

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭС*

Инж. ШИЧКО С. Н.

Минская ТЭЦ-5

Основные требования, предъявляемые к энергетическому оборудованию: экономичность, надежность, безопасность и экологичность. В условиях недостатка инвестиций поддержание разумного соотношения между этими факторами требует научно обоснованных подходов, учитывающих всю совокупность взаимных связей между ними. В группе показателей, определяющих стратегию развития энергообъекта, выделим: удельный расход топлива, коэффициент готовности, удельный показатель загрязнения окружающей среды. Широкое распространение в энергетике получили задачи по линейному программированию. При постановке задачи линейного программирования вводятся ограничения на оптимизируемые параметры и строится целевая функция.

Для целевой функции $f(b_{\text{э}}, K_{\text{г}}, \text{Э})$ комплексного критерия эффективности задача линейного программирования запишется в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(b_{\text{э}}, K_{\text{г}}, \text{Э}) \rightarrow \max; \\ b_{\text{э min}} \leq b_{\text{э}} \leq b_{\text{э max}}; \\ K_{\text{г min}} \leq K_{\text{г}} \leq K_{\text{г max}}; \\ \text{Э min} \leq \text{Э} \leq \text{Э max}; \\ C \leq C_{\text{max}}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $b_{\text{э}}$, $K_{\text{г}}$, Э – соответственно удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии $\frac{\text{г у.т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$, коэффициент готовности энергоблока либо электростанции с поперечными связями, критерий экологичности, характеризующий воздействия энергообъектов на окружающую среду, в частности выбросы дымовых газов в атмосферу, мг/м^3 .

При такой постановке задачи возникают трудности с определением инвестиций C , а также вида функции f . При установлении адекватного соотношения между параметрами оптимизации и инвестициями возможен выбор в качестве целевой функции параметра C .

Еще один подход к решению поставленной задачи содержится в применении функции полезности. Наиболее распространена аддитивная функция полезности

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n),$$

где $f_i(x_i)$ – частная функция полезности для фактора x_i .

* Публикуется в порядке обсуждения.

В [1] представлено решение задачи синтеза надежности и экономичности с помощью обобщенной функции полезности. Критерий представлен здесь в мультипликативной форме, аналогичного подхода будем придерживаться и мы при расчете функции полезности

$$g_i = x_1 + x_2 y_i, \quad (2)$$

где g_i – значение параметра оптимизации по безразмерной шкале; x_i – коэффициенты;

$$d_i = \exp[-\exp(-g_i)]. \quad (3)$$

При построении шкалы полезности, устанавливающей соотношение между значением отклика y_i и соответствующим ему значением частной функции полезности d_i , итоговая функция представляет собой среднее геометрическое между функцией надежности и функцией экономичности

$$D_{н+э} = \sqrt{d_n d_э}. \quad (4)$$

Обобщенная функция полезности применяется при сравнении разнородных характеристик, которые приводят к безразмерному и нормированному виду. Нормированная функция полезности устанавливает соответствие различных по смыслу и шкалам измерения характеристик со шкалой полезности [2]. При установлении соответствия определенного значения по шкале желательности отдельным откликам важную роль играют экспертные оценки, т. е. показатели наилучших и неприемлемых значений исследуемого параметра могут значительно варьироваться.

Рассмотрим вариант ТЭС с блочной компоновкой энергоустановки. В качестве критерия экономичности будем использовать удельный расход топлива на выработку электроэнергии с момента выхода энергоблока на номинальную нагрузку. Для унификации оценки экономичности удобно рассматривать удельный расход топлива по истечении фиксированного промежутка времени τ . Очевидно, такой подход полагает, что с учетом пусковых потерь удельный расход топлива будет постоянно изменяться от $b(0) = \infty$ до $b(\infty) = b_{ном}$. Расход топлива на пуск блока определяется его тепловым состоянием и зависит от времени простоя блока в резерве или ремонте после останова. Максимальный удельный расход условного топлива будет в момент пуска блока, в дальнейшем, при безотказной работе, b_0 будет падать, стремясь к номинальному показателю. С увеличением времени простоя главную роль в обобщенном критерии будет играть коэффициент готовности. При достижении комплексным показателем эффективности значений ниже 0,37 имеет смысл говорить о неудовлетворительном техническом состоянии энергетического объекта.

За наилучший показатель экономичности примем номинальный удельный расход топлива. В случае пусковых потерь топлива B_n удельный расход топлива составит

$$b'_0(\tau) = b_0 + \frac{B_n}{N\tau}, \quad (5)$$

где τ – время работы блока после пуска, ч; b_0 – номинальный расход, т. е. удельный расход топлива на выработку электроэнергии без учета пусковых потерь.

Авторами [3] предложен способ определения расхода топлива на пуск блока по уравнению

$$B_{\text{п}} = a + k\tau, \quad (6)$$

где a, k – опытные коэффициенты, для блока К-300-240 $a = 55$ и $k = 1,8$.

Не следует забывать, что участие энергоблока в регулировании мощности в энергосистеме и, как следствие, работа в течение определенного времени с пониженной нагрузкой или перегрузкой приведут также к увеличению удельного расхода топлива. Примем во внимание тот факт, что энергоблок участвует в регулировании мощности в энергосистеме. В этом случае показатель частной функции полезности будет иным. Рассмотрим случай работы энергоблока в режимах регулирования мощности в энергосистеме. Получим набор функций, соответствующих наилучшему показателю b_3 :

$$\left\{ \begin{aligned} 0,999 &= \exp \left[-\exp \left(x_1 + x_2 b_{\min} \left(\frac{N_{\text{НОМ}}}{N_i} \right)^\alpha \right) \right]; \\ 0,2 &= \exp \left[-\exp(x_1 + x_2 b_{\max}) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таблица 1
Коэффициенты функции полезности

N	x_1	x_2
1	66,132	–0,186
0,95	67,822	–0,191
0,9	69,706	–0,196
0,85	71,820	–0,202
0,8	74,216	–0,209
0,75	76,958	–0,217
0,7	80,134	–0,225
0,65	83,866	–0,236
0,6	88,326	–0,248
0,55	93,772	–0,264
0,5	100,600	–0,283

Здесь $\alpha = -0,06$ в соответствии с [3], 0,999 и 0,2 – отметки на шкале полезности. По данной системе уравнений получены коэффициенты x_1 и x_2 для различных мощностей, максимальный и минимальный расходы топлива взяты из [1] и результаты расчета приведены в табл. 1.

При увеличении времени простоя в ремонте сверх времени восстановления $T_{\text{в}}$ расход топлива остается неизменным и определяющим является фактор надежности. Нормативная наработка на отказ в нашем случае

составляет 6000 ч. Будем полагать, что на протяжении периода времени от возобновления эксплуатации до отказа энергоблок работает с номинальной нагрузкой, частичные снижения нагрузки, возникающие при выполнении диспетчерского графика, не учитываются. Расчет показывает, что при безотказной работе в течение нормативного срока с момента пуска из холодного состояния удельный расход топлива примерно равен номинальному.

Введем в рассматриваемую функцию полезности дополнительный параметр, характеризующий воздействие энергетического объекта (в данном случае энергоблока, а в общем – электростанции и котельной) на окружающую среду. Частную функцию этого параметра назовем функцией эколо-

гичности Э. Из всего многообразия воздействий ТЭС на окружающую среду, включающего электромагнитное, тепловое, шумовое воздействия, загрязнения водного и воздушного бассейнов, выделим выбросы в атмосферу как основные. Согласно данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь доля электростанций концерна «Белэнерго» в суммарных выбросах диоксида серы на территории Беларуси составляет 30,4 %, в выбросах оксидов азота – 23,0 %. Значительна также доля энергетики в выбросах диоксида углерода – около 1/3 общего объема эмиссий [4].

Таблица 2

Расход топлива, выработка электрической и тепловой энергии и величины выбросов в атмосферу от предприятий концерна «Белэнерго» в 1996...2000 гг. [4]

Год	Расход топлива, млн т у. т.	Выбросы в атмосферу, тыс. т у. т.				Производство	
		SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	электроэнергии, млрд кВт·ч	теплоты млн Гкал
1996	12,9	104,2	34,3	5,3	22900	23,7	37,0
1997	12,8	59,4	34,3	4,9	23070	26,0	36,2
1998	11,8	57,9	31,9	4,3	21320	23,5	35,5
1999	12,3	49,8	32,6	4,9	21920	26,5	32,5
2000	11,8	25,4	30,6	4,6	20100	25,6	31,2

Из приведенных в табл. 2 выбросов ТЭС для формирования частной функции экологичности примем к рассмотрению только оксиды серы и азота, так как оксид углерода характеризует, как правило, режимы горения, а диоксид углерода – объемы вырабатываемой энергии и КПД энергоустановок. При работе на газообразном топливе соответственно будем учитывать только выбросы оксидов азота.

Учитывая структуру топливного баланса Республики Беларусь, рассмотрим в качестве исследуемого параметра функции экологичности выбросы оксидов азота. Выбор оптимального соотношения затруднен из-за имеющейся тенденции к ужесточению норм на выбросы вредных веществ. Так, в Российской Федерации норма выбросов NO_x для природного газа равна 150 мг/м³, для жидкого топлива – 200 мг/м³ [5], а для стран ЕС – соответственно 100 и 200 мг/м³. Для сравнения можно обратиться к информации [6], где приведены данные для котлоагрегатов различной производительности в США, Японии и странах Европы с учетом срока их изготовления и эксплуатации.

Объективное сравнение различных генерирующих источников по степени их влияния на окружающую среду можно произвести при применении показателей удельного загрязнения по отношению к используемой мощности или выработанной тепловой и электрической энергии. С учетом экологического фактора, а также данных [1] получим итоговую табл. 3, где в качестве оптимального показателя экологичности взят номинальный показатель выбросов оксида азота на котлоагрегате ТГМП-354 – лучшем по

экологическим характеристикам среди однотипных агрегатов, работающих на электростанциях Белорусской энергосистемы.

Таблица 3

Показатели эффективности энергоблока

Отметка на шкале полезности	b_3	$\Xi(\text{NO}_x)$	K_r
0,999	318	125	0,9999
0,2	357,6	400	0,9760

Обобщенная функция полезности с учетом экологического фактора примет вид

$$D = \exp\left\{-\frac{1}{3}[\exp(64,048 - 0,186b_3) + \exp(-301,7 + 308,6K_r) + \exp(40,4 - 0,268\text{NO}_x)]\right\}. \quad (8)$$

ВЫВОД

Анализ полученной функции показывает, что наибольшее влияние на обобщенную функцию полезности оказывает критерий надежности. Ужесточение нормативов на выбросы вредных веществ может привести к возрастанию значимости экологического фактора при оценке функционирования энергоблоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карницкий Н. Б. Решение задач синтеза надежности с помощью мультипликативных критериев оптимальности // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 3. – С. 115–119.
2. Большаков А. С., Михайлов В. И. Современный менеджмент: Теория и практика. – СПб: Питер, 2000. – 416 с.
3. Леонков А. М., Качан А. Д., Кусков И. А. Исследование оптимальных способов прохождения минимумов нагрузки блоками 150–300 МВт // Научные и прикладные проблемы энергетики: Сб. – Мн.: Вышэйш. шк., 1976. – Вып. 3. – С. 8–12.
4. <http://president.gov.by/Minpriroda/rus/publ/nd2000>.
5. Использование СНКВ-технологии для снижения выбросов NO_x котельными установками / Ю. С. Ходаков, А. А. Алфеев, О. М. Саркисов, В. В. Дикоп // Экология и промышленность России. – 2003. – № 11. – С. 18–23.
6. Стриха И. И., Карницкий Н. Б. Экологические аспекты энергетики: Атмосферный воздух: Учеб. пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 375 с.