

Выбор места расположения питающих подстанций.

Цель лекции:

- ознакомление с методами определения центра электрических нагрузок,
- методика определения зоны рассеяния центра электрических нагрузок,
- выбор местоположения ГПП на территории предприятия с учётом его перспективы.

Подстанция, будь то ГПП, либо ТП является одним из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия. Поэтому оптимальное размещение подстанций на территории предприятия является наиважнейшим вопросом. Проектирование систем электроснабжения предприятия начинается, когда уже известен генеральный план проектируемого предприятия с расположением производственных цехов, зданий и сооружений, а так же подъездными путями. Расположение всех строений обусловлено технологическим процессом предприятия.

На генеральном плане указываются расчётные мощности всего предприятия. Кроме этого известны графики электрических нагрузок по каждому цеху, режимы работы электроприёмников и сменность предприятия. Первоначальной и важнейшей задачей является оптимальное размещение ГПП и ТП на территории. Это означает, что размещение всех подстанций должно соответствовать наиболее рациональному сочетанию капитальных затрат на сооружение системы электроснабжения и эксплуатационных расходов.

Для решения поставленной задачи на генеральный план промышленного предприятия наносится картограмма нагрузок.

1. Картограмма нагрузок.

Картограмма нагрузок предприятия представляет собой размещённые на генеральном плане окружности. Площади, ограниченные этими окружностями соответствуют расчётным нагрузкам участка. Для каждого цеха или отдельного участка наносится своя окружность, причём центр окружности совпадает с центром нагрузки цеха. Центр нагрузок цеха, или всего предприятия, является символическим центром потребления электрической энергии цеха или предприятия. ГПП, цеховые ТП поэтому следует располагать как можно ближе к центру нагрузок, так как это позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электрической энергии и значительно сократить протяжённость, как распределительных сетей высокого напряжения, так и цеховых

распределительных сетей низкого напряжения, уменьшить расход проводникового материала и снизить потери электрической энергии.

Картограмма нагрузок позволяет проектировщику достаточно наглядно представить распределение нагрузок на территории промышленного предприятия. Как уже отмечалось, картограмма нагрузок предприятия состоит из окружностей, и площадь, ограниченная окружностью πr^2 в выбранном масштабе m равна расчётной нагрузке соответствующего цеха P_i :

$$P_i = \pi r^2 m, \quad (8.1)$$

откуда радиус:

$$r = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (8.2)$$

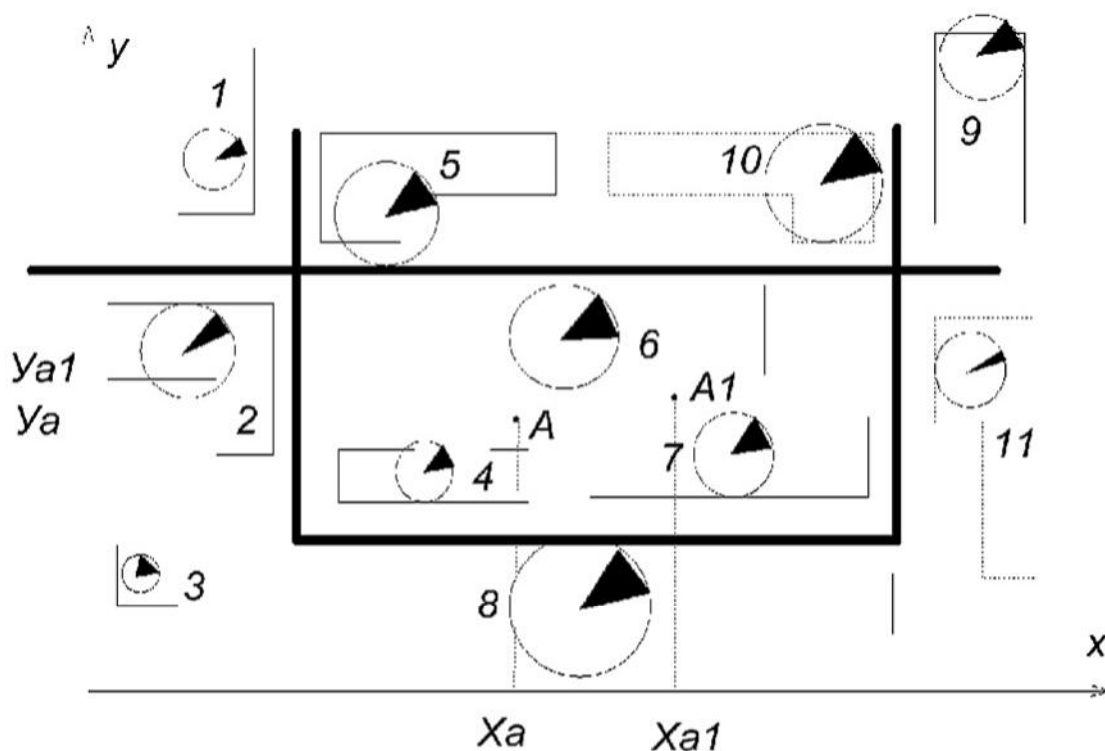


Рис. 8.1 Картограмма нагрузок цехов промышленного предприятия для активной нагрузки.

Пунктиром нанесены цеха, которые должны быть построены с учётом перспективы развития. Точка А – центр нагрузок без учёта расширения производства, А1 – центр нагрузок с учётом расширения.

На рис. 8.1 изображена картограмма активных нагрузок промышленного предприятия с учётом его возможного расширения. Площадь круга характеризует величину всей нагрузки цеха, а площадь сектора – величину осветительной нагрузки. В этом случае картограмма даёт представление не только о значении нагрузок, но и об их структуре. Картограммы следует наносить на генеральный план предприятия отдельно для активной и для реактивной нагрузок (рис 8.2). Это обусловлено тем, что

питание активных и реактивных нагрузок производится от разных источников.

Питание активных нагрузок обеспечивается обычно от подстанций энергосистемы или от собственной электростанции. Питание реактивных нагрузок осуществляется от конденсаторных батарей, располагаемых в местах потребления реактивной мощности, либо от синхронных компенсаторов, которые также располагаются, как правило, вблизи мест потребления реактивной мощности. Неправильный выбор места установки синхронных компенсаторов вызывает перемещение потоков реактивной мощности по элементам системы электроснабжения предприятия и вызывает потери электроэнергии.

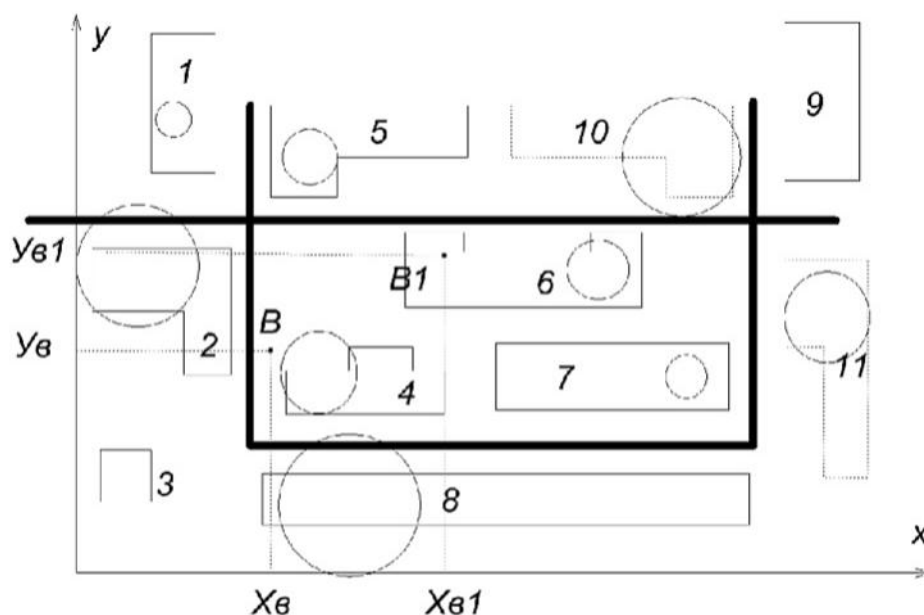


Рис. 8.2. Картограмма нагрузок цехов промышленного предприятия для реактивной нагрузки.

Точка В – центр нагрузок без учёта расширения производства, В1 – центр нагрузок с учётом расширения.

Картограмма для активных нагрузок предназначена для выбора рационального места расположения ГПП. Картограмма реактивных нагрузок помогает определить рациональное размещение компенсирующих устройств в конкретной системе электроснабжения предприятия.

2. Определение условного центра электрических нагрузок.

В настоящее время существует ряд методов для аналитического определения центра электрических нагрузок.

Первый рассматриваемый метод позволяет определить центр нагрузок цеха приближённо. Так, если считать нагрузки цеха равномерно распределёнными по площади цеха, то центр нагрузок можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане. Если учитывать действительное распределение нагрузки в цехе, то центр нагрузок

уже не будет совпадать с центром тяжести фигуры цеха, и нахождение центра нагрузок сведётся к определению центра тяжести данной системы масс.

Наличие многоэтажных зданий цехов требует учитывать третью координату z .

Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками цехов P_i , координаты их центра можно определить:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (8.3)$$

Как показала практика проектирования систем электроснабжения, учёт третьей координаты z не требуется.

Этот метод отличается простотой, наглядностью, но точность расчётов лежит в пределах 10 %.

Разновидностью первого метода является метод, учитывающий не только электрические нагрузки потребителей, но и продолжительность работы T_i этих потребителей в течение расчётного периода времени:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i} \quad (8.4)$$

Другие методы являются более трудоёмкими, особенно в сложных системах электроснабжения, но они могут быть использованы, когда необходима высокая точность расчётов.

Следует учесть то обстоятельство, что линии, которые связывают потребителей нагрузок с подстанцией (ГПП или ТП), координаты которой мы находим, принимаются прямолинейными. В действительности, если схема электроснабжения задана, то в зависимости от характера технологического процесса, расположения других коммуникаций и других факторов, конфигурация распределительной сети предприятия будет такова, что линии будут отклоняться от прямолинейных.

Все известные методы нахождения центра нагрузок сводятся к тому, что центр определяется как некоторая постоянная точка на генплане промышленного предприятия. Но, строго говоря, центр электрических нагрузок постоянно изменяет своё место расположение, например, из-за включения и отключения потребителей. Поэтому найденный центр нагрузок следует рассматривать как условный центр, так как определение его ещё не решает до конца задачи выбора местоположения подстанций.

Постоянное изменение местоположения центра нагрузок объясняется следующими причинами:

- 1) изменениями потребляемой отдельным приёмником, цехом мощности в соответствии с графиком нагрузок; график нагрузок

постоянно претерпевает изменения с внедрением новых производственных процессов, внедрением нового оборудования и т.д.;

- 2) изменениями сменности предприятия;
- 3) развитием предприятия во времени.

Поэтому центр нагрузок описывает на генплане предприятия фигуру сложной формы, и поэтому правильнее говорить о зоне рассеяния центра нагрузок.

Для построения зоны рассеяния центра нагрузок используется один из методов оптимизационной задачи. В настоящее время используются два метода для решения этой задачи: статический и динамический.

При статическом методе не учитываются изменения электрических нагрузок, что может привести к принятию нерационального размещения подстанции.

При динамическом методе получаемые решения являются более обоснованными, так как учитывается изменение системы в длительный период времени. Но такой подход требует ряд дополнительных сведений, которые на начальном этапе работы предприятия не могут быть получены, особенно при нынешнем положении дел.

3. Определение зоны рассеяния центра электрических нагрузок для статического состояния системы.

Для определения зоны рассеяния центра нагрузок необходимо найти закон распределения координат центра электрических нагрузок. Распределение координат подчиняются нормальному закону распределения (закону Гаусса – Лапласа):

$$f(x) = \frac{h_x}{\sqrt{\pi}} e^{-h_x^2 x^2}; \quad f(y) = \frac{h_y}{\sqrt{\pi}} e^{-h_y^2 y^2}, \quad (8.5)$$

где h_x, h_y – меры точности случайных величин:

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}}; \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}}, \quad (8.6)$$

σ_x^2, σ_y^2 – дисперсия случайных координат.

Двумерная плотность распределения вероятностей случайных независимых координат выражается:

$$f(x, y) = \frac{h_x h_y}{\pi} e^{-(h_x^2 x^2 + h_y^2 y^2)} \quad (8.7)$$

Последнее выражение получено при условии, что начало координат совмещено с математическим ожиданием.

Нормальный закон распределения определяется математическими ожиданиями a_x, a_y , определяющими положение условного центра нагрузок и среднеквадратичными отклонениями σ_x^2, σ_y^2 или мерами их точности h_x, h_y .

Обычно, при определении теоретического закона распределения эти величины неизвестны и предполагается, что они совпадают с соответствующими величинами эмпирического распределения.

Числовые характеристики эмпирического распределения определяются из выражений:

$$a_x = \sum_{i=1}^n x_i p_{i_x}; \quad a_y = \sum_{i=1}^n y_i p_{i_y} \quad (8.8)$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n p_x (x_i - a_x)^2; \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n p_y (y_i - a_y)^2 \quad (8.9)$$

и по выражениям (8.6).

После нахождения закона распределения случайных координат центра нагрузок определяется зона рассеяния центра электрических нагрузок. При пересечении поверхности нормального распределения горизонтальной плоскостью H , проекция сечения, а, следовательно, и зона рассеяния описывается выражением:

$$\ln \frac{Q}{H} = h_x^2 x^2 + h_y^2 y^2, \quad (8.10)$$

$$\text{где } Q = \frac{h_x h_y}{\pi}. \quad (8.11)$$

Уравнение (8.10) представляет собой уравнение эллипса, полуоси которого равны:

$$R_x = \frac{1}{h_x} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}; \quad R_y = \frac{1}{h_y} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}. \quad (8.12)$$

Исходя из [17] полуоси с вероятностью 0,95 принимают значения:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} \quad (8.13)$$

Таким образом, зона рассеяния центра электрических нагрузок представляет собой эллипс. Форма эллипса зависит от соотношений меры точности случайных величин h_x , h_y . Центр эллипса совпадает с центром нагрузок.

Координаты центра нагрузок можно в силу ряда причин рассматривать как случайные величины, тогда оси полученного эллипса рассеяния центра нагрузок параллельны осям координат на генплане предприятия. В общем же случае, из [17] оси эллипса рассеяния образуют с осями координат некоторый угол α , который определяется следующим образом:

$$\alpha = \frac{\arctg \frac{2K_k \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}}{2}, \quad (8.14)$$

где K_k — коэффициент корреляции :

$$K_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - a_x)(y_i - a_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - a_x)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - a_y)^2}} \quad (8.15)$$

Для ориентации осей эллипса рассеяния необходимо найти угол α , который составляют оси эллипса с осью абсцисс произвольно взятой системы координат. Угол α может иметь как положительное, так и отрицательное значение, в зависимости от выбранного положения осей координат.

Местоположение ГПП, либо другой распределительной подстанции выбирается в любой точке построенной зоны рассеяния центра нагрузок.

В некоторых случаях, когда нагрузки предприятия размещены по территории неравномерно, рациональней строить не одну ГПП, а две или несколько, поскольку зона рассеяния предприятия получается довольно обширной.

4. Учёт развития предприятия при определении местоположения ГПП

В случаях, когда при проектировании предприятия не производился учёт его расширения, модернизации может возникнуть потребность изменения системы электроснабжения, так как распределительные сети не отвечают изменившимся условиям. С другой стороны, неверная оценка развития предприятия, особенно в рыночных условиях, приводит к неоправданному завышению мощности питающих трансформаторов с предполагаемой перспективой развития. Поэтому изменение предприятия, и возможное изменение системы электроснабжения глубиной более чем 10-15 лет представляет собой чрезвычайно сложную и нецелесообразную задачу.

Производить изменение системы электроснабжения в эксплуатации, чтобы не нарушать технологического процесса достаточно сложно, а в некоторых случаях невозможно.

Основные трудности при реконструкции электрических сетей являются:

- необходимость изменения положения ГПП,
- необходимость перехода на другой класс напряжений.

Для оптимального выбора местоположения ГПП с учётом развития предприятия, изменения электрических нагрузок следует на генплан промышленного предприятия нанести:

- 1) зону рассеяния центра нагрузок, которая соответствует состоянию системы на текущий период;
- 2) зону рассеяния центра нагрузок, соответствующую развитию предприятия на планируемый срок (10-15 лет) без учёта строительства новых цехов, освоения новых территорий;

3) зону рассеяния центра нагрузок, которая соответствует перспективному развитию предприятия и росту нагрузок при условии изменения геометрии генплана предприятия (рис. 8.3).

Нанесение зон рассеяния центров нагрузок на генплан позволяет наметить количество ГПП. Чем больше расстояние между зонами рассеяния, тем больше целесообразность сооружения двух ГПП.

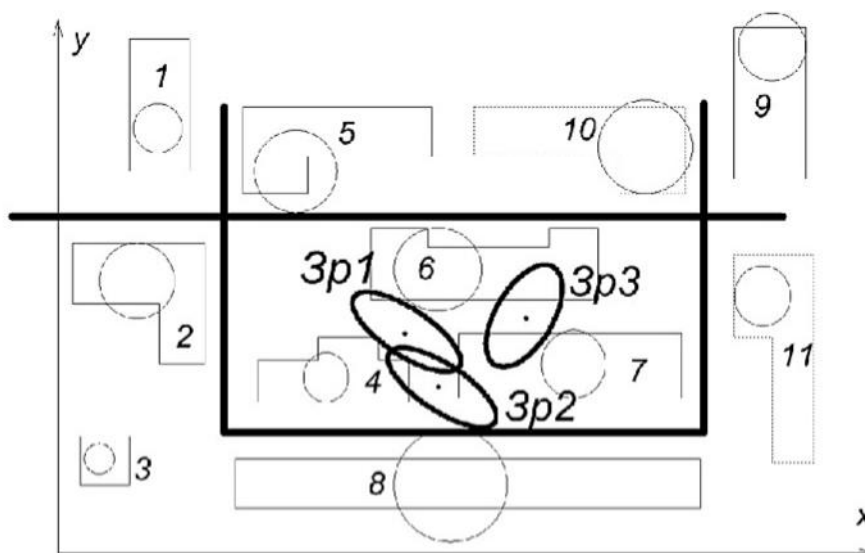


Рис. 8.3. Зоны рассеяния на территории предприятия.

Зр1 – характеризует зону рассеяния электрических нагрузок на текущий период, Зр2 – зона рассеяния нагрузок с учётом изменения потребления электрической энергии без учёта строительства, Зр3 – зона рассеяния с учётом расширения производства.

В некоторых случаях построение в зоне рассеяния центров нагрузок ГПП не представляется возможным (например, в нашем случае). Это может быть обусловлено плотной застройкой территории предприятия, проходящими коммуникациями, особенностью местности (река) и др. В таких случаях строительство подстанции производят наиболее близко к месту расположения зоны рассеяния. В исключительных случаях ГПП размещаются на довольно большом расстоянии от зоны рассеяния, например из-за большой зоны отчуждения вводных ВЛ и при плотной застройке территории, тогда единственный выход, это отказ от глубокого ввода на предприятие, а ГПП построить на границе предприятия. Последний вариант может быть экономически не выгоден, но единственно возможным.

5. Увеличение годовых затрат при смещении подстанции из зоны рассеяния центра нагрузок.

Определение зоны рассеяния центра электрических нагрузок не определяет окончательно местоположение ГПП. Смещение подстанции из зоны рассеяния приводит к ухудшению технико-экономических показателей системы электроснабжения. При этом возникает задача оценки такого

ухудшения, и на основании этого – окончательного выбора местоположения подстанции.

Для решения данной задачи вся территория проектируемого объекта на генплане разбивается на отдельные зоны, которые можно назвать зонами увеличения расчётных годовых затрат. Если принять $h_x=h_y=h$, то эллипс преобразуется в круг, радиус которого определяется выражением:

$$R = \frac{\sqrt{3}}{h}, \text{ где } h = \frac{h_x + h_y}{2} \quad (8.16)$$

Так как зона рассеяния центра нагрузок представляет собой круг, то при определении зон удобнее их представить также в виде кругов с радиусами $R_1, R_2, \dots, R_n$. Это вполне оправдано, так как смещение подстанции на одно и то же расстояние даёт практически одинаковое увеличение приведённых расчётных затрат.

Круг радиуса R_1 является кругом рассеяния центра нагрузок и для него выполняется неравенство $0 \leq \Delta \leq 0,05$, где Δ - увеличение приведённых годовых затрат при расположении подстанции вне зоны центра нагрузок.

Для следующей зоны, ограниченной окружностями с радиусами R_1 и R_2 выполняется неравенство $0,05 \leq \Delta \leq 0,10$, то есть увеличение приведённых затрат в этой зоне не превышает 10%, и так далее с шагом 10%.

Получаем для каждой зоны соответствующие неравенства, характеризующие пределы изменения приведённых затрат. Радиусы R

являются функцией Δ . Исходя из $R_1 = \frac{\sqrt{3}}{h}$ для $\Delta=0,05$ получаем [17] :

$$R = \frac{32,8\Delta}{h(1-\Delta)} \quad (8.17)$$

Полученное выражение позволяет определить зону рассеяния центра нагрузок и зоны увеличения приведённых расчётных годовых затрат.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое «картограмма нагрузок»? Для чего она строится?
2. Каким образом определяется цент нагрузок?
3. Что такое «зона рассеяния центра нагрузок»? Каким образом её найти?
4. Как изменяются годовые затраты при смещении местоположения ГПП от зоны рассеяния центра нагрузок?