

УДК 681.518:519.718

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ЗА СЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

**И. В. Мошенский**, инженер;  
**И. Л. Лебединский**, канд. техн. наук, доцент;  
**В. С. Ноздренков**, канд. техн. наук,  
Сумский государственный университет,  
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина  
E-mail: etech@etech.sumdu.edu.ua

*В данной работе проделана оптимизация потерь активной электроэнергии в соединительных кабелях, связывающих потребителей с источниками электроэнергии. Для данной схемы потребителей производилась компенсация реактивной мощности (КРМ) с помощью компенсирующих устройств (КУ), благодаря чему уменьшались потери активной мощности. Задача оптимизации позволяет расставить КУ по узлам таким образом, чтобы потери стали минимальными.*

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, компенсирующие устройства.

**ВВЕДЕНИЕ**

В нашей стране существует довольно мощная и разветвленная энергосистема со множеством электростанций, передающих линий, подстанций, потребителей и т.д. При этом часто приходится передавать электроэнергию и сопровождающую ее реактивную мощность на значительные расстояния от мест генерации до мест потребления. Между тем передача реактивной мощности по питающим и распределительным сетям связана с рядом нежелательных явлений, приводящих к ухудшению технико-экономических показателей. Одним из таких нежелательных явлений является увеличение потерь активной электроэнергии в питающих и соединительных сетях. Один из способов уменьшения потерь активной мощности с помощью соответствующей расстановки компенсирующих устройств по узлам схемы представлен в данной работе.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На рис.1 представлена схема для исследования оптимизации потерь активной мощности для потребителей распределительной сети 10 кВ. Данная схема с некоторыми упрощениями взята из [1].

На схеме показаны значения потоков реактивной мощности  $Q_{Cj}$  в кВАр, величины активных сопротивлений в омах.  $Q_{Cj}$  – это некомпенсированные реактивные потоки, которые создают активные потери в соединительных кабелях от питающих шин к потребителям. Суммарный реактивный поток представляет величину

$\sum Q_{Cj} = 589,84$  кВАр. Предположим, что в нашем распоряжении имеются компенсирующие устройства (КУ) общей мощностью

$$Q_{KU} < \sum Q_{Cj} \quad (1)$$

Требуется расставить данные КУ по узлам сети 1-5 таким образом, чтобы активные потери в соединительных кабелях были минимальными.

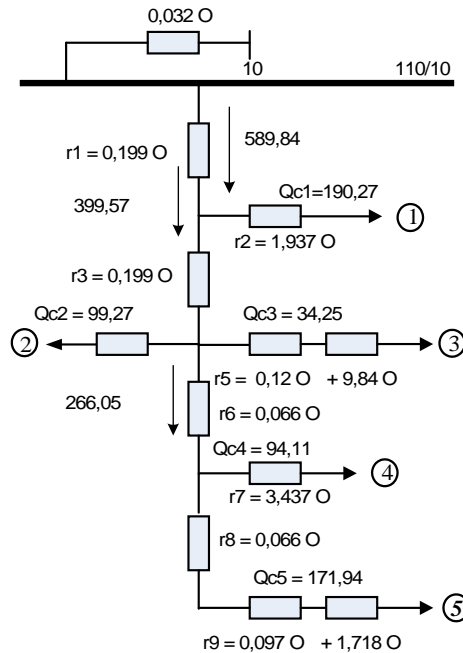


Рисунок 1 – Схема электрической сети

Запишем функцию потерь активной мощности для функции сети, заданной матрицами активных узловых сопротивлений  $R_{ij}$  и средних реактивных нагрузок  $Q_{Cj}$ :

$$\Delta P = \frac{1}{U_H^2} \cdot \begin{pmatrix} Q_{C1} \\ Q_{C2} \\ \dots \\ Q_{Cj} \\ \dots \\ Q_{Cn} \end{pmatrix}^t \cdot \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j1} & R_{j2} & \dots & R_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Q_{C1} \\ Q_{C2} \\ \dots \\ Q_{Cj} \\ \dots \\ Q_{Cn} \end{pmatrix} = \frac{1}{U_H^2} Q_C^t \cdot R \cdot Q_C^t, \quad (2)$$

где  $U_H$  – линейное напряжение питающих шин, 10 кВ;

$R_{ii}$  – эквивалентное сопротивление сети  $i$ -го потребителя;

$R_{ij}$  – общее значение активного сопротивления питающей сети для  $i$ -го и  $j$ -го потребителей.

Для схемы рис.1 эти сопротивления запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} R_{11} &= r_1 + r_2, R_{22} = r_1 + r_3 + r_4, R_{33} = r_1 + r_3 + r_5, \\ R_{12} &= r_1, R_{12} = R_{21}, R_{13} = r_1, R_{31} = R_{13}. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогично записываются все остальные сопротивления.

Итак, требуется определить минимум функции (1) при условии, что сумма всех КУ, расставленных по узлам 1-5 равна некоторой величине в соответствии с формулой (1):

$$\sum Q_{KUj} = Q_{KU} \quad (4)$$

Поставленную задачу минимизации целевой функции, переменные которой связаны некоторым условием будем решать с помощью метода множителей Лагранжа.

Метод множителей Лагранжа или метод нахождения условного экстремума функции  $f(x)$ , где  $x \in R^n$ , относительно  $m$  ограничений  $\varphi_i(x) = 0, i = 1..m$ . Составим функцию Лагранжа в виде линейной комбинации функции  $f$  и функций  $\varphi_i$ , взятых с коэффициентами, называемыми множителями Лагранжа –  $\lambda_i$ :

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum \lambda_i \cdot \varphi_i(x), \quad (5)$$

где  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ .

Составим систему из  $n+m$  уравнений, приравняв к нулю частные производные функции Лагранжа  $\frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial x} = 0; \frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial \lambda} = 0$ .

Если полученная система имеет решение относительно параметров  $x_j$  и  $\lambda_j$ , тогда точка  $x$  может быть условным экстремумом, то есть решением исходной задачи.

Лагранжиан целевой функции будет иметь вид:

$$\Phi(Q_C, \lambda) = \Delta P(Q_C) + \lambda \cdot \left( \sum_{j=1}^n Q_{KUj} - Q_{KU} \right), \quad (6)$$

где  $\Delta P(Q_C)$  распишем в одну строку согласно (2):

$$\begin{aligned} \Delta P(Q_C) &= \frac{1}{U_H^2} \cdot \left[ Q_{C1}^2 R_{11} + Q_{C1} (Q_{C2} R_{12} + Q_{C3} R_{13} + \dots + Q_{Cn} R_{1n}) + \right. \\ &\quad + Q_{C2}^2 R_{22} + Q_{C2} (Q_{C1} R_{21} + Q_{C3} R_{23} + \dots + Q_{Cn} R_{2n}) + \\ &\quad \dots \\ &\quad \left. + Q_{Cn}^2 R_{nn} + Q_{Cn} (Q_{C1} R_{n1} + Q_{C2} R_{n2} + \dots + Q_{Cn} R_{nn}) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

После установки в узлах 1-5 КУ в местах, отмеченных вертикальной черточкой (рис. 1) в формуле (7) каждую переменную  $Q_{Cj}$  заменяем на  $Q_{Cj} - Q_{KUj}$ .

Для лагранжиана (6) находим соответствующие производные и приравниваем их к нулю:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{\partial \Phi(Q_{KU}, \lambda)}{\partial Q_{KU1}} = \\
= \frac{1}{U_H^2} [-2(Q_{C1} - Q_{KU1})R_{11} - 2(Q_{C2} - Q_{KU2})R_{12} - \dots - 2(Q_{Cn} - Q_{KU_n})R_{1n}] + \\
+ \lambda = \frac{-2}{U_H^2} [(Q_{C1} - Q_{KU1})R_{11} + (Q_{C2} - Q_{KU2})R_{12} + \dots + (Q_{Cn} - Q_{KU_n})R_{1n}] + \lambda = 0, \\
\hline
\frac{\partial \Phi(Q_{KU}, \lambda)}{\partial Q_{KU_n}} = \\
= \frac{-2}{U_H^2} [(Q_{C1} - Q_{KU1})R_{n1} + (Q_{C2} - Q_{KU2})R_{n2} + \dots + (Q_{Cn} - Q_{KU_n})R_{nn}] + \lambda = 0, \\
\frac{\partial \Phi(Q_{KU}, \lambda)}{\partial \lambda} = \left( \sum_{j=1}^n Q_{KUj} - Q_{KU} \right) = 0.
\end{array} \right. \quad (8)$$

Первые  $n$  уравнений системы (8) можно записать в матричном виде:

$$R(Q_C - Q_{KU}) = \lambda_m. \quad (9)$$

Отсюда  $Q_{KU} = Q_C - R^{-1}\lambda_m,$  (10)

где  $Q_C = \begin{pmatrix} Q_{C1} \\ Q_{C2} \\ \dots \\ Q_{Cj} \\ \dots \\ Q_{Cn} \end{pmatrix}; Q_{KU} = \begin{pmatrix} Q_{KU1} \\ Q_{KU2} \\ \dots \\ Q_{KUj} \\ \dots \\ Q_{KU_n} \end{pmatrix}; R = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j1} & R_{j2} & \dots & R_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{pmatrix}; \lambda_m = \frac{\lambda U_H^2}{2} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}.$

В итоге система уравнений (8) запишется в виде:

$$\begin{aligned}
Q_{KU} = Q_C - R^{-1}\lambda_m, \\
j = 1..n \quad (11) \\
\left( \sum_{j=1}^n Q_{KUj} - Q_{KU} \right) = 0.
\end{aligned}$$

Суммируя  $n$  первых уравнений (9) и пользуясь последним соотношением, находим :

$$\lambda = \frac{2}{U_H^2} \frac{\sum_j Q_{Cj} - Q_{KU}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij}}. \quad (12)$$

Непосредственно значения  $Q_{KUj}$  находим из выражения (9). Численное вычисление выражений (9) и (12) осуществлялось в среде программирования Matlab 6.5. Полученные результаты представлены ниже в табл. 1.

Таблица 1

Общая мощность всех КУ	Мощность установленных КУ по $Q_{KU1}$ узлам 1-5					Активные потери эл. энергии
	$Q_{KU1}$ , кВАр	$Q_{KU2}$ , кВАр	$Q_{KU3}$ , кВАр	$Q_{KU4}$ , кВАр	$Q_{KU5}$ , кВАр	
70,0	22,5	11,8	4,0	11,2	20,48	2,2
100,0	32,2	16,9	5,8	15,9	29,1	1,97
150,0	48,4	25,3	8,7	23,9	43,7	1,59
200,0	64,5	33,7	11,6	31,9	58,3	1,25
254,0	81,9	42,7	14,7	40,5	74,0	0,93

Таблица 2

$\sum Q_{Cj}$ , кВАр	$Q_{C1}$ , кВАр	$Q_{C2}$ , кВАр	$Q_{C3}$ , кВАр	$Q_{C4}$ , кВАр	$Q_{C5}$ , кВАр	$\Delta P_{MAX}$ , кВт
589,84	190,3	99,3	34,3	94,1	171,9	2,87

В табл. 2 для удобства представлены реактивные потоки по ветвям 1-5 и суммарный реактивный поток от источника.  $\Delta P$  в табл. 1 и  $\Delta P_{MAX}$  в табл. 2 это соответственно активные потери в кабельных линиях с учетом установленных КУ и без них. Итак, проделанные вычисления позволяют расставить КУ по ветвям питающей сети таким образом, чтобы потери активной электроэнергии были минимальными. При этом с каждым циклом вычислений проделывалось вычисление потерь активной мощности в соединительных кабелях. Результат вычислений показывают, что с увеличением общей мощности КУ активные потери уменьшаются. График зависимости активных потерь от общей мощности КУ представлен на рис. 2

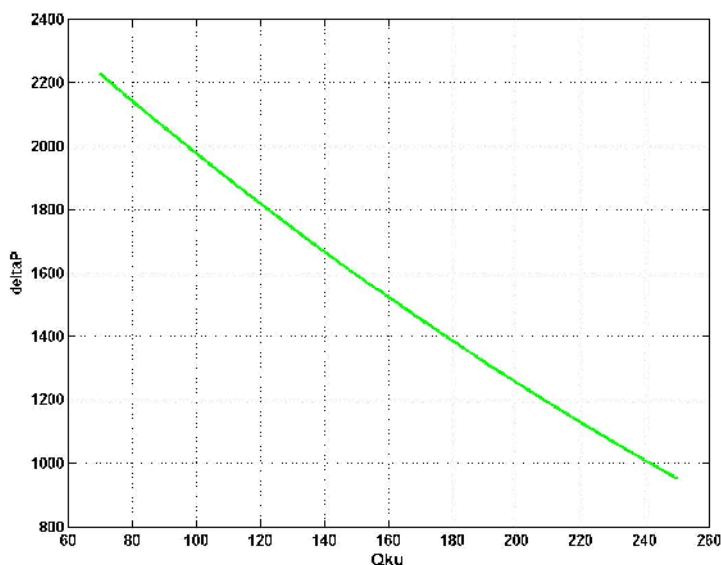


Рисунок 2 – Зависимость потерь активной мощности от общей мощности установленных КУ

В условиях рыночных отношений большое значение имеют финансовые затраты. С учетом финансовых затрат функция, которую следует оптимизировать, будет иметь вид [1]:

$$Z(Q_{KU}, T) = C_{kvt} \cdot T \cdot \Delta P(Q_C - Q_{KU}) + C \cdot \sum_i Q_{KU_i}, \quad (13)$$

где  $\Delta P(Q_C - Q_{KU}) = \frac{1}{U_L^2} (Q_C - Q_{KU})^t R (Q_C - Q_{KU})$  – оставшиеся потери

активной мощности после внедрения КУ;

$C_{kvt}$  – тариф активной электроэнергии;

$T$  – период наблюдения;

$C$  – затраты на приобретение конденсаторных КУ, грн./кВАр.

В итоге формула (13) финансовых затрат принимает вид:

$$Z(Q_{KU}, T) = C_{kvt} \cdot T \cdot \frac{1}{U_L^2} (Q_C - Q_{KU})^t R (Q_C - Q_{KU}) + C \cdot \sum_i Q_{KU_i}. \quad (14)$$

Оптимизировать (14) будем при условии, что схема подстанции дает коэффициент мощности  $\cos \varphi = 0,92$ . При этом суммарная величина КУ должна быть:

$$\sum_i Q_{KU_i} \geq Q_1, \quad (15)$$

где  $Q_1$  – известная величина, при которой коэффициент мощности равен 0,92.

Для оптимизации ф-и затрат (14) применяем условия Куна-Таккера (минимизация ф-и при ограничениях в виде неравенств), согласно которых запишем

$$\begin{aligned} F(Q_{KU}, T) &= Z(Q_{KU}, T) - U_1 \cdot g(Q_{KU}) = \\ &= C_{kvt} \cdot T \cdot \frac{1}{U_L^2} (Q_C - Q_{KU})^t R (Q_C - Q_{KU}) + C \cdot \sum_i Q_{KU_i} - U_1 \cdot g(Q_{KU}). \end{aligned} \quad (16)$$

Из условия (15)

$$g(Q_{KU}) = \sum_i Q_{KU_i} - Q_1 \geq 0, \quad (17)$$

$$U_1 \cdot g(Q_{KU}) = U_1 \cdot \left( \sum_i Q_{KU_i} - Q_1 \right) = 0, \quad (18.1)$$

$$U_1 > 0. \quad (18.2)$$

Дифференцируя (16) по  $Q_{KU}$  и приравнивая к нулю, получаем

$$\frac{\partial F(Q_{KU}, T)}{\partial Q_{KU}} = 0,$$

отсюда 
$$Q_{KU} = Q_C - \frac{C - U_1}{T} \frac{U_L^2}{2C_{kvt}} R^{-1} \cdot E_m, \quad (19)$$

где  $E_m$  – единичная матрица-столбец.

Подставляя (19) в (18), определяем коэффициент  $\frac{C-U_1}{T}$ , после чего по (19) окончательно получаем значения КУ по узлам схемы:

$$Q_{KU} = Q_C - \frac{\sum_i Q_{Ci} - Q_1}{\sum_i \sum_j R_{ij}} R^{-1} \cdot E_m. \quad (20)$$

Формула (20) дает значения КУ, расставленные по узлам, чтобы ф-я затрат  $Z$ , была минимальной. В среде программирования MathLab 6.5 просчитаны численные значения КУ согласно (20) и построены графики затрат на оплату оставшихся потерь активной мощности и экономии затрат в зависимости от варирования мощностью КУ первого узла  $Q_{KU1}$ .

Как уже было сказано выше при обеспечении требуемого инспекцией минимального коэффициента мощности, численные значения КУ по узлам будут иметь значения, представленные в табл. 3

Таблица 3

Общая мощность всех КУ	Мощность установленных КУ по узлам 1-5, для случая $\cos \varphi = 0,92$					Актив. потери эл. эн. $\Delta P$ , кВт
	$Q_{KU1}$ , кВАр	$Q_{KU2}$ , кВАр	$Q_{KU3}$ , кВАр	$Q_{KU4}$ , кВАр	$Q_{KU5}$ , кВАр	
254,0	81,9	42,7	14,7	40,5	74,0	0,93

График зависимости затрат на оплату потерь активной мощности в соединительных проводах представлены на рис. 3

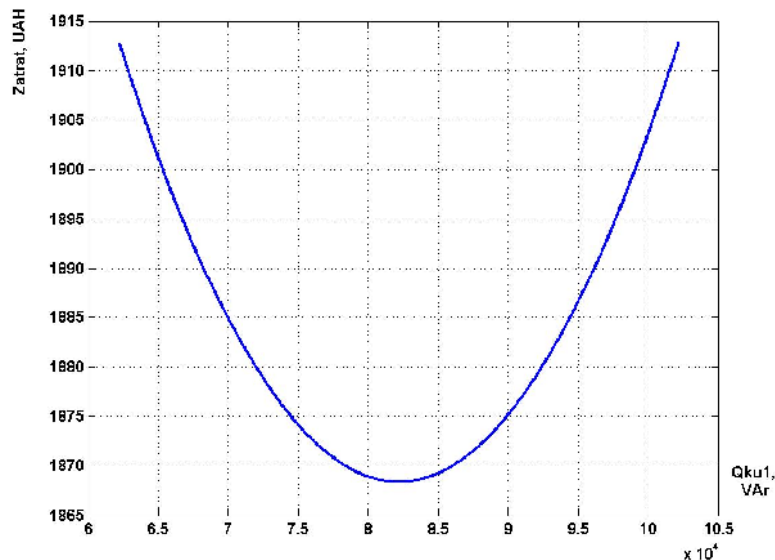


Рисунок 3 – Зависимость затрат на оплату потерь активной мощности в грн. от мощности установленных КУ в узле 1. При этом оптимальные затраты достигаются при  $Q_{KU11}=81,9$  кВАр, согласно табл. 3. Как видно из графика – при отклонении от оптимального расчетного значения КУ затраты незначительно возрастают

График экономии затрат от внедрения КУ при варьировании той переменной что и в первом случае представлен на рис. 4. Этот график показывает тот же результат, что и в первом случае, т. е. наибольшая экономия достигается при расчетном оптимальном значении варьируемой величины.

График строился по следующей формуле:

$$E_{\text{коном}} = C_{kVt}T(\Delta P_{\text{max}} - \Delta P(Q_c - Q_{KU})). \quad (21)$$

В этой формуле разность между максимальными потерями в соединительных проводах без установки КУ с потерями при установленных КУ умножалась на тариф за электроэнергию и на период наблюдения.

Подобные результаты наблюдаются и при варьировании остальными значениями КУ, установленными по другим узлам.

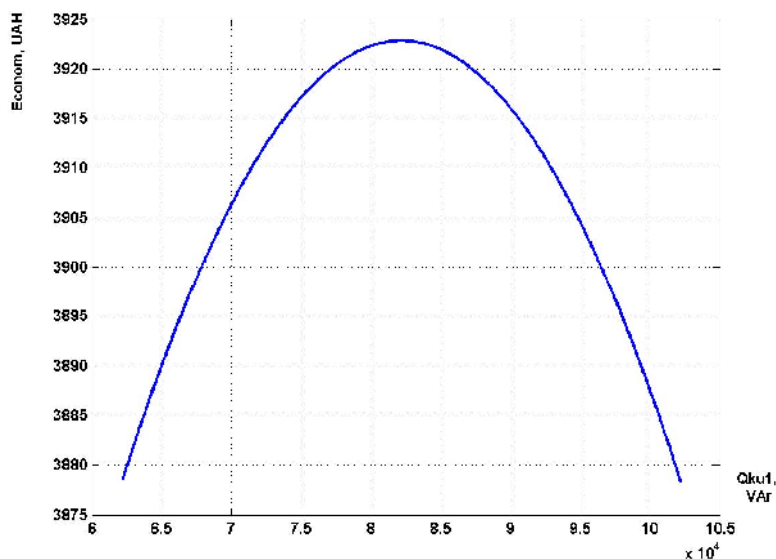


Рисунок 4 – Зависимость сэкономленных средств от оплаты потерь активной мощности в грн. от мощности установленных КУ в узле 1. При этом оптимальные затраты достигаются при  $Q_{KU11}=81,9$  кВАр, согласно табл. 3. Как видно из графика – при отклонении от оптимального расчетного значения КУ экономия незначительно уменьшается

#### ВЫВОДЫ

Итак, в проделанной работе проведена оптимизация потерь активной мощности с помощью соответствующей расстановки КУ по узлам питающей сети. Получены численные результаты мощности КУ для каждого узла. Результат показывает, что потери активной мощности уменьшаются с увеличением мощности КУ и график этой зависимости представлен на рис.3. Также при расчетах экономического эффекта были проведены расчеты и построены графики затрат и экономии финансов на оптимальный вариант. При расчетах в первом и во втором случае имело место совпадение результатов (табл. 4 и пятая строка табл.1) потому, что функции Лагранжа для минимизации (5) и (16) имеют похожий вид.

При обработке полученных результатов лишь для данной схемы можно заметить следующие закономерности, представленные в табл. 4.



Суть приведенных в табл. 3 данных состоит в том, что отношения мощности установленных КУ к реактивному потоку одна и та же для всех узлов.

Таблица 4

$Q_{KU}$ , кВАр	$\frac{Q_{KU1}}{Q_{C1}}$	$\frac{Q_{KU2}}{Q_{C2}}$	$\frac{Q_{KU3}}{Q_{C3}}$	$\frac{Q_{KU4}}{Q_{C4}}$	$\frac{Q_{KU5}}{Q_{C5}}$	$\frac{Q_{KU}}{\sum_j Q_{Cj}}$
70,0	0,1186	0,1190	0,1189	0,1186	0,1185	0,1187
100,0	0,1694	0,1699	0,1697	0,1695	0,1694	0,1695
150,0	0,2542	0,2546	0,2545	0,2542	0,2541	0,2543
200,0	0,3389	0,3393	0,3392	0,3390	0,3389	0,3391

Введя обозначения, что  $\frac{Q_{KUj}}{Q_{Cj}} = \frac{Q_{KU}}{\sum_j Q_{Cj}} = \xi$  для всех узлов, выражение

для мощности активных потерь согласно (2) запишется в виде:

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= \frac{1}{U_H^2} \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1} - Q_{KU1} \\ Q_{C2} - Q_{KU2} \\ \dots \\ Q_{Cj} - Q_{KUj} \\ \dots \\ Q_{Cn} - Q_{KUn} \end{vmatrix}^t \cdot \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j1} & R_{j2} & \dots & R_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1} - Q_{KU1} \\ Q_{C2} - Q_{KU2} \\ \dots \\ Q_{Cj} - Q_{KUj} \\ \dots \\ Q_{Cn} - Q_{KUn} \end{vmatrix} = \\
 &= \frac{1}{U_H^2} \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1}(1-\xi) \\ Q_{C2}(1-\xi) \\ \dots \\ Q_{Cj}(1-\xi) \\ \dots \\ Q_{Cn}(1-\xi) \end{vmatrix}^t \cdot \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j1} & R_{j2} & \dots & R_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1}(1-\xi) \\ Q_{C2}(1-\xi) \\ \dots \\ Q_{Cj}(1-\xi) \\ \dots \\ Q_{Cn}(1-\xi) \end{vmatrix} = \quad (13) \\
 &= \frac{1}{U_H^2} \cdot (1-\xi)^2 \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1} \\ Q_{C2} \\ \dots \\ Q_{Cj} \\ \dots \\ Q_{Cn} \end{vmatrix}^t \cdot \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j1} & R_{j2} & \dots & R_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Q_{C1} \\ Q_{C2} \\ \dots \\ Q_{Cj} \\ \dots \\ Q_{Cn} \end{vmatrix} = (1-\xi)^2 \Delta P_{max},
 \end{aligned}$$

где  $\Delta P_{max} = 2,87$  кВт – максимальное значение потерь без установки КУ.

В данном частном случае график будет иметь параболический вид (рис. 3).

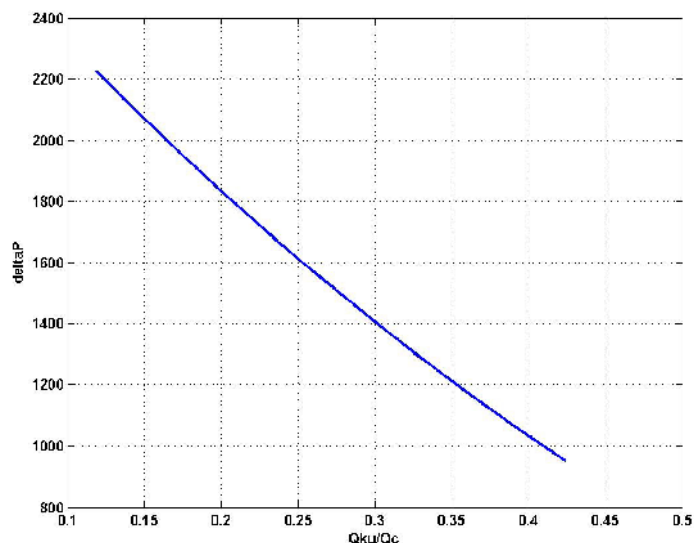


Рисунок 3 – Зависимость потерь активной мощности от общей относительной мощности, установленных КУ –  $\xi = \frac{Q_{KU}}{\sum_j Q_{Cj}}$

#### OPTIMIZATION OF LOSSES OF THE ACTIVE ELECTRIC POWER DUE TO INDEMNIFICATION OF JET CAPACITY

**I. V. Moshenskiy, I. L. Lebedinskiy, V. S. Nozdrenkov,**  
 Sumy State University,  
 Str. Rimsky-Korsakov, 2, 40007, Sumy, Ukraine  
 E-mail; [etech@etech.sumdu.edu.ua](mailto:etech@etech.sumdu.edu.ua)

In the given work optimization, i.e. search of the best decision, for reduction of losses of the active electric power in the connecting cables connecting consumers with sources of the electric power is done. Indemnification of jet capacity was made for the given circuit of consumers with the help of compensating devices due to what losses of active capacity decreased. The task of optimization allows to place compensating devices on units so that losses became minimal.

**Key words:** reactive power compensation, compensation device.

#### ОПТИМІЗАЦІЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

**І. В. Мошенський, І. Л. Лебединський, В. С. Ноздренков,**  
 Сумський державний університет,  
 вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна  
 E-mail; [etech@etech.sumdu.edu.ua](mailto:etech@etech.sumdu.edu.ua)

У роботі зроблена оптимізація, тобто пошук найкращого розв'язку, для зменшення втрат активної електроенергії в з'єднувальних кабелях, які зв'язують споживачів з джерелами електроенергії. Для даної схеми споживачів проводилась компенсація реактивної потужності за допомогою компенсуючих пристроїв, завдяки чому зменшувались втрати активної потужності. Задача оптимізації дозволяє розставити компенсуючі пристрої по вузлам таким чином, щоб втрати стали мінімальними.

**Ключові слова:** компенсація реактивної потужності, компенсуючі пристрої.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Демов О. Д. Абсолютна та відносна декомпозиції електричних мереж у розрахунках компенсації реактивної потужності в них / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №2.

2. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
3. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей / И. Н. Ковалев. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 200с.
4. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических сетях / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 210 с., ил.
5. Сингл М. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление : пер с англ. А. В. Запорожца / М. Сингл, А. Титли. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.

*Поступила в редакцию 29 ноября 2012 г.*