

УДК 621.3

## НАДЁЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ АЭС. ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТОВ НА НАДЁЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Хотенко Е. В., Носова А. В.

Научный руководитель – к.т.н., доц. Старжинский А. А.

Среди эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих поддержание необходимого уровня надежности оборудования и систем ядерной энергодвигательной установки (ЯЭУ), основную роль играют правильное планирование и своевременное проведение технического обслуживания (ТО).

На АЭС существует специальная система ТО оборудования и систем энергоблоков. Эта система разработана на основе опыта эксплуатации АЭС и включает в себя определенные нормы и правила проведения, технологические процессы их проведения и функции ремонтных служб и предприятий.

К основным конкретным задачам, решаемым в процессе ТО, относятся:

- раннее достоверное выявление или прогнозирование неисправностей и отказов;
- проведение своевременного контроля, технического состояния оборудования и систем АЭС;
- предупреждение ускоренного износа старения и коррозии;
- поддержание основных технических характеристик элементов в соответствии с требованиями эксплуатационных и НТД;
- прогнозирование и оценка остаточного ресурса (остаточного срока службы);
- оптимизация межремонтных сроков эксплуатации оборудования и др.

Вышеназванные профилактические проверки и работы позволяют выявлять ненадежные, неисправные или отказавшие элементы и устанавливать отдельные причины неисправностей и отказов. Периодичность проведения планово-предупредительный ремонт (ППР) осуществляется в соответствии с годовыми графиками ТО оперативно-эксплуатационным и оперативно-ремонтным персоналом. Опыт эксплуатации АЭС показывает, что периодичность и объем ППР могут существенно влиять на надежность оборудования и систем АЭС.

Сущность влияния периодичности, календарных сроков проведения ППР на безотказность оборудования АЭС рассмотрим на примере кривых, характеризующих зависимость вероятности безотказной работы от периодичности и сроков проведения ППР (рисунок 1):

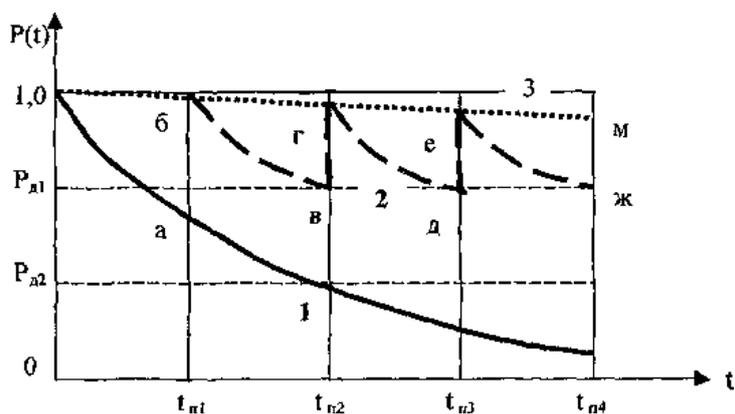


Рисунок 1. Зависимость вероятности безотказной работы от периодичности и сроков проведения ППР

Кривая 1 характеризует изменение вероятности безотказной работы  $P(t)$  от времени без учета ППР.

Кривая 2 (пилообразная - *бвгдеж*) - с учетом профилактических ремонтов, обеспечивающих восстановление безотказности до значений кривой 3; показывает, насколько количественно восстанавливается надежность оборудования при проведении ППР.

Кривая 3 характеризует начальные (исходные) значения  $P(t)$  при  $t = 0$  и после проведения каждого ППР.

Снижение надежности  $P(t) < P_{d1}$  будет приводить к более частым отказам элементов и систем. Анализируя кривые понятно, что за счет проведения ППР можно повышать надежность оборудования. Кроме того, периодичность выполнения ППР также существенно влияет на значение вероятности безотказной работы  $P(t)$ . При этом необходимо выбирать промежутки времени между циклами ППР так, чтобы можно было обеспечить необходимое значение  $P(t) > P_{d1}$  в процессе эксплуатации. Это указывает на то, что после определенного числа ППР, если не происходит существенного повышения надежности за счет ППР, то необходимо проводить более эффективные ремонтные работы: средний и капитальный ремонты.

На длительности межремонтных циклов влияют:

- период эксплуатации и особенности использования оборудования;
- долговечность и стоимость элементов;
- характер возможных последствий отказов.

Рассмотрим расчёт периодичности ППР и в качестве примера основные методы расчета периодичности ППР, использующие опыт эксплуатации.

1. Расчет времени проведения ППР для условий возникновения внезапных отказов в период нормальной эксплуатации. Исходные условия для этого случая характеризуются постоянством интенсивности отказов  $\lambda(t) = const$  и известным значением (принятым по опытным данным) допустимого снижения (нижнего предела) надежности  $P_{d}(t)$  или  $F_{d}(t) = 1 - P_{d}(t)$ . Расчетная формула выводится из уравнения:

$$F_{o} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

где  $F_0$  -предел надёжности;  
 $\lambda$ - интенсивность отказов;  
 $t$ - время проведения ППР, с.  
 С учётом

$$F(t) \leq F_0(t) , \tag{2}$$

то есть

$$t_n \leq \frac{\ln|1 - F_0|}{\lambda} , \tag{3}$$

где  $t_n$  - время проведения ППР, с;  
 $\lambda$ - интенсивность отказов;  
 $F_0$  - предел надёжности;

На рисунке 2 представлена иллюстративная схема, характеризующая выбор периодичности ППР при внезапных отказах и полной восстанавливаемости.

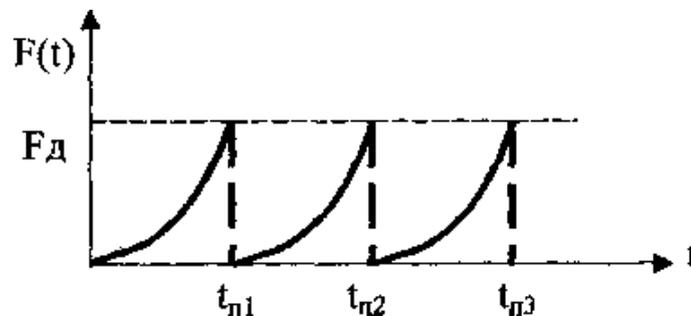


Рисунок 2. Схема, характеризующая выбор периодичности ППР

2. Расчет времени проведения ППР при постепенных отказах. При определении календарного времени обслуживания, работающего длительно в непрерывном режиме и ориентированного на замену выработавших ресурс элементов, предварительно оценивается средняя наработка до постепенного отказа  $T_{cp}$  и среднее квадратичное отклонение этой наработки  $\sigma T(t)$  (рисунок 3), характеризующее разброс случайной величины  $T_{cp}$ .

С учетом этих условий расчетная формула имеет вид:

$$t_n = T_{cp} - k \cdot \sigma_T(t) , \tag{4}$$

где  $k$  - расчетный коэффициент, который принимается таким, чтобы  $F(t) < F_0(t)$ ;  
 $T_{cp}$  - средняя наработка до отказа, с;  
 $\sigma T(t)$ - среднее квадратичное отклонение;

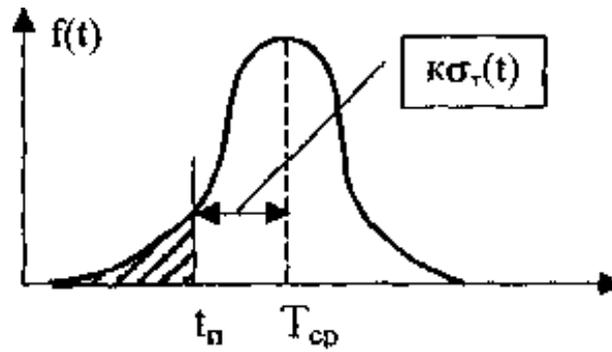


Рисунок 3. Характеристика разброса случайной величины

3. Расчет времени проведения ППР для элементов с различной механической и электрической прочностью и имеющих различный ресурс.

В составе оборудования и систем АЭС есть элементы, имеющие различную механическую и электрическую прочность. Опыт эксплуатации показывает, что на  $\lambda$ -характеристиках таких элементов в *различные моменты* времени могут появляться так называемые "горбы", характеризующие различный ресурс этих элементов (рисунок 4).

Очевидно, целесообразно в моменты времени  $t_{n1}$ ,  $t_{n2}$ ,  $t_{n3}$ , предшествующие появлению "горбов", проводить ППР, связанные с проверкой работоспособности и заменой критических элементов. На рисунке 4 показан вид интенсивности отказов оборудования с заменой критических элементов.



Рисунок 4. Вид интенсивности отказов оборудования с заменой критических элементов

4. Оценка времени проведения ППР для систем, работающих в сложном режиме. К системам, работающим в сложном режиме (режиме ожидания и режиме работы по требованию), относятся системы управления, защиты и безопасности ЯЭУ АЭС и резервные системы. Для этих систем время проведения ППР выбирается таким образом, чтобы профилактика не снижала обобщенный показатель надежности, представляющий собой произведение коэффициента технического использования и вероятности безотказной работы, т.е.

$$R = K_{TM} \cdot P(t), \quad (5)$$

где  $R$  - показатель надёжности;

$K_{TM}$  - коэффициент технического использования;

$P(t)$  - вероятность безотказной работы.

Численные значения времени проведения ППР для сложных систем могут определяться по формулам (3) - (5) и проводиться регулярно через определенные промежутки времени.

Однако на практике может применяться также принцип (метод) "технического обслуживания по состоянию". Суть этого метода состоит в следующем:

- измеряются некоторые (основные) параметры системы, которые могут изменяться в результате действий внешних факторов и старения элементов, и в целом характеризуют техническое состояние системы;

- по полученным данным в зависимости от фактического состояния системы решается вопрос о проведении соответствующего вида ППР.

При планировании ППР по состоянию необходимо решать следующие задачи:

- правильный выбор минимального числа контролируемых параметров, дающих информацию о техническом состоянии в любой момент времени;

- обоснование допустимых пределов изменения контрольных параметров;

- разработка алгоритмов математического обеспечения программ ППР по состоянию;

- создание необходимых технических средств контроля, диагностирования, регистрации и оперативной обработки измеряемой информации.

#### Литература

1. La Scala M., Trovato M., Antonelly C. On-line dynamic preventive control and algorithm for transient security dispatch // IEEE Trans. Power Systems. – 1998. – Vol. 13, No. 2. – P. 601–610.

2. Шумилова Г. П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. науч. Тр. Вып. 58. Математические модели и методы исследования надежности либерализованных систем энергетики Отв. Ред. Н.И. Воропай, М.Ш. Мисриханов. – М.–Н.Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии государственной службы, 2008. – С. 150–157.

3. Reed R.D., Marks II R.J. An evolutionary algorithm for function inversion and boundary marking // Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation. – November 26-30, 1995. – P. 794-797.

4. Гусак А.А., Гусак Г.М., Бричикова Е.А. Справочник по высшей математике. – 7-ое изд. – Мн.: ТетраСистемс, 2006. – 640 с.