

УДК 621.18.021

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА И НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ТЭС

ДЕРИЙ В.П., инж.

Приведены результаты прогноза ресурса трубчатки сетевых подогревателей ТЭС. Предложена математическая модель оценки надежности теплообменных аппаратов, позволяющая учесть зависимость интенсивности восстановления оборудования от времени ремонта.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, надежность, математическая модель, работоспособность системы.

SOME FORECASTING RESULTS OF TPS HEAT-EXCHANGE APPARATUS RELIABILITY AND RESOURCE

V.P. DERIY, engineer

The work represents the forecasting results of TPS (thermoelectric power station) networked heater pipe heater resource. The author has suggested mathematical model of heat-exchange apparatus reliability evaluation, which allows time dependence of equipment reconstruction intensity to be taken into account.

Key words: heat-exchange apparatus, reliability, mathematical model, system efficiency.

На основе разработанной нами ранее математической модели [1] по данным обследования выполнен прогноз ресурса трубчатки сетевых подогревателей ТЭС. Среднее число заглушенных трубок и дисперсия распределения определялись по формулам

$$\langle N \rangle = 1 - (1 - \langle N_0 \rangle) \exp(-g(t)), \quad (1)$$

$$g(t) = \int_0^t \lambda(t) dt = \lambda_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}, \quad (2)$$

$$\frac{\Delta}{N_p} = \frac{(1 - \langle N \rangle)^2}{(1 - \langle N_0 \rangle)^2} \left[\frac{(1 - \langle N_0 \rangle)(N - N_0)}{(1 - \langle N \rangle)} \right]. \quad (3)$$

Здесь N_p – полное количество трубок аппарата.

В качестве примера (рис. 1) приведены функции прогноза числа заглушенных трубок для двух сетевых подогревателей ИВТЭЦ-2.

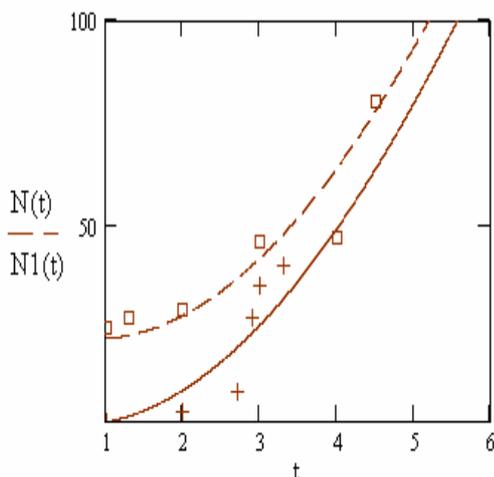


Рис. 1. Функции прогноза заглушенных трубок сетевых подогревателей: — — — — — БО-350М; ————— БО-200

Анализ результатов расчета коэффициентов идентификации функций прогноза по ИВТЭЦ-2 (табл. 1) показал, что параметры

идентификации функций прогноза для отдельных подогревателей значительно отличаются друг от друга, что определяется водно-химическим режимом, конструкцией подогревателей и материалом трубчатки (в третьем столбце указано время достижения аппаратом критического состояния, а в последнем – относительная флуктуация $\frac{\sqrt{\Delta}}{N}$).

Таблица 1. Параметры функции прогноза

Название	$\lambda_0 \cdot 10^3$	$\alpha \cdot 10^3$	T	N(T)	δ
	1/год	1/год ²	годы	—	—
БО-2Б	4,9	2,01	5,7	101	0,1
БСВ-1	10	1,22	5,5	130	0,09
БО-5А	-7,2	4,3	6	130	0,09
БП-1	-2,34	5,5	4	101	0,1
БП-3	4,3	2,5	5	101	0,1

Условия эксплуатации теплообменного оборудования старых станций таковы, что даже в течение одного года приходится неоднократно выводить в ремонт подогреватели для глушения трубчатки в больших объемах. Это обстоятельство с учетом низкого срока службы исследуемой аппаратуры делает малоэффективным прогноз состояния трубчатки на основе математического моделирования. Математическое моделирование может рассматриваться как дополнение к основному методу, который основывается на измерении фактического недогрева сетевой воды против расчетной величины.

Прогноз состояния трубчатки на основе математического моделирования целесообразен для новых станций с хорошими условиями эксплуатации, когда накопление дефектов происходит медленно. В качестве примера (рис. 2) приведены данные по распределению

заглушенных трубок за десять лет работы подогревателя сетевой воды ПСВ-500-3-23. Прогнозируемое время достижения трубчаткой критического состояния равно 35 годам.

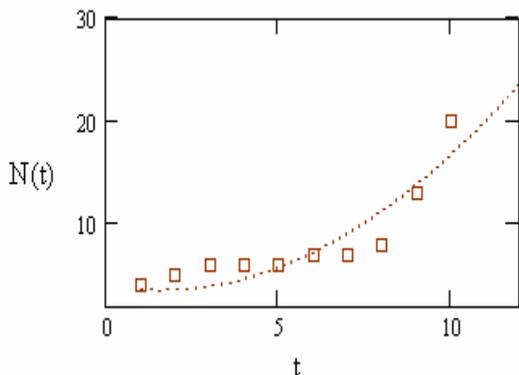


Рис. 2. Функция прогноза состояния трубчатки ПСВ-500-3

Для старых и стареющих тепловых станций на первое место встают вопросы оценки надежности аппаратуры. К основным видам работ, проводимых на станциях для восстановления работоспособности теплообменных аппаратов, относятся чистка, заглушка и перепайка трубки. В настоящее время информация по учету различных дефектов в теплоэнергетическом оборудовании паротурбинных установок отсутствует. В таких условиях нельзя выделить роль отдельных составляющих, определяющих надежность аппарата, и можно говорить только об их интегральном действии. Работа теплотехнического оборудования зависит от многих факторов: характера тепловых и динамических режимов отдельных аппаратов, конструктивных особенностей, качества материалов, их усталости, длительности срока службы, действия автоматики и пр. Многие характеристики системы можно считать определенными, детерминированными, но отказы и восстановления – это случайные состояния. Срок эксплуатации системы, определяющийся этими состояниями, тоже будет случайной величиной. Взаимные связи между отказами, восстановлениями, действием противоаварийной автоматики реализуют некий стохастический процесс, в результате которого система переходит из рабочего состояния в состояние ремонта с тем или иным сочетанием отказавших элементов. В таких условиях можно говорить о вероятности того, что аппарат в определенный момент времени может находиться в том или ином состоянии. Восстановление работоспособности системы осуществляется средствами противоаварийной автоматики, оперативными переключениями, выполняемыми обслуживающим персоналом и проведением аварийно-восстановительных работ. В первом приближении по своему характеру отказы можно разделить на внезапные и постепенные. Последние возникают при постепенном изме-

нении параметров (старение и износ). Основными задачами теории надежности являются:

- исследование возможности прогноза постепенных отказов оборудования;
- разработка методов проведения испытаний на надежность и обработка полученных результатов;
- выбор оптимальных режимов работы оборудования в ходе холодной и горячей обкатки и в режиме длительной эксплуатации.

При этом прогноз и стратегия эксплуатации должны базироваться как на результатах постоянного контроля состояния оборудования, так и на результатах математического моделирования физико-химических процессов, протекающих в системе и определяющих ее надежность. Таким образом, теория надежности является существенным составным элементом общей концепции по повышению экономичности паротурбинной установки и продления ее ресурса.

Обычно анализ надежности различных аппаратов ведется при одном существенно упрощающем допущении: функция распределения времени ремонта отказавшего оборудования подчиняется экспоненциальному закону [2]. Это равносильно тому, что интенсивность ввода отказавших аппаратов не зависит от длительности их ремонта. Получается, что вероятность ввода отказавшего аппарата непосредственно после выхода его из строя равна вероятности его ввода в любой момент времени в течение всего ремонта. Такое допущение практически никогда не выполняется и вводится оно по причине больших математических трудностей, возникающих при решении задачи. Однако если ввести плотность вероятности состояния аппарата по времени ремонта, то от указанного выше допущения можно отказаться. Далее считаем, что интенсивность восстановления аппарата является произвольной функцией времени восстановления $\mu = \mu(\tau)$. Кроме интенсивности $\mu(\tau)$ процесс характеризуется вероятностью отказа аппарата в единицу времени λ , вероятностью P нахождения аппарата в момент времени t в рабочем состоянии в ожидании исходного случая и плотностью вероятности по времени ремонта $\rho(\tau, t)$.

Выведем уравнение для вероятности $P(t)$. Вероятность того, что аппарат к моменту времени $t+dt$ находится в рабочем состоянии, складывается из вероятности того, что он находился в рабочем состоянии в момент времени t и за время dt не вышел в ремонт, и вероятности того, что он в течение времени t был в ремонте, а за время dt вышел из ремонта:

$$P(t + dt) = P(t)(1 - \lambda dt) + dt \int_0^t \mu(\tau') \rho(\tau', t) d\tau'.$$

Из этого следует уравнение

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\lambda P(t) + \int_0^t \mu(\tau') \rho(\tau', t) d\tau'. \quad (4)$$

Аналогичным образом можно получить уравнение для плотности вероятности нахождения аппарата в ремонте:

$$\frac{\partial \rho(\tau, t)}{\partial t} = -\frac{\partial \rho(\tau, t)}{\partial \tau} - \mu(\tau)\rho(\tau, t) \quad (5)$$

с граничным условием $\rho(\tau = 0, t) = \lambda P(t)$.

В стационарном режиме при $t \rightarrow \infty$

$$\frac{dP(t)}{dt} = 0, \quad \frac{\partial \rho(\tau, t)}{\partial t} = 0.$$

Решение уравнения (5) в стационарном случае имеет вид

$$\rho(\tau) = C \exp\left(-\int_0^\tau \mu(\tau') d\tau'\right). \quad (6)$$

Подставляя это решение в уравнение (4), с учетом стационарности получим $C = \lambda P$. Постоянную $P = P(t \rightarrow \infty)$ найдем из условия нормировки вероятностей

$$P + \int_0^\infty \rho(\tau) d\tau = 1. \quad (7)$$

Последний интеграл берется по частям:

$$\int_0^\infty \exp\left(-\int_0^\tau \mu(\tau') d\tau'\right) d\tau = \int_0^\infty \tau dF = \langle \tau \rangle. \quad (8)$$

Здесь $F = 1 - \exp\left(-\int_0^\tau \mu(\tau') d\tau'\right)$ – функция распределения времени ремонта.

Интеграл (8) имеет простой физический смысл – он равен среднему времени ремонта. Подставляя (8) в (7), находим

$$P = \frac{1}{1 + \lambda \langle \tau \rangle}. \quad (9)$$

Эта величина определяет стационарную вероятность того, что аппарат находится в работе. В теории надежности эту величину называют вероятностью безотказной работы.

Вероятность P_1 того, что аппарат находится в ремонте, определяется соотношением

$$P_1 = \int_0^\infty \rho(\tau) d\tau = 1 - P = \frac{\lambda \langle \tau \rangle}{1 + \lambda \langle \tau \rangle}. \quad (10)$$

Дерий Владимир Петрович,
ОАО «Атомтехэнерго» (г. Мытищи),
заместитель главного инженера,
телефон (4932) 26-99-17,
e-mail: npp@aes.ispu.ru

Из формул (9) и (10) видно, что искомые вероятности определяются только средним временем ремонта агрегата и не зависят от вида функции распределения времени ремонта. Из этого следует, что обычное допущение о постоянстве μ приводит к правильным результатам относительно надежности аппарата, если среднее время восстановления аппарата определяется экспериментально.

Для расчета указанных вероятностей необходимо знание величин λ и $\langle \tau \rangle$. Определение этих величин осуществлено усреднением большого количества данных как по новым, так и по стареющим станциям методом экспертных оценок [3]. Результаты расчета вероятностей P и P_1 по значениям указанных величин (табл. 2) показывают, что все теплообменное оборудование обладает практически одинаковой высокой вероятностью безотказной работы, тогда как частота повреждаемости и время нахождения оборудования в ремонте оказываются разными.

Таблица 2. Параметры надежности оборудования

Оборудование	λ	$\langle \tau \rangle$	P	P_1
	1/год	час	–	–
Конденсаторы	3,0±0,44	6,6±1,51	0,998	0,002
ПВД	2,3±0,43	45,7±9,77	0,988	0,012
ПНД	2,1±0,34	16,9±3,24	0,996	0,004
ПСГ	1,1±0,20	21,3±3,23	0,997	0,003
ПСП	1,1±0,26	18,0±4,2	0,998	0,002

Список литературы

1. К вопросу прогнозирования ресурса теплоэнергетического оборудования тепловых и атомных электрических станций / В.К. Семенов, В.С. Щебнев, В.П. Дерий, В.Ф. Степанов // Вестник ИГЭУ. – Вып. 2. – 2007. – С. 30–33.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.
3. Бродов Ю.М., Плотников П.Н. Надежность кожухотрубных теплообменных аппаратов паротурбинных установок. – Екатеринбург: УПИ, 2001.