

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального
образования
«Пензенский Государственный университет»

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАГРУЗОК
РЕГИОНА МЕТОДОМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ»

Авторы: аспирант Михайлов С.А

Руководитель: д.т.н., доцент Горячев В.Я.

Пенза 2012

Реферат

Конкурсная работа содержит 18 страниц печатного текста, 12 рисунков и 2 таблицы.

Ключевые слова

Системы электроснабжения, передача электрической энергии, линия электропередач, потери электроэнергии, качество электроэнергии, картограмма нагрузок, электроприёмник, источник питания, компенсатор реактивной мощности.

В статье содержатся:

- описание существующего способа определения центра электрических нагрузок;
- недостатки существующих методов определения центра электрических нагрузок;
- описание свойств выбранной базовой функции;
- приводится алгоритм расчетов по выбранной методике;
- доказательства достоверности представленного метода на примере трех нагрузок;
- анализ влияния входных параметров на результаты расчета;
- пример применения выбранного метода на практике, при определении мест установки источников питания в реальном цеху;
- в заключении делается вывод о превосходстве применения выбранного метода, а так же об универсальных возможностях его использования для определения мест расположения источников питания, и компенсаторов реактивной мощности.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании современных систем электроснабжения всегда возникали задачи определения числа, расположения источников питания, распределения приемников электроэнергии по источникам питания и др. От решения этих задач зависят многие технико-экономические характеристики проектируемой системы передачи электроэнергии. Решать перечисленные задачи становится все сложнее. Это объясняется тем, что проектировщикам приходится оперировать с большим количеством исходных данных, объем которых постоянно увеличивается. В первую очередь это относится к возросшему числу приемников электроэнергии.

Большой объем данных и постоянный его рост привели к широкому внедрению вычислительной техники в проектную практику, что потребовало разработки иных подходов к проектированию. В настоящее время имеется достаточное количество материалов, подтверждающих, что для решения перечисленных выше задач с помощью вычислительной техники необходим специальный подход, который позволил бы анализировать и описывать структуру распределения нагрузок и геометрию взаимного расположения приемников электроэнергии.

1. Существующий метод и его недостатки

Первое представление о характере распределения нагрузок по территории объекта получают с помощью картограммы нагрузок. В основе метода лежит принцип определения «центра масс». Суть метода заключается в том, что все приёмники электроэнергии представляются в равновысокими цилиндрами, радиус окружности которых пропорционален мощности потребителя. Для группы таких цилиндров координаты центра масс определяются по формуле:

$$x_0 = \frac{\sum_{j=1}^n P_i * x_i}{\sum_{j=1}^n P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{j=1}^n P_i * y_i}{\sum_{j=1}^n P_i}.$$

Где P_i – мощность i - той нагрузки, а x_i и y_i – координаты нагрузки соответственно по оси x и y . Данный метод позволяет определить место расположения лишь одной подстанции для питания всех потребителей данного региона. Практика проектирования систем электроснабжения показывает, что данная методика не дает однозначного ответа на вопрос оптимального расположения нескольких подстанций, если имеется некоторое количество потребителей, распределенных по площади, но частично «сгруппированных». Такая ситуация имеет место в реальной действительности, так как в пределах одной сети электроснабжения имеется ряд населенных пунктов, вокруг которых и расположены потребители.

Для определения мест расположения нескольких подстанций в одной системе электроснабжения используется метод эквипотенциальных поверхностей. При этом каждой нагрузке, расположенной в некоторой точке, присваивается потенциал, равный мощности нагрузки. При переходе в любую другую точку потенциалы их убывают и в некоторых точках, удаленных от мест расположения приемников, близки к нулю. Эквипотенциальные контуры разделяют заданное множество приемников электрической энергии на группы. Вершины графика потенциальной функции определяют области расположения центра электрических нагрузок в этих группах.

Для определения центра электрических нагрузок нами предлагается универсальный алгоритм, который позволяет определить места оптимального расположения нескольких подстанций для электроснабжения нагрузок, распределённых по поверхности.

2. Предлагаемый метод и его преимущества.

В основе метода лежит некоторая функция (по кое-каким соображениям мы пока не раскрываем эту функцию) описывающая фигуру «колокол». Функцию выберем таким образом, чтобы объём, ограниченный фигурой оставался постоянным при изменении высоты и некоторого коэффициента σ .

Этот коэффициент будет определять положение точек перегиба нашей фигуры. При $\sigma = 0$ приведенная функция в точке $x = a$ и $y = b$ имеет значение, равное бесконечности, однако объём, ограниченный функцией и плоскостью xy равен единице. При увеличении σ происходит распределение объема по поверхности плоскости xy . При этом объём под поверхностью остается неизменным.

Раскроем степень влияния постоянной σ на поведение базовой функции. Из приведённого выше определения следует, что σ определяет расстояние от центра кривой до абсциссы точки перегиба этой кривой. Можно сделать вывод о том, что в данном случае σ является радиусом окружности, образованной точками перегиба поверхности. Это доказывается и тем, что равенство второй производной от базовой функции нулю, дает уравнение окружности с радиусом σ . Поэтому эту величину будем называть радиусом рассеяния.

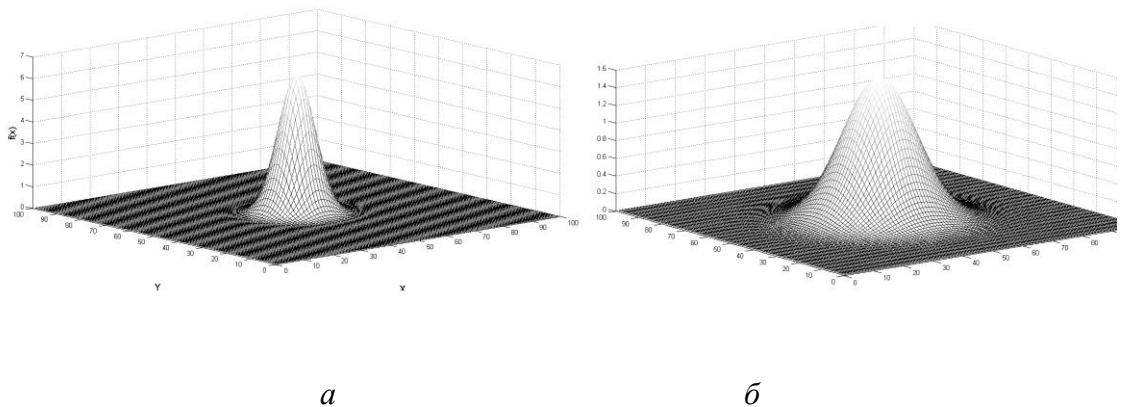


Рисунок 1. Изменение формы графика в зависимости от значения радиуса рассеяния.

На рисунке 1 представлена криволинейная поверхность при $\sigma = 10$ (рис. 1а) и $\sigma = 20$ (рис. 1б). Левая поверхность более острая, а правая более пологая. Не следует забывать о том, что высота фигур разная. Это объясняется, естественно, тем, что объём фигуры, заключенной между поверхностью и плоскостью xy всегда равен единице. На рисунке масштаб изображения по вертикали правой фигуры меньше, чем левой.

Максимальное значение функции при постоянном объеме зависит от значения σ .

При $x = a$ и $f(a,b) = f_{\max} = \frac{1}{2\pi\sigma^2}$. Или $\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi f_{\max}}}$.

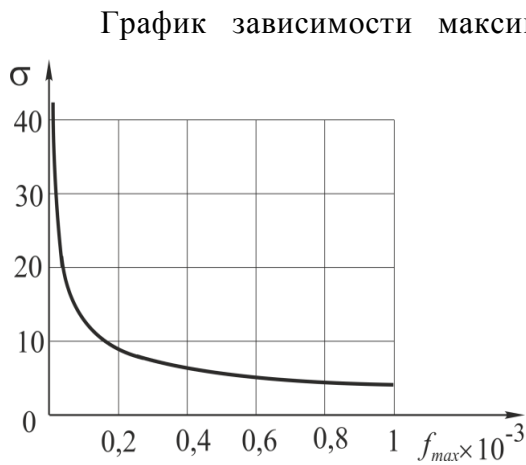


Рисунок 2. Зависимость максимального значения функции от радиуса рассеяния

График зависимости максимального значения функции от коэффициента рассеяния приведен на рисунке 2. Полученная зависимость в дальнейшем позволит вычислять максимальное значение функции по значению σ и наоборот.

Это свойство функции предлагается использовать для нахождения мест оптимального расположения подстанций для электроснабжения потребителей нагрузок, распределенных по плоскости, из условия минимальных затрат на строительство.

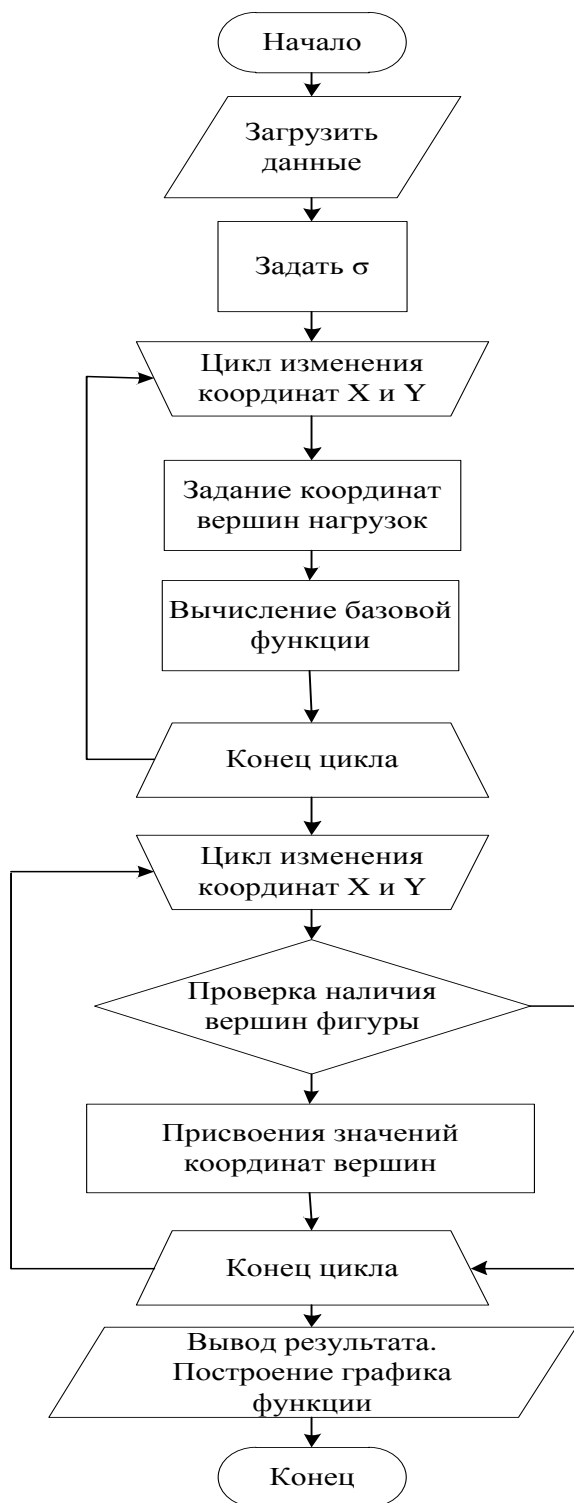
Каждую нагрузку на поверхности будем представлять фигурами, представляющими собой тела вращения ограниченные поверхностями, образованными произведением базовой функции на мощность нагрузки. Для потребителя мощностью P и координатами a и b при данном значении σ поверхность описывается уравнением

$f(x, y) = P * f_{\text{базовая}}$. Удельной плотностью мощности будем называть величину, равную среднему значению мощности на единицу поверхности.

Объем тела, ограниченного данной поверхностью и плоскостью xy численно будет равен мощности. Ранее указывалось на то, что при увеличении σ степень рассеяния мощности по поверхности увеличивается. Другими словами удельная мощность в каждой точке поверхности уменьшается.

Определение центра масс по известной до настоящего времени теории заключается практически в вычислении координат центра круга, площадь которого равна сумме площадей кругов, представляющих нагрузки с их координатами. Проверим, работает ли подобная система при использовании другой базовой функции для определения центра масс. Для практического использования аналитического метода, осложнённого большим объёмом сложных и повторяющихся вычислений, предлагается использование персонального компьютера.

Разработанный алгоритм вычислений представим в виде блок-схемы:



Перед началом расчетов необходимо вручную задать значение радиуса рассеяния σ . Далее предполагается, что программа, основанная на нашем алгоритме, загружает в рабочую область файл с данными и присваивает значения из этого файла координатам a, b . Это координаты вершин фигур, описывающих потребителей электроэнергии. С помощью организованного цикла изменения координат x и y программа должна рассчитать значение базовой функции для каждой точки ограниченной плоскости, а так же вычисляет объём заключенный под описанной фигурой. С помощью следующего цикла определяется

координата результирующих вершин. Для этого сравнивается значение базовой функции в точке, имеющей координаты (x, y) с значениями в соседних точках и запоминает координаты вершины. В итоге должен выводиться результат расчетов и график функции.

Для упрощения и сокращения вычислений, предположим, что 3 нагрузки мощностью по 1 кВт каждая располагаются на равном расстоянии в 10 метров от центра плоскости размером 100x100 метров на равном расстоянии друг от друга.

3 уравнения поверхностей представляются в следующем виде:

$$p_1(x, y) = 1000 * f_{\text{базовая}}$$

$$p_2(x, y) = 1000 * f_{\text{базовая}}$$

$$p_3(x, y) = 1000 * f_{\text{базовая}}$$

Сумма удельных мощностей дает результирующую поверхность

$$p(x, y) = p_1(x, y) + p_2(x, y) + p_3(x, y).$$

Для таких исходных данных по нашему алгоритму составлена программа, на примере которой и будем показывать основные зависимости.

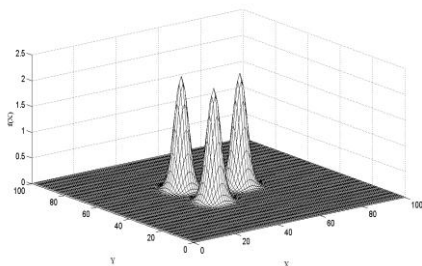


Рисунок 3. Внешний вид фигур, описывающих функции для 3-х нагрузок.

Программа вычисляет вектор-строку абсцисс вершин результирующей поверхности (вектор a), вектор-строку ординат вершин результирующей поверхности (вектор b), вектор-строку максимальных значений результирующей поверхности (вектор c), и объем результирующего тела d .

При $\sigma = 2$ получен график распределения удельной мощности по поверхности, представленный на рисунке 3.

Высота вершин равна 39.79, объем под поверхностью равен 3000 единиц. Координаты вершин были равными

$$x_1 = 42, x_2 = 50, x_3 = 58$$

$$y_1 = 45, y_2 = 60, y_3 = 45$$

С увеличением коэффициента распределения удельной мощности по поверхности до значения $\sigma = 6$ привело к «сглаживанию» вершин. График распределения удельной мощности по поверхности представлен на рис. 4.

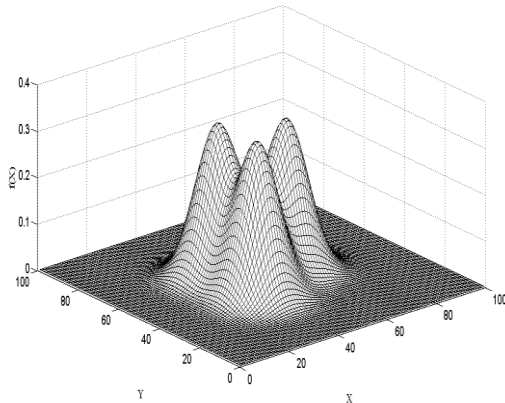


Рисунок 4. «Сращивание» фигур.

Результаты вычисления следующие:

Высота вершин равна 4.65, объем под поверхностью равен 3000 единиц. Координаты вершин изменились

$$x_1 = 43, x_2 = 50, x_3 = 57$$

$$y_1 = 45, y_2 = 59, y_3 = 45$$

Наблюдается процесс сращивания «холмов». Следует отметить неизменность результирующего объема фигуры. Увеличение радиуса рассеяния до 12 получаем

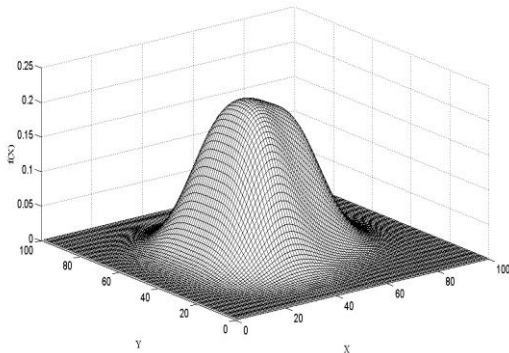


Рисунок 5. Графическое определение центра нагрузок.

результатирующую поверхность с формой, представленную на рисунке 5. Объем под поверхностью остался неизменным, равным 3000 единиц, высота вершины составила 2.4 единицы. Вершина имеет координаты $x = 50$, $y = 50$. Таким образом, найден центр масс трех равных по величине нагрузок. Рассмотрим возможность замены трех нагрузок одной эквивалентной. Очевиден тот факт, что полученную поверхность невозможно описать

одним выражением

$$p(x, y) = 3000 * f_{\text{базовая}}$$

При данном значении радиуса рассеяния $\sigma = 12$ максимальное значение «одновершинной» функции эквивалентной трем исходным можно вычислить по формуле:

$$p(a, b) = p_{\text{max}} = 3000 \frac{1}{2\pi\sigma^2} = 3.31.$$

Для сокращения расчетов следует определить, при каком радиусе рассеяния поверхность тела будет практически повторять поверхность одновершинной фигуры. Для исследования этого вопроса проведен анализ зависимости высоты результирующей вершины поверхности, равной сумме трех поверхностей и высоты «одновершинной» поверхности, объем под которой равен сумме мощностей нагрузки от значения радиуса рассеяния σ .

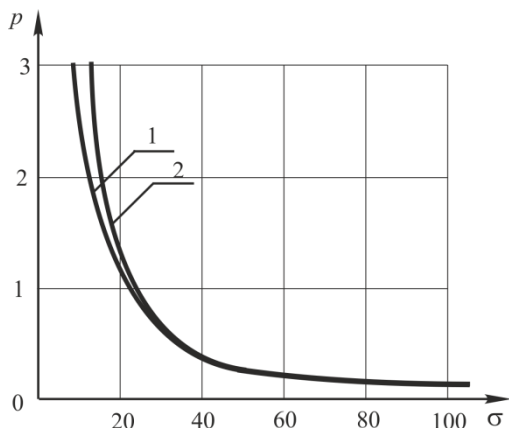


Рисунок 6. Зависимость мощности нагрузки от радиуса рассеяния.

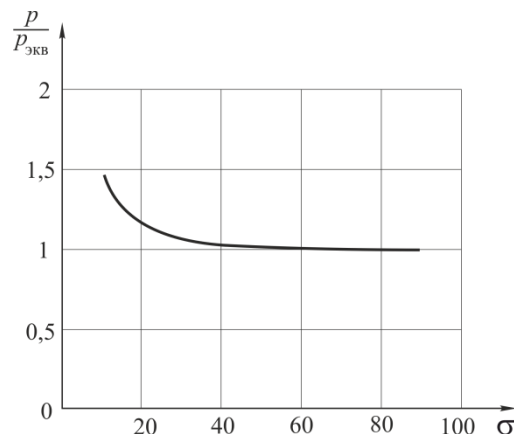


Рисунок 7. Зависимость отношения мощности источника питания к эквивалентной мощности от радиуса рассеяния

Поведение кривых, представленных на рисунке 6, показывает на то, что при радиусе рассеяния равном примерно 30 вершины практически равны и отличаются друг от друга не более чем на 10 процентов, что и подтверждается рисунком 7. Из сказанного следует вывод о том, что при радиусе рассеяния по поверхности равном примерно полутора расстояниям между потребителями, совокупность потребителей можно заменить одним эквивалентным, мощностью, равной сумме мощностей группируемых потребителей. Последнее положение приводит к мысли о том, что при работе с реальными потребителями, распределенными по поверхности определенного региона, для эффективного использования метода необходимо провести анализ нагрузок на предмет их плотности распределения с учетом их мощности.

Рассмотрим эффективность нового метода на примере девяти нагрузок. Мощности нагрузок и координаты их расположения на поверхности размером 1000x1000 представлены в таблице.

P	x	y
500	300	500
700	350	470
1000	350	530
500	600	350
500	600	650
700	650	330
1000	650	380
700	650	630
1000	650	680

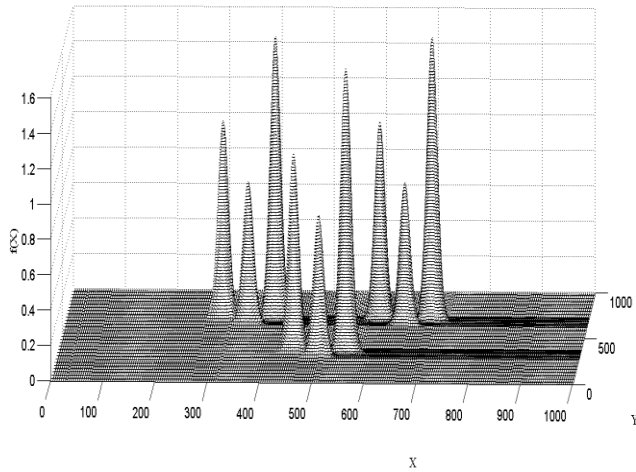


Рисунок 8. Пример для 9-ти нагрузок.

Рисунок представляет нагрузки на плоскости при коэффициенте распределения равном $\sigma = 6$. При коэффициенте распределения $\sigma = 70$ распределение удельной мощности по поверхности меняется.

На рисунке 9 явно выражены 3 вершины эквивалентных нагрузок, координаты которых определяют центры расположения подстанций с мощностями по 1100 Ватт каждая.

Таблица 2

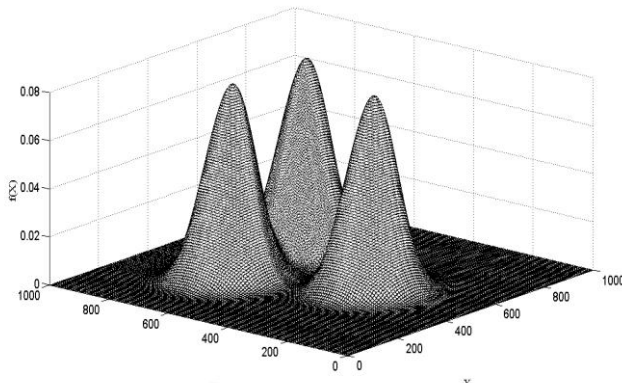


Рисунок 9. Образование 3-х вершин для групп из 9-ти приёмников.

P	x	y
2200	339	505
2200	639	358
2200	639	658

В том случае, когда необходимо найти место расположения центра масс одной подстанции для питания всех потребителей рекомендуется выбрать другой коэффициент рассеяния. На рисунке 10 представлена поверхность удельных нагрузок при $\sigma = 70$. Очевидно то, что эквивалентная мощность равна 6600 Ватт. Координаты центра нагрузок следующие: $x = 542$, $y = 506$.

Очевидно то, что представленный способ определения мест расположения подстанций в значительной степени упрощает процедуру вычислений при использовании вычислительной техники при произвольном количестве потребителей. Такой метод может быть использован не только для определения оптимальных мест расположения питающих подстанций, но и для решения других задач, связанных с выбором оптимального

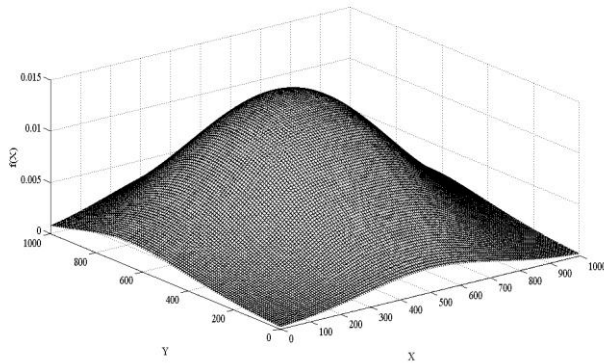


Рисунок 10. Графическое определение центра электрических нагрузок для 9 приёмников электрической энергии.

металлообрабатывающего цеха. В цехе, имеющем размеры 60х60 метров установлены 19 токарных станков, 16 фрезерных станков, 1строгальный станок, 4 расточных станка, 5 сверлильных станков, 21 шлифовальный станок, 4 крана-балки, 2 воздушно-тепловые завесы, 3 мощных электропечи.

Данные с координатами расположения станков и их мощности сведены в матрицу имеющую размерность 3×10^7 . Значение радиуса рассеяния выберем равным 0,1 метра, тогда на графике получим:

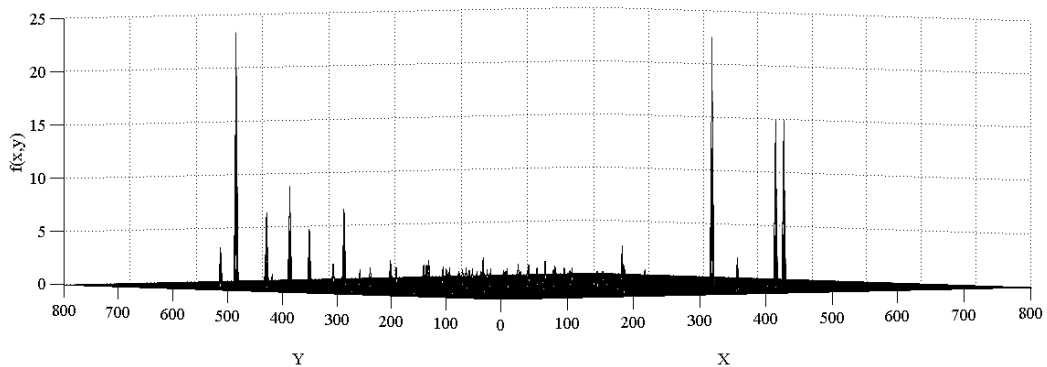


Рисунок 11. Графическое представление положения нагрузок на территории цеха

На графике отчетливо выделяются две вершины, имеющие координаты (100;400) и (600;95). По исходным данным в точках, имеющих такие координаты установлены соответственно электропечь и установка переплавки шлаков, имеющие мощности, равные 150 кВт. Суммарный объём, ограниченный поверхностью и плоскостью x, y равен 63 463 единиц (кВт).

При радиусе рассеяния равным 4 метра получим поверхность распределения удельных мощностей, график которой представлен на рисунке 12.

расположения объектов на поверхности. Для окончательного вывода об эффективности использования метода необходимо провести анализ экономической эффективности количества подстанций.

Ниже приводится пример использования методики для определения мест расположения цеховых подстанций реального

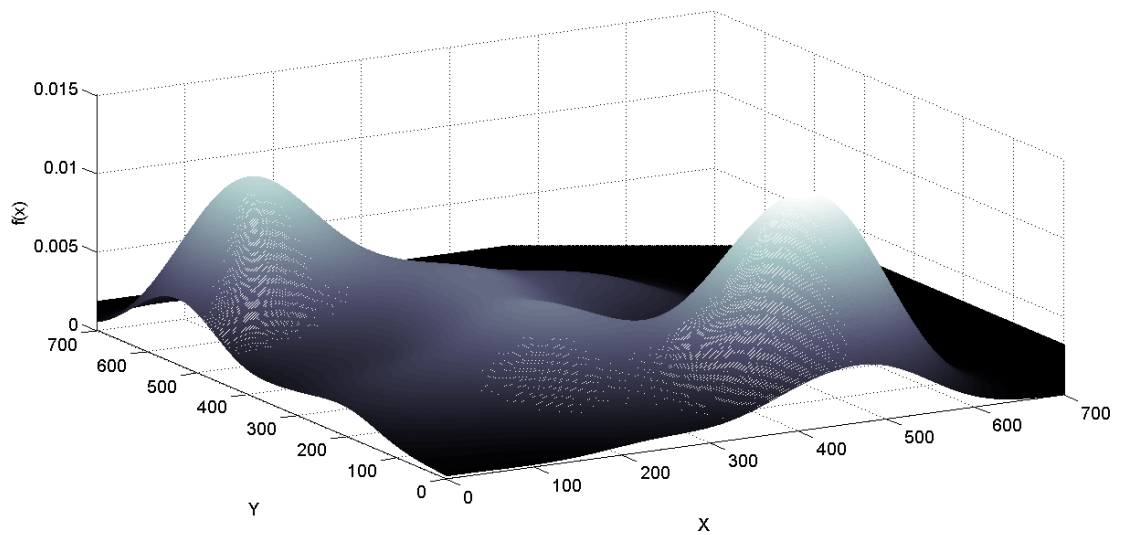


Рисунок 12. Определение положения центров электрических нагрузок

Таким образом получаем две вершины, координаты которых равны, соответственно, $(101,450)$ и $(541,107)$. Это и будут координаты оптимального расположения двух цеховых подстанций.

Заключение

До настоящего времени закономерность распределения нагрузок приемников электроэнергии, разделения заданного множества приемников на группы, каждая из которых должна получать питание из своего центра, нахождения области расположения ЦЭН в этих группах производилась с помощью метода потенциальных функций. Сущность этого метода заключается в следующем. Проводится аналогия между нагрузками приемников объекта и потенциалами некоторых источников энергии. Потенциалы этих источников в точках их расположения должны быть равны нагрузкам приемников. При переходе в любую другую точку потенциалы их убывают и в некоторых точках, удаленных от мест расположения приемников, близки к нулю. Эквипотенциальные контуры, которые описываются значениями функции, определенной суммой потенциалов всех источников энергии образуют контуры, которые разделяют заданное множество приемников на группы. Вершины графика потенциальной функции определяют области расположения ЦЭН в этих группах. Для построения картограммы нагрузок использовали показательную форму потенциальной функции. Таким образом, идея распределения степени влияния отдельной нагрузки на поверхности имелась давно, но использование эквипотенциальных линий не дает однозначного результата.

Предлагаемый метод однозначно решает проблему выбора мест расположения трансформаторных подстанций.

Пользуясь данной методикой можно определять не только координаты оптимальных мест установки источников активной мощности, но и оптимальные места установки источников реактивной мощности (компенсаторов реактивной мощности). Поскольку перетоки реактивной мощности перегружают линии электропередач, компенсация реактивной мощности является приоритетной задачей при снижении технологического расхода электроэнергии на передачу. Для эффективной работы программы необходимо задать координаты силовых подстанций для конкретного региона, а так же задать величины активных и реактивных мощностей. Для этого можно воспользоваться данными замерного дня. Результатом расчетов будут такие же графики, как в приведённых выше примерах. Координаты вершин графиков будут соответствовать оптимальным местам установки компенсаторов реактивной мощности.

Список используемой литературы

1. **Фёдоров А.А.** Основы электроснабжения промышленных предприятий /Фёдоров А.А., Каменева В.В. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 466 с.
2. **Каменева В.В.** Область рассеяния центра электрических нагрузок. – М.:МЭИ, 1971
3. **Каменева В.В.** К вопросу определения местоположения главных понизительных или распределительных подстанций промышленных предприятий./Каменева В.В., Киреева Э.А., - Электричество, 1972 – 73с.
4. **Идельчик В.И.** Электрические системы и сети. –М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592с.