

3. Г о л ь д ф а р б Э. М., И б р я е в В. С. Оптимальный режим нагрева металла по критерию минимума суммарной стоимости расходуемого топлива и потерь металла на окисление // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1971. — № 12. — С. 144–148.

4. В ы б о р режима нагрева металла с минимальным расходом топлива / Н. Ю. Тайц, Л. А. Гузов, В. М. Ольшанский, Ю. С. Борбоц // Изв. вузов СССР. Черная металлургия. — 1975. — № 4. — С. 164–167.

5. О п т и м а л ь н ы й нагрев металла в колодцах контролируемого охлаждения с минимальным расходом газа / Ю. В. Дьяченко, А. А. Терлеев, В. И. Тимошпольский и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1993. — № 11–12. — С. 126–130.

6. Т е п л о т е х н о л о г и я металлургических мини-заводов / В. И. Тимошпольский, Ю. В. Феоктистов, А. Б. Стеблов и др. — Мн.: Наука и техника, 1992. — 158 с.

7. К о в а л е в с к и й В. Б., П а п к о в и ч В. Н., К о з л о в С. М. Определение расхода топлива на основе теплового баланса для печей непрерывного действия // ИФЖ. — 1996. — Т. 69. — № 2. — С. 285–290.

Представлена техническим советом
РУП «Белорусский металлургический завод»

Поступила 4.04.2001

УДК 621.311.22

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОИСТОЧНИКА

Докт. техн. наук, доц. КАРНИЦКИЙ Н. Б.

Белорусская государственная политехническая академия

На современном этапе развития топливно-энергетического комплекса страны в условиях ограниченных ресурсов повышение надежности и экономичности теплоэнергетического оборудования тепловых электрических станций путем замещения и совершенствования устаревших технологий и оборудования является актуальной научно-технической проблемой отрасли.

Решение возникающих перед энергетикой задач, связанных с эффективным использованием мощности электростанций, реализацией программы технического перевооружения и реконструкции теплоэнергетического оборудования ТЭС, встречает серьезные затруднения из-за недостаточной методической разработанности проблем надежности тепловых электрических станций на стадии их проектирования и в процессе эксплуатации. Это в значительной мере сказывается на глубине разработки подходов к обоснованию и принятию решений по оптимизации структурной надежности энергоблоков и агрегатов ТЭС в условиях их эксплуатации, техперевооружения, реконструкции и продления срока их службы и, как следствие, вызывает нерациональное расходование ресурсов.

В решении проблемы надежности и экономичности ТЭС важное место принадлежит обоснованию методов оценки и прогнозирования их показателей на основе разработки детерминированных и вероятностных подходов.

Энергетика является большой и сложной многоуровневой (иерархической) организационной системой. В этой связи надежность ТЭС должна изучаться с учетом четырех иерархических уровней (табл. 1).

Таблица 1

Задачи, решаемые при оценке и оптимизации надежности ТЭС [1]

Иерархический уровень	Состав задачи
Топливо-энергетический комплекс региона	Обоснование путей и способов обеспечения надежности топливоснабжения ТЭС
Электроэнергетическая система региона	Определение требуемых значений показателей надежности энергоблоков и неблочных ТЭС по отпуску электроэнергии
Система теплоснабжения города (промышленного центра)	Определение требуемых значений показателей надежности ТЭС по отпуску теплоты
ТЭС	Выбор структуры технологической схемы энергоблока и неблочной ТЭС Определение требуемых значений надежности основных энергетических агрегатов (котла, турбины) и вспомогательных систем

Производство энергии и обеспечение надежного и экономичного энергоснабжения потребителей достигаются осуществлением частных целей и решением частных задач подразделениями энергосистем (электростанциями разных типов, электрическими и тепловыми сетями).

Значения показателей деятельности энергосистемы, как правило, зависят от большого количества внешних случайных факторов (технических, природных). Детерминированными условиями принято считать такие, при которых решения вырабатываются в условиях определенности ($p = 0; 1$), где p – вероятность.

Детерминистическими называют такие методы и критерии анализа и синтеза надежности энергоблоков (неблочных ТЭС), в которых не моделируются вероятностные характеристики аварийных отказов составляющих их частей и элементов, а лишь анализируется способность объекта выдерживать любые возмущения из априори заданного класса, т. е. функционирование анализируемого объекта после такого возмущения должно удовлетворять заданным условиям и категориям [2].

К достоинствам детерминистических подходов следует отнести [2]:

концептуальную четкость и, следовательно, возможность достаточно точного их анализа;

использование типовых схем и конструкций традиционных параметров, моделей, способов анализа;

применимость к стационарным, переходным и послеаварийным режимам, а также к режимам плановых ремонтов.

Если влияние случайных факторов подчиняется вероятностным законам, то принято считать, что решения принимаются в условиях риска ($0 < p < 1$), называемых стохастическими.

Для такого анализа обязательным является моделирование вероятностных характеристик отказов элементов объекта (системы).

К достоинствам вероятностных методов относятся [2]:

возможность количественной оценки показателей надежности с учетом протекающих в объекте (системе) стохастических процессов;

снижение возможных ущербов от отклонения принимаемых решений от оптимальных в связи с более полным учетом надежности;

учет надежности как один из основных факторов при сопоставлении различных вариантов наряду с экономическими показателями.

Критерий $n - i$, $i = 1, 2, 3, \dots$ (n – число элементов системы; i – количество отказавших элементов или единица отказа) известен как мера способности объекта выполнять свои функции при отказе i элементов, относится к опосредованным уровням нормирования надежности в виде правил или требованиям к средствам обеспечения надежности, априорно соответствующим достаточному уровню надежности. При этом в управляемом объекте, состоящем из n элементов, поочередно выводятся из работы каждый из n элементов (критерий $n - 1$) или попарные сочетания (критерий $n - 2$). Анализ критерия $n - 1$ выполняется после обеспечения нормального функционирования объекта. По результатам анализа принимаются решения об усилении «слабых мест» системы и, тем самым, о повышении надежности [2].

В продолжение наших рассуждений проведем сопоставимый анализ формирования надежности ТЭЦ с применением детерминистических и вероятностных подходов, предложенных в [2]. В качестве генерирующего звена приняты турбины Т-180/210-130 и Т-110/120-130 при суммарной мощности ТЭЦ 540-550 МВт. Вероятности отказов преднамеренно взяты в широком диапазоне величин, что позволило высветить ситуацию в общем (табл. 2).

Таблица 2

Варианты формирования ТЭЦ

Номер варианта	Число агрегатов, m	Единичная мощность, N , МВт	Вероятность отказа, p	Суммарная мощность, МВт
1	3	180	0,10	540
2	3	180	0,05	540
3	3	180	0,02	540
4	3	180	0,005	540
5	5	110	0,10	550
6	5	110	0,05	550
7	5	110	0,02	550
8	5	110	0,005	550

Варианты сформированы исходя из детерминистического критерия $n = 1$, а вероятностные расчеты выполнены с помощью биномиального распределения

$$(p + R)^m = R_0 + R_1 + \dots + R_i + \dots + R_m = 1, \quad (1)$$

где $R = 1 - p$ – вероятность работоспособного состояния агрегата;

R_0, R_1, R_m – вероятности состояний с отказом 0, 1, ..., m агрегатов соответственно.

Значение вероятности $R_i (i = \overline{0, m})$ определялось по формуле Бернулли [3]

$$R_i = C_m^i p^i R^{m-i}, \quad (2)$$

где C_m^i – число сочетаний из m по i .

В табл. 3 приведены результаты расчетов рядов распределения сравниваемых вариантов ТЭЦ.

Таблица 3

Вероятностные состояния генерирующих мощностей сравниваемых ТЭЦ

Номер варианта	Мощность работоспособных агрегатов, МВт	Функции распределения состояний	
		Собственные вероятности состояний	Интегральная функция распределения
1	540	0,729	0,729
	360	0,243	0,972
	180	0,027	0,999
	0	0,001	1,000
2	540	0,857375	0,857375
	360	0,135375	0,992750
	180	0,007125	0,999875
	0	0,000125	1,000000
3	540	0,941192	0,941192
	360	0,057624	0,998816
	180	0,001176	0,999992
	0	0,000008	1,000000
4	540	0,985075	0,985075
	360	0,014850	0,999925
	180	0,000074	0,999999
	0	0,000001	1,000000
5	550	0,59049	0,59049
	440	0,32805	0,91854
	330	0,03645	0,95499
	220	0,00405	0,95904
	110	0,00045	0,95949
	0	0,00001	0,95950
6	550	0,735092	0,735092
	440	0,203626	0,938718
	330	0,010717	0,949435
	220	0,000565	0,949999
	110	0,000024	0,950028
	0	0	
7	550	0,885842	0,885842
	440	0,092236	0,978078
	330	0,001882	0,97996
	220	0,000038	0,979998
	110	0	
	0		
8	550	0,975248	0,9755248
	440	0,024503	0,9997510
	330	0,000123	0,9998740
	220	0	

Для проведения анализа на основе данных табл. 3 сформируем табл. 4 вероятности безотказного покрытия нагрузки (в качестве таковой примем нагрузку $N = 440$ МВт).

Таблица 4

Вероятность безотказного покрытия нагрузки $N = 440$ МВт

Номер варианта	Вероятность безотказной работы	Относительная величина резервирования $(N_{расп} - N)/N, \%$
1	0,9720*	22,7
2	0,99275*	22,7
3	0,998816	22,7
4	0,999925	22,7
5	0,95499*	25
6	0,949435*	25
7	0,97996*	25
8	0,99874	25

Таким образом, если принять норматив надежности на перспективу $H = 0,998$, то применение критерия $n - 1$ в пяти (выделены *) случаях из восьми приведет к несоблюдению норматива, только в двух вариантах он будет выдерживаться, а в четвертом — он несколько завышен. Как видно, вероятностные расчеты позволяют более объективно выбрать рациональный вариант проектируемой ТЭЦ по надежности.

Принимая во внимание то обстоятельство, что априори удельные капиталовложения в ТЭЦ с блоками Т-180/210-130 ниже по сравнению с Т-110/120-130, предпочтительнее варианты № 3, 4. Следует отметить, что в сравниваемых вариантах № 4 и 8 вероятность отказа одинакова, а норматив надежности при этом для ТЭЦ с блоками Т-180 выше.

ВЫВОД

Проведен сопоставительный анализ формирования надежности ТЭС с применением детерминистического критерия $n - 1$ и вероятностных подходов. Показано, что вероятностные расчеты, выполненные с использованием биномиального распределения, позволяют более объективно выбрать рациональный вариант проектируемой ТЭС как по условиям надежности, так и экономичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попырин Л. С. Методы обоснования надежности тепловых электростанций // Вестник электроэнергетики. — 1997. — № 1. — С. 28–39.
2. Ковалев Г. Ф., Лебедева Л. М. Области использования и пределы применимости критерия $N-1$ при формировании структуры и выборе параметров элементов ЭЭС — Иркутск, 1999. — 69 с. — (Препринт / ИСЭМ СО РАН; № 6).
3. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. — М.: Наука, 1988. — 393 с.