

УДК 621.019

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА РЕМОНТА ПО ДАННЫМ ОБ ИЗНОСЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА

ФАРХАДЗАДЕ Е.М., МУРАДАЛИЕВ А.З., РАФИЕВА Т.К., ФАРЗАЛИЕВ Ю.З.

АзНИПНИИ Энергетики, г.Баку

Разработан метод прогнозирования объема ремонта по данным об износе оборудования, дополняющего перечень явных и неявных дефектов оборудования и способствующего снижению аварийных отключений энергоблока.

Основные трудности планирования объема ремонта, исходя из технического состояния узлов оборудования энергоблока (ЭБ), заключаются, естественно, не во включении в перечень узлов, имеющих явные дефекты и даже не в выявлении узлов с неявными дефектами, а в прогнозировании возможности отказа узлов в межремонтный период вследствие превышения износа $I_Z(t)$ допустимой величины.

Необходимость восстановления износа узла в течении i -го планового ремонта при условии, что его износ в момент $t_{p,i}$ меньше предельно допустимого значения (единицы) может быть обоснован одним из следующих трех условий:

$$\left. \begin{aligned} (t_{p,i+1} - t_{p,i}) &\geq M^*[\Delta T_0] \\ (t_{p,i+1} - t_{p,i}) &\geq \underline{\Delta T_0} \\ (t_{p,i+1} - t_{p,i}) &\geq \overline{\Delta T_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$\Delta T_0 = T_0 - t_{p,i}$$

T_0 – наработка до предельно допустимого износа $\underline{\Delta T_0}$ и $\overline{\Delta T_0}$ – соответственно, нижнее и верхнее граничное значения доверительного интервала T_0

При планировании ремонта возможно совершение двух типов ошибок:

- принимается решение о проведении восстановления в период i -го ремонта. Однако на самом деле, если бы мы провели восстановление, то оказалось бы, что $I_Z(t_{p,i+1}) < 1$, т.е. восстановление проведено ошибочно. Обозначим вероятность этой ошибки через $P_{0,1}$.
- принимается решение о переносе восстановления в период следующего ($i+1$) планового периода. Однако износ узла в межремонтный период превышает единицу и ЭБ выводится вследствие отказа узла в аварийный ремонт. Вероятность этой ошибки обозначим через $P_{0,2}$.

Выполнение регламентированного объема планового ремонта предполагает возможность возникновения ошибок первого типа, а проведение ремонта по техническому состоянию с учетом случайного характера скорости износа – возможность возникновения ошибок второго типа.

Графическая иллюстрация возникающих при этом ошибок приведена на рис.1.

Предположим, что в результате измерения диагностических параметров (ДП) установлено, что износ рассматриваемого узла в момент $t_{p,i}$ равен $I_Z(t_{p,i+1}) < 1$. Расчеты среднего значения скорости изменения износа $M^*[tg\alpha]$, нижнего $\underline{tg\alpha}$ и верхнего $\overline{tg\alpha}$ граничных значений доверительного интервала позволили получить область изменения износа при $t \geq t_{p,i}$, ограниченную прямыми $\overline{I_Z(t)}$, $\underline{I_Z(t)}$ и $I_Z(t) = 1$, и тем самым

оценить $M^*[\Delta T_0]$, $\Delta \overline{T_0}$ и $\overline{\Delta T_0}$. На рис.1.(а-е) приведен также вероятностный характер плотности распределения $f(T_0)$, которая асимметрична. С уменьшением средней скорости износа асимметрия распределения возрастает и убывает по мере снижения дисперсии $\text{tg}\alpha$, которую обозначим через $D^*[\text{tg}\alpha]$. Если обоснование проведения восстановления узла в течение i -го ремонта или перенос восстановления на следующий плановый ремонт ($t_{p,i+1}$) проводится путем сопоставления ($t_{p,i+1}-t_{p,i}$) с $M^*[\Delta T_0]$, то как следует из рис.1а, вероятность ошибки $P_{0,1}$ равна

$$P_{0,1} = P(T_0 > t_{p,i+1} - t_{p,i}) = 1 - \int_{t_{p,i}}^{t_{p,i+1}} f(T_0) dT_0 = 1 - F(t_{p,i+1} - t_{p,i}) \quad (2)$$

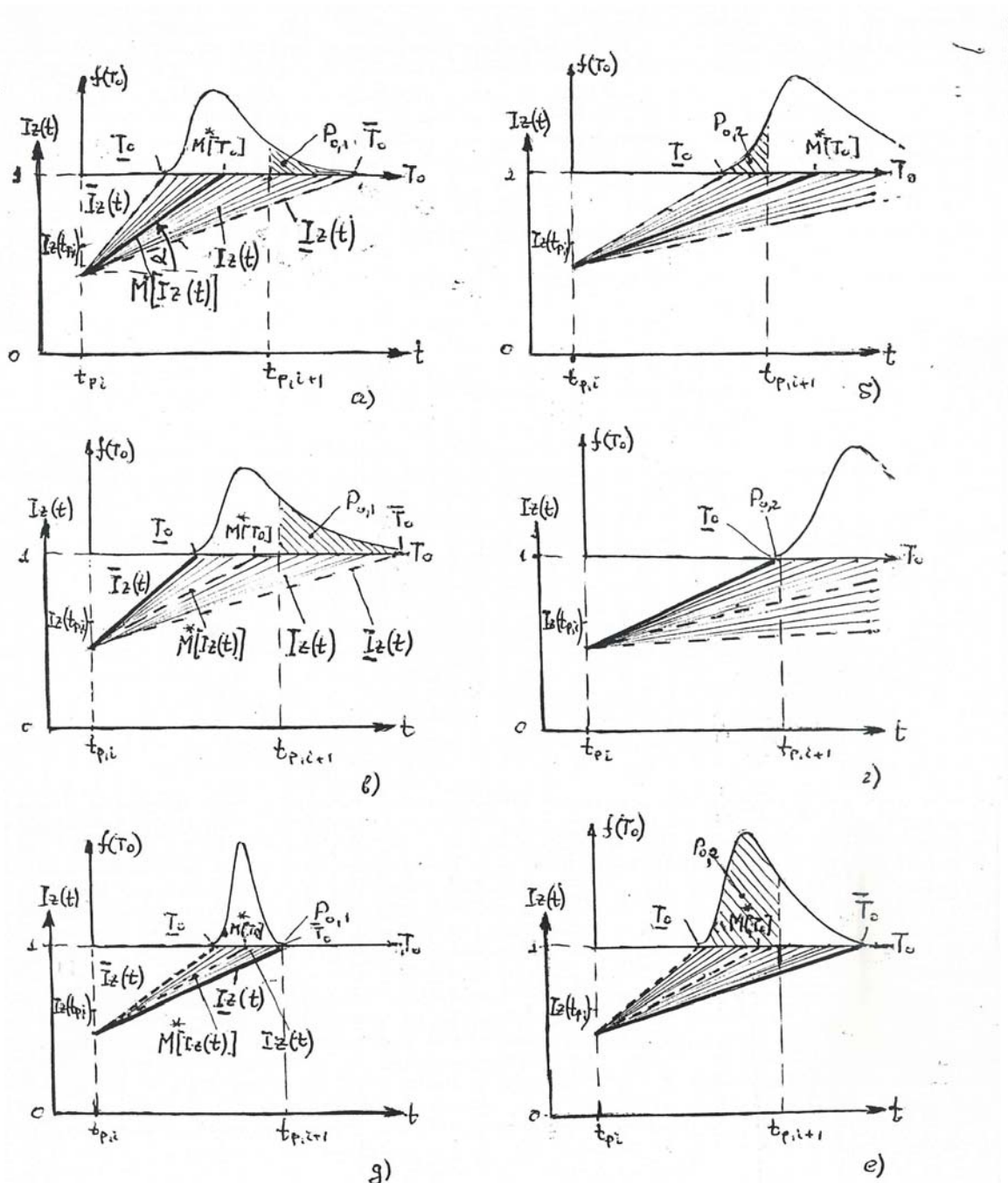


Рис.1 Графическая иллюстрация ошибок при отключении оборудования на плановый ремонт по техническому состоянию.

а) $M[T_0] < (t_{p,i+1} - t_{p,i})$

б) $M[T_0] > (t_{p,i+1} - t_{p,i})$

$$в) \underline{T}_0 < (t_{p,i+1} - t_{p,i})$$

$$г) \underline{T}_0 = (t_{p,i+1} - t_{p,i})$$

$$д) \overline{T}_0 = (t_{p,i+1} - t_{p,i})$$

$$е) \overline{T}_0 > (t_{p,i+1} - t_{p,i})$$

Наибольшее значение этой ошибки возникает при $M^*[T_0] \cong (t_{p,i+1} - t_{p,i})$.

Если же по данным сопоставления $M^*[T_0]$ и $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$ принимается решение о переносе восстановления с i -го на $(i+1)$ плановый ремонт (при условии, что $2(t_{p,i+1} - t_{p,i}) > M^*[\Delta T_0]$), то вероятность ошибки $P_{0,2}$ (см.рис.1б) может быть вычислена по формуле

$$P_{0,2} = P(T_0 \leq t_{p,i+1}) = \int_{t_{p,i}}^{t_{p,i+1}} f(T_0) dT_0 = F(t_{p,i+1}) \quad (3)$$

и она тем больше, чем меньше различаются $M^*[\Delta T_0]$ и $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$.

При сопоставлении длительности межремонтного периода с $\Delta \underline{T}_0$ (см.рис.1в), когда $\Delta \underline{T} < (t_{p,i+1} - t_{p,i})$, вероятность ошибки $P_{0,1}$ вычисляется по формуле (2). Если же оказывается, что $\Delta \underline{T} > (t_{p,i+1} - t_{p,i})$, то вероятность ошибки $P_{0,2}$ оказывается меньше уровня значимости $\Delta \underline{T}$ и ею можно пренебречь (см.рис.1г). И, наконец, если проводится сопоставление $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$ с $\Delta \overline{T}_0$, то (см.рис.1д) если $\Delta \overline{T}_0 \leq (t_{p,i+1} - t_{p,i})$, величиной ошибок $P_{0,1}$ можно пренебречь, а если $\Delta \overline{T}_0 \geq (t_{p,i+1} - t_{p,i})$, то вероятность ошибок $P_{0,2}$ может быть значительной (см.рис.1е), а ее величина рассчитывается по формуле (2)

Анализируя вышеизложенное, можно заключить:

1. Практически приемлемая безошибочность решения о необходимости восстановления износа узла в период i -го планового ремонта достигается при выполнении условия $\Delta \overline{T}_0 \leq (t_{p,i+1} - t_{p,i})$;
2. Практически приемлемая безошибочность решения о переносе восстановления узла на последующий (или на один из следующих) плановый ремонт достигается при выполнении условия $\Delta \underline{T}_0 \geq (t_{p,i+1} - t_{p,i})$;
3. Во всех остальных достаточно частых случаях, в том числе, при сопоставлении $M^*[\Delta T_0]$ с $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$, возможны ошибочные решения. Это случаи, когда $\Delta \underline{T}_0 < t_{p,i+1} < \Delta \overline{T}_0$.

Метод расчета критического значения остаточной наработки до полного износа.

Рассмотрим вопрос о способе преодоления этой трудности. Введем в рассмотрение дополнительную информацию, которая позволит сопоставить вероятности ошибок $P_{0,1}$ и $P_{0,2}$. Предположим, что последствия от аварийного отключения ЭБ оцениваются, в среднем, величиной дополнительных затрат C_1 , а изменение восстановления износа узла величиной дополнительных затрат C_2 .

Очевидно, что в отмеченных условиях неопределенности любое решение будет приемлемо, если последствия от аварийного отключения ЭБ и от его излишнего планового ремонта окажутся равными, т.е. если

$$C_1 P_{0,2} = C_2 P_{0,1} \quad (4)$$

Учитывая, что в соответствии с формулами (2.) и (3.)

$$P_{0,1} = 1 - F(\Delta T_0)$$

$$P_{0,2} = F(\Delta T_0)$$

$$F(\Delta T_{0,K}) = \frac{1}{1 + \gamma} \quad (5)$$

где $\gamma = \frac{C_1}{C_2}$; ΔT_{OK} – остаточная наработка, соответствующая условию (4).

При $C_1 \geq C_2$, т.е. $\gamma \geq 1$, определим величину γ , соответствующую $F(\Delta T_0) = 0.05$, т.е. уровню значимости $\Delta \underline{T}_0$.

$$\gamma = \frac{1 - F(\Delta T_{OK})}{F(\Delta T_{OK})} = \frac{0.95}{0.05} = 19$$

Таким образом, если $\gamma \geq 19$, то с $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$ достаточно сопоставить $\Delta \underline{T}_0$.

Равенство (4) позволяет оценить величину остаточной наработки $T_{0,K}$, по которой требуется принять решение, путем сопоставления ее с $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$. Чтобы оценить $\Delta T_{0,K}$ рассмотрим вопрос о практической оценке $P_{0,1}$ и $P_{0,2}$, который сводится у оценке функции распределения $F(\Delta T_0)$ (см. формулы 2. и 3.)

Известно [1], что при:

- линейном изменении износа, т.е. при

$$Iz(t) = tg\alpha \cdot t + Iz(t_{p,i}) \quad (6)$$

- нормальном распределении случайных значений скорости износа $tg\alpha$, со средним значением $M[tg\alpha]$, и средним квадратическим отклонением $G[tg\alpha]$, распределение остаточной наработки до полного износа соответствует дисперсионному распределению Бернштейна, имеющему для принятых нами обозначений вид:

$$F(\Delta T_0) = 1 - \Phi \left[\frac{1 - \Delta T_0 \cdot M[tg\alpha] - Iz(t_{p,i})}{\Delta T_0 \cdot G[tg\alpha]} \right] = 1 - \Phi[Z] \quad (7)$$

Где $\Phi[]$ – функция Лапласа.

Таким образом, зная $F(\Delta T_{0,K})$ и вычислив:

$$R(\Delta T_{0,K}) = 1 - F(\Delta T_{0,K})$$

по табличным значениям функции Лапласа определяем соответствующее значению $R(\Delta T_{0,K})$ значение квантиля, который обозначим через Z и далее по формуле:

$$Z = [R(\Delta T_{0,K})]^{(-1)} = \frac{1 - \Delta T_{OK} \cdot M[tg\alpha] - Iz(t_{p,i})}{\Delta T_{OK} \cdot G[tg\alpha]} \quad (8)$$

определяем величину $\Delta T_{0,K}$. Формула расчета $\Delta T_{0,K}$ имеет вид:

$$\Delta T_{OK} = \frac{1 - Iz(t_{p,i})}{Z \cdot G[tg\alpha] + M[tg\alpha]} \quad (9)$$

Учитывая, что среднее значение износа равно

$$M[tg\alpha] = \frac{1 - Iz(t_{p,i})}{M[\Delta T_0]}, \quad (10)$$

а коэффициент вариации скорости износа равен

$$V[tg\alpha] = \frac{G[tg\alpha]}{M[tg\alpha]} \quad (11)$$

то, проведя достаточно простые преобразования, получим новый критерий принятия решения с учетом неопределенности исходных данных:

- решение о проведении восстановления износа в период i -го планового ремонта принимается если

$$S = \frac{\Delta T_{OK}}{(t_{p,i+1} - t_{p,i})} = \frac{M[\Delta T_0]}{(t_{p,i+1} - t_{p,i}) \{1 + Z \cdot V[tg\alpha]\}} < 1 \quad (12)$$

- если же отношение $\Delta T_{OK} / (t_{p,i+1} - t_{p,i})$ оказывается больше единицы, то восстановление износа целесообразно перенести на $(i+1)$ плановый ремонт

Пример 1. Рассмотрим случай, изображенный на рисунке 1б. Если принять решение, исходя из соотношения $(t_{p,i+1} - t_{p,i})$ и $M^*[\Delta T_0]$ или $\Delta \underline{T}_0$, то следует заключить о

целесообразности восстановления износа во время (i+1) планового ремонта. Вероятность ошибки $P_{0,2}=0,15$. Если же $(t_{p,i+1}-t_{p,i})$ сопоставить с ΔT_0 , то следует заключить, что восстановление износа необходимо провести в период i-го ремонта с вероятностью ошибки $P_{0,1}=0,85$. Примем в соответствие с рис.1б следующие исходные данные: $(t_{p,i+1}-t_{p,i})=5$ лет; $M^*[\Delta T_0]=6,5$ лет; $V[tg\alpha]=0,25$; $\gamma=10$. Подставив γ в формулу (5), получим $F(\Delta T_{0,K})=0,091$. Соответствующий вероятности $R(\Delta T_{0K})=1-F(\Delta T_{0,K})=0,909$ квантиль функции Лапласа $X=2,51$.

Подставив значения параметров в формулу (12), получим

$$S = \frac{6.5}{5(1+2,51 \cdot 0.25)} = 0.98 < 1$$

Восстановление износа в период i-го планового ремонта целесообразно проводить уже при $\gamma > 5$, т.е. уже при пятикратном различии затрат при вынужденном отключении на аварийный ремонт и при «излишнем» восстановлении износа.

Учет случайного характера величины износа.

При оценке отдельных свойств конструктивных материалов, временных характеристик механических устройств, степени загрязнения поверхности или объема проводится ряд измерений, поскольку результат измерения зависит от большого числа факторов. Иначе говоря, оказывается случайной не только скорость изменения износа, но и величина износа. Например, случайный характер имеют ДП механических свойств металла, что обусловлено его неоднородностью, ДП, характеризующие коррозию металла, ДП сопротивления изоляции стержней обмотки генератора и т.д.

Распределение результатов измерения ДП и расчетных значений износа, как правило, соответствует нормальному закону с параметрами $M^*[Iz(t_{p,i})]$ и $D[Iz(t_{p,i})]$. Если оставить без изменения исходные условия, принятые при учете случайного характера скорости износа, то распределение остаточной наработки до полного износа будет также следовать дисперсионному распределению Бернштейна, которое с учетом случайного характера результата измерения ДП будет иметь вид:

$$F(\Delta T_0) = 1 - \Phi \left[\frac{1 - M[tg\alpha]\Delta T_0 - M[Iz(t_{p,i})]}{\sqrt{\Delta T_0 \cdot D[tg\alpha] + D[Iz(t_{p,i})]}} \right] \quad (13)$$

Формула (13) позволяет оценить критические значения $\Delta T_{0,K}$, удовлетворяющего условию (4), путем решения квадратного уравнения

$$A \cdot \Delta T_{0K}^2 + 2B \cdot \Delta T_{0K} + C = 0$$

где

$$\begin{aligned} A &= X^2 \cdot D[tg\alpha] - M^2[tg\alpha] \\ B &= \{1 - M[Iz(t_{p,i})]\} \cdot M[tg\alpha] \\ C &= D[Iz(t_{p,i})] - \{1 - M[Iz(t_{p,i})]\}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

Пример 2. Чтобы оценить влияние учета случайного характера величины износа, воспользуемся данными примера 1. Дополнительно примем:

$$M[Iz(t_{p,i})]=0.5; \quad D[Iz(t_{p,i})]=1.56 \cdot 10^{-2}; \quad M[tg\alpha]=\{1-M[Iz(t_{p,i})]\}/M[\Delta T_0]=0.5/6.5=0.077; \\ D[tg\alpha]=\{M[tg\alpha] \cdot V[tg\alpha]\}^2=3.7 \cdot 10^{-4}.$$

Подставив соответствующие численные значения параметров в формулы для коэффициентов уравнения (14.), получим

$$\begin{aligned} A &= 1,3^2 \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} - [7,7 \cdot 10^{-2}]^2 = 53,04 \cdot 10^{-4} \\ B &= (1-0,5) \cdot 0,077 = 3,85 \cdot 10^{-2} \\ C &= 1,3^2 \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} - (1-0,5)^2 = -0,25 \end{aligned}$$

Таким образом, уравнение (14.) имеет вид:

$$-53,04 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta T_{0K}^2 + 2 \cdot 3,85 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta T_{0K} - 0,249 = 0$$

или после преобразования

$$\Delta T_{0K}^2 - 1,45 \cdot \Delta T_{0K} + 47,02 = 0 \quad (15)$$

Корни уравнения (14) равны

$$\Delta T_{0K,1,2} = \frac{14.5}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{14.5}{2}\right)^2 - 47.02} = 7.25 \pm 2.35$$

$$\Delta T_{0K,1} = 9,6 \text{ лет}$$

$$\Delta T_{0K,2} = 4,9 \text{ лет}$$

Если подставить корни уравнения (15.) в формулу (13.), то можно убедиться, что корень $T_{0K,1}$ соответствует вероятности $F(\Delta T_{0K,1})=0.909$, а корень $\Delta T_{0K,2}$ – вероятности $F(\Delta T_{0K,2})=0.091$. Следовательно, корень $\Delta T_{0K,1}$ не соответствует исходным данным примера. Об этом свидетельствует также соотношение $M[\Delta T_0] < \Delta T_{0K,2}$. Таким образом, $\Delta T_{0K} = \Delta T_{0K,1}$. Если сопоставить $\Delta T_{0K,1}$ с длительностью межремонтного цикла, можно заключить, что, поскольку $T_{0K} < (t_{p,i+1} - t_{p,i}) = 5 \text{ лет}$, то целесообразно провести восстановление, а не откладывать его на последующий капитальный ремонт.

1. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. М., Сов. радио, 1966.

ENERJİ BLOKUN AVADANLIQLARININ AŞINMASI HAQQINDAKI VERİLƏNLƏR ÜZRƏ TƏMİRİN HƏCMİNİN PROQNOZLAŞDIRILMASI.

FƏRHADZADƏ E.M., MURADƏLİYEV A.Z., RƏFİYEVƏ T.K. FƏRZƏLİYEV Y.Z.

Avadanlığın aydın görünən və aydın görünməyən qüsurlarının sayını tamamlayan və enerjiblokun qəza açılımlarının azalmasına zəmin yaradan, avadanlığın aşınma məlumatları üzrə təmirin həcmünün proqnozlaşdırılmasını üsulu işlənmişdir.

FORECASTING OF VOLUME REPAIR ON DATA ABOUT DETERIORATION OBJECT

FARHADZADEH E.M., MURADALIYEV A.Z., RAFIYEVƏ T.K. FARZALIYEV Y.Z

The method of forecasting volume repair on the data on deterioration the equipment adding the list of obvious and implicit defects of the equipment and promoting decrease of emergency switching-off power block is developed.