



“АТОМНА ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛА КОЗЛОДУЙ” ЕАД

КОНТРОЛЪТ НА МЕТАЛА -

ПРАКТИКА И ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА АЕЦ

“АЕЦ Козлодуй” ЕАД, ОКС-ИЦ “ДиК”,
Галя Димова, ръководител гр. ДиК

Съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”.

Планиран експлоатационен контрол

- Целостта на съоръженията и тръбопроводите съхранява носещата способност на конструкциите и осигурява тяхната надеждна и безопасна експлоатация.
- Планираният експлоатационен контрол на съоръженията е в съответствие с изискванията на проекта/паспорта и на нормативните документи.
- На основание действащи нормативни документи се разработва и въвежда инструкция за експлоатационен контрол на основен метал, наварени повърхности и заварени съединения на оборудването на енергоблоковете. В инструкцията се определят методите, периодичността и обемите на контрол, нормативните документи за изпълнение на контрола, и нормите за оценка на резултатите от контрола.
- На основание инструкцията, всяка година и за всеки енергоблок се изготвят и изпълняват работни програми за контрола на метала на съоръжения и тръбопроводи.



Съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”.

Обем на контрола

- За съоръженията: Контролират се външна и вътрешни повърхности (основен метал и заварени съединения), заварени съединения на прилежащите щуцери/тръбопроводи, уплътнителни повърхности, крепежни елементи.
- За тръбопроводите: Контролират се заварени съединения, колена, тройници, арматура.



Съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”.

Периодичност на контрола

Корпус на реактора, вътрешно-корпусни устройства, приводи СУЗ, капак на реактора, оборудване на шахтния обем, парогенератори ПГ, компенсатор на налягането КО, тръбопроводи от системата на КО, главни циркуляционни тръбопроводи Ду 850, тръбопроводи Ду 300 от реактор до хидроаккумулятори САОЗ.	30 000 ч.
Главна циркуляционна помпа, барботажен бак, филтри, топлообменник и доохладител на продувката, тръбопроводи: <i>-за продувка, за подпитка и за дренаж, за байпасно очистване на I контур; за аварийно и планово разхлаждане на зоната; за аварийно въвеждане на борен разтвор, за аварийна питателна вода в хермозоната, на въздушници на ПГ, за сдувка от КО;</i> главни паропроводи и питателни тръбопроводи на ПГ, неотсекаема част в ХЗ	45 000 ч.



Съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”.

Периодичност на контрола (продължение)

Цилиндър високо налягане; цилиндър ниско налягане; турбина ОК-12А.	При основен ремонт
Изходящи тръбопроводи между ЦКК и кондензатора; дренажни тръбопроводи на ПНН; сепарат от СПП до ПНН-4.	30 000 ч.
Деаератор високо налягане; подгревател ниско налягане; подгревател високо налягане; главни паропроводи и тръбопроводи свежа пара; тръбопроводи питателна вода RL; Заварени съединения и колена <i>на тръбопроводи от системи RC, RQ, RM, RD, RB, RN</i> ; тръбопроводи основен кондензат от ПНН до ДВН; тръбопровод от ПВН до предпазните клапани; паропровод I и II отбор; тръбопроводи за отвеждане на кондензирана гореща пара от СПП в ПВН; дренажни тръбопроводи на ПВН.	45 000 ч.



Съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”.

Периодичност на контрола (продължение)

Заварени съединения на дренажни тръбопроводи от ПВН; участъци на тръбопроводите след регулиращи и дроселиращи устройства, заварени съединения на тръбопровод ТХ – аварийна питателна вода.	15 000 ч.
Колена, арматура, тройници, участъци на тръбопроводите след регулиращи и дроселиращи устройства.	22 500 ч.
Сепарат към разширителен бак, 5,6 RN; тръбопроводи: - за подаване на пара за ТПП, 5,6 RB; - за грееща пара на деаератора 5,6 RQ; - обезвъздушаване на ПВН в ДВН; главни паропроводи (изходящи).	60 000 ч.



Документи за контрола

Нормативни документи

- ПН АЭ Г-7-008-89 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ;
- ПН АЭ Г-7-009-89 Оборудования и трубопроводов АЭУ. Сварка и наплавка. Основные положения;
- ПН АЭ Г-7-010-89 Оборудования и трубопроводов АЭУ. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля;
- ПН АЭ Г-7.....Методики за контрола по приложимите методи;
- БДС EN...; БДС EN ISO... *методики и норми за оценка*
- ASME Boiler & pressure vessels code V; code XI

Вътрешни документи:

- Инструкция за контрол. Експлоатационен контрол на основен метал, наварени повърхности и заварени съединения на оборудването и тръбопроводите на блокове ВВЕР-1000 на “АЕЦ Козлодуй”; ЦДК.КД.ИН.084/05;
- Работни програми за експлоатационен контрол (за конкретни за всеки ПГР);
- Заявки за контрол;
- Процедури за контрол по методи на контрол;



Периодичност на планирания експлоатационен контрол

Периодичността се определя съгласно:

- Нормативните изисквания;
- Резултати от предишен контрол (*тенденцията е намаляване на междуексплоатационните периоди*);
- Експлоатационен опит (наш и от други АЕЦ)



Принципи при провеждане на експлоатационен контрол на метала на съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”

- Строго се спазват изискванията на нормативните документи;
- Консервативен подход: интервалите на контрола се намаляват при установени критични зони;
- Оборудването в АЕЦ е класифицирано по степен на важност за безопасната работа на съоръженията;
- Контролът на системи, важни за безопасността, е квалифициран по методологията на МААЕ;
- Прилаганите методи на контрол са съобразени с референтните механизми на деградация на механични свойства на метала в работната среда (ерозия, корозия, умора, неутронно окрежкостяване, термично стареене)



Принципи при провеждане на експлоатационен контрол на метала на съоръжения и тръбопроводи в “АЕЦ Козлодуй”

- Гарантира се непристрастност и независимост при оценката на съответствието;
- Процедурите за контрол са валидирани. Това се реализира по начините:
 - Процедурата е стандартизирана и стандартните образци са калибрирани, и
 - Процедурата е квалифицирана по методологията на МААЕ.
 - Персоналът, извършващ контрола, е сертифициран;
 - Техническите средства за контрол са калибрирани и/или проверени.
- Резултатите се съхраняват, с цел провеждане на техническа диагностика или оценка на ресурсните характеристики на съоръженията.



Методи на контрол

- Визуален и термовизионен контрол (VT, IrT)
- Контрол с проникващи течности (PT)
- Магнитно-прахов контрол (MT)
- Радиографичен контрол (RT)
- Ултразвуков контрол (UT)
- Вихротоков контрол (ET)
- Металографски контрол
- Контрол със спектрални методи



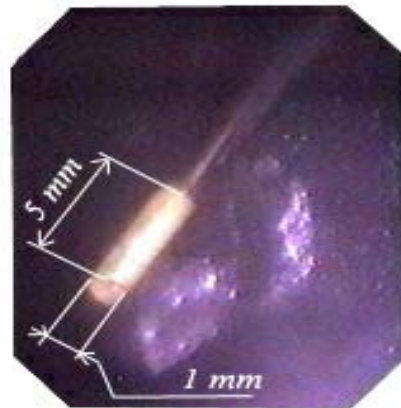
Механизми на деградация / методи на контрол

- Корозия, ерозия/ VT, PT, MT, ET, UT, металография
- Износване/VT, PT, ET, UT, металография
- Умора/VT, UT, RT, металография
- Термично стареене/VT, PT, UT, RT, металография
- Радиационно окрежкостяване/VT, UT, RT, металография

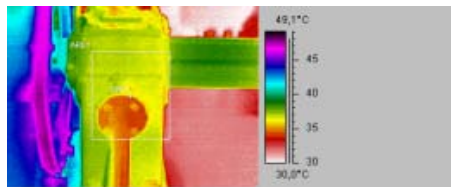


Визуален контрол (VT)

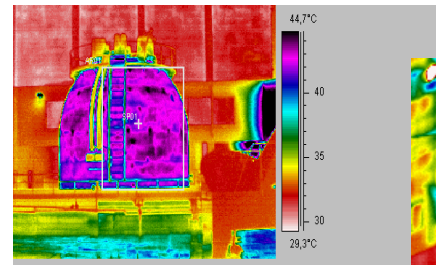
- TV камери, радиационно устойчиви;
 - Видеоскопи;
 - Ендоскопи;
 - Бороскопи



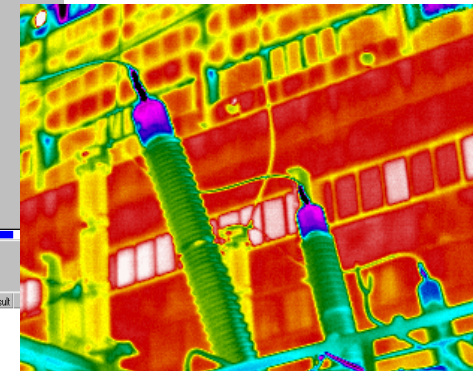
Термовизионен контрол (IrT)



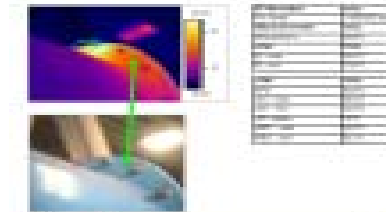
Analysis		Position		Obj. Par		Image		Text comment	
Label	Temp	Min	Max	Max-Min	Avg	Stdev	Express		
Image	29.3	29.3	48.3	19.0					
SP01	25.2	31.5	37.7	6.3	36.0	1.1			
AR01									



Analysis		Position		Obj. Par		Image		Text comment	
Label	Temp	Min	Max	Max-Min	Avg	Stdev	Express		
Image	42.4	29.3	63.3	34.0					
SP01		30.8	46.1	15.2	41.6	2.6			
AR01									

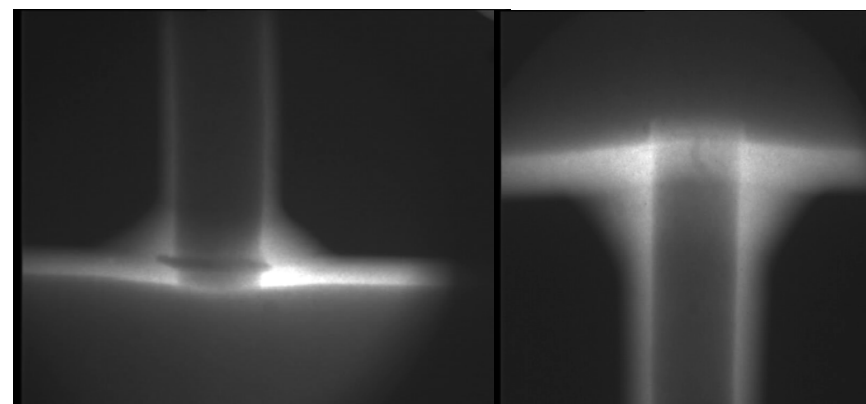


Label	Temp	Min	Max	Max-Min	Avg	Stdev	Express	Result
Image	42.4	29.3	63.3	34.0				
SP01		30.8	46.1	15.2	41.6	2.6		
AR01								



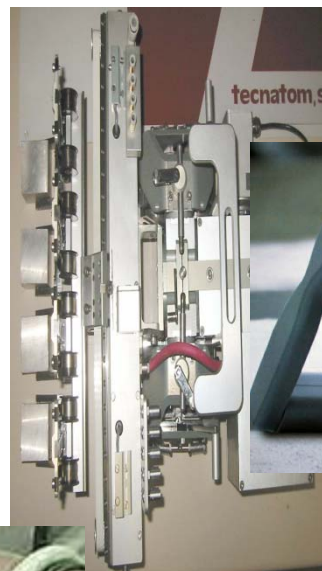
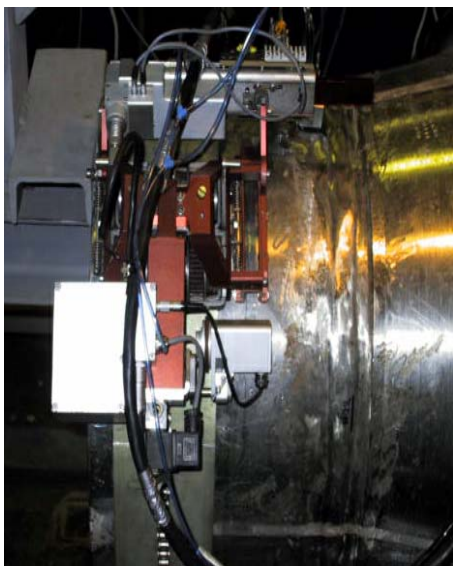
Радиографичен контрол (RT)

- Радиационни дефектоскопи

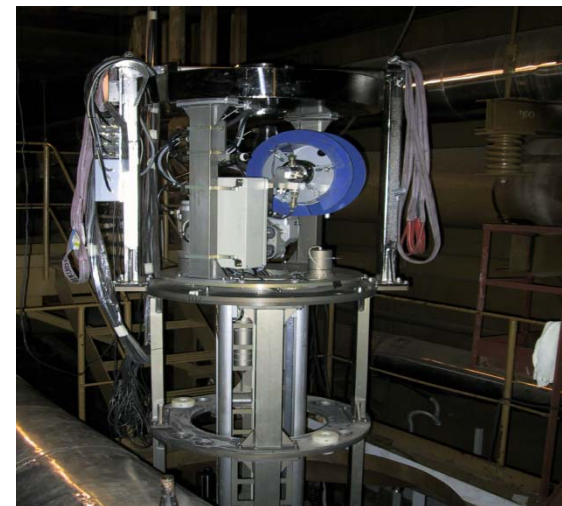
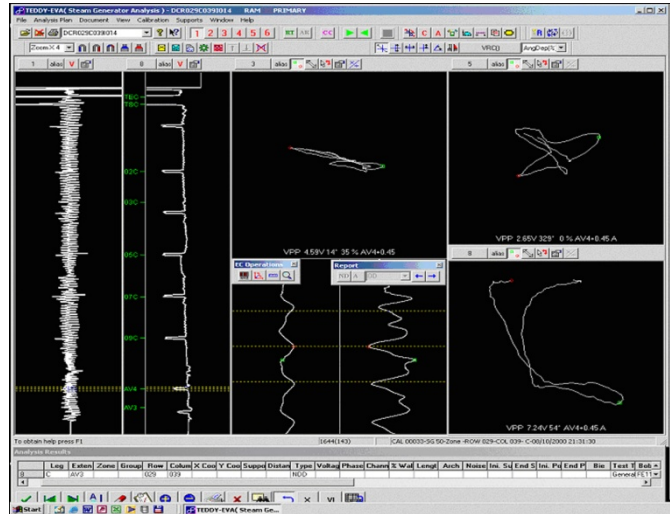


Ултразвуков контрол (UT)

- Ултразвукови дефектоскопи и системи

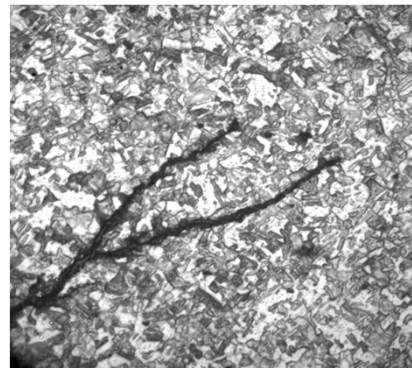
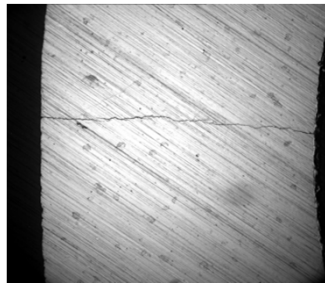


Вихротоков контрол (ЕТ)



Металография

- Анализ на микроструктура
- Анализ на елементи

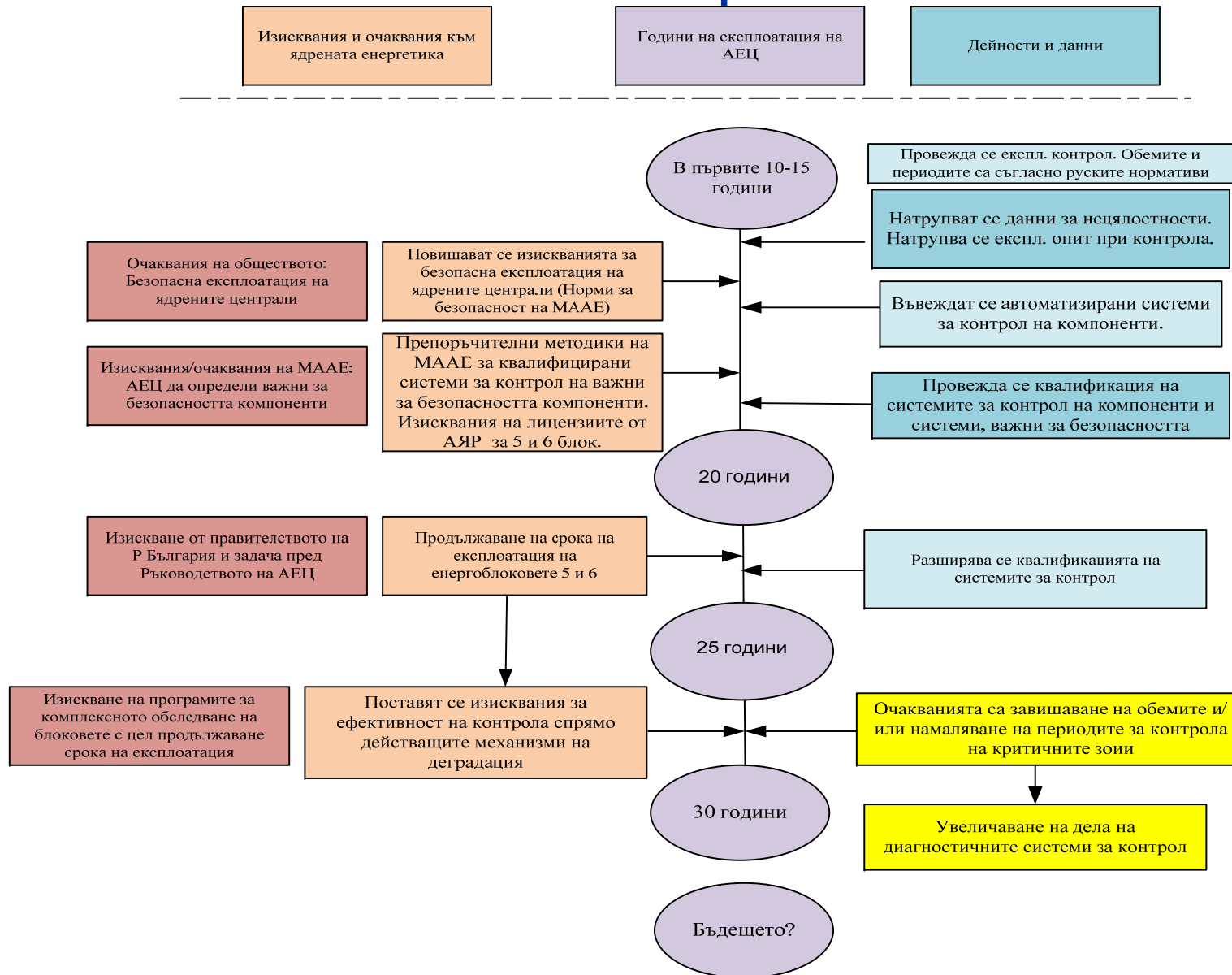


Тенденции в безразрушителния контрол

- Първата тенденция: Насоченост на контрола към действащите механизми на деградация на механични свойства на метала – или засилване на превенцията от гледна точка на безопасността.
- Втората тенденция: Прилагане на автоматизирани системи за контрол



Тенденции в безразрушителния контрол



Квалифициране на контрола на съоръжения, важни за безопасността на АЕЦ

Ръководни документи:

- ЦДК.ККБР.РК.106 – Ръководни указания за квалифициране
- ЦДК.ККБР.РК.106-01- Инструкция за разработване на техническа спецификация
- ЦДК.ККБР.РК.106-02- Инструкция за разработване на техническа обосновка
- ЦДК.ККБР.РК.106-03- Инструкция за разработване на процедури за квалифициране

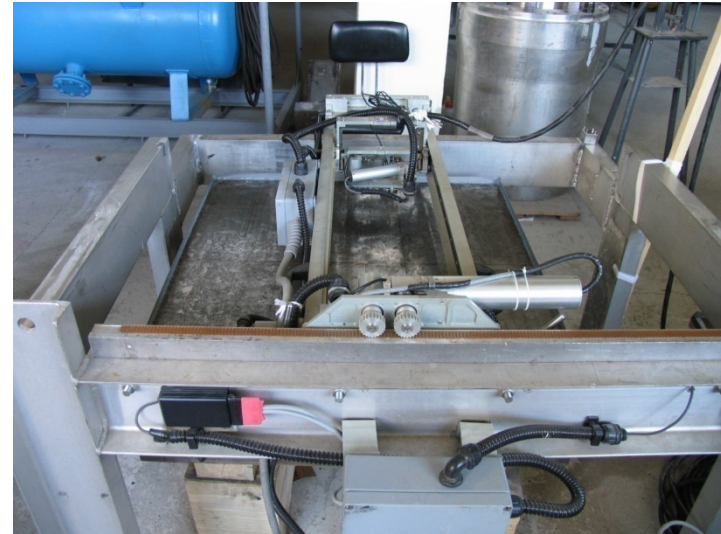
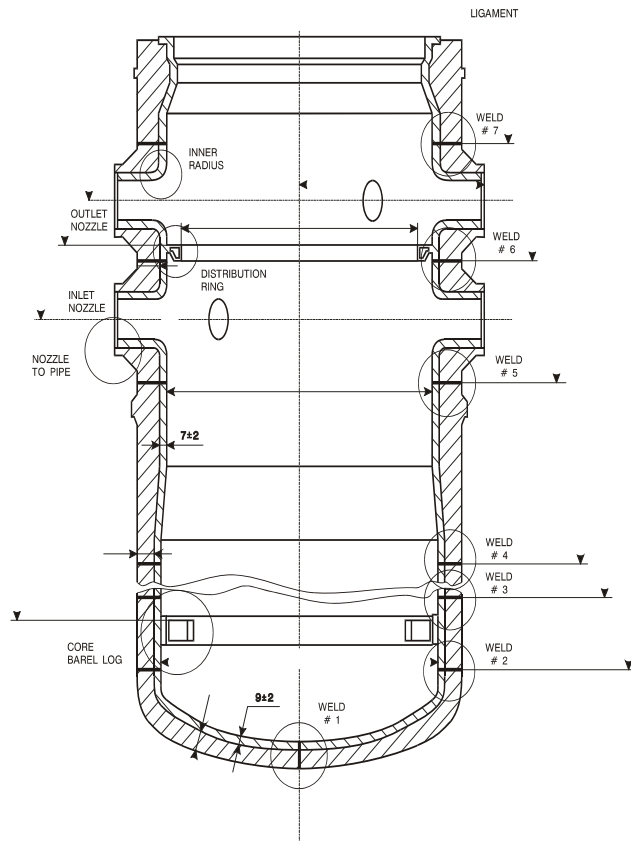


Квалифицирани системи за безразрушителен контрол на оборудване

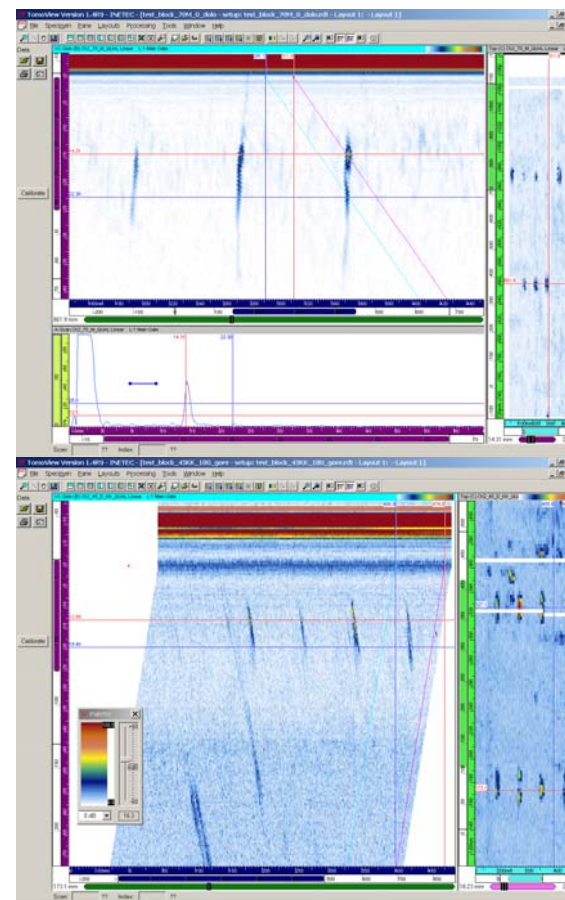
- УТ (външнокорпусен и вътрешнокорпусен) на корпуси на реактори, тип ВВЕР 1000;
- УТ на заварени съединения на главни циркуляционни тръбопроводи ГЦТ Ду 850;
- УТ на заварени съединения на тръбопроводи Ду 300 (реактор-съдове САОЗ);
- УТ на заварени съединения 1 1/2 на колектори I контур към щуцерите Ду 1200 на парогенератори ПГВ 1000М;
- УТ на заварени съединения на тръбопроводи от аустенитни стомани с дебелина 6-20 мм;
- УТ на тръбопроводи от ферито-перлитни стомани с дебелина 8-30мм;
- ЕТ на топлообменни тръбички на парогенератори ПГВ 1000М;
- ЕТ на материала на колектора в зоната на развалцовката на парогенератори ПГВ 1000М



Квалификация на УТ на корпуса на реактора, тип ВВЕР 1000

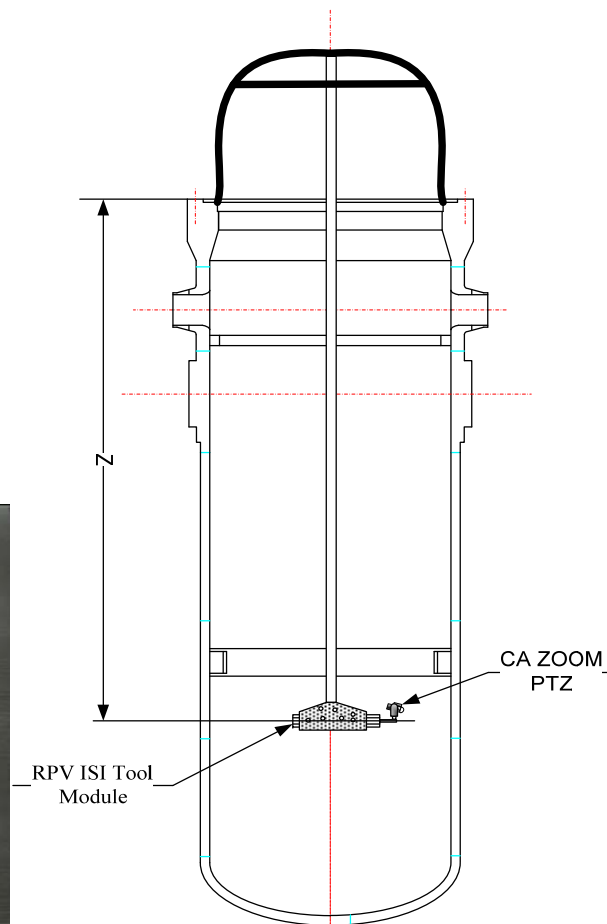


Квалификация на УТ на корпуса на реактора, тип ВВЕР 1000

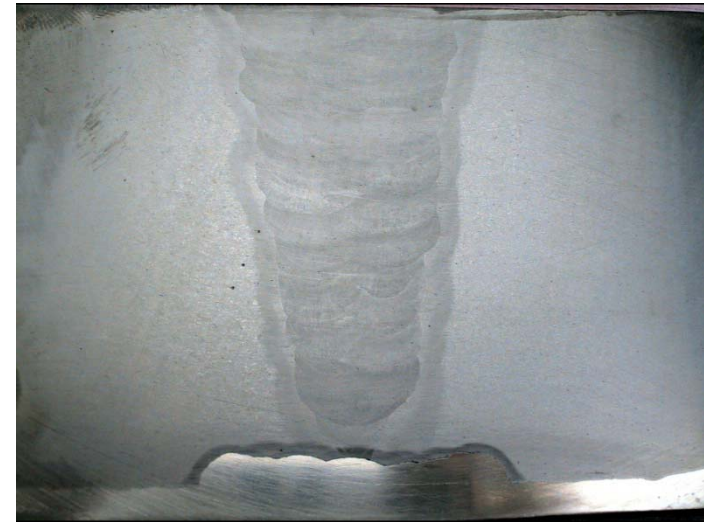
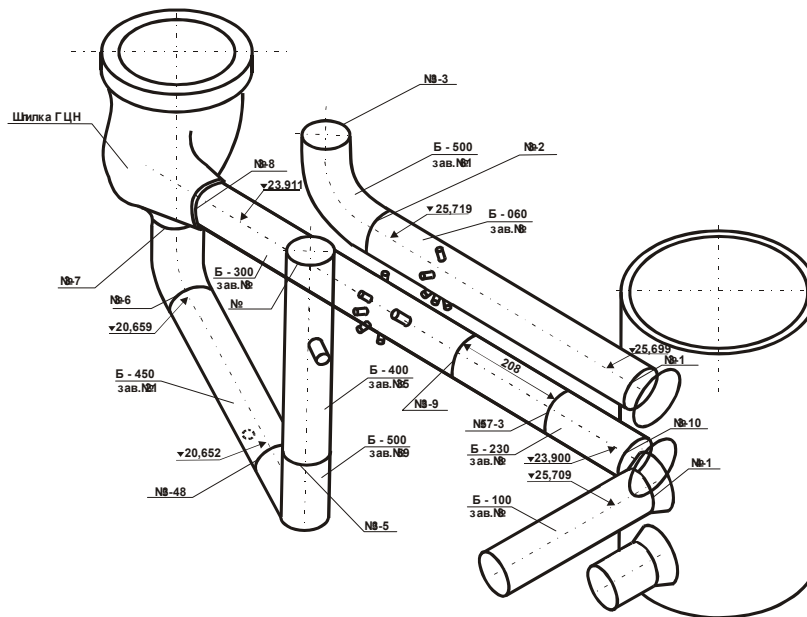


Визуален контрол на вътрешна повърхност на корпуса на реактора

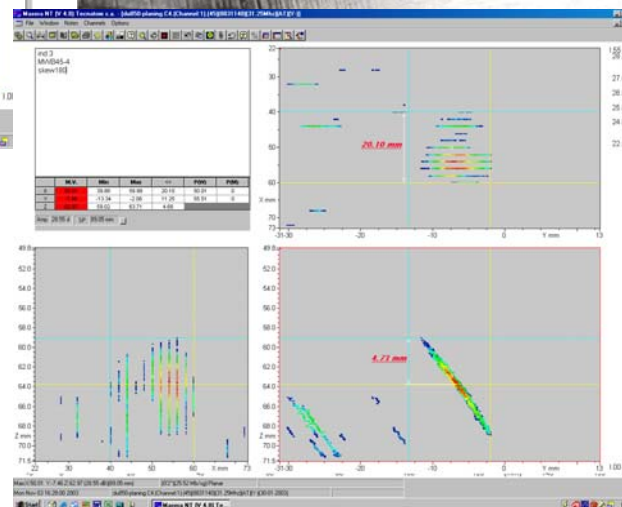
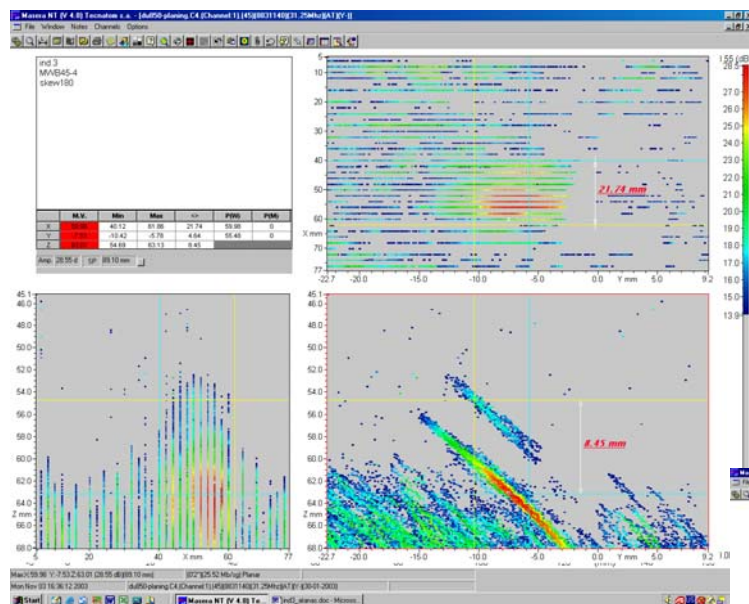
Вътрешна повърхност на корпуса на реактора



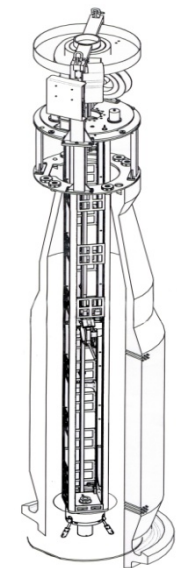
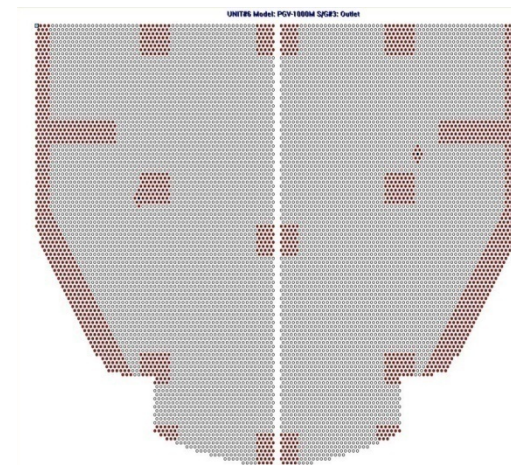
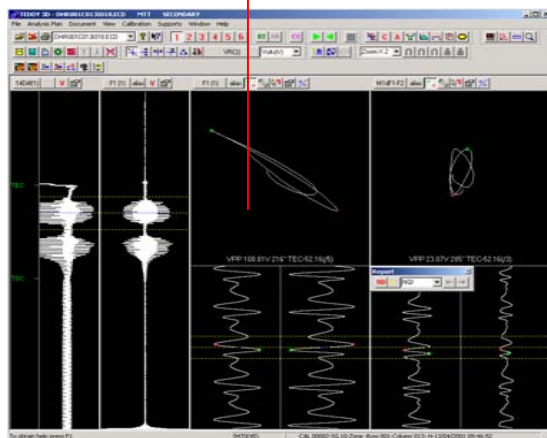
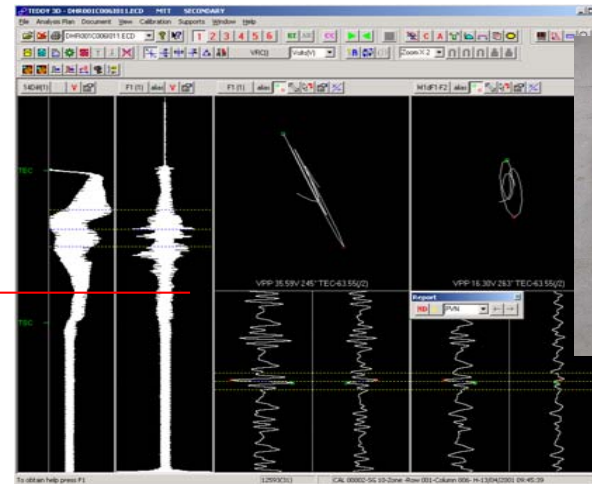
Квалификация на УТ на заварени съединения на ГЦТ Ду 850



Квалификация на УТ на заварени съединения на ГЦТ Ду 850



Квалификация на ЕТ на топлообменни тръби на ПТ

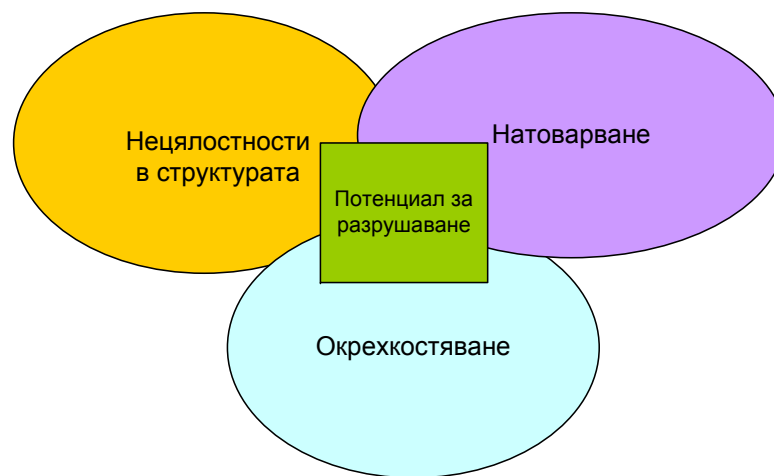


Контролът на метала в аспекта продължаване сроковете за експлоатация на 5 и 6 енергоблок

- Материалите на механичното оборудване на енергоблока са подложени на въздействието на високи температури, налягания и корозионно-агресивно въздействие на работния флуид. Скоростта на флуида причинява ерозионно износване на вътрешните повърхности на съдовете и тръбопроводите.
- Основните групи от механизми на деградация на механични свойства са корозия, ерозия, умора, термично стареене и неутронно окрежкостяване (за материалите на корпуса на реактора).
- Стареенето на метала и работните режими на енергийната установка формират критични зони в оборудването.
- За съхраняване на надеждността на съоръжението е важно да бъдат оценени свойствата на материалите за тези зони.



Механика на разрушаването



Първи етап на комплексното обследване:

- Провежда се класификация и подбор на елементи;
- Събират се и се систематизират данни за паспортите, проектните изисквания, експлоатацията и ремонта (*или историята на експлоатационна история*);
- Събират се и се систематизират входни данни за всеки елемент (от контрола на метала, изпитвания, ТОиР, термохидравлични анализи, откази и дефекти, евентуални причини);
- Определят се референтни механизми на деградация на механични свойства;
- За всеки механизъм на деградация и на основание приложимите нормативни изисквания се определя модела за анализиране и пресмятане на параметрите. *Извършват се анализите и пресмятанията.*
- Провежда се техническа диагностика на обекта.
- Първият етап на комплексното обследване завършва с лист за обследване на всеки компонент.



Втори етап на комплексното обследване:

- За пасивно и незаменяемо оборудване се пресмята остатъчният ресурс.
- Провеждат се оценки на остатъчния ресурс на елемента;
- Определят се препоръки за последваща експлоатация, ремонт или замяна;
- Управлява се стареенето за незаменяемото оборудване. *Например може да се очакват препоръки за „по-щадящи“ натоварвания при хидравличните изпитвания на съдове и съоръжения под налягане.*
- Вторият етап на комплексното обследване завършва с техническа оценка за оборудването при надпроектните години на експлоатация.
- *На основание тази оценка Ръководството на АЕЦ предлага на АЯР да издаде лицензия за продължаване на срока на експлоатация.*

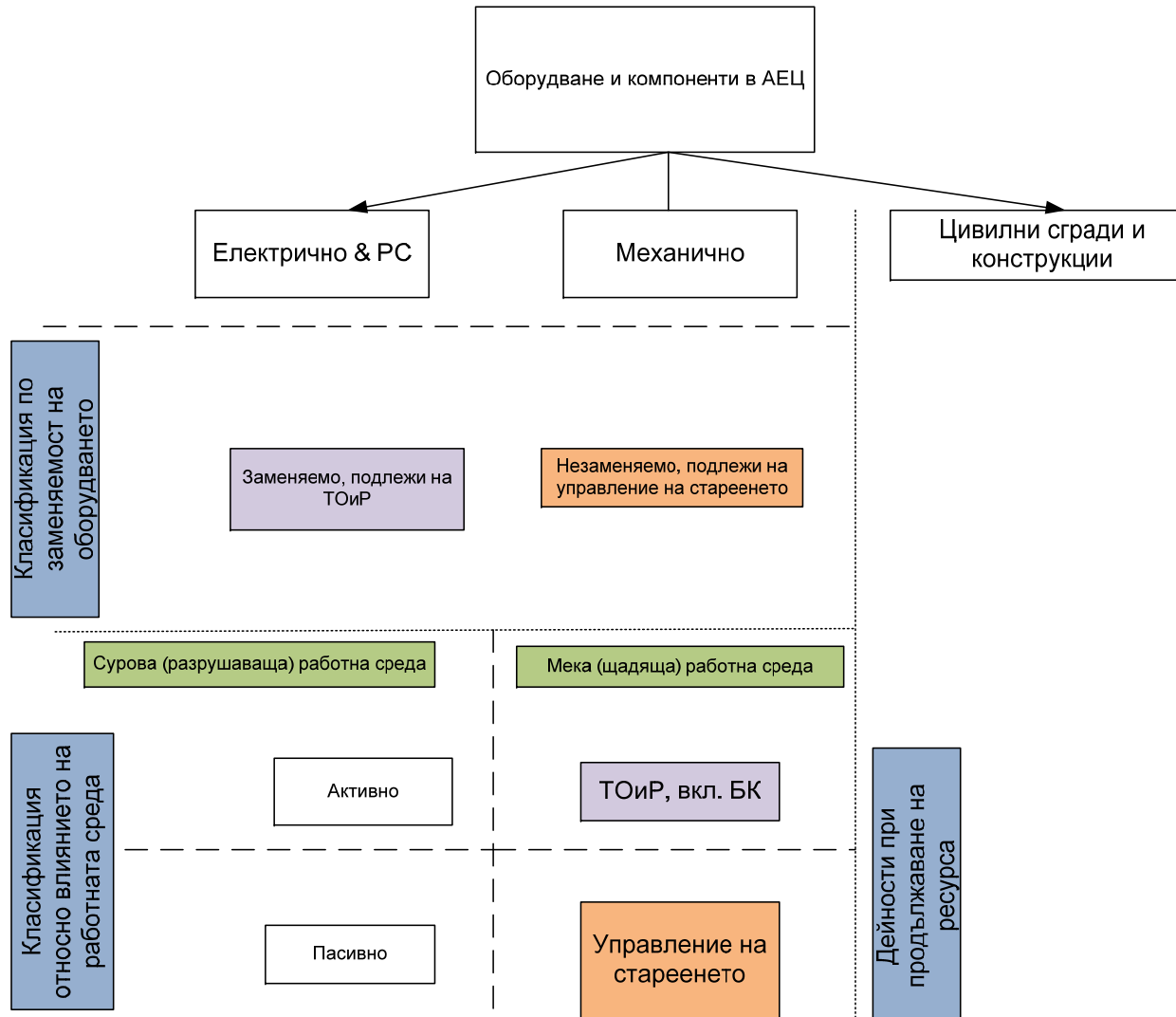


Особености на българския подход

- Почти не се правят извадки от обекти, на които ще се оценява техническото състояние, а се оценяват всички обекти, определящи надеждността на ядрената инсталация;
- **Преди комплексното обследване е направена класификация на оборудването и системите, важни за безопасната експлоатация на АЕЦ;**
- В рамките на комплексното обследване са направени и други класификации на оборудването, с цел улесняване систематизирането на входните данни и провеждане на комплексното обследване.



Класификации

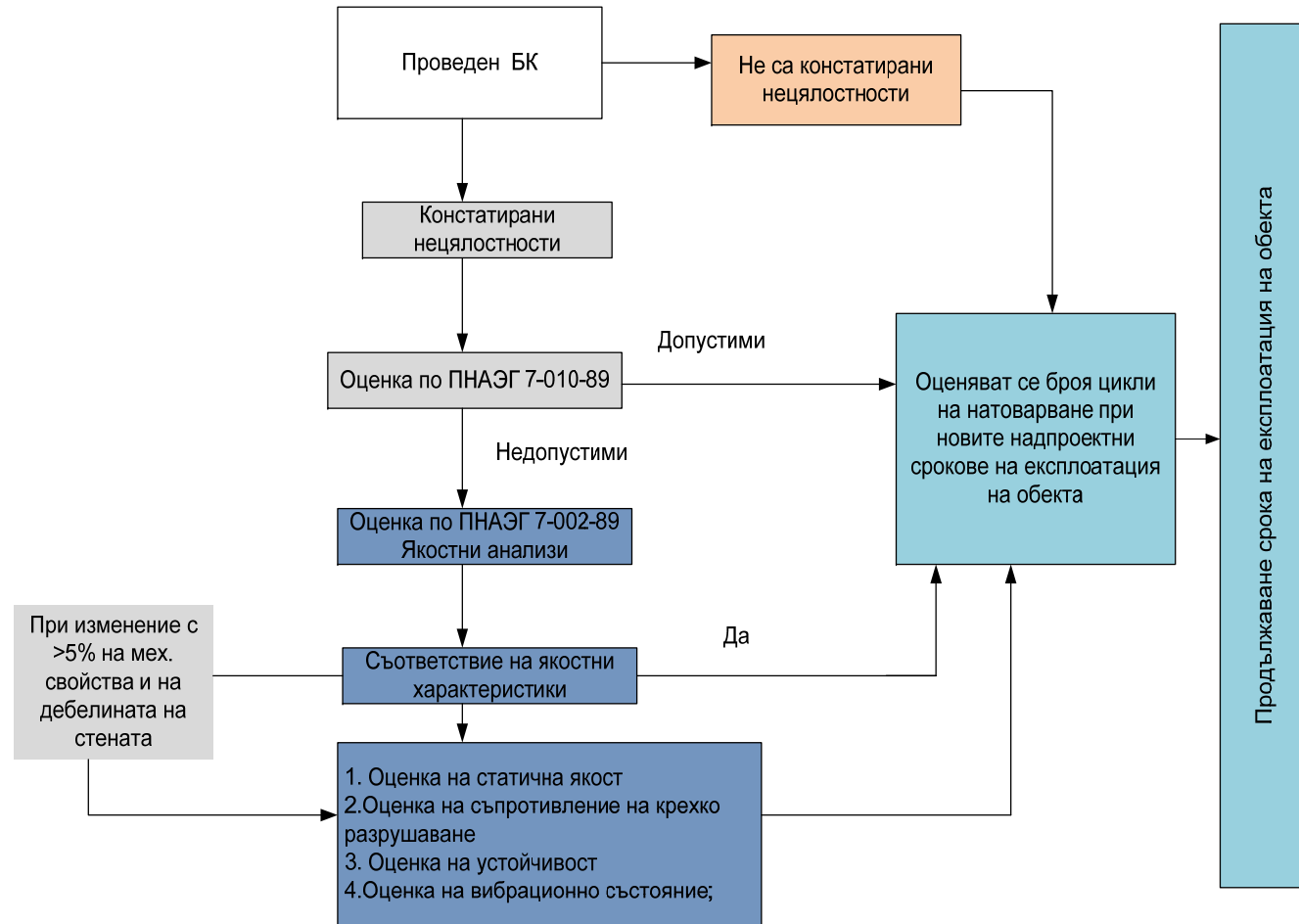


Техническа диагностика

Контролируем механизъм на деградация на метала	Определящ параметър за състоянието на метала	Приложим метод на контрол
Изменение на механични свойства	Граница на якост, граница на пълзене, относително удължение, относително свиване, твърдост, KCV (ударна жилавост)	Металографски контрол; Механични изпитвания; Контрол на твърдост
Изменение на структурата	Съдържание на фази, зърна и микропори	Металографски контрол – микроструктурен анализ
Корозионно напукване	Геометрични размери на нецялостностите	Повърхностни методи на контрол (визуален, капиларен, ултразвуков)
Ерозия	Повредена площ, дебелина на стената	Повърхностни методи на контрол Ултразвукова дебелометрия на стени.
Корозия (питинги и язви)	Брой повреждания на 1-ца площ (или 1-ца време) и тяхната дълбочина	Повърхностни методи на контрол (визуален, капиларен, корозионни изследвания).
Умора на метала	Повърхностни и подповърхностни нецялостности	Повърхностни (визуален, капиларен) и обемни методи на контрол (радиографичен, ултразвуков).



Оценка на остатъчния ресурс



Оценка по критерий съпротивление на неутронно окрежкостяване

- $$\Delta T_F = A_F \cdot (F \cdot 10^{-22})^m$$

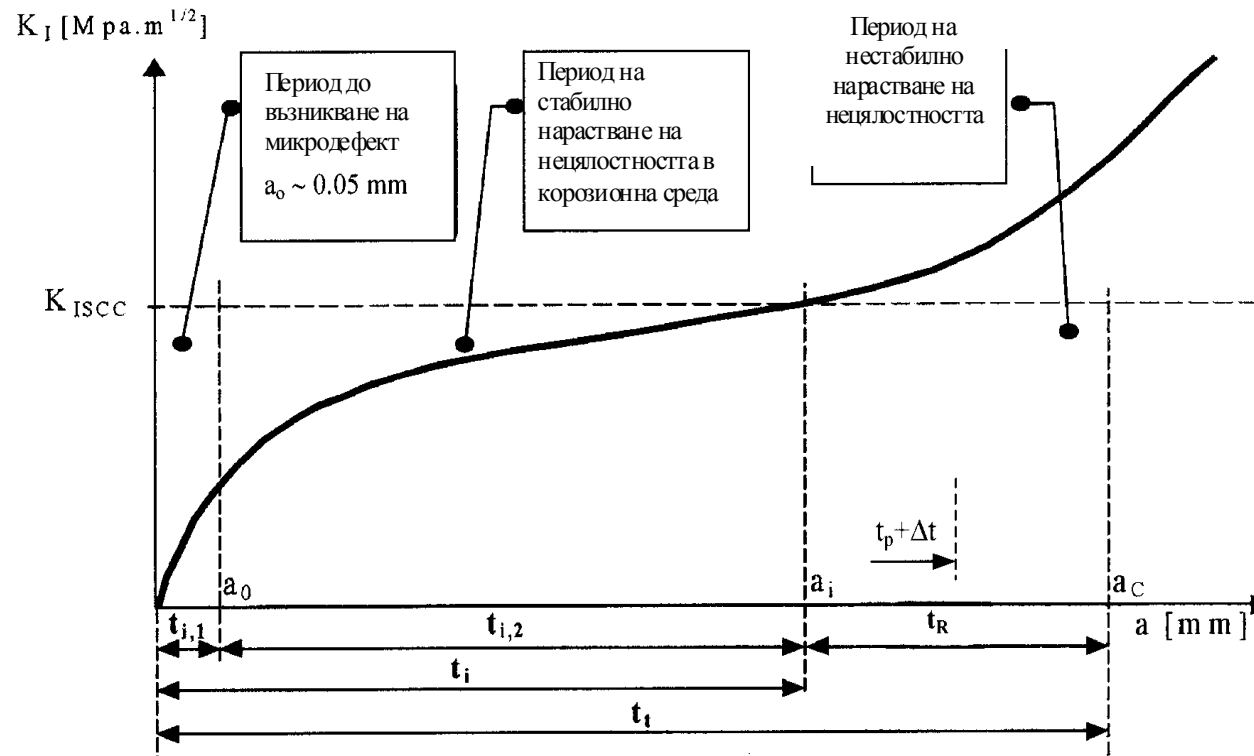
ΔT_F е преместване на критичната температура на материала вследствие на неутронния фл

A_F коефициент на радиационно окрежкостяване

m числов коефициент.



Процес на възникване и растеж на нецялостност под напрежение в корозионна среда



Оценка по критерий съпротивление на умора на материала

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

$\tau_{occ.}$ е остатъчното време за експлоатация, в години

τ_{np} е проектното време за експлоатация, в години

$N_{\phi i}$ – фактическия брой на проведени i режими

N_{npi} проектен брой i режими



Оценка по критерий съпротивление на развитието на нецялостност

- Скорост на нарастване на нецялостност:

$$\frac{da}{dN} = C_0 \cdot \left(\frac{\Delta K_1}{\sqrt{1-R}} \right)^m$$

a – дължина на нецялостност,

N е брой цикли на натоварване,

C, m - константи на материала,

R - коефициент на асиметрия на циклите

K -коефициент на интензивност на напреженията

- Граничен критерий: $K \leq [K]$





**БЛАГОДАРЯ
ЗА
ВНИМАНИЕТО!**

 **“АЕЦ КОЗЛОДУЙ” ЕАД**

3321 гр. Козлодуй, тел.: 0973/ 7 20 20, факс: 0973/ 8 05 91, www.kznpp.org