

## ВЫВОД

При анализе и синтезе дискретных систем с фазовым управлением ДСФУ для приблизительных оценок удобнее использовать линеаризованные модели, построенные на основе выражений вида (1), (2), а уточнение результатов следует производить по имитационной модели. При построении последней рассматривается не вся система в целом, а каждый составляющий ее элемент в отдельности, а затем устанавливается связь между элементами, что приводит к получению полной модели системы в целом. Таким образом удастся сэкономить время и удовлетворить требованиям, предъявленным к точности расчетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г а л и н, А. С. Диапазон-кварцовая стабилизация СВЧ / А. С. Галин. – М.: Связь, 1976.
2. Б а т у р а, М. П. Дискретные системы с фазовым управлением / М. П. Батура. – Минск: БГУИР, 2002.
3. С т е к л о в, В. К. Итерационные системы фазовой автоподстройки / В. К. Стеклов, В. В. Коробко. – Киев: Техника, 2004.
4. К у з н е ц о в, В. П. Анализ переходных режимов в электроприводе с широтно-импульсным управлением / В. П. Кузнецов, Я. И. Онацкий, А. В. Марков // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1975. – № 8.

Представлена кафедрой  
систем управления

Поступила 22.02.2007

УДК 621.31.019.3

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Асп. СТАРЖИНСКИЙ А. Л.

*Белорусский национальный технический университет*

Необходимость в сооружении собственной электростанции на промышленном предприятии в условиях Республики Беларусь возникает по следующим причинам [1]:

- из-за потребности технологического процесса в тепловой энергии;
- для обеспечения резервного питания ответственных потребителей;
- из-за высоких тарифов на тепловую и электрическую энергию и др.

В настоящее время отмеченные причины дополняются также необходимостью экономии энергоресурсов в тех случаях, когда не в полной мере используется потенциал вырабатываемого пара высокого давления и тем-

пературы, получаемый от собственных котельных для целей технологического процесса предприятия. Как правило, указанные параметры пара понижаются в редуционно-охладительных устройствах (РОУ). Для повышения коэффициента использования топлива в котельных вместо РОУ или параллельно ему можно установить противодавленческие турбины, работающие, как правило, через редуктор на генератор соответствующей мощности (например, 1,5 МВт). Такие решения существенно снижают инвестиционные затраты в развитие электрогенерирующих мощностей и обеспечивают выработку электроэнергии по теплофикационному циклу. Необходимо отметить, что удельные капиталовложения в эти мероприятия сравнительно небольшие (порядка 450–550 у. е./кВт), что ниже удельной стоимости сооружения новых тепловых электростанций, а также парогазовых и газопоршневых установок. Энергетический потенциал таких источников сравнительно невелик, и максимальное значение оценивается в несколько сот мегаватт, что не исключает необходимости реализации его в полной мере.

Доля промышленных ТЭЦ в Республике Беларусь составляет 1,7 % суммарной установленной мощности электростанций. При сооружении ТЭЦ на промышленных предприятиях не только решаются вопросы теплоснабжения, но и обеспечивается выработка дешевой электрической энергии. В то же время имеют место дополнительные инвестиционные затраты, необходимые для реконструкции существующей системы теплоснабжения с целью привязки новой ТЭЦ [2]. Экономический эффект достигается замещением покупки электроэнергии из энергосистемы ее собственной выработкой по теплофикационному циклу с меньшей себестоимостью. В связи с этим представляется целесообразным сооружение малых и миниэлектростанций на промышленных предприятиях.

Эффективность отмеченной модернизации может быть установлена на основе анализа, учитывающего как требуемые капитальные затраты, ежегодные эксплуатационные расходы (на текущие и капитальные ремонты, обслуживание, стоимость потерянной энергии), так и показатели качества системы электроснабжения (изменение надежности системы электроснабжения промышленного предприятия при внедрении генерирующих источников, степень зависимости предприятия от поставок электроэнергии из энергосистемы). Здесь необходима оценка отдельно каждого из показателей с помощью математических методов, например многоцелевой оптимизации или нечетких множеств, которые позволяют учитывать многие цели, имеющие количественную и качественную характеристики [3].

Для электроэнергетических объектов такими характеристиками надо считать надежность функционирования, капиталовложения, ежегодные издержки, развитие инфраструктуры, социальный эффект, воздействия на природные условия и т. д. [4]. Как правило, полностью обеспечить выполнение разных целей невозможно. Всегда в какой-то мере приходится удовлетворяться каким-то компромиссным решением. Причиной этого является противоречивость целей, характерным примером которых являются экономичность и надежность [5].

Известное нам предприятие пищевой промышленности с непрерывным технологическим процессом получает питание от энергосистемы по трем

линиям – двум воздушным напряжением 110 кВ и одной кабельной напряжением 10 кВ (резервная линия). На этом предприятии предполагается установка собственной паротурбинной электростанции.

Для схемы электроснабжения характерно наличие шин трех напряжений 10; 6 и 0,38 кВ, на которые могут быть подключены генераторы мини-электростанции. Подключение генератора на шины системы электроснабжения предприятия осуществляется, как правило, через понижающие или повышающие трансформаторы.

Оценим эффективность сооружения миниэлектростанции мощностью 1,5 МВт на промышленном предприятии, а также определим место ее включения (на шины 10; 6 или 0,38 кВ) [6] с помощью метода многоцелевой оптимизации. Сформулируем задачу в следующем виде: требуется оценить эффективность применения собственных генерирующих источников при обеспечении:

- максимума финансовой эффективности (цель № 1);
- максимума надежности электроснабжения (цель № 2);
- минимальной зависимости от внешних источников электроснабжения (цель № 3).

Структуру целевой функции представим в виде [1]

$$E = \sum_{i=1}^n v_i e_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $v_i$  – оценка важности  $i$ -й ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) цели;  $e_i$  – относительная эффективность  $i$ -й цели.

Среднеарифметическая форма целевой функции может иногда давать весьма близкие оценки, если проигрыш по одному свойству компенсируется выигрышем по другому [7].

В тех случаях, когда требуется различить между собой близкие по значению варианты, применяется среднегармоническая структура целевой функции в виде [1]

$$E = \sum_{i=1}^n \left( \frac{v_i}{e_i} \right)^{-1}.$$

При этом

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1. \quad (2)$$

По своей сути показатель (1) выражает требование максимизации выполнения совокупности поставленных целей [8].

Любому невыгодному варианту соответствует  $E = 0$ , а идеальному –  $E = 1$  [9].

Положим, что если  $v_i < 0,2$ , то происходит обесценивание цели, т. е. нижний предел  $v_i = 0,2$ . Тогда максимально возможное значение  $v_i$  для наиболее важной цели при условии, что все остальные имеют коэффициенты 0,2, найдется как [1]

$$V_{\max} = 1 - V_{\min}(n - 1), \quad (3)$$

где  $V_{\min}$  – нижний предел  $V_i$ ;  $n$  – количество целей.

При  $n = 3$   $V_{\max} = 0,6$ .

Таким образом,  $0,2 \leq V_i \leq 0,6$ .

Значения  $V_i$  могут быть определены экспертным путем. Ранжирование критериев умножением их на соответствующие коэффициенты осуществляется интуитивно, на основе их экспертных оценок, и по этой причине часто может носить субъективный характер. В свою очередь, и в конечные результаты будут внесены элементы субъективизма [10]. В тех случаях, когда не может быть обеспечена низкая погрешность результата оценок  $V_i$ , рассматриваются наиболее употребительные варианты значений, получающихся как при равнозначных оценках важности цели ( $V_i = 0,33$ ), так и в случаях одной ( $V_1 = 0,6$ ;  $V_2 = V_3 = 0,2$ ) или двух ( $V_1 = V_2 = 0,4$ ;  $V_3 = 0,2$ ) главных целей (табл. 1).

Таблица 1

Варианты оценки важности целей

Номер цели	Наименование цели	Номер варианта оценки				
		1	2	3	4	5
1	Максимум финансовой эффективности	0,33	0,8	0,1	0,1	0,4
2	Максимум надежности электроснабжения	0,33	0,1	0,8	0,1	0,4
3	Минимальная зависимость от внешних источников электроснабжения	0,34	0,1	0,1	0,8	0,2

Относительная эффективность  $e_i$   $i$ -й цели определяется как [1]:

- для минимизируемой цели

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i}, \quad (4)$$

- для максимизируемой цели

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (5)$$

где  $x_i$  – текущее значение показателя  $i$ -й цели;  $\min x_i$ ,  $\max x_i$  – минимальное и максимальные значения показателя  $i$ -й цели.

Значения показателей  $x_i$  (цель № 1) финансовой эффективности от включения турбогенератора в систему электроснабжения предприятия рассчитывались исходя из удельного расхода топлива на производство электроэнергии на миниэлектростанции, равного 0,2316 кг у. т./кВт·ч [11], количества часов работы турбогенератора в году, равного 8064 ч, стоимости 1 т условного топлива, равной 124 у. е., удельных капиталовложений, составляющих 557,65 у. е./кВт, расчетного периода, равного 25 годам, ставке дисконта  $E = 0,1$  (табл. 2). При расчете финансовой эффективности учитывалась также стоимость потерь электрической энергии, которая определялась при различных вариантах подключения генератора. Значения показателей  $x_i$  (цель № 2) вероятности безотказной работы получены на основе расчета надежности системы электроснабжения предприятия при подключении генератора миниэлектростанции на шины различных номинальных напряжений 10; 6 и 0,38 кВ [6].

Таблица 2

**Значения показателей  $\chi_i$  сравниваемых вариантов**

Но- мер цели	Наименование цели	Едини- ца из- мере- ния	Мини- элект- ростан- ция от- сут- ствует	Значение показателя $\chi_i$ при включении генератора на шины					
				10 кВ		6 кВ		0,38 кВ	
				Коэффициент загрузки генератора $k_3$		Коэффициент загрузки генератора $k_3$		Коэффициент загрузки генератора $k_3$	
				0,8	1	0,8	1	0,8	1
1	Максимум финансовой эффективности	тыс. у. е.	0	1651,52	2424,64	1649,56	2420,53	1566,87	2314,89
2	Максимум надежности электроснабжения	о. е.	0,647	0,839	0,839	0,917	0,917	0,9999	0,9999
3	Минимальная зависимость от внешних источников электроснабжения	о. е.	1	0,5145	0,4175	0,5145	0,4175	0,5145	0,4175

Цель № 3 – минимальная зависимость от внешних источников электроэнергии.

Значение показателя  $\chi_i$  цели № 3 определялось по формуле

$$Y = Y_1 Y_2, \quad (6)$$

где  $Y_1$  – отношение мощности, потребляемой из энергосистемы, к мощности, заявляемой предприятием, о. е.;  $Y_2$  – отношение количества электроэнергии, потребляемой из энергосистемы, к суммарному электропотреблению предприятия, о. е.:

$$Y_1 = 1 - \frac{P_{\text{эст}}}{P_{\text{заявл.пред}}}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{эст}}$  – мощность, выдаваемая генератором электростанции, МВт;  $P_{\text{заявл.пред}}$  – мощность, заявляемая предприятием, МВт.

При  $P_{\text{эст}} = 0$  значение  $Y_1 = 1$ , т. е. предприятие потребляет мощность только от сетей энергосистемы, а при  $P_{\text{эст}} = P_{\text{заявл.пред}}$  значение  $Y_1 = 0$ , и предприятие потребляет мощность только от собственной миниэлектростанции.

$$Y_2 = 1 - \frac{W_{\text{эст}}}{W_{\text{потр.пред}}}, \quad (8)$$

где  $W_{\text{эст}}$  – количество электроэнергии, отпущенной с шин электростанции, кВт·ч;  $W_{\text{потр.пред}}$  – количество электроэнергии, потребляемое предприятием, кВт·ч.

При  $W_{\text{эст}} = 0$  значение  $Y_2 = 1$ , т. е. предприятие получает электроэнергию только от сетей энергосистемы, а при  $W_{\text{эст}} = W_{\text{потр.пред}}$  значение  $Y_2 = 0$ , и предприятие получает электроэнергию только от собственной миниэлектростанции.

Определялись показатели  $e_i$  по формуле (4) для цели – минимальной зависимости от внешних источников электроснабжения (цель № 3), а по формуле (5) для двух целей – максимума финансовой эффективности (цель № 1) и максимума надежности электроснабжения (цель № 2) (табл. 3).

Таблица 3

## Показатели относительной эффективности целей

Но- мер цели	Наименование цели	Мини- элект- ростан- ция от- сут- ствует	Значение показателя $e_j$ при включении генератора на шины					
			10 кВ		6 кВ		0,38 кВ	
			Коэффициент загрузки $k_3$		Коэффициент загрузки $k_3$		Коэффициент загрузки $k_3$	
			0,8	1	0,8	1	0,8	1
1	Максимум финансовой эффективности	0	0,681	1	0,680	0,998	0,646	0,955
2	Максимум надежности электроснабжения	0,647	0,839	0,839	0,917	0,917	1	1
3	Минимальная зависимость от внешних источников электроснабжения	0,4175	0,812	1	0,812	1	0,812	1

Далее по формуле (1) с использованием данных табл. 3 определялось значение критерия многоцелевой оптимизации  $E$  для всех рассматриваемых вариантов (табл. 4). Вариант с наибольшим значением критерия  $E$  наиболее целесообразен.

Таблица 4

Значения критерия оптимизации  $E$ 

Вариант	Коэффициент загрузки $k_3$	Номер варианта оценки важности цели				
		1	2	3	4	5
При отсутствии собственной электростанции	0	0,355	0,106	0,559	0,399	0,342
Включение генератора на шины напряжением 10 кВ	0,8	0,778	0,710	0,820	0,801	0,770
	1	0,947	0,984	0,871	0,984	0,936
Включение генератора на шины напряжением 6 кВ	0,8	0,803	0,717	0,883	0,809	0,801
	1	0,972	0,990	0,933	0,992	0,966
Включение генератора на шины напряжением 0,38 кВ	0,8	0,819	0,698	0,946	0,814	0,821
	1	0,985	0,964	0,996	0,996	0,982

Как видно из табл. 4, значение критерия оптимизации  $E$  при включении собственного генерирующего источника в систему электроснабжения промышленного предприятия превышает соответствующий критерий оптимизации при электроснабжении предприятия только от сетей энергосистемы в 2,1–4,6 раза, что свидетельствует об эффективности применения собственных генерирующих источников на промышленном предприятии.

## ВЫВОД

Сооружение собственных электростанций на промышленном предприятии при наличии источников тепловой энергии может оказаться целесообразным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей / М. А. Короткевич. – Минск: Вышэйш. шк., 2005. – 364 с.

2. П а д а л к о, Л. П. Повышение эффективности и надежности энергоснабжения на основе формирования рациональной структуры генерирующих источников / Л. П. Падалко, А. М. Заборовский // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Вып. 55: Методические и практические задачи надежности систем энергетики: сб. науч. ст. / Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН; редкол.: Н. И. Воропай [и др.]. – Иркутск, 2005. – С. 39–47.
3. К о р о т к е в и ч, М. А. Оценка целесообразности модернизации электросетевого оборудования / М. А. Короткевич // Электрические станции. – 1989. – № 10. – С. 64–66.
4. О к о р о к о в, В. Р. Управление электроэнергетическими системами / В. Р. Окороков. – Л.: ЛГУ, 1976. – 224 с.
5. А р з а м с ц е в, Д. А. Введение в многоцелевую оптимизацию энергосистем / Д. А. Арзамсцев. – Свердловск: Изд-во УПИ, 1984. – 84 с.
6. К о р о т к е в и ч, М. А. К обоснованию целесообразности установки собственных генерирующих источников на промышленном предприятии / М. А. Короткевич, А. Л. Старжинский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 1. – С. 15–20.
7. В а с и л ь е в, А. П. Надежность электроэнергетических установок и систем: Теория и практика / А. П. Васильев, Ю. Б. Гук, В. В. Карпов. – СПб.: ГУ Ленгосэнергонадзор, 2000. – 413 с.
8. О с н о в ы управления энергетическим производством: учеб. для вузов / В. Р. Окороков [и др.]. – М.: Высш. шк., 1987 – 334 с.
9. А р т ю г и н а, И. М. Методы технико-экономического анализа в энергетике / И. М. Артюгина, В. Р. Окороков. – Л.: Наука, 1988. – 264 с.
10. А м и н о в, Р. З. Векторная оптимизация режимов работы электростанций / Р. З. Аминов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 304 с.
11. С т а р ж и н с к и й, А. Л. Оценка удельного расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий / А. Л. Старжинский // Вестник ГГТУ. – 2006. – № 2. – С. 82–87.

Представлена кафедрой  
электрических сетей

Поступила 1.09.2006

УДК 621.314.1

## **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШАЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩИМ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНО-НЕПРЕРЫВНОГО ТОКА**

**Инж. МИРОНОВИЧ А. В., канд. техн. наук, доц. ПРИМШИЦ П. П.**

*Белорусский национальный технический университет*

Источники вторичного электропитания на сегодняшний день являются неотъемлемой частью большинства современных электрических устройств. Они снабжают электроэнергией все электрические и электронные цепи и обеспечивают работоспособность оборудования. Успешная работа любого комплекта электрического или электронного оборудования зависит от точного и надежного функционирования источника питания. В большинстве случаев основными требованиями, предъявляемыми к источникам, явля-