

**Я.Э.ШКЛЯРСКИЙ**, *д-р техн.наук, профессор, js-10@mail.ru*  
*Санкт-Петербургский государственный горный университет*  
**И.ГОНСАЛЕС ПАЛАУ**, *инженер, palauiliana@gmail.com*  
*Горно-металлургический институт им. Антонио Нуньес Хименес, Моа, Куба*

**Y.E.CHKLIARSKI**, *Dr. in eng. sc., professor, js-10@mail.ru*  
*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*  
**I.GONSALES PALAY**, *engineer, palauiliana@gmail.com*  
*Mining and Metallurgical Institute, Moa, Cuba*

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Оптимизация компенсации реактивной мощности при наличии высших гармоник в сложной электрической сети представляет собой сложную вычислительную задачу. Предложен метод расчета, позволяющий существенно сократить процедуру вычислений и при этом получить желаемый результат в виде выбора параметров устройств компенсации реактивной мощности и фильтров высших гармоник.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, компенсация, метод диапазонов.

## REACTIVE POWER COMPENSATION OPTIMIZATION AND ITS OPTIMIZATION IN THE ELECTRICAL NETWORK COMPLEX

The optimization of reactive power compensation in the presence of harmonics in the electrical network complex is a complicated computational problem. The authors propose a calculation method that significantly reduce the computation procedure and still get the desired result as the choice of device parameters for reactive power compensation and harmonics filters.

**Key words:** reactive power, compensation, the method of range.

Компенсация реактивной мощности при наличии высших гармоник в электрической сети при одновременном снижении искажений тока и напряжения может рассматриваться как проблема подготовки и принятия решений по нескольким критериям дискретных переменных [1, 2]. Предлагаемый способ решения поставленной задачи, прежде всего, включает внешний анализ ситуации (рис. 1):

- разложение общей задачи на независимые ее части с определением соответствующих этим частям переменных;
- определение весовой декомпозиции каждой выбранной локальной задачи;

• изучение независимых частей и влияния выбранных переменных на решение локальной задачи.

Одним из методов, применяемых для выбора показателей на выходе системы  $Y_i$ , является привлечение экспертов, работа с которыми включает в себя следующие этапы (метод Мультиронда):

- 1) выбор экспертов на основе их квалификации;
- 2) сбор данных, отражающих мнение группы экспертов;
- 3) определение веса выбранных экспертами показателей;
- 4) анализ полученных результатов.

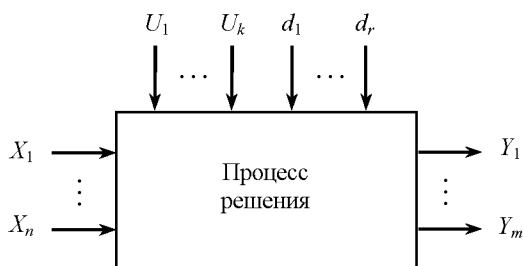


Рис.1. Внешний анализ ситуации  
 $U_k$  и  $d_r$  – параметры независимых воздействий на систему;  $X_n$  – параметры технических устройств, подлежащие изменению в процессе исследований;  $Y_m$  – технико-экономические показатели

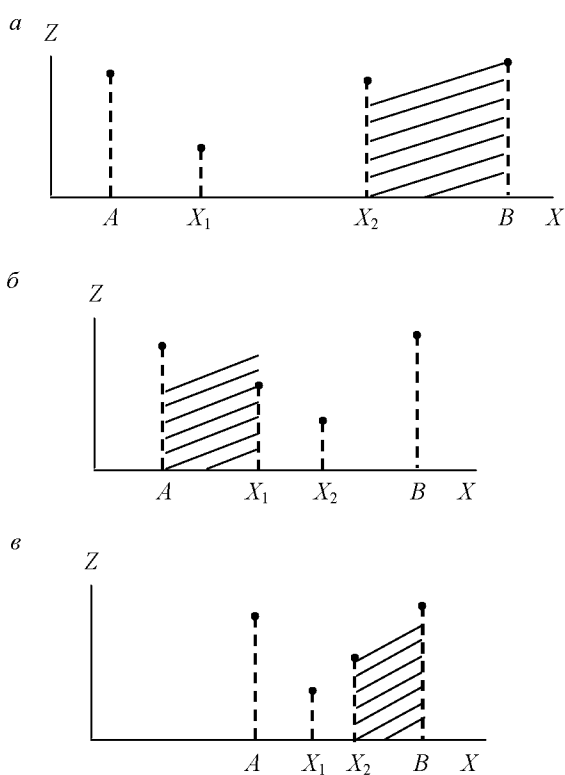


Рис.2. Шаги определения  $Z_{\max}$

Так, для одного из предприятий в результате применения рассмотренного метода были определены следующие показатели, влияющие на решение поставленной задачи: напряжение в узлах сети, коэффициент мощности в узлах, коэффициент гармонических искажений, потери мощности в сети и экономическая эффективность [3, 4]. Таким образом были определены основные показатели, которые в дальнейшем позволили разделить

основную задачу на независимые части. Такой подход не противоречит известному методу Чебышева по решению многокритериальной задачи, формализация которой выглядит следующим образом:

$$Z_i = \max_i \left\{ w_i \left| \frac{Y_{c_i} - Y_{d_i}}{Y_{d_i}} \right| \right\},$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент, соответствующий показателю  $Y_i$ ,  $Y_{c_i}$  и  $Y_{d_i}$  – соответственно расчетные и желаемые значения  $i$ -го показателя.

Однако применение метода Чебышева для разветвленных сетей представляется громоздким по двум основным причинам:

- фиксированные значения параметров независимых переменных определяются при достижении оптимума выходной функции;
- сходимость решения при наличии большого количества независимых переменных может быть недостаточной.

Исходя из этого, для решения поставленной задачи предлагается применить так называемый генетический алгоритм, предложенный Д.Холландом и позволяющий упростить решение без ущерба для его точности. Отличие этого метода заключается в том, что решением является не фиксированное значение параметров, а их область, границы которой определяются заданной точностью.

Для электрической сети при решении задачи компенсации реактивной мощности в условиях наличия искажений алгоритм будет содержать следующие этапы:

1) выбираются выходные функции системы, соответствующие низшей степени электрической сети ( $Y_i$ ) и независимые переменные, определяющие поведение этих функций согласно схеме (рис. 1).

2) определяется максимум обобщенной целевой функции  $Z_i$ , причем для каждого  $Y_{i,j}$  устанавливается диапазон изменения параметров, позволяющий получить оптимум целевой функции;

3) из полученных значений  $Y_{i,j}$  выбирается функция с наихудшими показателями и осуществляется переход на следующую ступень электрической схемы;

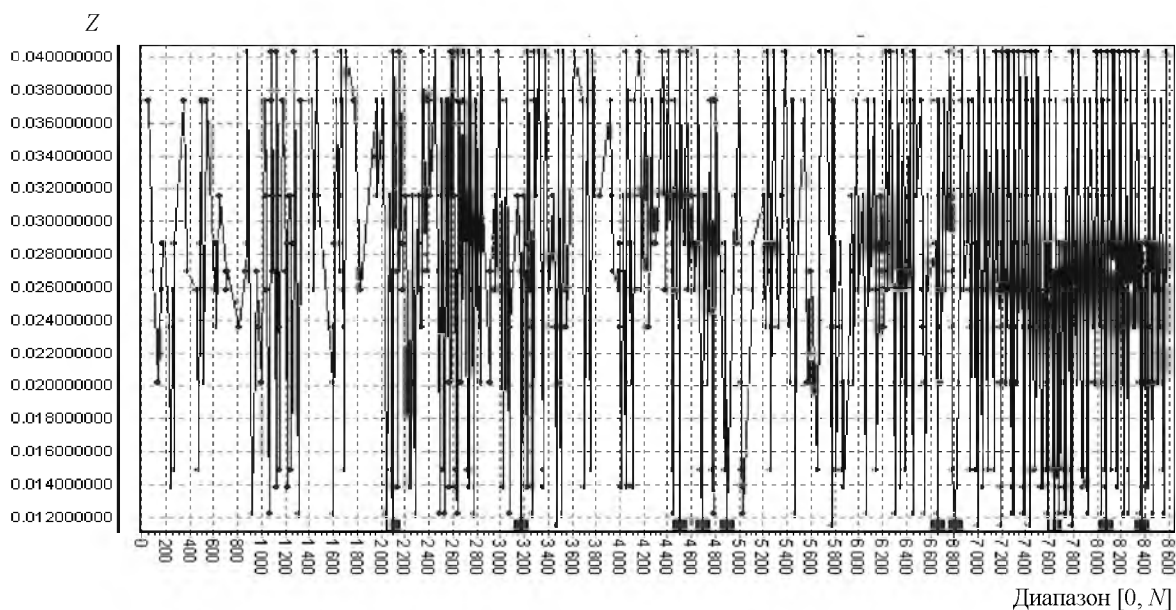


Рис.3. Фрагмент 10-процентного расчета на всем диапазоне  $[0, N]$

4) формируется новая целевая функция  $Z_k$  и добавляются функции  $Y_{(i+k)j}$ , соответствующие следующей ступени;

5) пп.2-4 повторяются до достижения последней ступени электрической сети.

Следуя представленному алгоритму, можно получить решение для сколь угодно разветвленной сети, причем в виде области изменения входных параметров  $X_n$  с заданным диапазоном их изменения. Основным в представленном алгоритме решения является второй этап (рис.2).

При заданном диапазоне изменения параметра  $X_n$  в пределах  $[A, B]$  определяется его диапазон с наибольшим значением  $Z_{\max}$  (рис.2, а). В нашем случае это диапазон  $[X_2, B]$ . Новый полученный диапазон  $[A, B]$  соответствует предыдущему  $[A, X_2]$ . Процедура повторяется, и теперь  $Z_{\max}$  будет соответствовать диапазону  $[A, X_1]$  (рис.2, б). Уменьшив диапазон  $[A, B]$  до нового значения  $[X_1, B]$ , определяют последующее  $Z_{\max}$  (рис.2, в), и т.д., до достижения заданной минимальной области изменения параметра  $X_n$ .

Следует отметить, что первоначальный диапазон  $[A, B]$  выбирается произвольно из всего диапазона переменных параметров и может быть значительно меньше него. В случае, если  $Z$  не достигает заданного значения

на диапазоне  $[A, B]$ , выбирается другой, отличный от предыдущего. Такой подход позволяет сократить вычислительную процедуру, осуществляемую при рассмотрении всего диапазона. В этом случае количество шагов расчета может быть чрезвычайно большим (рис.3).

Существенным моментом при реализации представленного алгоритма является определение количества параметров  $X_n$ , при которых достигается  $Z_{\max}$ . Исследования показали, что при заданном диапазоне изменения любого параметра, применяемого для решения задачи компенсации реактивной мощности в электрических сетях, достаточно его изменение ограничить 5% от всех возможных его значений. Такое утверждение следует из анализа зависимости (рис.4),

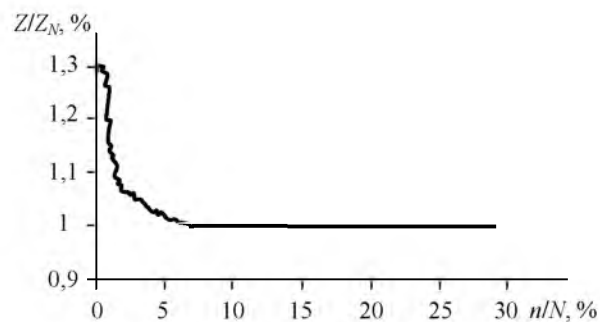


Рис.4. Зависимость изменения  $Z_{\max}$  от  $n/N$

где показано изменение  $Z_{\max}$  от процентного соотношения количества изменений  $n$  параметра  $X_i$  к общему количеству возможных его изменений.

Представленный алгоритм был реализован при определении параметров компенсации реактивной мощности на предприятии «Эрнесто Че Гевара». В условиях наличия высших гармоник в электрической сети предприятия были выбраны параметры фильтрокомпенсирующих установок и конденсаторных батарей, обеспечивающих заданные значения коэффициентов мощности и технико-экономических показателей.

## REFERENCES

1. Dong Z.Y., Hill D.J., Makarov Y.V. Advanced Reactive Power Planning by a Genetic Algorithm // IEEE Transactions on Power Systems. 2005. Vol.11. N 2. P.134-139.
2. Furong Li, Pilgrim J.-D., Chavansingh D. Genetic Algorithms for Optimal Reactive Power Compensation on the National Grid System // IEEE Transactions on Power Systems. 2005. Vol.20. N 1. P.203-208.
3. González P. I., Legrá L.A., Marrero R.S., Arzola R.J. Optimization of reactive power compensation in industrial networks with multiobjective algorithm // Energy Journal. 2006. Part 1. P.113-117.
4. González P. I., Legrá L.A., Marrero R.S., Arzola R.J. Optimization of reactive power compensation in industrial networks with multiobjective algorithm // Energy Journal. 2007. Part 2. P.156-161.