

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 редукционно-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 качественные 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 максимальное 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 x_i сравниваемых вариантов

Но- мер цели	Наименование цели	Едини- ца из- мере- ния	Мини- элект- ростан- ция от- сут- ствует	Значение показателя x_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 электрообеспечения	о. е.	0,647	0,839	0,839	0,917	0,917	0,9999	0,9999
3	Минимальная зависи- мость от внешних ис- точников электрообес- печения	о. е.	1	0,5145	0,4175	0,5145	0,4175	0,5145	0,4175

Цель № 3 – минимальная зависимость от внешних источников электро-
энергии.

Значение показателя x_i цели № 3 определялось по формуле

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

где Y_1 – отношение мощности, потребляемой из энергосистемы, к мощно-
сти, заявляемой предприятием, о. е.; Y_2 – отношение количества электро-
энергии, потребляемой из энергосистемы, к суммарному электропотребле-
нию 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; $P_{\text{за-
явл.пред}}$ – 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 миниэлектро-
станции.

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

где $W_{\text{эст}}$ – количество электроэнергии, отпущенной с шин электростан-
ции, кВт·ч; $W_{\text{потр.пред}}$ – количество электроэнергии, потребляемое предприя-
тием, кВт·ч.

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

Определялись показатели e_i по формуле (4) для цели – минимальной за-
висимости от внешних источников электрообеспечения (цель № 3), а по
формуле (5) для двух целей – максимума финансовой эффективности (цель
№ 1) и максимума надежности электрообеспечения (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_i при включении генератора на шины					
			10 кВ		6 кВ		0,38 кВ	
			Коэффициент загрузки k_z		Коэффициент загрузки k_z		Коэффициент загрузки k_z	
			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_z	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. К о р о т к е в и ч, 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-