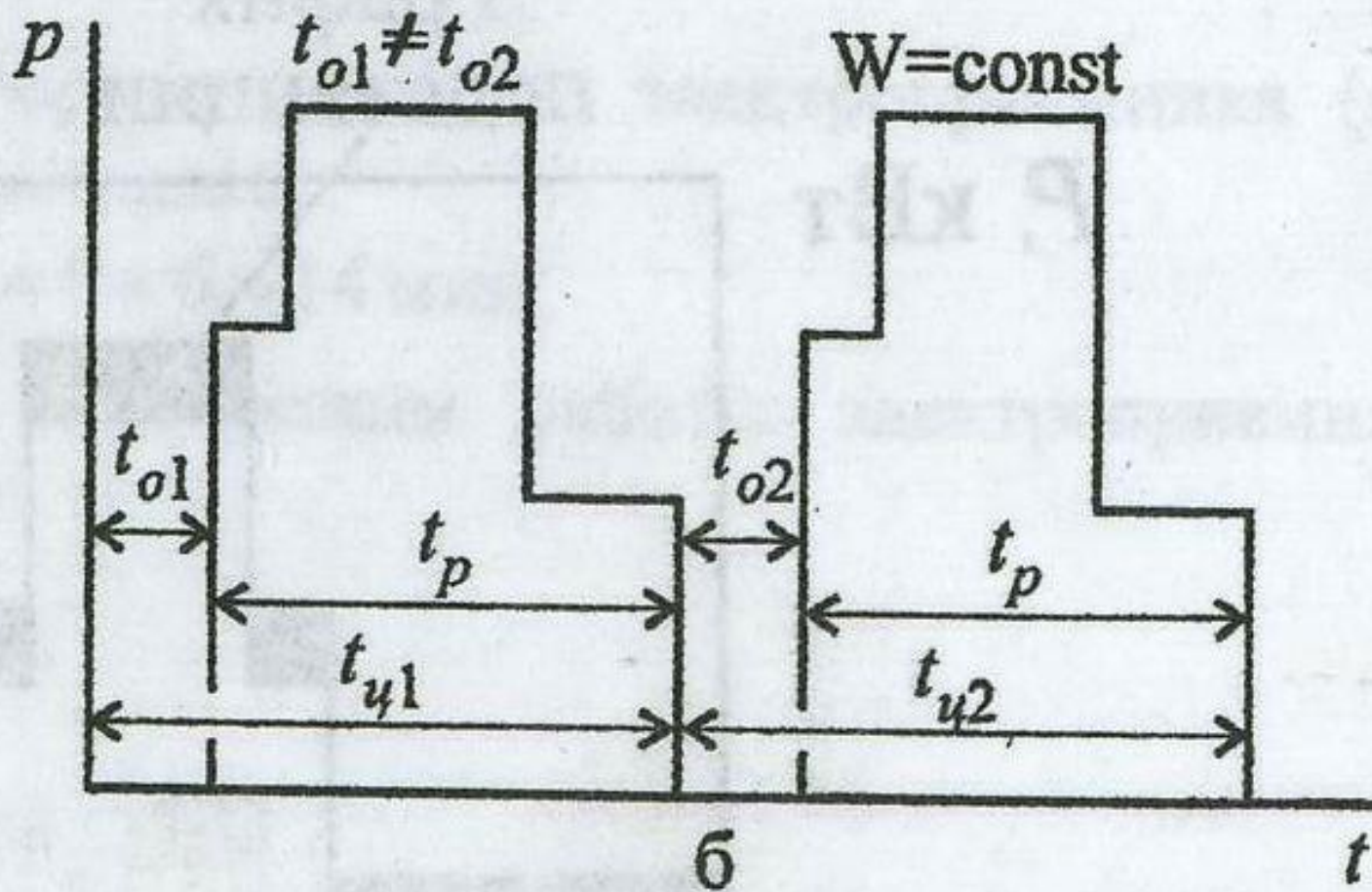
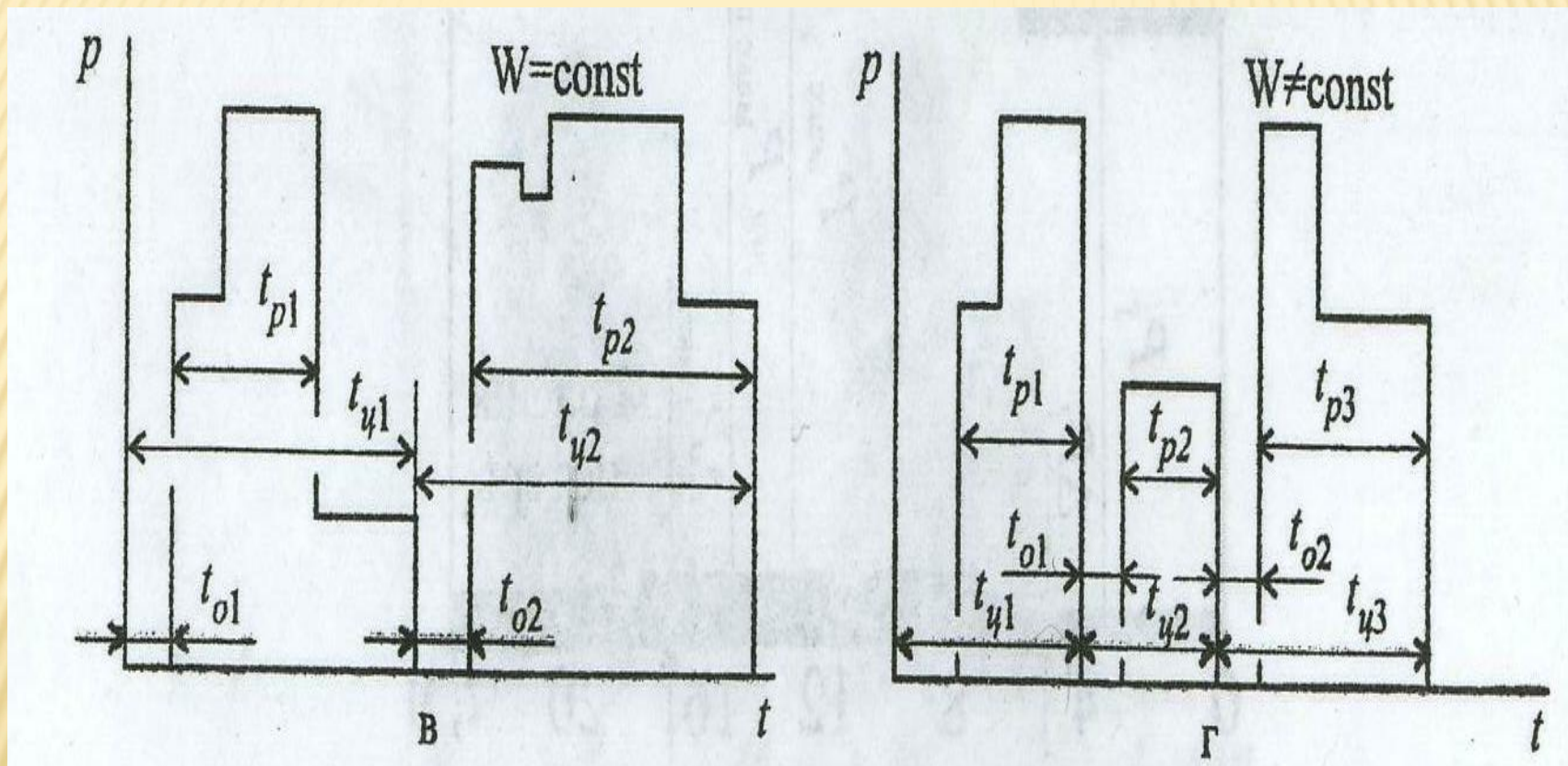


График циклических нагрузок



---

□ У нециклического и нерегулярного графиков циклов, рабочее время и время пауз различно. Для всех графиков, кроме нерегулярных, потребление электроэнергии за смену является величиной постоянной.



Графики «в» - нерегулярных и «г» – нециклических нагрузок.



# ГРУППОВЫЕ ГРАФИКИ НАГРУЗОК

- Групповые графики нагрузок определяются суммированием индивидуальных графиков нагрузок электроприемников, входящих в данную группу. По степени регулярности они подразделяются на:
  - периодические;
  - почти периодические;
  - нерегулярные.

- Индивидуальные графики энергоемких ЭП с резкопеременной толчковой нагрузкой необходимы для выбора электрических сетей этих электроприемников, расчета отклонений и колебаний напряжения, выбора мероприятий по улучшению качества электроэнергии.
- Групповые графики используются для проектирования и оптимизации систем электроснабжения.



□ Суточные графики нагрузок могут строиться по показаниям счетчиков. Для этого фиксируются показания активной и реактивной энергии через определенный интервал времени (30 или 60 мин) и определяют среднюю мощность нагрузки за этот интервал. Анализ графиков позволяет определить величину сечений проводов и жил кабелей, оценить потери напряжения, выбрать мощности генераторов электростанций, решить технико-экономические вопросы выбора оборудования, спроектировать оптимальный вариант электроснабжения объекта.

- Суточные графики позволяют спланировать ремонт электрооборудования.
- Годовые графики строятся по двум характерным суточным: за летние и зимние сутки.
- Графики нагрузок характеризуются следующими параметрами:
- - средняя активная и реактивная мощность нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = W/T_{\text{см}} \quad Q_{\text{см}} = V/T_{\text{см}},$$



□ где,  $W$  и  $V$  – расход активной и реактивной энергии за наиболее загруженную смену (наиболее загруженной является смена с максимальным расходом активной энергии);

$T_{см}$  – продолжительность смены.

- Среднесуточная мощность нагрузки (определяется аналогично, только за сутки);

- Максимальная нагрузка заданной продолжительности – наибольшая из всех средних значений за заданный промежуток времени;

---

□ Расчетная нагрузка по допустимому нагреву – такая длительная неизменная нагрузка элемента системы электроснабжения, которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по тепловому воздействию (при переменном графике нагрузок принимаются максимальные нагрузки заданной продолжительности, а при мало изменяющемся – средняя нагрузка);



- среднеквадратичная нагрузка:

$$P_{\text{срк}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (1.12)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – средние нагрузки за интервалы времени между замерами;  
 $t_1, t_2, \dots, t_n$  – принятый интервал времени между замерами.

Аналогично определяются реактивная и полная нагрузки.

# РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

□ Расчет электрических нагрузок выполняется с целью правильного выбора сечений линий и распределительных устройств, коммутационных и защитных аппаратов, числа и мощности трансформаторов на разных уровнях системы электроснабжения. В зависимости от места определения расчетных нагрузок и необходимой точности расчет выполняется различными методами.



# МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

---

- метод упорядоченных диаграмм показателей графиков нагрузок (по средней мощности и коэффициенту максимума);
- по установленной мощности и коэффициенту спроса;
- по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;
- по удельной нагрузке на единицу производственной площади;

- 
- - по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции за определенный период.
  - Определение расчетной нагрузки по удельным показателям дополняет первые три метода и позволяет проверить полученные по ним результаты.



# МЕТОД УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИАГРАММ

---

□ Основной метод расчета электрических нагрузок. По нему определяются максимальные расчетные нагрузки группы электроприемников. Для этого в пределах расчетного узла выделяют группу ЭП с переменным (группа А) и группу ЭП с практически постоянным графиком нагрузок (группа Б).

---

□ К ЭП с практически постоянным графиком нагрузок могут быть отнесены такие, у которых

$$K_{и} \geq 0,6; \quad K_{вкл}=1$$

$K_{зап} \geq 0,9$  - коэффициент заполнения суточного графика за наиболее загруженную смену.

При отсутствии таких данных ЭП относят к ЭП с переменным графиком нагрузки.



Максимальные расчетные нагрузки группы приемников с переменным графиком нагрузки определяются из выражений:

$$P_M = K_M \cdot P_{см}; \quad Q_M = K'_M \cdot Q_{см}; \quad S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (1.13)$$

где  $P_M$ ,  $Q_M$ ,  $S_M$  – максимальные активная, реактивная и полная нагрузки;  
 $K_M$  – коэффициент максимума активной нагрузки (справочные данные, например [2]);  $K'_M$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки:  $K'_M = 1,1$  при  $n_{эф} \leq 10$  и  $K'_M = 1$  при  $n_{эф} > 10$ ;

$P_{см}$ ,  $Q_{см}$  – средняя активная и реактивная мощности всей группы электроприемников за наиболее загруженную смену:

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см i} = \sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{ном i}; \quad Q_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (1.14)$$

где  $K_{ui}$  – коэффициент использования отдельного ЭП (справочные данные [1]);

$P_{ном}$  – номинальная мощность отдельного ЭП, приведенная к длительному режиму (резервные ЭП не учитываются);

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности (справочные данные [1]);



$K_M = f(K_u, n_{эф})$  – определяется по таблице или графикам [1, 2], может быть оценен по соотношению:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{эф}}} \sqrt{\frac{1 - K_u}{K_u}}, \quad (1.15)$$

где  $n_{эф}$  – эффективное число электроприемников;

$K_u$  – средневзвешенный коэффициент использования группы ЭП:

$$K_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}, \quad (1.16)$$

где  $P_{ном}$  – суммарная номинальная мощность ЭП всей группы.

$n_{\text{эф}} = f(n, m, K_w, P_{\text{ном}})$  может быть определено по соотношению:

$$n_{\text{эф}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{\text{ном } i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном } i}^2} = \frac{P_{\text{ном}}^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном } i}^2} \quad (1.17)$$

или одним из упрощенных способов,

где  $n$  – фактическое число электроприемников в группе;

$m$  – показатель силовой сборки в группе:

$$m = \frac{P_{\text{см max}}}{P_{\text{ном min}}}, \quad (1.18)$$

где  $P_{\text{ном max}}$ ,  $P_{\text{ном min}}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности наибольшего и наименьшего ЭП в группе.



□ Для электроприемников с практически постоянным графиком нагрузки максимальная расчетная нагрузка принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену.

$$P_M = P_{CM} \quad Q_M = Q_{CM}$$

Эффективным числом электроприемников называется такое число электроприемников однородных по режиму работы приемников одинаковой мощности, которое обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа фактически различных по номинальной мощности и режиму работы приемников.

# СПОСОБЫ УПРОЩЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

1. При четырех и более фактических ЭП в группе эффективное число приемников  $n_{эф}$  считается равным фактическому  $n$  при  $m \leq 3$  и любом  $K_{и}$ .

При определении  $n_{эф}$  исключаются те наименьшие ЭП группы, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5% суммарной номинальной мощности всей группы  $P_{ном}$ . При этом число исключенных ЭП не учитывается также и в величине  $n$ .



2. При  $m > 3$  и  $K_u \geq 0,2$  эффективное число электроприемников определяется по соотношению:

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}{P_{\text{ном max}}}. \quad (1.19)$$

В тех случаях, когда найденное по этой формуле  $n_{\text{эф}}$  оказывается больше, чем  $n$  фактическое, следует принимать  $n_{\text{эф}} = n$ .

□ При  $m > 3$  и  $K_i < 0,2$  эффективное число ЭП определяется с помощью кривых и таблиц.

1. Определить наибольший по номинальной мощности ЭП рассматриваемой группы;
2. Определить наиболее крупные ЭП, номинальная мощность которых равна или больше половины мощности наибольшего ЭП группы;
3. Определить число  $n_1$  и суммарную номинальную мощность  $P_{\text{ном}1}$  наибольших ЭП группы;



4. Определить число  $n$  и суммарную номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$  всех приемников группы;

5. Найти значения

$$n_{\text{ф}} = n_1/n \text{ и } P_{\text{ф}} = P_{\text{ном1}}/P_{\text{ном}};$$

5. По кривым или таблицам по найденным значениям  $n_{\text{ф}}$  и  $P_{\text{ф}}$  определить величину  $n_{\text{эф}}$ , а затем из выражения

$$n_{\text{эф ф}} = n_{\text{эф}}/n \quad \text{найти}$$

$$n_{\text{эф}} = n_{\text{эф ф}} n.$$

# МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА СПРОСА

□ Данный метод находит применение для предварительных расчетов общезаводских нагрузок, нагрузок узлов с высокими значениями числа электроприемников и/или их коэффициента использования.

Расчет выполняется по следующим соотношениям:



$$P_{расч} = K_c \cdot P_{ном}; Q_{расч} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg}\varphi; S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2} = \frac{P_{расч}}{\cos\varphi}. \quad (1.20)$$

Величина  $K_c$  принимается постоянной вне зависимости от числа и мощности отдельных электроприемников (справочные данные). Коэффициент спроса может быть определен по коэффициенту использования  $K_{и}$  для данной группы электроприемников при среднем значении коэффициента включения 0,8:

$K_{и}$	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$K_c$	0,50	0,60	0,65–0,70	0,75–0,80	0,85–0,90	0,92–0,95



Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения (цеха, корпуса, предприятия) определяется суммированием расчетных нагрузок отдельных групп ЭП, входящих в данный узел, с учетом коэффициента одновременности максимумов нагрузки  $K_{р.м}$ :

$$S_{расч} = K_{р.м} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{расч\ i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{расч\ i}\right)^2}, \quad (1.21)$$

где  $K_{р.м}$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузок отдельных групп электроприемников, принимаемый по таблице 1.2;

$\left(\sum_{i=1}^n P_{расч\ i}\right)$ ,  $\left(\sum_{i=1}^n Q_{расч\ i}\right)$  – сумма расчетных активных и реактивных нагрузок отдельных групп приемников, определенных по соотношению (1.20).



# МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ

□ Данный метод рекомендуется для группы ЭП с резкопеременной нагрузкой, колеблющейся с большой частотой. Расчетная нагрузка таких ЭП близка к среднеквадратичной. Кроме этого, может применяться для определения нагрузок на шинах низшего напряжения цеховых ТП при равномерных графиках нагрузок.

Расчет выполняется по следующим соотношениям:

$$P_{расч} = K_{\phi} \cdot P_{см}; Q_{расч} = K'_{\phi} \cdot Q_{см} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg}\varphi; S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2}, \quad (1.23)$$

где  $K_{\phi}$ ,  $K'_{\phi}$  – коэффициент формы соответственно графика активной и реактивной нагрузки, характеризует неравномерность графика во времени, определяется по выражениям таблице 1.2, в случае затруднения расчета –  $K_{\phi} = 1,0 \div 1,3$ .



# МЕТОД УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЕДИНИЦУ ПРОДУКЦИИ

□ Данный метод применяется при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени. Наиболее эффективен для производства с непрерывным технологическим процессом. Может быть использован для предварительных и поверочных расчетов, при технико-экономическом обосновании намеченных вариантов систем электроснабжения. Расчет выполняется по следующим соотношениям:

$$P_{расч} = \frac{M_{см} \cdot W_{а уд}}{T_{см}}, \quad (1.25)$$

где  $M_{см}$  – выпуск за смену единиц продукции;

$W_{а уд}$  – расход электроэнергии на единицу продукции, кВт·ч/ед;

$T_{см}$  – продолжительность смены.

Если удельный расход  $W_{а уд}$  известен в годовом объеме  $M$ , то

$$P_{расч} = \frac{M \cdot W_{а уд}}{T_{м}}, \quad (1.26)$$

где  $T_{м}$  – число часов использования максимума нагрузки.