

ПЛАНИРАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКА ДИАГНОСТИКА НА СЪОРЪЖЕНИЯ И КОМПОНЕНТИ НА РЕАКТОРНИ УСТАНОВКИ, ТИП ВВЕР 1000 В “АЕЦ КОЗЛОДУЙ”

Галя Тодорова Димова,

3321 “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, ОКС-ИЦ “ДиК”, България

1. Увод

Ресурът за експлоатация на реакторни установки за определения експлоатационен период е обоснован с необходимия якостен запас за определения експлоатационен период. Обаче – независимо от големия запас, фактическият ресурс на съдове и тръбопроводи може да е по-малък от проектния, в зависимост от изготвянето и от условията на експлоатация на обектите. Недостатъците на методите и технологиите за обезпечаване на проектния ресурс на експлоатация, изискват мероприятия, необходими за осигуряване на надеждността при експлоатация на оборудването на енергоблоковете и оптимизиране на свързаните с това разходи.

Оценката на ресурса, неговото продължение и увеличение на междуремонтния период са основни проблеми за съвременното енергетично оборудване. Известни са разработките относно рисковото информирания ремонт на енергооборудването. Безотказната отработка на обектите не може да бъде предварително предсказана еднозначно. Ресурът $r(t)$ е случайна функция на времето:

$$r(t) = \int_0^t \lambda(z) dz, \quad (p.1.1.)$$

където $\lambda(z)$ е функция на интензивност на отказите.

Натрупването на дефекти на микроскопично ниво е причина за зараждане на микроскопични уморни пукнатини. Механиката на разрушаването определя условията за равновесие и устойчивост на системата “Тяло с пукнатини – натоварване”. Първопричината за загуба на работоспособност на оборудването е стареенето на материалите, което се оценява със степента на изменение на началните характеристики на материалите. Измененията в материалите вследствие на влияещите фактори – корозия, ерозия, износване, неутронно окрежкостяване, термично стареене, деформация и др. влияе на динамическите характеристики на оборудването.

Техническата диагностика на оборудването в АЕЦ е определяне на:

- Състоянието в дадения момент на даденото съоръжение / възел или система съобразно нормативните изисквания;

- Определяне на причинно-следствена връзка за състоянието.

Резултатите от техническата диагностика служат за:

- Управленски решения за евентуално повлияване на причинно-следствената връзка;
- Оценяване на остатъчния ресурс и неговото управление така, че даденият обект да работи надеждно до края на проектния си ресурс, и впоследствие – удължаване на ресурса.

По смисъла на натрупаните познания и теориите в последните две десетилетия провеждането на техническа диагностика на съоръженията са свързани с последователни етапи на:

- Оценяване на степента на стареене на оборудването;
- Оценяване на измененията на изходните параметри на оборудването като функция от стареенето;
- На основание горните отчети се прави прогнозиране на един или друг модел на параметрически откази.

За провеждане на техническа диагностика на съоръжения и компоненти в атомни електроцентрали засега няма действащи стандарти, нито общоприета единна методология или научно обезпечаване.

Използват се нормативни документи, които определят крайните гранични състояния на компонентите.

2. Общи препоръки към документите (програми, планове и методики) за техническа диагностика

Препоръчително е документите за техническа диагностика да съдържат информация относно:

- Действащите нормативни изисквания;
- Препоръки на Международната агенция по атомна енергетика;
- Изисквания към квалификацията на персонала;
- Метода за оценка (*математико-статистическия модел*);
- Входни данни;
- Начини на определяне на температури, напрежения и деформации;
- Влияещите механизми на деградация;
- Представителност на извадката от данни;
- Потвърждаване (валидиране) на изчислителния модел;
- Изчисляване на остатъчния ресурс;

- Критерия за остатъчния ресурс на компонента от позиция приложения математико-статистически модел;

- Форма и съдържание на отчетната документация.

Накратко коментарът по всяка от гореизброените позиции е:

Входните данни за техническа диагностика на даден обект се определят от:

- Резултатите от извършвания безразрушителен контрол на този обект;

- Резултати от измерителния контрол - следи отгъняването на стените на тръби, тръбопроводи, колена поради корозия, ерозия или износване.

- Данни, произтичащи от експлоатацията на обекта - температури, механични напрежения, радиационното натоварване, параметри на корозията, брой откази или дефекти;

- Резултатите от контрола на механични свойства на образци-свидетели за корпусите на ядрените реактори. Образците-свидетели се разполагат в близост до зоната на корпуса, разположена срещу активната зона. С образците-свидетели се контролира изменението на механичните свойства на материала на корпуса, изменението на характеристиките на съпротивление на крехко разрушаване, изменението на характеристиките на съпротивление на умора (криви на умора);

- Термохидравлични и якостни анализи.

Известно е, че експлоатационните данни - температура, налягане и ниво на топлоносителя - са променлива функция от времето (до $\pm 10\%$ при нормални експлоатационни условия). Наборът от тези данни, които ще се използват за изчислителния модел, трябва да е такъв, че да се осигурява представителност на извадката.

За провеждане на техническа диагностика на компонентите е необходимо провеждане на класификации, с цел „отсяване” на важните фактори, които биха повлияли на съкращаване на ресурса на съоръженията и компонентите. Провежда се класификация на оборудването съобразно степента на важност за безопасността; класификации на дефектите от безразрушителен контрол съобразно техния вид, големина, разположение в компонента, класификация на отказите.

3. Математико-статистически модели (МСМ) за оценка на ресурса

3.1. МСМ за оценка на остатъчния ресурс по критерий съпротивление на умора на метала. Остатъчният ресурс на оборудването и тръбопроводите се смята по формулата:

$$\tau_{occ} = \tau_{np} \cdot \left\{ 1 - \max \left(\frac{N_{\phi i}}{N_{npi}} \right) \right\} \quad (p.3.1.)$$

където τ_{np} е проектното време за експлоатация, в години;
 $N_{\phi i}$ – фактическия брой на проведени i режими; N_{npi} - проектен брой i режими.

3.2. МСМ за оценка на индивидуалния ресурс по критерий съпротивление на развитието на уморна пукнатина;

При наличие на пукнатина в елемента скоростта на ръста на пукнатината $\frac{da}{dt}$ е функция от коефициента на интензивност на напрежението K_I :

$$\frac{da}{dt} = f(K_I), \text{ където} \quad (\text{p.3.2.})$$

a - размер на пукнатината по направление на дебелината на стената на тръбопровода и корпуса на съда под налягане.

При циклично натоварване зависимостта между скоростта на ръста на пукнатината и размаха на K_I се дава с формулата:

$$\frac{da}{dN} = C_0 \cdot \left(\frac{\Delta K_I}{\sqrt{1-R}} \right)^m, \text{ където} \quad (\text{p. 3.3.})$$

N -брой цикли на натоварване; C_0, m -константи на материала; R -коефициент на асиметрия на циклите. Влиянието на корозионната среда и температурата на изпитване се определя чрез коефициентите C_0, m .

3.3. МСМ за оценка на пределното състояние по критерий съпротивление на крехко, квазикрехко или пластично разрушаване;

Разчетите за пределното състояние се правят на основание силовия и/или енергиен критерии от механиката на разрушаването. Бързо неустойчиво разрушаване на елемент с пукнатина се реализира при условието:

$$K \geq K_{кр.} \quad (\text{силов критерии}) \quad (\text{p.3.4.})$$

където $K_{кр.}$ е критичен коефициент на интензивност на напрежението;

$$K = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \quad - \text{ за плоско напрегнато състояние,}$$

$$K = \tau \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \quad - \text{ за тангенциални напрежения}$$

σ, τ – действащите напрежения; l - линеен размер на дефекта.

или

$$J \geq J_{кр.} \quad (\text{енергиен критерии}), \quad (\text{p.3.5})$$

Инвариантният J -интеграл се изразява:

$$J_{кр} = \frac{(1-\nu) K_{кр}^2}{E} \quad (\text{p.3.6})$$

където ν - коефициент на Поасон.

3.4. МСМ за оценка на ресурса по критерий съпротивление на корозионно-механични повреди (дефекти).

Корозията е разрушаване на металите вследствие на химически или електрохимически взаимодействия на металите с околната среда. Причина за корозията е термодинамичната неустойчивост на системата, състояща се от метал и компоненти на околната среда. За мярка на термодинамичната неустойчивост се приема свободната енергия, освобождавана при взаимодействие на метала с компоненти на корозионната среда. Способността на металите и сплавите да се съпротивляват на корозионното въздействие на средата се определя от скоростта на корозията в дадените условия. Като количествени показатели на скоростта на корозия служат времето до поява на корозионни огнища, броя на корозионните огнища за определен промеждутък от време, намаление на дебелината на метала, отнесено към единица време, изменение на масата на метала, отнесено към единица повърхност и единица време.

При отсъствие в метала на плътен окисен слой скоростта на корозия е:

$$\frac{dy}{dt} = C_0 \cdot \gamma \cdot e^{\alpha \cdot T} \cdot t^{\gamma-1} \quad \text{или:} \quad (\text{p.3.7.})$$

$$\frac{dy}{dt} = C_0 \cdot A \cdot e^{-B/T} \approx C_0 \cdot k_p \cdot e^{\alpha' \cdot T}, \quad \text{където} \quad (\text{p.3.8.})$$

k_p - константа на скоростта на хим. реакция;

C_0 – концентрация на реагента на външната повърхност на граница с газовата фаза
а, α' – температурни коефициенти; γ – константна величина.

При наличие в метала на плътен окисен слой скоростта на корозията се изразява така:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{D(T^0) \cdot k_p}{D(T^0) + k_p \cdot y} \cdot C_0 \quad (\text{p.3.9})$$

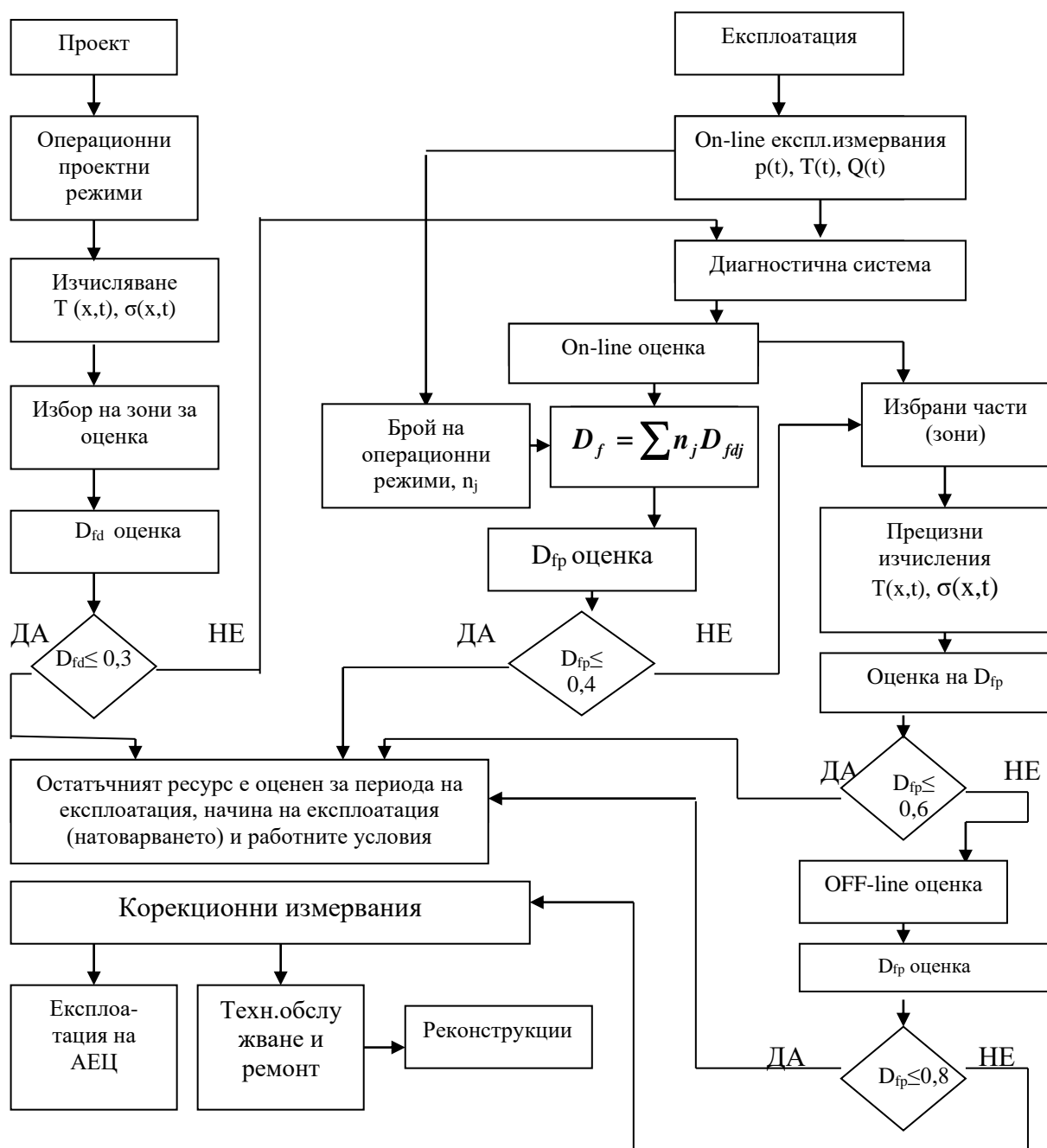
където $D(T^0)$ е коефициента на дифузия.

Ако металът има защитно покритие с дебелина $h = \text{const.}$, то скоростта на корозия е:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{D(T^0)}{D(T^0) + h_0 \cdot k_p} \cdot C_0 = \frac{k_p \cdot C_0}{1 + h_0 \cdot k_p / D(T^0)} = k_p' \cdot C_0 \quad (\text{p.3.10.})$$

Колкото е по-добро покритието (по-малко е $D(T^0)$ и по-голямо h_0), толкова е по-малка k_p

4. Примерна процедура за оценка на остатъчния ресурс на материала на компонента вследствие на уморни повреждания



Фигура 1: Примерна процедура за оценка на остатъчния ресурс на материала на компонента вследствие на уморни повреждания;

D_{fa} – натрупани дефекти (повреждания) от умора на материала, предвидени по проекта;
 D_{fr} – оценка на натрупани дефекти в края на сумарния технически живот на компонента

5. Литература

1. Unified Procedures for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPP, VERLIFE, EuropeAn Commission, 2008