

3. Графики электрических нагрузок.

Правильное определение электрических нагрузок является основой рационального построения и эксплуатации системы электроснабжения предприятия.

Нагрузка любых потребителей электроэнергии колеблется в течение суток, месяца, года, в зависимости от мощности подключённых электроприёмников, технологического режима. Графики нагрузок отражают колебания спроса на электроэнергию во времени (рис. 1.3).

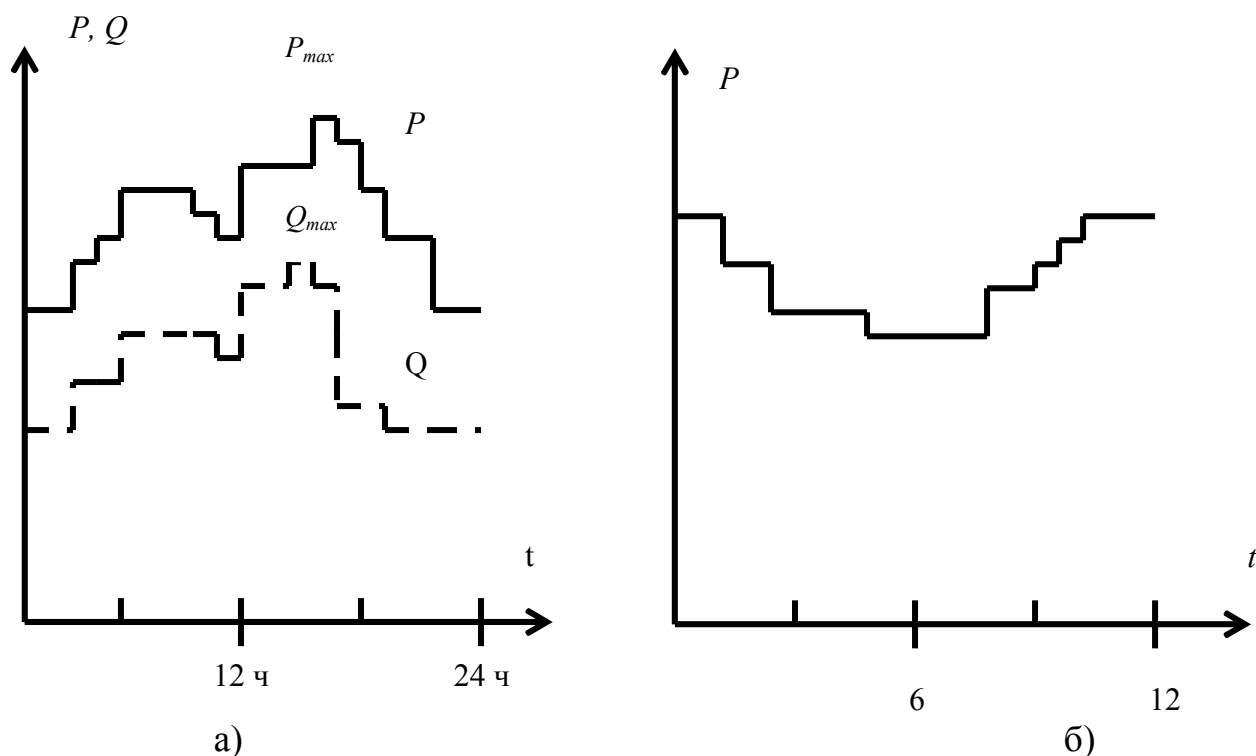


Рис. 1.3 Характерные суточные (а) и годовые (б) графики нагрузки.

Суммарная нагрузка отдельных потребителей электроэнергии изменяется во времени под воздействием большого числа факторов. Эти колебания могут быть регулярные и случайные. На суточных графиках нагрузки выделяют максимумы и минимумы, обычно нагрузка имеет минимум в ночные часы, а максимум – в утренние и вечерние часы. При построении недельного графика нагрузки минимальные значения имеют выходные дни. При рассмотрении годового графика нагрузки имеет место регулярное снижение нагрузки в летний период.

Такого рода колебания определяются циклами природных явлений (ночь, лето), технологическими особенностями энергопотребления, количеством смен и т. п.

На вышеуказанные регулярные и предсказуемые колебания нагрузок накладываются нерегулярные, которые вызываются случайными изменениями электрических нагрузок. Эти колебания, не изменяя общего характера регулярного режима электропотребления, приводят к дополнительной изменчивости потребительской нагрузки, к случайным набросам и сбросам нагрузки по отношению к регулярной нагрузке.

В связи с этим при прогнозировании режимов энергопотребления предусматривается разработка как графиков регулярных изменений нагрузки, так и вероятностных характеристик её случайных отклонений.

Оперировать графиками нагрузок для анализа электроснабжения предприятия удобней с помощью коэффициентов. Рассмотрим основные из них.

Коэффициент использования.

Данный коэффициент является основным показателем для расчёта нагрузки. Коэффициентом использования мощности активной мощности приёмника $k_{и,a}$ называется отношение средней активной мощности этого приёмника к её номинальному значению:

$$k_{и,a} = \frac{P_{ср}}{P_{ном}}. \quad (1.2)$$

Коэффициент использования определяется для суток, недели, месяца, года, тогда этот коэффициент называется плотностью графика электропотребления.

Показателем режима электропотребления за год в целом является продолжительность использования оборудования при его загрузке максимальной мощностью:

$$T_{max} = \frac{A_z}{P_{max}}, \quad (1.3)$$

где A_z – электроэнергия, потребляемая за год.

Аналогично определяются коэффициенты использования по реактивной мощности и току:

$$k_{и.p.} = \frac{q_c}{q_{ном}}, \quad (1.4)$$

$$k_{и.I.} = \frac{i_c}{i_{ном}}. \quad (1.5)$$

Коэффициент включения.

Это отношение продолжительности включения электроприёмника в цикле $t_в$ ко всей продолжительности цикла $t_ц$. Причём время включения в цикл складывается из времени работы t_p и времени холостого хода t_x :

$$k_в = \frac{t_в}{t_ц} = \frac{t_p + t_x}{t_ц} \quad (1.6)$$

Приблизённо значение $k_в$ определяется в эксплуатации с помощью электрического счётчика времени.

Коэффициент суточной неравномерности электропотребления.

Это отношение минимальной потребляемой активной мощности P_{min} к максимальной P_{max} за сутки:

$$k_{нер} = \frac{P_{min}}{P_{max}}. \quad (1.7)$$

С помощью этого коэффициента можно оценить ресурс электрооборудования.

Коэффициент загрузки.

Коэффициентом загрузки $k_{з,a}$ активной мощности оборудования называется отношение фактически потребляемой им средней мощности $p_{ср,в}$ к его номинальной мощности за время включения:

$$k_{ср,a} = \frac{p_{ср,в}}{p_{ном}} = \frac{k_{и,a}}{k_{в}}. \quad (1.8)$$

Аналогично находится коэффициент загрузки для реактивной мощности.

Коэффициент загрузки и коэффициент включения связаны непосредственно с технологическим процессом и изменяется с изменением режима электроприёмника.

Коэффициент формы графика нагрузок.

Это отношение среднеквадратичного значения мощности $S_{ск}(i_{ск})$ или тока приёмника за определённый период времени к среднему значению $S_{ср}(i_{ср})$ его за тот же период:

$$k_{\phi} = \frac{S_{ск}}{S_{ср}} = \frac{i_{ск}}{i_{ср}}. \quad (1.9)$$

Коэффициент формы характеризует неравномерность графика нагрузок во времени, и своё наименьшее значение, равное единице, он принимает при нагрузке, неизменной во времени.

4. Определение приведённого числа приёмников.

Большинство коэффициентов, описывающих графики нагрузок применимы как для отдельных электроприёмников, так и для групп электроприёмников. В случаях, когда потребляемая мощность электроприёмников в группе равна, то расчёт затруднений не вызывает. Когда мощность приёмников различна, следует привести все электроприёмники в группе к одинаковой мощности.

Под приведённым (эффективным) числом приёмников группы $n_{п}$, различных по номинальным мощностям и режиму работы понимается такое число однородных по режиму работы приёмников одинаковой мощности, которое обуславливает ту же расчётную нагрузку, что и данная рассматриваемая группа различных по мощности и режиму работы электроприёмников:

$$n = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{p_{ном,i}^2}{p_{ном}^2}}. \quad (1.10)$$

Согласно формуле, если все приёмники в группе имеют одинаковую мощность, то $n_{п}=n$, а если различную, то $n_{п}<n$.

5. Определение средних нагрузок.

Важное значение при расчёте электропотребления и оценки потерь электроэнергии имеют средняя мощность за наиболее загруженную смену $P_{см}$, $Q_{см}$ и среднегодовая мощность $P_{сг}$, $Q_{сг}$. Величины $P_{см}$, $Q_{см}$ находят исходя

из удельных расходов электроэнергии, которые известны для большинства производств.

Средняя активная мощность за наиболее загруженную смену $P_{см}$ определяется путём умножения суммарной номинальной мощности группы электроприёмников на их групповой коэффициент использования:

$$P_{см} = k_{и,а} P_{ном} \quad (1.11)$$

Средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену $Q_{см}$ может определяться:

- 1) путём умножения суммарной номинальной реактивной мощности группы приёмников на их групповой коэффициент использования:

$$Q_{см} = k_{и,р} Q_{ном} \quad (1.12)$$

- 2) путём умножения средней активной мощности $P_{см}$ на $tg\theta$, соответствующий групповому коэффициенту мощности $cos\theta$:

$$Q_{см} = P_{см} tg\theta, \quad (1.13)$$

где $tg\theta$ - это отношение реактивной мощности к активной ($tg\varphi = \frac{Q}{P}$).

Среднегодовая мощность, потребляемая предприятием находится из соотношения:

$$P_{сг} = \frac{A_{а,г}}{T_г}, \quad (1.14)$$

$$Q_{сг} = \frac{A_{р,г}}{T_г}, \quad (1.15)$$

где $A_{а,г}$, $A_{р,г}$ – активная и реактивная потребляемая электроэнергия за год, $T_г$ – годовой фонд рабочего времени.

6. Определение расхода электроэнергии.

В зависимости от цели расчёта расход электроэнергии определяется за год, за месяц и за наиболее загруженную смену. Годовой расход активной электроэнергии может быть найден из соотношения:

$$A_{а,г} = P_{сг} T_г = k_{с,а} P_{см} T_г. \quad (1.16)$$

Годовой фонд рабочего времени зависит от характера производства, сменности, продолжительности смены и других факторов, и определяется конкретно для каждого случая.

Сезонные изменения нагрузки при определении расхода электроэнергии следует учитывать поправочным коэффициентом.

7. Определение расчётных электрических нагрузок.

Одним из основополагающим этапом при проектировании системы электроснабжения предприятия является определение расчётных нагрузок, а не простое суммирование установленных мощностей. Расчётная максимальная мощность, потребляемая электроприёмниками предприятия, всегда меньше суммы номинальных мощностей этих приёмников. Это

объясняется неполной загрузкой мощностей электроприёмников, разновременностью их работы, обеспечением условий труда обслуживающего персонала. От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит степень капиталовложений при организации электроснабжения. Завышение ожидаемых нагрузок ведёт к удорожанию строительства, перерасходу материалов, неоправданному увеличению питающих мощностей. Занижение нагрузок, либо проектирование электроснабжения без учёта перспективного роста мощности производства может привести к дополнительным потерям мощности, перегрузке оборудования, либо к необходимости кардинальной перестройке системы электроснабжения.

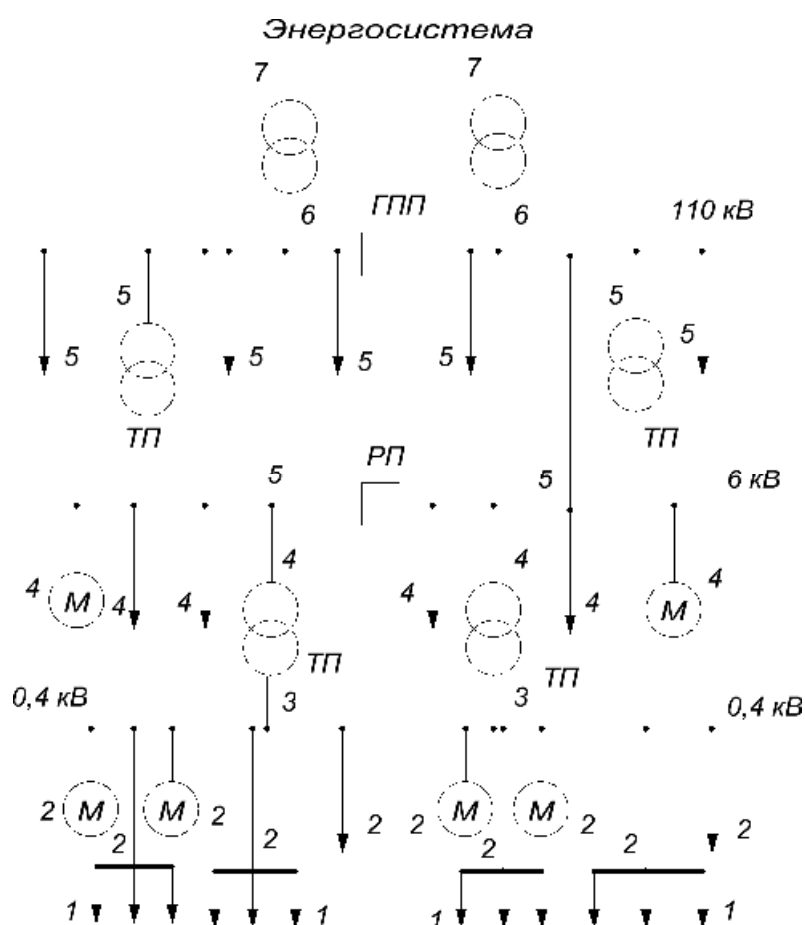


Рис. 1.4 Схема характерных мест определения расчётных нагрузок в системе электроснабжения предприятия.

Рассмотрим характерные места нагрузок на схеме (рис.1.4).

1. Определение расчётной нагрузки, создаваемой одним приёмником напряжением до 1000 В (нагрузка 1). Определение этой нагрузки необходимо для выбора сечения питающего её кабеля, и аппарата, при помощи которого производится присоединение приёмника к распределительной линии.

2. Определение расчётной нагрузки, создаваемой группой приёмников, напряжением до 1000 В (нагрузка 2). Определение данной

нагрузки необходимо для выбора сечения радиальной линии, питающей данную группу приёмников, и аппарата, присоединяющего данную группу к распределительному шкафу.

3. Определение расчётной нагрузки, создаваемой на шинах напряжения до 1000 В цеховой подстанции (нагрузка 3). Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения линий цеховой ТП и питающих указанные приёмники, и аппарата присоединения отходящих линий.

4. Определение общей расчётной нагрузки отдельной группы электроприёмников на стороне 6 кВ (нагрузка 4). Определение данной нагрузки необходимо для выбора числа и мощности цеховых трансформаторов, сечения шин цеховой ТП, сечения проводов отходящих линий, а так же коммутационных аппаратов.

5. Определение расчётной нагрузки, создаваемой на шинах 6 кВ распределительных пунктов РП отдельными приёмниками (нагрузка 5), либо отдельными цеховыми трансформаторами с учётом потерь в трансформаторах. Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечений проводов линий, отходящих от шин главной понизительной подстанции (ГПП) и питающих цеховые трансформаторы, либо отдельные приёмники на напряжение 6 кВ, а так же коммутационной аппаратуры на отходящих линиях.

6. Определение общей расчётной нагрузки на шинах 6 кВ каждой секции ГПП (нагрузка 6). Определение данной нагрузки необходимо для выбора числа и мощности главных питающих трансформаторов, выбора сечения шин ГПП, а так же коммутационной аппаратуры.

7. Определения расчётной нагрузки на стороне высшего напряжения 110 кВ с учётом потерь в главных трансформаторах. Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечений линий, питающих предприятие и аппаратов присоединения питающих линий.

При определении расчётных нагрузок должны учитываться ряд положений:

- графики нагрузок предприятия изменяются во времени: растут в связи с расширением производства и уменьшаются с повышением производительности труда, применением передовых технологий,
- предприятие рассчитывается функционировать определённое время, после которого необходимо либо реконструировать предприятие, либо его ликвидировать.

Рассмотрим основные методы определения расчётных нагрузок.

Метод упорядоченных диаграмм.

Метод применим, когда известны номинальные данные всех электроприёмников предприятия с учётом их размещения на территории предприятия.

Определяют среднюю нагрузку групп приёмников за максимально загруженную смену $P_{см}$ и расчётный получасовой максимум P_p :

$$P_{см} = k_u P_{ном}. \quad (1.17)$$

Расчётная максимальная нагрузка:

$$P_p = k_m P_{см}, \quad (1.18)$$

где k_m – коэффициент максимума, в данном случае активной мощности, принимаемой по графикам, в зависимости от коэффициента использования и эффективного числа электроприёмников. Коэффициент максимума характеризует превышение максимальной нагрузки над средней за максимально загруженную смену. Величина, обратная коэффициенту максимума называется коэффициентом заполнения графика нагрузки $k_{зан}$:

$$k_m = \frac{P_p}{P_{см}} = \frac{1}{k_{зан}}. \quad (1.19)$$

Расчёты нагрузок проводят для активных и для реактивных мощностей.

Недостаток метода упорядоченных диаграмм в том, что он не содержит элемента прогнозирования нагрузок.

Порядок расчёта:

1) все электроприёмники разбиваются на однородные по режиму работы группы с одинаковыми значениями коэффициентов использования и коэффициентов мощности,

2) в каждой группе электроприёмников и по узлу в целом находят пределы их номинальных мощностей и приведённое число приёмников, при этом все электроприёмники приводятся к ПВ=100%,

3) подсчитывают номинальную мощность узла,

4) определяют для групп электроприёмников коэффициент использования и коэффициент мощности $\cos\theta$ по справочным таблицам и по характеристикам оборудования,

5) определяют активную (по 1.17) и реактивную потребляемую мощность за наиболее загруженную смену:

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \theta, \quad (1.20)$$

6) определяют суммарную активную и реактивную нагрузку для узла для разнородных групп электроприёмников,

7) определяют средневзвешенное значение коэффициента использования узла и коэффициента мощности по $\operatorname{tg} \theta_{уз}$:

$$k_{у.уз} = \frac{P_{см.уз}}{\sum_1^n P_{ном}}, \quad (1.21)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{см.уз}}{P_{см.уз}}, \quad (1.22)$$

8) определяют эффективное приведённое число электроприёмников n_p ,

9) с учётом коэффициента максимума определяют расчётную максимальную нагрузку,

10) определяют полную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (1.23)$$

$$\text{и расчётный ток : } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (1.24)$$

Метод расчёта нагрузок по удельному потреблению электроэнергии на единицу продукции.

Определяется годовой расход активной электроэнергии:

$$W_a = \omega_0 M, \quad (1.25)$$

а по нему рассчитывают нагрузку:

$$P_p = \frac{W_a}{T_z}, \quad (1.26)$$

где M – годовое число единиц продукции, ω_0 – удельный расход электроэнергии на единицу продукции, T_z – годовой фонд рабочего времени.

Удельный расход электроэнергии на единицу продукции определяют на основе анализа данных о расходе энергии на аналогичных предприятиях.

Метод определения расчётной нагрузки по коэффициенту формы.

Расчётная нагрузка определяется из следующих выражений:

$$P_p = k_{ф.а} P_{см}, \quad (1.27)$$

$$Q_p = k_{ф.а} Q_{см}, \quad (1.28)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (1.29)$$

В условиях эксплуатации среднюю мощность можно определить по показаниям счётчиков активной и реактивной энергии и сопоставить со средней нагрузкой, определённой расчётным путём.

Существуют и другие методы расчёта нагрузки предприятия: метод удельной плотности электрической нагрузки на единицу производственной площади, метод по установленной мощности и др.

Вопросы для самопроверки.

1. Указать категории приёмников электрической энергии и их режимы работы.
2. Что такое «график электрической нагрузки»? Для чего он строится?
3. Указать основные параметры графика электрических нагрузок. Пояснить их физический смысл.
4. Какие методы существуют для определения электропотребления предприятия? Указать порядок расчёта электрических нагрузок.