

УДК 621.3.072.86

**А.В. Ромодин, К.А. Лейзгольд, К.П. Трушников**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА РЕГУЛИРУЕМЫХ  
КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОАО «УНИИКМ»**

Рассмотрены вопросы оптимального выбора установленной мощности ступеней регулируемых компенсирующих устройств. Определены целевая функция минимизации затрат и ограничения, накладываемые на данную функцию. Подробно описан алгоритм выбора мощностей и количества ступеней регулирования установки компенсации реактивной мощности в зависимости от графиков потребления активной и реактивной мощности. Алгоритм апробирован на примере данных по потреблению предприятия ОАО «УНИИКМ». Проанализированы графики потребления активной и реактивной мощности. Построена гистограмма распределения значений необходимой для компенсации реактивной мощности. Произведен выбор оптимального соотношения мощностей и количества ступеней регулирования. Получена итоговая таблица схемы переключений ступеней компенсирующего устройства, которая является алгоритмом управления выбранной для системы электроснабжения предприятия ОАО «УНИИКМ» автоматической установки компенсации реактивной мощности величиной 1450 квар.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, ступень регулирования, гистограммы распределения мощности, оптимизация.

**A.V. Romodin, K.A. Leyzgold, K.P. Trushnikov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**OPTIMIZING SELECTION OF CONTROLLED REACTIVE POWER  
COMPENSATION SYSTEMS FOR JSC «URICM»**

The questions of optimal selection of installed power of levels controllable compensating devices have been considered. Objective function of minimization expenditure has been reduced. In detail, an algorithm of selection's power and in depends on a diagram of consumption level's number of regulation plant of compensation reactive power has been determined. The algorithm has been tasted on data's of consumption of JSC «URICM» company. The diagrams of consumption active and reactive power have been analyzed. A diagram of distribution of value for compensation reactive capacity has been constructed. A choice of optimal correlation power and numbers of levels regulation has been made. The total table of the switching circuitry of steps of the compensating device which is a control algorithm chosen for electric supply system of the factory of JSC «URICM» of automatic installation of a reactive power compensation power of 1450 kvar is gained.

**Keywords:** reactive power, reactive power compensation, level of regulation, diagram of distribution power, optimization.

Вопрос выбора установленной мощности ступенчато регулируемых компенсирующих устройств (КУ) представляет собой сложную задачу. В данное время отсутствуют нормативные документы, в которых отображены обоснованные алгоритмы выбора параметров КУ для решения конкретных задач. Однако существуют публикации, в которых описана проблема выбора установленной мощности КУ [1, 2].

В основе предлагаемого алгоритма оптимизации параметров КУ лежит подход, который заключается в выборе количества и мощности ступеней регулирования установки компенсации реактивной мощности (УКРМ), напрямую зависящих от графиков нагрузки предприятия.

Для определения необходимой величины компенсируемой реактивной мощности для группы электроприемников необходимо определить расчетные активную и реактивную нагрузки. Для групп электроприемников нагрузка определяется по среднесменной мощности и коэффициенту формы графика нагрузки ( $K_f$ ). Выражения для нахождения расчетных величин активной и реактивной мощности, а также коэффициента формы графика нагрузки предприятия подробно описаны в [3, 4].

Целесообразно использовать в расчетах среднесменные значения активной и реактивной мощности за наиболее загруженные смены, для того чтобы иметь возможность покрывать пики потребления реактивной мощности из сети [5].

На рис. 1 приведен график потребления активной и реактивной мощности за некоторый период с дискретизацией времени измерений  $t = 1$  ч комплектно-распределительного устройства (КРУ) ОАО «УНИИКМ».

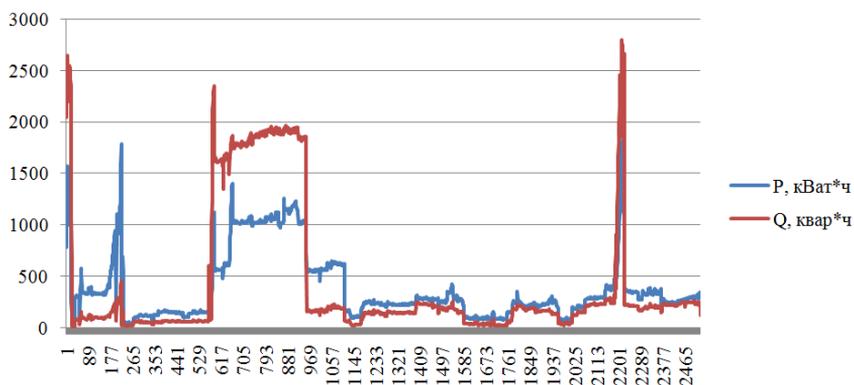


Рис. 1. График потребления активной и реактивной мощности КРУ

Значение расчетного соотношения реактивной и активной мощности ( $\text{tg}\varphi_p$ ) за наиболее загруженную смену КРУ сравнивается со значением, регламентированным в [6]. На основе данного сравнения делается вывод о целесообразности проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Значение реактивной мощности, которую необходимо компенсировать, определяется по соотношению [7]:

$$Q_{\text{БК}} \geq P_p(\text{tg}\varphi_p - \text{tg}\varphi_{\text{треб}}), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{БК}}$  – значение реактивной мощности, которую необходимо компенсировать, квар;  $P_p$  – расчетное значение активной мощности, кВт;  $\text{tg}\varphi_p$  – расчетное значение соотношения потребления реактивной и активной мощности;  $\text{tg}\varphi_{\text{треб}}$  – требуемое значение соотношения потребления реактивной и активной мощности, определяемое согласно [6].

В соответствии с соотношением (1) были определены значения реактивной мощности, которую необходимо компенсировать  $Q_{\text{БК}}(t)$ . График изменения  $Q_{\text{БК}}(t)$  за рассматриваемый период приведен на рис. 2.

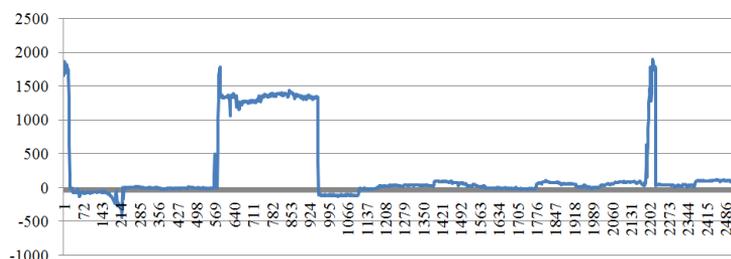


Рис. 2. Величина компенсируемой реактивной мощности по часам за рассматриваемый период, квар

Следует помнить, что количество ступеней регулирования УКРМ влияет на точность регулирования, а также на габаритные размеры установки, от чего зависит стоимость установки в целом.

Задача оптимизации заключается в необходимости выбора количества ступеней регулирования УКРМ и их мощности таким образом, чтобы комбинации подключаемых ступеней регулирования наиболее полно отвечали характеру изменения нагрузок предприятия, а стоимость установки была минимальной [8, 9, 10].

Целевая функция будет выглядеть следующим образом:

$$Z_Q = \sum_{j=1}^n [c_j(x_j) \cdot x_j] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $Z_Q$  – стоимость установки, руб.;  $n$  – количество ступеней регулирования;  $x_j$  – мощность  $j$ -й ступени регулирования, квар;  $c_j(x_j)$  – приведенная стоимость ступени регулирования, руб/квар.

Ограничения, накладываемые на данную функцию:

$$1. \sum_{j=1}^n x_j = Q_{\text{БК}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad n = c, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{БК}}$  – суммарная мощность УКРМ, квар;  $x_j$  – мощность  $j$ -й ступени регулирования, квар;  $c$  – количество ступеней регулирования установки, обусловленное допустимыми габаритными размерами.

$$2. k \geq Q_{\text{БК}}(t)|_{t=t_i}, \quad (4)$$

где  $k$  – мощность подключаемой комбинации ступеней УКРМ, квар;  $Q_{\text{БК}}(t)|_{t=t_i}$  – величина компенсируемой мощности в момент времени  $t$ , квар.

Оптимальное количество ступеней регулирования и их мощности определяются на основании характера графика нагрузки, величины и скорости его изменения. Максимальная суммарная мощность устройства компенсации выбирается по расчетной реактивной мощности за наиболее загруженную смену в рассматриваемый период, т.е. должна быть не менее значений, полученных по (1). Минимальная величина мощности высоковольтной конденсаторной установки, регламентируемая большинством производителей, – 50 квар. Принимая во внимание данное условие, минимальный шаг ступени регулирования составит 50 квар.

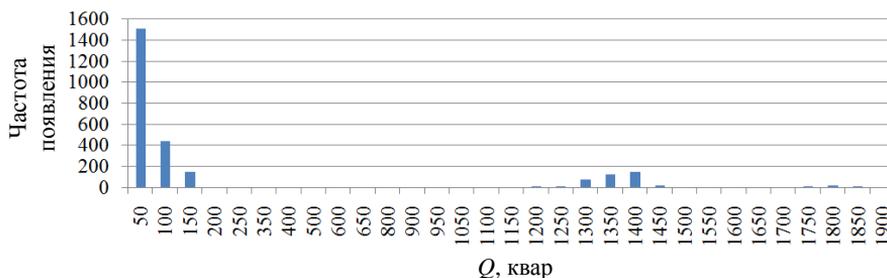


Рис. 3. Гистограмма распределения значений компенсированной реактивной мощности

Для определения мощности подключаемых ступеней используются гистограммы распределения величины компенсируемой реактивной мощности КРУ (рис. 3). По горизонтальной оси представлены реактивные мощности, компенсируемые за рассматриваемый период, по вертикальной – частота появлений данной мощности на интервале наблюдений.

На основании распределения значений компенсированной реактивной мощности (см. рис. 3), а также расчетных значений реактивной мощности, принятой к компенсации и рассчитанной для максимально загруженных смен, могут быть получены таблицы мощностей ступеней, наиболее полным образом отвечающих характеру изменения нагрузок. Возможная схема переключений представлена в таблице.

Схема переключения ступеней компенсирующего устройства 1450 квар

№ ступени	Q, квар	Комбинации подключаемых ступеней, квар						
		1	2	3	4	5	6	7
1	50	■		■		■		■
2	100		■	■			■	■
3	1300				■	■	■	■
Суммарная мощность, квар		50	100	150	1300	1350	1400	1450

Комбинации переключений, приведенные в таблице, являются основой для разработки алгоритма управления УКРМ.

На основе описанного выше подхода составлен алгоритм выбора мощности и количества ступеней УКРМ:

1. Согласно графику потребления определяется необходимость компенсации реактивной мощности;
2. В соответствии с соотношением (1) рассчитывается величина компенсируемой реактивной мощности;
3. Формируется целевая функция минимизации затрат;
4. Производится объединение компенсируемых мощностей в группы по частоте появления в рассматриваемом периоде измерений;
5. Определяются оптимальное количество и мощность ступеней регулирования УКРМ согласно гистограммам распределения мощности.

Рассмотренный подход позволяет оптимальным образом выбирать количество и мощности подключаемых ступеней регулирования УКРМ.

### **Библиографический список**

1. Николаев В. Безаварийная и эффективная эксплуатация устройств компенсации реактивной мощности низкого напряжения // Я электрик. – 2009. – № 17. – С. 50–54.
2. Малышева Н.Н. Оптимизация состава и параметров компенсирующих устройств в электрических сетях нетяговых железнодорожных потребителей: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Омск, 2011. – 19 с.
3. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: проектирование и расчет / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович, В.И. Мозырский, Д. И. Розинский. – Киев: Техника, 1985.
4. НТП ЭПП-94. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
5. Вагин Г.Я. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие. – Горький: Изд-во ГПИ им. А.А. Жданова, 1986. – 76 с.
6. Приказ Минэнерго № 49 от 22.02.2007 г. «Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договоры энергоснабжения)». Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
7. РТМ 36.18.32.6-92. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
8. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2003. – 120 с.
9. Дегтярев Ю.И. Методы оптимизации. – М.: Советское радио. 1980. – 272 с.
10. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация / пер. с англ. В.Ю. Лебедева; под ред. А.А. Петрова. – М.: Мир. 1985. – 509 с.

## References

1. Nikolaev V. Bezavariinaia i effektivnaia ekspluatatsiia ustroystv kompensatsii reaktivnoi moshchnosti nizkogo napriazheniia [Trouble-free and efficient operation of the reactive power compensation of low voltage]. *Ia elektrik*, 2009, no. 17, pp. 50-54.

2. Malysheva N.N. Optimizatsiia sostava i parametrov kompensiruiushchikh ustroystv v elektricheskikh setiakh netiagovykh zheleznodorozhnykh potrebitelei [Optimization of parameters of compensating devices in electrical networks not traction rail customers]. Abstract of Ph.D thesis, Omsk, 2011, 19 pp.

3. Ovcharenko A.S., Rabinovich M.L., Mozyrskii V.I., Rozinskii D.I. Spravochnik po elektrosnabzheniiu promyshlennykh predpriatii: proektirovanie i raschet [Reference book of industrial power supply: project engineering and calculation]. Kiev: Tekhnika, 1985.

4. NTP EPP-94. Proektirovanie elektrosnabzheniia promyshlennykh predpriatii [Project engineering of industrial power supply].

5. Vagin G.Ia. Spetsial'nye voprosy elektrosnabzheniia promyshlennykh predpriatii [Special questions of industrial power supply]. Gor'kovskii politekhnicheskii institut imeni A.A. Zhdanova, 1986. 76 p.

6. Prikaz Minenergo no. 49 ot 22.02.2007 «Poriadok rascheta znachenii sootnosheniia potrebleniia aktivnoi i reaktivnoi moshchnosti dlia otdel'nykh energopriniimaiushchikh ustroystv (grupp energopriniimaiushchikh ustroystv) potrebitelei elektricheskoi energii, primeniaemykh dlia opredeleniia obiazatel'stv storon v dogovorakh ob okazanii uslug po peredache elektricheskoi energii (dogovory energosnabzheniia)» [Energy Order number 49 dated 22.02.2007 «Procedure for design quantity of the ratio of active and reactive power for the individual power receivers (groups of power receivers) of electric energy used for determining the obligations of the parties to agreements on the provision of services for the transmission of electrical energy (power supply agreements)»].

7. RTM 36.18.32.6-92 «Ukazaniia po proektirovaniu ustanovok kompensatsii reaktivnoi moshchnosti v elektricheskikh setiakh obshchego naznacheniiia promyshlennykh predpriatii» [Recommended practices to project of installation of a reactive power compensation in general service circuit of industrial enterprises].

8. Kostin V.N. Optimizatsionnye zadachi elektroenergetiki [Optimization problems of electric power industry]. Saint Petersburg: Severo-zapadnyi zaochnyi universitet, 2003. 120 p.

9. Degtiarev Iu.I. Metody optimizatsii [Optimization methods]. Moscow: Sovetskoe radio, 1980. 272 p.

10. Gill F., Miurrei U., Rait M. Prakticheskaja optimizatsiia [Practical optimization]. Moscow: Mir, 1985. 509 p.

### **Сведения об авторах**

**Ромодин Александр Вячеславович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: romodin@mail.ru).

**Лейзгольд Карина Анатольева** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: karleyz@yandex.ru).

**Трушников Кирилл Павлович** (Пермь, Россия) – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: trkirya@mail.ru).

### **About the authors**

**Romodina Alexander Vyacheslavovich** (Perm, Russian Federation) is Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation Microprocessor Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky pr., Perm, e-mail: romodin@mail.ru).

**Leyzgold Karina Anatolievna** (Perm, Russian Federation) is an Assistant of the Department of Automation Microprocessor Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky pr., Perm, e-mail: karleyz@yandex.ru).

**Trushnikov Kirill Pavlovich** (Perm, Russian Federation) is a Master's Degree Student Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky pr., Perm, e-mail: trkirya@mail.ru).

Получено 10.06.2014