Национальный технический университет “ХПИ”
Факультет информатики и управления

Отчет

«Разработка ПО для поиска оптимального полезного отпуска трансформаторов подстанций»

Выполнил:
Шафеев Р.А.

ХАРЬКОВ
2012

СОДЕРЖАНИЕ

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть дано множество подстанций V, $\dim V = n$. На каждой подстанции $v_i \in V$ находится множество трансформаторов D_i, $\dim D_i = m_i,\ i = 1..n$.

Каждой подстанции v_i соответствует множество C_i, элемент которого $c_{i,j}$ равен количеству потребителей, подключенных к подстанции под напряжением $Volt_{i,j}$, $\dim(C_i) = k_i,\ i = 1..n$, $\left[Volt_{i,j}\right] = \left[Bm\right]$. То есть:

Также известны следующие величины:

$W_{n.o.}, кBm \cdot ч$ – фактический полезный отпуск электросети за год;

$W_{less}, кBm \cdot ч$ – фактические нагрузочные потери электросети за год;

$P_н^{i,j}, кBm$ – номинальная мощность трансформатора $d_{ij} \in D_i, \quad i = 1..n, j = 1..m_i$;

$K_{\max}$ – максимальный коэффициент загрузки трансформаторов;

K_{opt} – оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов;

$T_{mp}, ч$ – среднее время работы одного трансформатора в году;

Пусть дан ориентированный граф G, узлами которого являются элементы множества V. Дуга $r_{i,j}$ между узлами v_i и v_j соответствует линии передачи электроэнергии между подстанциями v_i и v_j.

Граф G задается матрицей инцидентности I, которая дана по условию задачи:

$$I = \left\{ \begin{array}{l} I_{i,j} = 1 - есть\ линия\ передачи\ эл - гии\quad м/у\ v_i\ и\quad v_j \\ I_{i,j} = 0 - в\ противном\ случае \end{array} \right\}_{n \times n} \qquad (2.1)$$

Необходимо найти оптимальный полезный отпуск для каждого трансформатора при минимальных потерях на трансформаторах.

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

2.1 Подготовка данных

Для решения поставленной задачи не хватает данных о мощностях потребителей. Поэтому было выдвинуто следующее предположение: мощность потребителя равна отношению фактического полезного отпуска и количеству всех потребителей электросети с учетом напряжения, под которым подается потребителю электроэнергия. Тогда суммарная мощность потребителей, подключенных к трансформаторам подстанции v_i, равна:

$$P^i_{потребители} = \frac{W_{п.о.}}{T_{тр}} \frac{\sum_{j=1}^{k_i} Volt_{i,j} \cdot c_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k_i} Volt_{i,j} \cdot c_{i,j}}, \left[\frac{кВт \cdot ч}{ч} \cdot \frac{В}{В} = кВт \right] \quad (2.2)$$

Нагрузочные потери потребителей, подключенных к трансформаторам подстанции v_i, равны:

$$P^i_{н.потери} = \frac{W_{н.потери}}{T_{тр}} \frac{\sum_{j=1}^{k_i} Volt_{i,j} \cdot c_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k_i} Volt_{i,j} \cdot c_{i,j}}, \left[\frac{кВт \cdot ч}{ч} \cdot \frac{В}{В} = кВт \right] \quad (2.3)$$

Номинальная мощность подстанции равна сумме мощностей всех трансформаторов, размещенных на подстанции:

$$P^i_н = \sum_{j=1}^{m_i} P^{i,j}_н \quad (2.4)$$

2.2 Определение переменных величин

Зададим матрицу переменных X. Размер матрицы совпадает с размером матрицы инцидентности I. Элемент матрицы $x_{i,j}$ показывает, какаю часть электроэнергии, необходимой подстанции v_j, поступает от подстанции v_i. То есть полезный отпуск подстанции v_i можно выразить следующим образом:

$$P^i_{п.о.}(X) = \sum_{j=1}^{n} x_{i,j} \cdot P^j_{реал}(X) + P^i_{н.потери} + P^i_{потр.} \tag{2.5}$$

где: $P^j_{реал}(X)$ – реальная мощность $j-й$ подстанции.

Пример ориентированного графа представлен на рисунке 2.1.

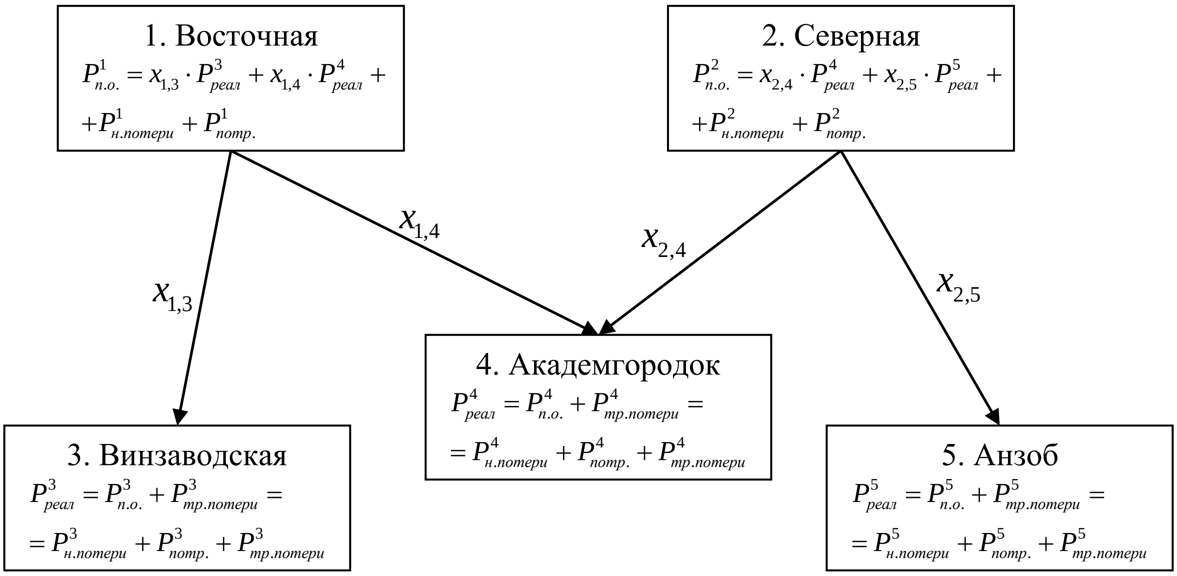

Рисунок 2.1 – Схематический пример ориентированного графа G

Реальная мощность подстанции равна сумме реальных мощностей всех трансформаторов:

$$P^i_{реал} = \sum_{j=1}^{m_i} P^{i,j}_{реал} \tag{2.6}$$

Потери в трансформаторах на подстанции равны:

$$P^i_{тр.потери} = \sum_{j=1}^{m_i} P^{i,j}_{тр.потери} \tag{2.7}$$

Коэффициент загрузки трансформатора равен отношению полезного отпуска и номинальной мощности трансформатора:

$$K_з^{i,j} = \frac{P_{реал}^{i,j}\left(X\right)}{P_н^{i,j}} \qquad (2.8)$$

Полезный отпуск на каждом трансформаторе равен произведению полезного отпуска подстанции на отношение номинальной мощности трансформатора и номинальной мощности подстанции:

$$P_{п.о.}^{i,j} = \frac{P_н^{i,j}}{P_н^i} P_{п.о.}^i \qquad (2.9)$$

Для реальной мощности трансформатора должно выполняться следующее равенство:

$$P_{реал}^{i,j}\left(X\right) = P_{п.о.}^{i,j}\left(X\right) + P_{тр.потери}^{i,j} \qquad (2.10)$$

В свою очередь потери в трансформаторах равны:

$$P_{тр.потери}^{i,j} = a_{i,j} \cdot \left(K_з^{i,j}\right)^2 + b_{i,j} \qquad (2.11)$$

где: $a_{i,j}$ – коэф-т, характеризующий потери в режиме короткого замыкания;

$b_{i,j}$ – коэф-т, характеризующий потери холостого хода.

Требуется найти такую реальная мощность $P_{реал}^{i,j}\left(X\right)$, при которой полезный отпуск составит $P_{п.о.}^{i,j}\left(X\right)$. Для этого составим систему уравнений и выразим из нее $P_{реал}^{i,j}\left(X\right)$:

$$\begin{cases} P_{тр.потери}^{i,j} = a_{i,j} \cdot \left(K_з^{i,j}\right)^2 + b_{i,j}\ , \\ P_{реал}^{i,j}\left(X\right) = P_{п.о.}^{i,j}\left(X\right) + P_{тр.потери}^{i,j} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_{тр.потери}^{i,j} = a_{i,j} \cdot \left(\dfrac{P_{реал}^{i,j}\left(X\right)}{P_н^{i,j}}\right)^2 + b_{i,j}\ , \\ P_{реал}^{i,j}\left(X\right) = P_{п.о.}^{i,j}\left(X\right) + P_{тр.потери}^{i,j} \end{cases}$$

Подставим $P_{тр.потери}^{i,j}$ из первого уравнения во второе:

$$\begin{cases} P^{i,j}_{тр.потери} = a_{i,j} \cdot \left(\dfrac{P^{i,j}_{реал}(X)}{P^{i,j}_{н}} \right)^2 + b_{i,j} \ , \\ P^{i,j}_{реал}(X) = P^{i,j}_{п.о.}(X) + a_{i,j} \cdot \left(\dfrac{P^{i,j}_{реал}(X)}{P^{i,j}_{н}} \right)^2 + b_{i,j} \end{cases}$$

Введем замену $y = P^{i}_{реал}(X)$, тогда:

$$a_{i,j} y^2 - \left(P^{i,j}_{н}\right)^2 y + \left(P^{i,j}_{н}\right)^2 \cdot \left(P^{i,j}_{п.о.}(X) + b_{i,j}\right) = 0$$

Корни уравнения равны:

$$y_{1,2} = \frac{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 \pm \sqrt{\left(P^{i,j}_{н}\right)^4 - 4 \cdot a_{i,j} \cdot \left(P^{i,j}_{н}\right)^2 \cdot \left(P^{i,j}_{п.о.}(X) + b_{i,j}\right)}}{2a_{i,j}} =$$

$$= \frac{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 \pm P^{i,j}_{н} \sqrt{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 - 4 \cdot a_{i,j} \cdot \left(P^{i,j}_{п.о.}(X) + b_{i,j}\right)}}{2a_{i,j}}$$

Первый корень не подходит по условию задачи. Тогда реальная мощность подстанции равна:

$$P^{i,j}_{реал}(X) = \frac{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 - P^{i,j}_{н} \sqrt{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 - 4 \cdot a_{i,j} \cdot \left(P^{i,j}_{п.о.}(X) + b_{i,j}\right)}}{2a_{i,j}} \qquad (2.12)$$

Окончательно, имеем следующие формулы:

$$\left[\begin{array}{l} P^{i}_{п.о.}(X) = \sum\limits_{j=1}^{n} x_{i,j} \cdot P^{j}_{реал}(X) + P^{i}_{н.потери} + P^{i}_{потр.} \\ P^{i,j}_{реал}(X) = \dfrac{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 - P^{i,j}_{н} \sqrt{\left(P^{i,j}_{н}\right)^2 - 4 \cdot a_{i,j} \cdot \left(P^{i,j}_{п.о.}(X) + b_{i,j}\right)}}{2a_{i,j}} \\ K^{i,j}_{з} = \dfrac{P^{i,j}_{реал}(X)}{P^{i}_{н}} \\ P^{i,j}_{тр.потери} = a_{i,j} \cdot \left(K^{i,j}_{з}\right)^2 + b_{i,j} \\ P^{i}_{реал} = \sum\limits_{j=1}^{m_i} P^{i,j}_{реал} \\ P^{i}_{тр.потери} = \sum\limits_{j=1}^{m_i} P^{i,j}_{тр.потери} \end{array} \right.$$

2.3 Дискретная модель

Зададим целевую функцию, минимум которой является оптимальным решением задачи:

$$F(X)=\sum_{i=1}^{n}\Omega\left(P_{п.о.}^{i}\left(X\right)-K_{opt}\cdot P_{ном}^{i}\left(X\right)\right)\to\min \tag{2.13}$$

где: Ω - функция потерь;

K_{opt} – оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов (задан по условию задачи).

На целевую функцию наложены следующие ограничения:

1) $P_{реал}^{i}\le K_{\max}\cdot P_{н}^{i}\left(X\right),\ \forall i=\overline{1,n}$ – реальная мощность подстанции не должна превышать максимально допустимой;

2) $x_{i,j}\ge 0,\ \forall i,j=\overline{1,n}$

3) $\sum_{i=1}^{n}I_{i,j}\cdot x_{i,j}=1,\ \forall j=1..n,\ если\sum_{i=1}^{n}I_{i,j}>0$

Для решения задачи была выбрана квадратичная функция потерь Ω:

$$\Omega\left(\Delta p\right)=\begin{cases}\frac{1}{3}\left(\Delta p\right)^{2},\left(\Delta p\right)<0\\ 2\left(\Delta p\right)^{2},\left(\Delta p\right)\ge 0\end{cases} \tag{2.14}$$