

Лекция 4

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Учебные вопросы:

1. Основные методы расчёта электрических нагрузок.
2. Вспомогательные методы расчёта электрических нагрузок.
3. Определение пиковых нагрузок.

Введение

В практике проектирования систем электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок, которые подразделяют на основные и вспомогательные. В первую группу входят методы расчёта по:

- установленной мощности и коэффициенту спроса;
- средней мощности и отклонению расчётной нагрузки от средней (статистический метод);
- средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;
- средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм).

Вторая группа включает в себя методы расчёта по:

- удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объёме выпуска продукции за определённый период времени;
- удельной нагрузке на единицу производственной площади.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчётов. При проведении укрупнённых расчётов (в частности, на стадии проектного задания) пользуются методами, базирующимися на данных о суммарной установленной мощности отдельных групп приёмников – отделения, цеха, корпуса. Методы, основанные на использовании данных о единичных приёмниках, относят к наиболее точным.

1. Основные методы расчёта электрических нагрузок

Метод коэффициента спроса наиболее прост, широко распространён, с него начинают расчёт нагрузок. Для определения расчётных нагрузок по этому методу необходимо знать установленную мощность P_o группы приёмников и коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и спроса $K_{\tilde{n},\tilde{a}}$ данной группы, определяемые по справочным материалам.

$$P_p = P_{\max} = K_{c.a} \cdot P_y; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \frac{P_p}{\cos\varphi},$$

где $K_{c.a}$ – коэффициент спроса активной мощности данной характерной группы приёмников, принимаемый по справочным материалам;

$\operatorname{tg}\varphi$ – соответствует характерному для данной группы приёмников $\cos\varphi$, определяемому по справочным материалам.

Коэффициент спроса $K_{c,a}$ принимается одинаковым для электроприёмников одной группы (работающих в одном режиме) независимо от числа и мощности отдельных приёмников.

Расчетную нагрузку узла системы электроснабжения, содержащего группы приёмников электроэнергии с различными режимами работы, определяют с учётом разновременности максимумов нагрузки отдельных групп

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{p,i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{p,i}\right)^2} \cdot K_{p,\max}$$

где использованы суммарные расчётные нагрузки P и Q , а $K_{p,\max}$ – коэффициент разновременности максимумов нагрузок отдельных групп приёмников.

Значение $K_{p,m}$ можно приближенно принимать равным 0,85-1,0 в зависимости от места нахождения данного узла в системе электроснабжения предприятия. При этом суммарная расчётная нагрузка узла системы электроснабжения не должна быть меньше его средней нагрузки.

Статистический метод расчёта нагрузок. По этому методу расчётную нагрузку группы приёмников определяют двумя интегральными показателями: средней нагрузкой $P_{cp.T}$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma_{cp.T}$ из уравнения

$$P_{p.T} = P_{cp.T} \pm \beta \sigma_{cp.T},$$

где β – принятая кратность меры рассеяния, а индекс T указывает на отношение величины к длительности интервала осреднения нагрузки; σ – среднеквадратичное отклонение.

Для группового графика средняя нагрузка при достаточно большом количестве отрезков m определяется по выражению:

$$P_{cp.T} = \frac{(p_1 + p_2 + \dots + p_m)}{m},$$

где m – число отрезков длительностью $T = 3T_0$, на которое разбит групповой график нагрузки, построенный для достаточно длительного периода времени.

Среднеквадратическое отклонение для группового графика нагрузок определяют по формуле

$$\sigma_{cp.T} = \frac{\sqrt{(p_1 - P_{cp.T})^2 + (p_2 - P_{cp.T})^2 + \dots + (p_m - P_{cp.T})^2}}{m}.$$

Вероятность того, что средняя нагрузка любой группы приёмников превзойдет $P_{p,T}$, определяется по справочным данным.

Статистический метод позволяет определять расчётную нагрузку с любой принятой вероятностью её появления. Применение этого метода целесообразно для определения нагрузок по отдельным группам и узлам приёмников электроэнергетики напряжением до 1 кВ (1УР-3УР).

Определение расчётной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы. В основе метода лежит равенство расчётной и среднеквадратической нагрузок. Для групп приёмников с повторно-кратковременным режимом работы принятое допущение справедливо во всех случаях. Оно приемлемо также для групп приёмников с длительным режимом работы, когда число приёмников в группе достаточно велико и отсутствуют мощные приемники, способные изменить равномерный групповой график нагрузок.

Данный метод может применяться для определения расчётных нагрузок цеховых шинопроводов, на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторных подстанций, на шинах РУ напряжением 10 кВ, когда значения коэффициента формы находятся в пределах 1-1,2. Расчётную нагрузку группы приёмников определяют из выражений:

$$P_p = K_{\phi,a} P_{см}; \quad Q_p = K_{\phi,p} Q_{см} \text{ или } Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi; \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

где $K_{\phi,a}$, $K_{\phi,p}$ – соответственно коэффициент формы по активной и реактивной мощности.

Значения коэффициентов K_{ϕ} достаточно стабильны для цехов и заводов с малоизменяющейся производительностью. Поэтому при проектировании коэффициент формы принимают по экспериментальным данным, полученным для действующих предприятий с аналогичной технологией. В случае отсутствия экспериментальных данных можно принимать $K_{\phi} = 1,1-1,2$. При этом наименьшие значения соответствуют высшим ступеням системы электроснабжения.

Средние нагрузки за наиболее загруженную смену $P_{см}$ и $Q_{см}$ для определения расчётной нагрузки по коэффициенту формы определяют любым из способов:

- по установленной мощности и коэффициенту использования;
- по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции и количеству продукции, выпускаемой за смену;

- в условиях эксплуатации – по показаниям счётчиков активной и реактивной энергии.

Метод упорядоченных диаграмм. В 80-е годы трансформировался в расчёт нагрузок **по коэффициенту расчётной активной мощности**. При наличии данных о числе электроприёмников, их мощности, режимах работы его рекомендуют применять для расчёта элементов системы электроснабжения 2УР, 3УР (провод, кабель, шинопровод, низковольтная аппаратура), питающих силовую нагрузку до 1 кВ.

По этому методу расчётную активную нагрузку приёмников электроэнергии определяют по средней мощности и коэффициенту максимума из выражения

$$P_p = K_{m,a} P_{см} = K_{m,a} K_{u,a} \sum_{i=1}^n p_{ном,i},$$

где P_p – расчётная активная нагрузка, кВт;

K_m – коэффициент максимума активной нагрузки;

$P_{см}$ – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт.

Аналогично для расчётной реактивной и полной нагрузок:

$$Q_p = K_{m,p} \cdot Q_{см};$$

$$S_p = K_m \cdot S_{см}.$$

Средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену может быть определена из выражения:

$$P_{см} = K_u \cdot P_n; \quad Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где K_u – коэффициент использования электроприёмников, определяется на основании опыта эксплуатации по таблице;

P_n – номинальная активная групповая мощность, приведённая к длительному режиму, без учёта резервных электроприёмников, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности;

Значение коэффициента максимума K_m зависит от коэффициента использования $K_{u,a}$ данной группы приёмников и эффективного числа приёмников $n_{эф}$. Под *эффективным числом приёмников* группы различных по номинальной мощности и режиму работы приёмников понимают число однородных по режиму работы приёмников одинаковой мощности, которое

обуславливает ту же расчетную нагрузку, что и данная рассматриваемая группа различных по номинальной мощности и режиму работы приемников:

$$n_{эф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_{ном.i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_{ном.i}^2}.$$

Расчётную реактивную нагрузку по этому методу принимают равной:

- при $n_{эф} \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{ср};$$

- при $n_{эф} > 10$

$$Q_p = Q_{ср}.$$

В методе упорядоченных диаграмм принята допустимая для инженерных расчётов погрешность, равная 10 %. Это требует тщательного анализа исходных данных и результатов расчёта.

2. Вспомогательные методы расчёта электрических нагрузок

Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции. Ряд приёмников электроэнергии характеризуется неизменными или мало изменяющимися графиками нагрузок. К таким электроприёмникам относятся электроприводы вентиляторов, насосов, преобразовательных агрегатов электролизных установок, печи сопротивления, электроприёмники бумажной и химической промышленности, поточно-транспортных систем.

Для приёмников с неизменной или мало изменяющейся во времени нагрузкой расчётная нагрузка совпадает со средней за наиболее загруженную смену и может быть определена по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объёме выпуска продукции.

$$P_p = P_{см} = \frac{W_y \cdot \Pi_{см}}{T_{см}},$$

где W_y – удельный расход электроэнергии на единицу продукции, кВт-ч;

$\Pi_{см}$ – производительность смены (количество продукции, выпускаемой за смену) или установки за смену, ед.;

$T_{см}$ – продолжительность наиболее загруженной смены, ч.

При наличии данных об удельных расходах электроэнергии на единицу

продукции в натуральном выражении W_y и годовом объёме выпускаемой продукции P_z цеха (предприятия в целом) расчётную нагрузку определяют по формуле

$$P_p = \frac{W_y \cdot P_z}{T_{\max, \text{ц}}},$$

где $T_{\max, \text{ц}}$ – число часов использования максимума активной нагрузки цеха (принимается по отраслевым инструкциям и справочным данным).

Метод удельной нагрузки на единицу производственной площади применяют при проектировании универсальных сетей машиностроения, характеризующихся большим числом приёмников малой и средней мощности, равномерно распределённых по площади цеха. Универсальные сети выполняют магистральными шинопроводами и прокладывают с учётом возможных перемещений технологического оборудования.

Расчётную нагрузку группы приёмников определяют по формуле

$$P_p = p_y F,$$

где p_y – удельная расчётная мощность на 1 м^2 производственной площади, кВт/м²;

F – площадь размещения приёмников группы, м².

Метод определения расчётной нагрузки по удельной нагрузке на единицу производственной площади применим для универсальных сетей цехов малого и среднего машиностроения, которые характеризуются большим количеством приёмников малой мощности, более или менее равномерно распределённых на производственной площади цехов.

Под универсальными сетями понимают такие сети, которые без переделок удовлетворяют любым изменениям технологического процесса и перестановками оборудования.

3. Определение пиковых нагрузок

Пиковыми называются максимальные нагрузки длительностью 1-2 с. Величина пикового тока используется при расчёте колебаний напряжения, выборе вставок защит, для проверки на самозапуск двигателей. Пиковый ток группы электродвигателей с длительным режимом работы определяется как арифметическая сумма наибольшего из пусковых токов двигателей, входящих в группу, и расчётного (среднего) тока нагрузки всей группы приёмников за

вычетом расчётного тока двигателя, имеющего наибольший пусковой ток:

$$I_{\text{пик}} = i_{n,\text{max}} + (I_p - k_u i_{\text{ном. max}}),$$

где $i_{n,\text{max}}$ – наибольший из пусковых токов двигателей в группе;

$i_{\text{ном. max}}$ – номинальный (приведенный к ПВ = 100 %) ток;

k_u – коэффициент использования двигателя;

I_p – расчётный ток нагрузки всех электроприёмников (ЭП) группы.

Если в группе имеются достаточно мощные синхронные двигатели, а число двигателей в группе мало и их номинальные мощности резко различаются, пиковый ток может быть определён более точно:

$$I_{\text{пик}} = i_{n,\text{max}} + k'_{\text{max},a} \frac{\sqrt{(P_{\text{ср. max}} - p_{\text{ср. max}})^2 + (Q_{\text{ср. max}} - q_{\text{ср. max}})^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

где $P_{\text{ср. max}}$, $Q_{\text{ср. max}}$ – соответственно суммарные средние максимальные активная и реактивная нагрузки ЭП всей группы за наиболее загруженную смену;

$k'_{\text{max},a}$ – коэффициент максимума по активной мощности для группы ЭП без учёта двигателя, имеющего наибольший пусковой ток, может быть принят равным коэффициенту максимума по активной мощности, найденному для всей группы;

$P_{\text{ср. max}}$, $q_{\text{ср. max}}$ – максимальные средние активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену двигателя, имеющего наибольший пусковой ток.

В качестве наибольшего пикового тока одного приёмника принимаются для двигателей – пусковой ток. Для печных и сварочных трансформаторов – пиковый ток по паспортным данным. При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

- для АД с короткозамкнутым ротором и СД – 5-кратному номинальному току;
- для двигателей постоянного тока и АД с фазным ротором – 2-2,5-кратному номинальному току;
- для печных и сварочных трансформаторов – не менее 3-кратного номинального тока.

Пиковый ток группы двигателей, которые могут включаться одновременно, необходимо принимать равным сумме пусковых токов этих двигателей.

Для ламп накаливания и печей сопротивления мощностью до 500 Вт пиковый ток $I_{\text{пик}}$ равен I_r , так как толчки при включении этих элементов кратковременны и влияния на качество электрической энергии практически не оказывают. Для более мощных ламп накаливания и ртутно-дуговых ламп кратность пикового тока достигает 12-14, что в некоторых случаях приводит к отключению автоматов и перегоранию предохранителей.

Для дуговых сталеплавильных печей пиковые нагрузки возникают при обвалах шихты на электроды в период расплава и при эксплуатационных коротких замыканиях. Величина пикового тока достигает 3-3,5 $I_{\text{ном}}$ при длительности до нескольких секунд, пока не сработает автоматика подъёма электродов.

Литература

1. Фёдоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергоатомизда, 2005. – 413 с.
3. Герасименко А.Н. Передача и распределение электрической энергии. М.: Феникс, 2006. – 718 с.