



“АТОМНА ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛА КОЗЛОДУЙ” ЕАД

# УПРАВЛЕНИЕ НА СТАРЕЕНЕТО В “АЕЦ КОЗЛОДУЙ” ЕАД НОРМАТИВИ, ПРАКТИКА, БЕЗРАЗРУШИТЕЛЕН КОНТРОЛ

“АЕЦ Козлодуй” ЕАД, Д БИК, ОКС-ИЦ ДИК,  
Галя Димова, Ръководител гр. ДИК



“АТОМНА ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛА КОЗЛОДУЙ” ЕАД

# AGEING MANAGEMENT IN KOZLODUY NPP – NORMS, PRACTICES AND NON-DESTRUCTIVE CONTROL

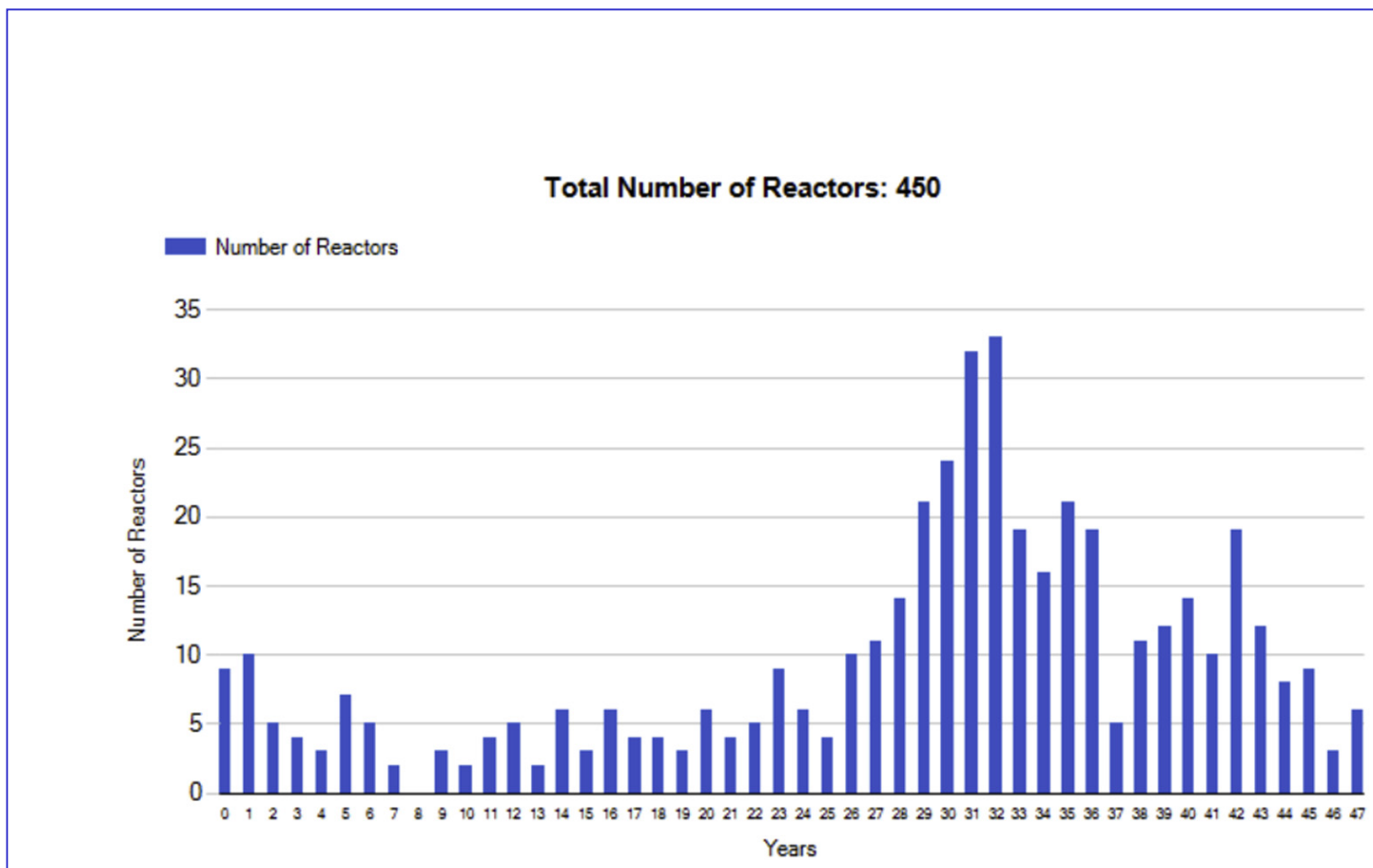
KOZLODUY NPP  
GALYA DIMOVA

# Съдържание

1. Норми, ръководства за управление на стареенето на АЕЦ
2. Управление на стареенето на АЕЦ – практика
3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг
4. Корозионно-ерозийни процеси
5. Износване
6. Термично окрехостяване
7. Циклична умора
8. Техническа диагностика
9. Анализи за работоспособност
10. Практика на контрола



## Брой реактори в света / години експлоатация





# 1. Ръководство Safe Long Term Operation of NPP, Safety Reports Series 57

## Решение за ДСЕ:

- 1) Важни икономически и стратегически позиции на централа за държавата и обществото
- 2) Приложими регулаторни изисквания
- 3) Техническа оценка на физическото състояние
- 4) Техническа оценка на влиянието на околната работна среда
- 5) Икономически фактори



# 1. Ръководство Safe Long Term Operation of NPP, Safety Reports Series 57

- Преглед на програмите в АЕЦ по ТООР: 1) За поддържане и ремонт, 2) За квалификация на оборудването, 3) За безразрушителен контрол; 4) За образците-свидетели; 5) За водохимичния режим.
- Чрез систематичен подход се определя кои от хилядите елементи ще бъдат включвани в оценките (scoring). Преценява се дали параметрите, важни за състоянието, са променливи във времето (screening), което да налага ревалидиране на анализите (TLAAs).
- Оценяване на състоянието и управление на стареенето на структури и компоненти.

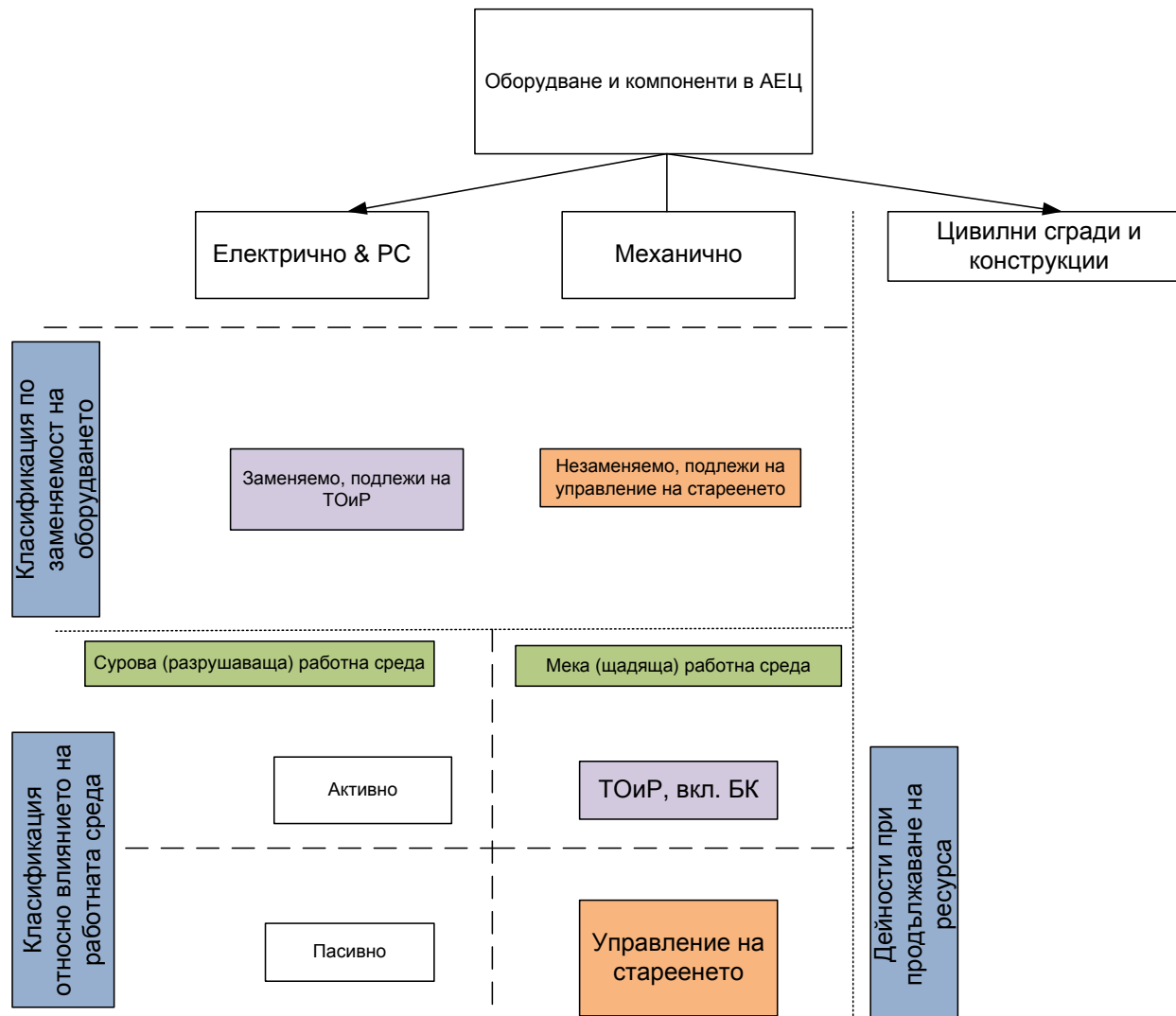


# 1. РЪКОВОДСТВО Ageing Management for Nuclear Power Plant: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), Safety Reports Series № 82:

- Ръководството IGALL подпомага ядрените централи и регулиращите органи за поддържане на изискваното ниво на безопасност по време на експлоатацията, като се имат предвид механизмите на деградацията на оборудването в различните типове централи.
- В документа се съдържат критериите и практиките на отделните държави, приложими при продължаване срока на експлоатацията на енергоблоковете.
- Дейностите по проекта са разделени в три групи: механично оборудване, електрическо и компютърно оборудване, и строителни конструкции.
- За механичното оборудване се изготвят типови програми за управление на стареенето (Ageing Management Programs, AMPs, програми) и анализи, съдържащи количествени оценки за стареенето (Time Limited Ageing Analyses, TLAAs).



# 1. Класификации



# 1. Ръководство Ageing Management for Nuclear Power Plant: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), Safety Reports Series № 82

- Съдържанието на всяка програма включва: 1) Въведение и описание на проблема; 2) Оценка и техническо основание; 3) Превантивни действия за минимизиране и контролиране на стареенето; 4) Установяване на ефектите на стареенето; 5) Мониторинг и проследяване на ефекта на стареене; 6) Действия, смекчаващи ефекта на стареене; 7) Оценка на ефективност и критерии за приемане на дейностите по управление на стареенето; 8) Коригиращи действия; 9) Експлоатационен опит и опит от изследвания; 10) Осигуряване на качеството; 11) Референции.
- Съдържанието на всеки анализ включва: 1) Въведение и описание на проблема; 2) Оценка и техническо основание; 3) Параметри, определящи състоянието към края на предвидения срок за експлоатация на съоръжението; 4) Метод за оценка на параметъра; 5) Критерии за приемане.





# 1. Standards Ageing Management for Nuclear Power Plants for LTO, NS-G-2.12

- Ръководството предлага базисна концепция за управление на стареенето на 1) експлоатирано и на 2) изведено от експлоатация оборудване.
- Основната концепция относно управлението на стареенето е: За да се поддържа сигурността на АЕЦ на изисквано ниво, е много важно да се констатират ефектите на стареенето, да се откриват съответните показания от системите за ТОиР, и да се предприемат коригиращи действия преди загуба на конструкционна цялост или загуба на функции.



# 1. Ръководство за провеждане на SALTO мисии: SALTO Guidelines for peer review of long term operation and ageing management of nuclear power plants, IAEA Services Series 1

- Ръководството обхваща методологията и техниките за провеждане на оценките.
- Аспектите за проверка на готовността за ДСЕ включват: 1) Организация и функции; 2) Конфигурация на управлението; 3) Текущия анализ на безопасността и други основополагащи за лицензията документи; 4) Идентификация на КСК за ПСЕ; 5) Идентифицирани КСК за ДСЕ; 6) Налични програми за управление на стареенето; 7) Извършен преглед на програмите за управление на стареенето; 8) Ревалидация на анализите.



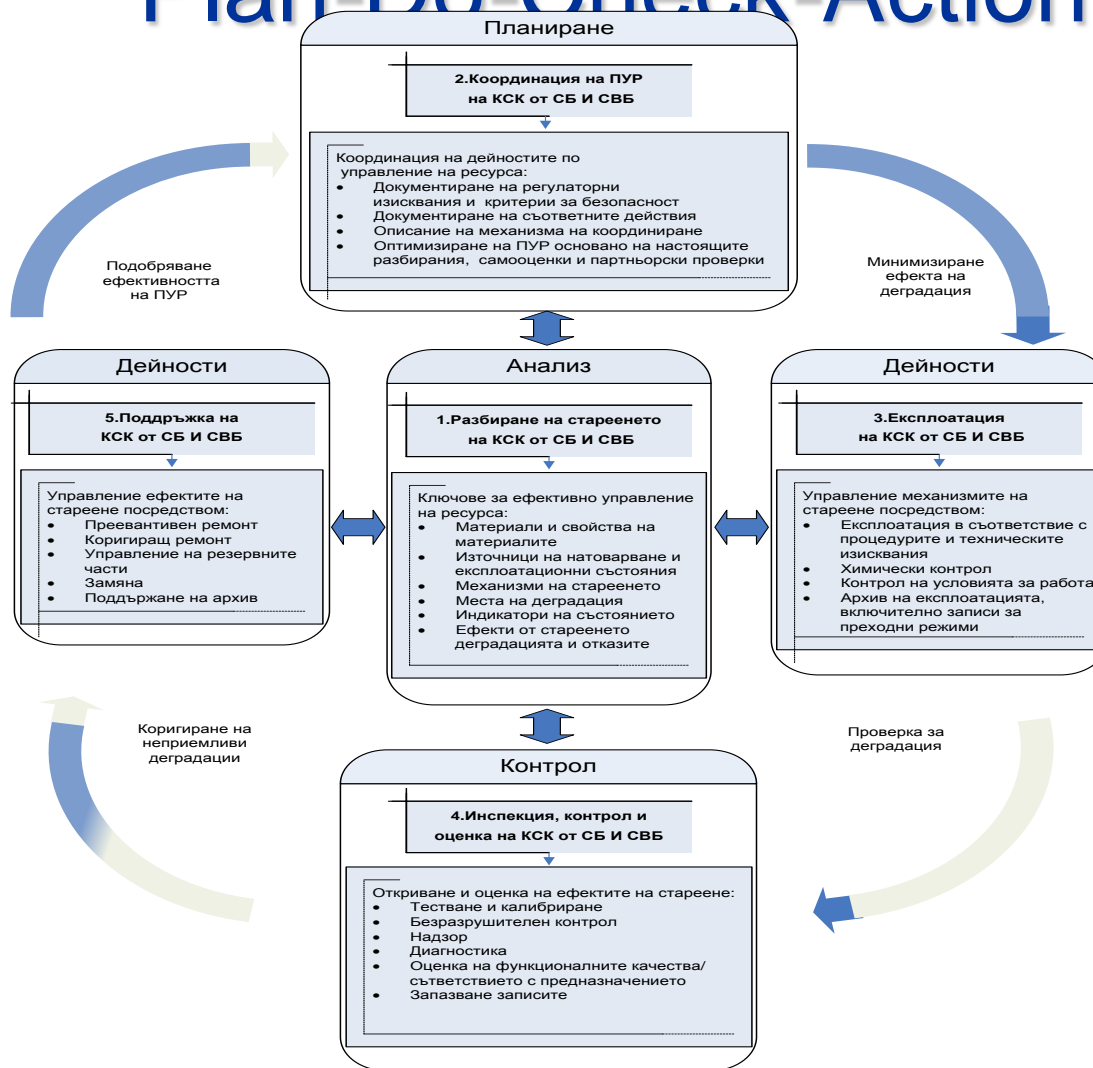
# 1. Implementation and review of a nuclear power plant ageing management programme, Safety Reports Series 15

- Ръководството обхваща:
  - 1) Прилагане на систематичен процес при управление на стареенето (по цикъла на Деминг Plan-Do-Check-Act)
  - 2) Управление на стареенето на активни КСК
  - 3) Описание на AMP (ageing management program)
  - 4) Внедряване на AMP.



# 1. PDCA цикъл

## Plan-Do-Check-Action



## 2. Управление на стареенето - практика

- Управлението на стареенето започва след изпълнение на Програмата за модернизация на 5/6 енергоблокове. Първите програми за управление на стареенето включват елементите:
- Разбиране на стареенето;
- Интегриране на дейности по експлоатация и ремонта, свързани с ресурса на КСК;
- Събират се периодично данни от експлоатационна и ремонтна история на КСК, данни от контрола и надзора, информация от световен опит;
- След всеки ПГР се изготвят отчети за ресурса, с анализ на тенденциите.





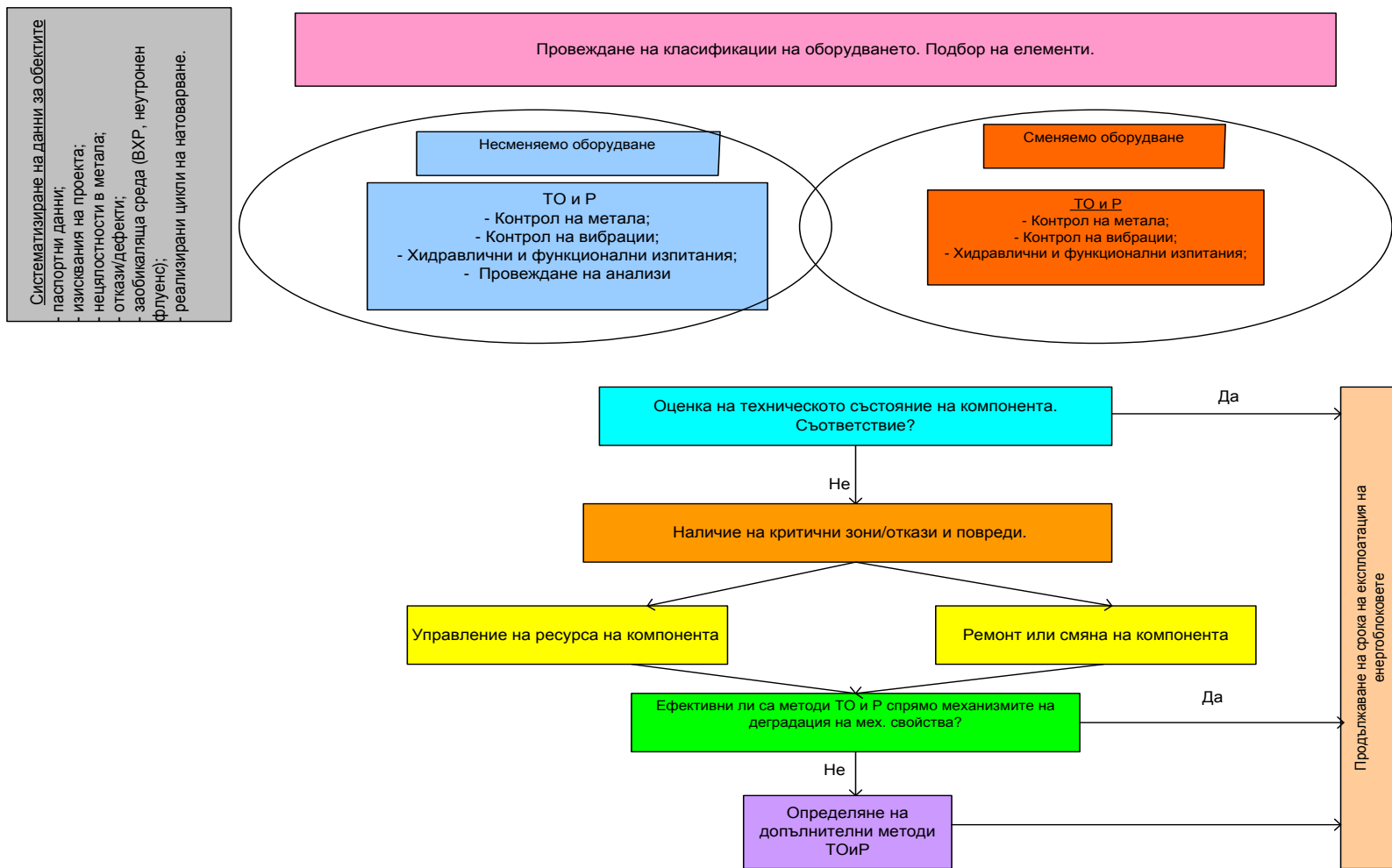
## 2. Управление на стареенето - практика

### • Програми за управление на ресурса

- Програма за управление ресурса на парогенераторите на 5-ти и 6-ти блок на " АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.21/0, дата на документа 01.04.2012 г.;
- Програма за управление на ресурса на корпусите на реакторите на 5-ти и 6-ти блок на "АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.17/0, дата на документа 16.06.2009 г.;
- Програма за управление на ресурса на АБП на 5-ти и 6-ти блок на "АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.22/0, дата на документа 04.04.2012 г.;
- Програма за управление на ресурса на главни циркулационни помпи на 5-ти и 6-ти блок на "АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.31/0, дата на документа 11.10.2012 г.;
- Програма за управление на ресурса на ДГС на 5-ти и 6-ти блок на " АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.32/0, дата на документа 06.11.2012 г.;
- Програма за управление на ресурса на блочни трансформатори и трансформатори за собствени нужди на 5-ти и 6-ти блок на " АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.33/0, дата на документа 15.08.2013 г.;
- Програма за управление на ресурса на ВКУ (вътрешно корпусни устройства) на реакторите на 5-ти и 6-ти блок на " АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.34/0, дата на документа 14.08.2013 г.;
- Програма за управление на ресурса на основно топлообменно оборудване на 5-ти и 6-ти блок на " АЕЦ Козлодуй"; 30.ОУ.00.ПР.35/0; дата на документа 15.08.2013 г.



## 2. Процес на Продължаване Срока на Експлоатация (ПСЕ)



## 2. Управление на стареенето - практика

- Комплексно обследване на актуалното физическо състояние и оценка на остатъчния ресурс на КСК. Два етапа:
- I етап – методология за оценката, подбор на КСК, преглед на физическото състояние, оценки на състоянието, замяна на части или допълнителни изследвания
- II етап – анализи на работоспособност на КСК



## 2. Механизми на деградация на механични свойства на металите

- Умора на материала от циклично натоварване;
- Корозия (питингова корозия, корозия под постоянно напрежение, корозионна умора вследствие инцидентно циклично натоварване, радиационно асистирана корозия и др.);
- Корозия-ерозия;
- Нарастване на уморни пукнатини вследствие на циклично натоварване;
- Окрехкостяване и уякчаване вследствие на радиацията;
- Термично окрежкостяване;
- Изменение на размери вследствие на радиацията;
- Загуба на пластичност (недопустима);
- Загуба на съпротивление на корозия;
- Фазови трансформации в металната структура;
- Износване.



### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг

Насочени към:

Механизми на деградация

Съобразени с :

Изисквания на нормативни документи;

Експлоатационен опит;

Резултатите от обследването на КСК





### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг

- Методите да обхващат всички (важни за безопасността) съоръжения
- **Оценява се ефективността на методите**
- Необходимост от допълнителен контрол, поддръжка и мониторинг

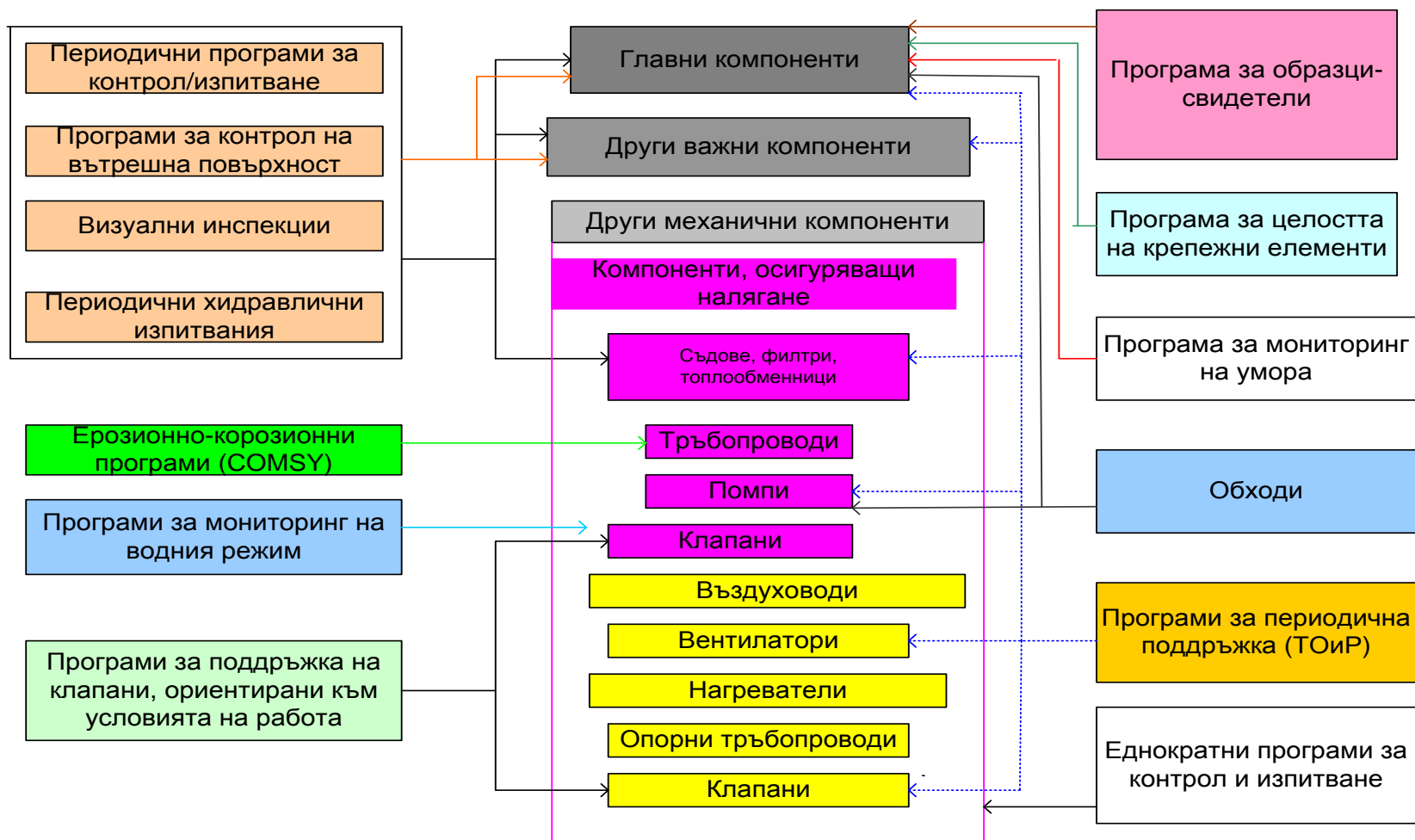


### 3. Механизми на деградация / Методи за контрол

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



### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг Оперативни програми за управление на стареенето



### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг

#### Преглед на оперативните програми

Прегледът включва:

- Норми и техн. документация
- **Обеми на контрол**
- Период / честота на контрола
- **Методи за контрол**
- Резултати от анализите



### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг

#### Обеми за контрола

- Оборудване: Контролират се външни и вътрешни повърхности (основен метал и зав. съединения), заварени съединения на щуцери и тръбопроводи, уплътнителни повърхности и опори.
- Тръбопроводи: Контролират се заварени съединения, колена, тройници, арматура.





### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг Обследване на състоянието

Компонент Възел	Материали	Стресови фактори	Механизми на стареене/ Ефекти	Стратегия за безопасност	Практика за контрол и изпитване
КО	Въглеродна стомана с аустенитна наплавка	Химично третирана вода с бор и наситена пара 270–343°C (554–650°F)	Уморни натрупвания / Умора	Чрез консервативни анализи се доказва, че умората няма да е проблемен стресов фактор за ПСЕ	Провеждане на планиран безразрушителен режим за констатиране на дефектите и проследяване на тенденциите.
			Загуба на материал/ Корозия на вътрешни повърхности	Безразрушителен контрол за констатиране на дефекти, мониторинг и проследяване на тенденциите	
			Инициране и нарастване на дефекти/ Корозия под напрежение/ Циклично натоварване	Контрол на ВХР и безразрушителен режим за определяне на тенденциите	Програми за контрол на ВХР Контрол на циклите на натоварване

### 3. Методи за контрол, поддръжка и мониторинг Обследване на състоянието

<b>Механизъм на деградация</b>	<b>Програма / метод за контрол, поддръжка и мониторинг</b>	<b>Ефективност</b>
<b>Ерозия-Корозия</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Анализ и подобряване на ВХР</li><li>2. Изследване на корозионните отлагания</li><li>3. Безразрушителен контрол</li><li>4. УТ на дебелина на стени</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Измеряемите параметри на ВХР трябва да съответстват на нормите</li><li>2. Всички отклонения от нормите трябва да се елиминират навреме</li><li>3. Всяко отклонение от нормите, което може да причини ННУЕ, е недопустимо</li><li>4. Мониторинг на дебелината на стените на тръбопроводите</li></ol>



## 4. Корозионно-ерозийни процеси Влияещи фактори

- Състава, скоростта и температурата на флуида
- Материала на съоръженията
- Геометрията на обекта
- Действащите напрежения
- Режима на овлажняване / изсъхване на повърхността



## 4. Корозионно-ерозийни процеси





## 4. Корозионно-ерозийни процеси



## 4. Корозионно-ерозийни процеси

- Металът обикновено първоначално се разтваря в топлоносителя. Този процес продължава, докато се достигне границата на разтворимост за едно или друго съединение.
- Концентрацията на разтворими продукти на корозията зависи от стойността на рН и от температурата.
- При достигане границата на разтворимост на метала в топлоносителя, продуктите на корозията се отлагат по стените на оборудването.
- На вътрешната метална повърхност се образува окисен предпазен слой.
- Увеличава се частта на провисналите продукти на корозията, които се образуват в резултат на конгломерацията на колоидните частици и ерозийно смиване на окисния предпазен слой от потоци вода.
- Ерозията по стените на оборудването се предизвиква от частици с най-разнообразен характер – частици от продукти на корозията на метали, пясък, силикати, капки вода и др.



## 4. Корозионно-ерозийни процеси Засяга съоръженията

- Междукристалната корозия е присъща за реактори и парогенератори
- Корозионната умора - за парогенератори и компенсатори на налягането
- Корозия под напрежение – за реактори, топлообменни тръби на ПГ и тръбопроводи от система КО и САОЗ





## 4. Корозионно-ерозийни процеси

Промяна на функции / загуба на работоспособност

- Увеличава се вероятността за теч при разкъсване на тръбопроводите поради намаляване на дебелината на стената на тръбата (коляното).
- Нараства честотата на отказите поради промяна на вътрешните напрежения в материалите на системите.
- Нарушават се нормалните условия на експлоатация (ННУЕ) поради неуплътняване.
- Настъпва ННУЕ на топлообменници поради разкъсване на топлообменни тръбички.
- Влошава се топлообмена при наличие на шлам /отлагания.
- Увеличава се радиоактивността поради активирането на продуктите на корозия.



## 4. Корозионно-ерозийни процеси ТОиР

- Провеждане и поддържане на водохимичния режим ВХР
- Извършване на корозионни обследвания за наличие на шлам / отлагания
- Байпасна очистка на флуида от I контур
- Провеждане на експлоатационен контрол по методите визуален, капилярен, вихротоков, механични изпитвания
- Ултразвукова дебелометрия на колената, на огънатите участъци или при външната образуваща на коляното



## 4. Корозионно-ерозийни процеси

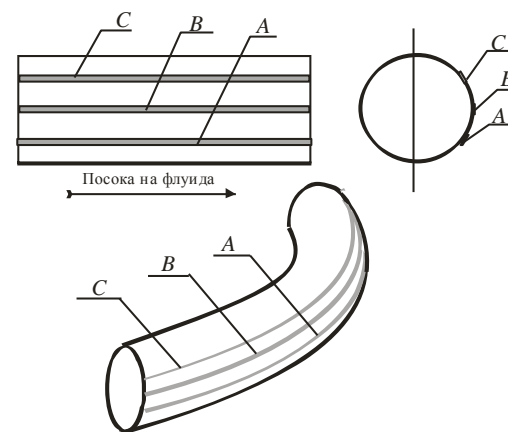
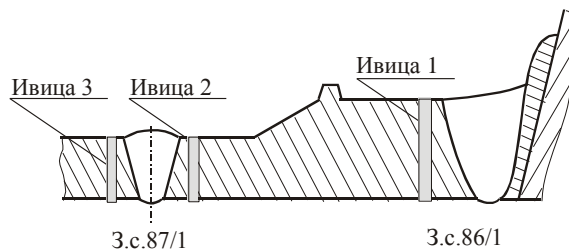
### Ефективност на методите за ТОиР

- Провеждане на контрол на ВХР; всички отклонения от нормативите за ВХР да се отстраняват в определените срокове; да няма нарушение на ВХР такова, че блока да бъде изведен от НУЕ
- Провеждане на БК, като своевременно се констатират и ремонтират нецялостности в метала и заварените съединения
- Изпитване на дебелината на стената по начин, че да не се стига до отказ на елемента или до повлияване на неговите функции

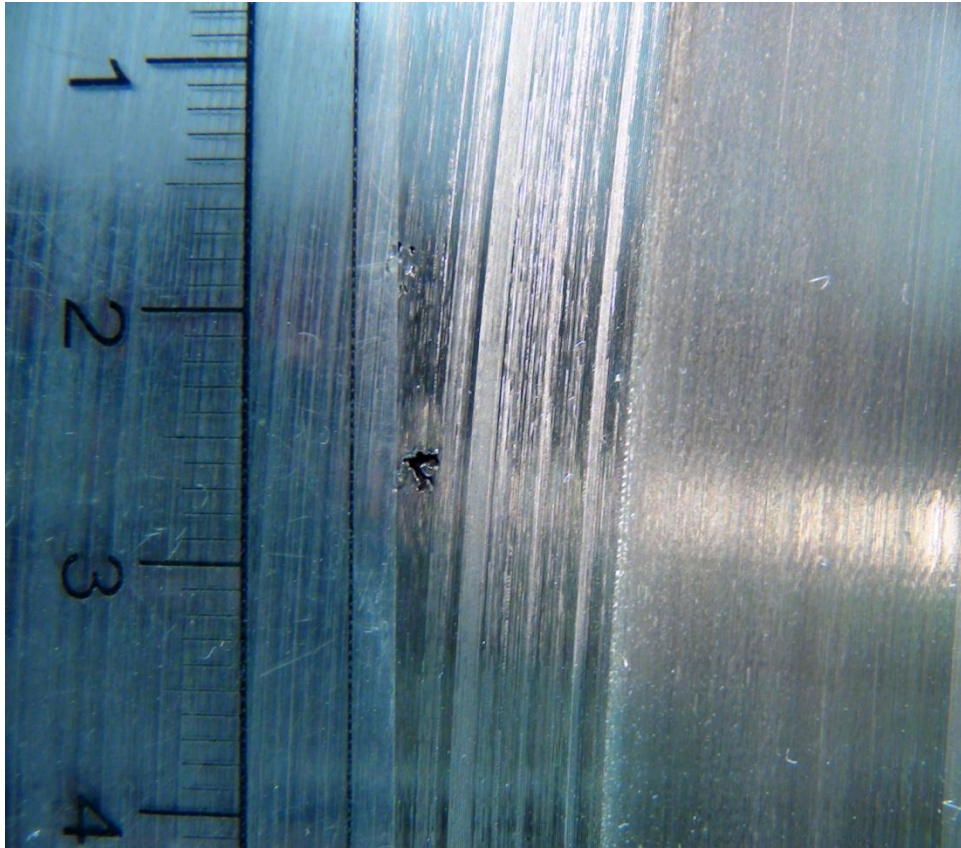


## 4. Корозионно-ерозийни процеси

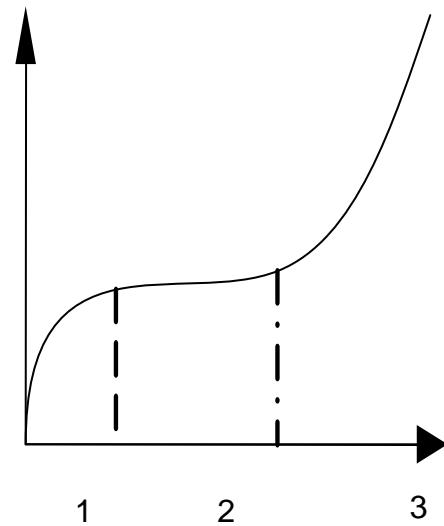
- Ултравукова дебелометрия на дебелини на стени



## 5. Износване



Износ

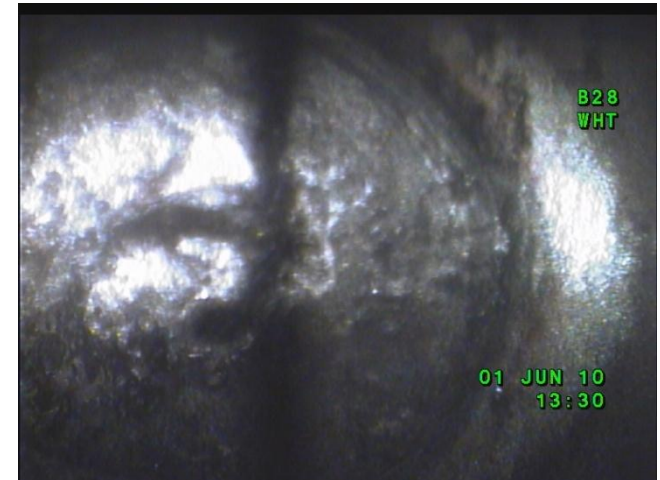
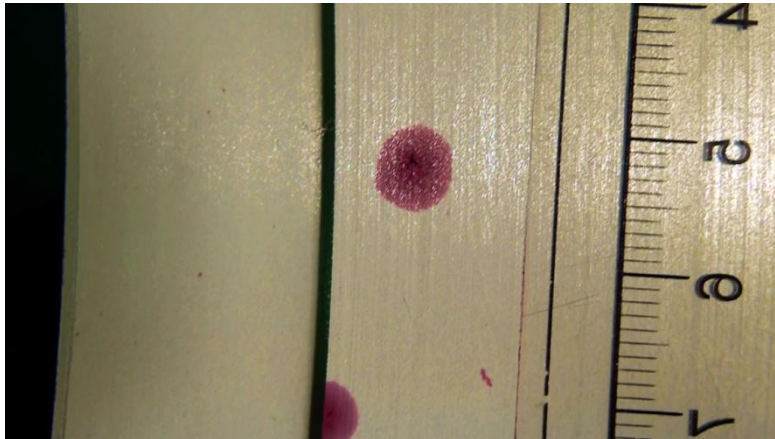


Цикли

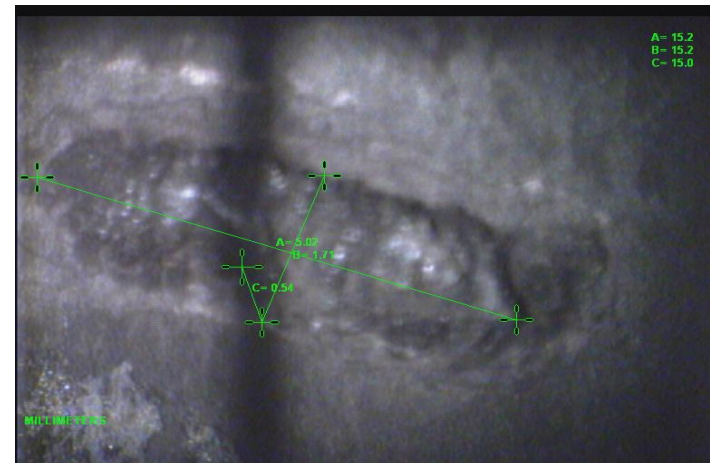
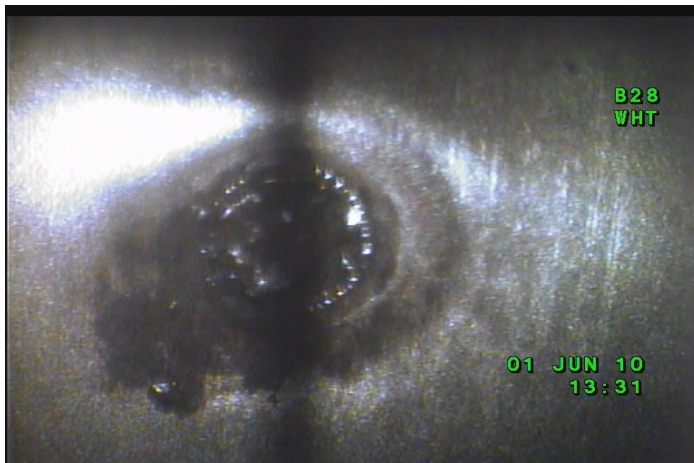




## 5. Износване



## 5. Износване



## 5. Износване

### Влияещи фактори

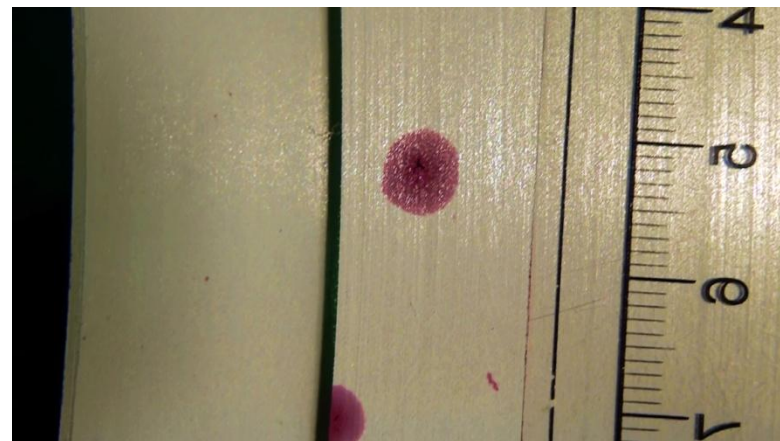
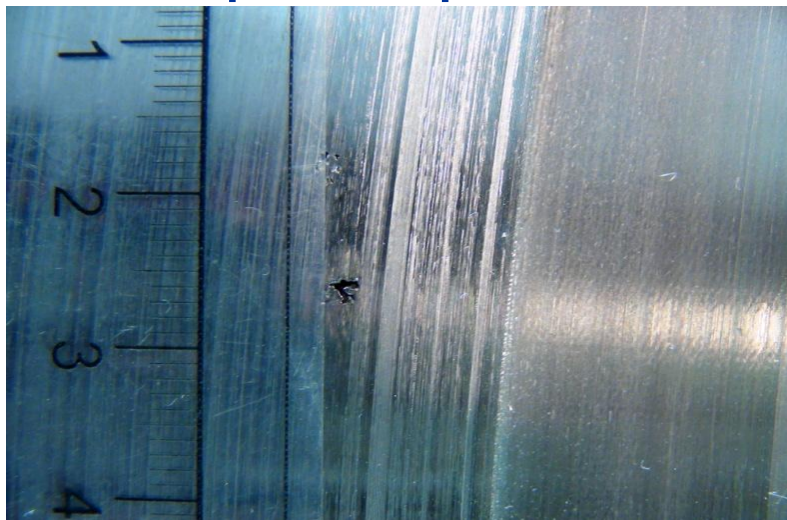
- Съчетание на материалите на работните повърхности
- Физически, химически и механични свойства на повърхностите, подложени на триене
- Взаимодействие на работните повърхности със средата
- Чистота на обработка на повърхностите на триене
- Вид на триенето (сухо, гранично, полутечно и течно)
- Стойност на нормалното налягане и скорост на работните повърхности една спрямо друга





## 5. Износване Засяга съоръженията

- Хидроамортизатори
- Уплътнителни повърхности
- Крепежни елементи
- Вътрешни части на цилиндрични съдове и тръбопроводи



## 5. Износване

### Промяна на функции / загуба на работоспособност

- В режим НУЕ на компонентите на ХА действат незначителни натоварвания и ХА може да спре да изпълнява своите функции. При деградация вследствие на износа, ХА не е способен да изпълнява защитни функции при силни вибрации и рязко преместване на оборудването при сеизмични натоварвания
- В процеса на експлоатацията на износ са подложени шпилки (цилиндрична част) и шпилъчни гнезда. Деградацията на механични свойства предизвиква нарушение на крепежната функция и вероятност за неуплътняване на съоръжението





## 5. Износване

### Ефективност на ТОиР

Критерият за ефективност на методите за ТОиР при износването е да не се допускат процеси по износа до степен, която би повлияла на работоспособността на оборудването





## 6. Термично окрежкостяване Засяга съоръженията

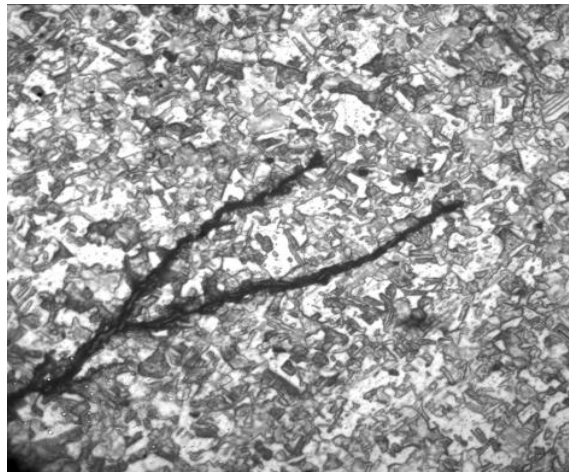
- Реактори
- Парогенератори
- Компенсатори на налягането
- Тръбопроводи от системата на компенсатора на налягането
- Главни циркуляционни тръбопроводи
- Тръбопроводи от САОЗ



## 6. Термично окрежкостяване

### Промяна на функции / загуба на работоспособност

- Увеличава се вероятността за крехко разрушаване на метала на обектите.



## 6. Термично окрежкостяване ТОиР

- Провежда се експлоатационен контрол на метала по методите визуален, радиографичен, металографски
- Провеждат се хидравлични изпитания
- **За метала на корпуса на реактора:**  
Програми за изследване механичните свойства на образци-свидетели



## 6. Термично окрежкостяване Ефективност на ТОиР

- Съхраняване механичните свойства на металите
- Констатиране и ремонтване на нецялостности в метала и заварените съединения по начин, че да не се стига до отказ на елемента или до повлияване на неговите функции





## 7. Циклична умора Влияещи фактори

Циклично променящо се температурно поле,  
въздейства чрез:

- Стойността и посоката на действащите  
напрежения и
- Броя реализирани цикли спрямо проектните



## 7. Циклична умора Засяга съоръжения

- Реактор
- Парогенератори
- Компенсатор на налягането и тръбопроводи от системата за КО
- Главни циркуляционни тръбопроводи,
- Системи за аварийно охлаждане на зоната.

Корозионната умора влияе на парогенератори и на компенсатори на налягането.



## 7. Циклична умора

Промяна на функции / загуба на работоспособност

- С нарастването на броя цикли се увеличава вероятността за уморно разрушаване на металите.



## 7. Циклична умора ТОиР

- За метала на корпуса на реактора - изследване на образци-свидетели
- Провеждане на експлоатационен контрол на метала по методите визуален, капилярен, ултразвуков, вихротоков
- Провеждане на хидравлични изпитания.



## 7. Циклична умора

### Ефективност на ТОиР

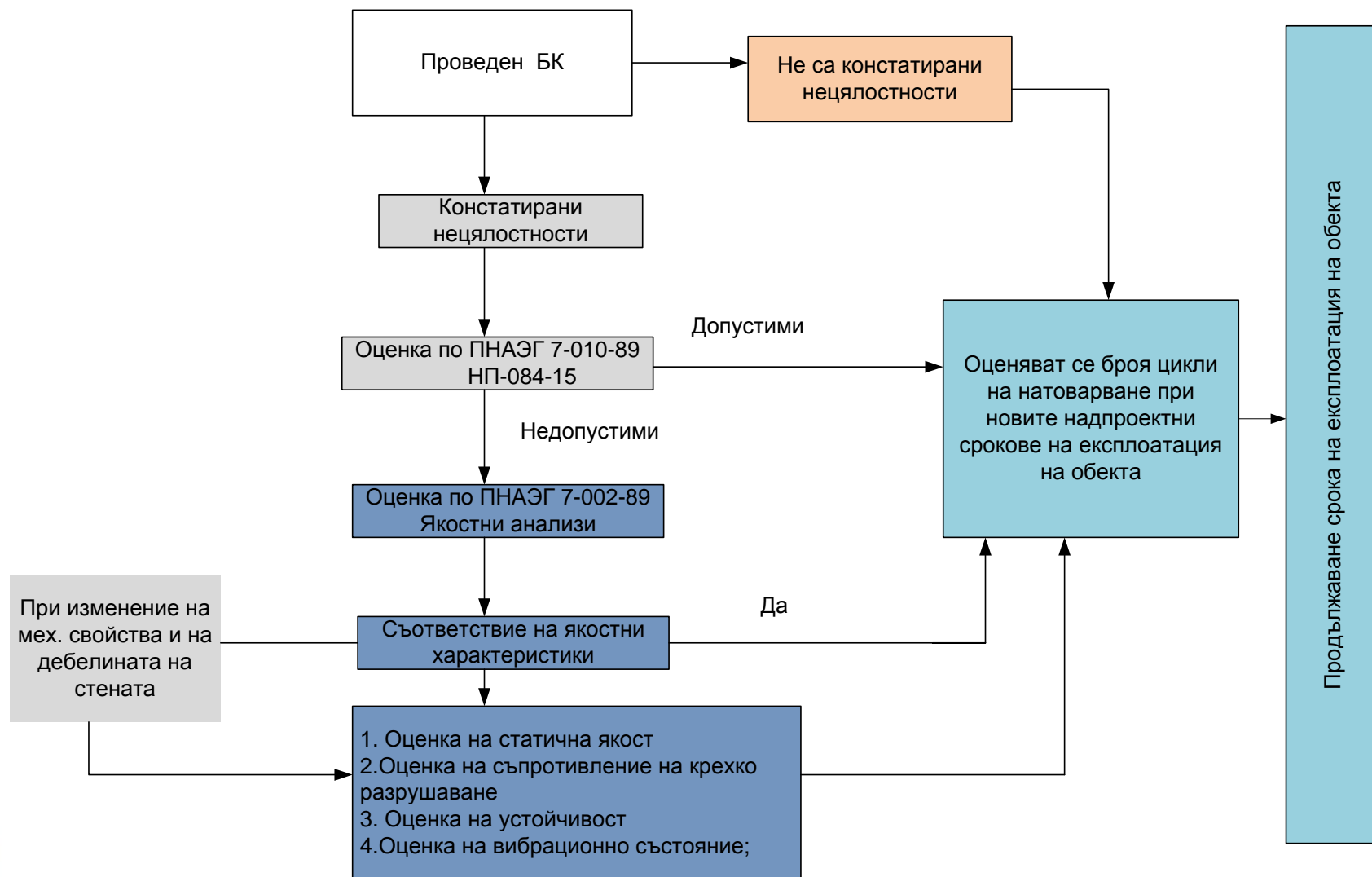
- За всяко съоръжение се регистрират и контролират циклите на натоварване в различните проектни режими, по начин, че да не се стига до отказ на елемента или до повлияване на неговите функции.
- Провеждат се якостни анализи.
- Своевременно се констатират и ремонтират нецялостности в метала и заварените съединения.



## 8. 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, капилярен, 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, капилярен, корозионни изследвания).
Умора на метала	Повърхностни и подповърхностни нецялостности	Повърхностни (визуален, капилярен) и обемни методи на контрол (радиографичен, ултразвуков).

## 8. Техническа диагностика



## 8. Техническа диагностика

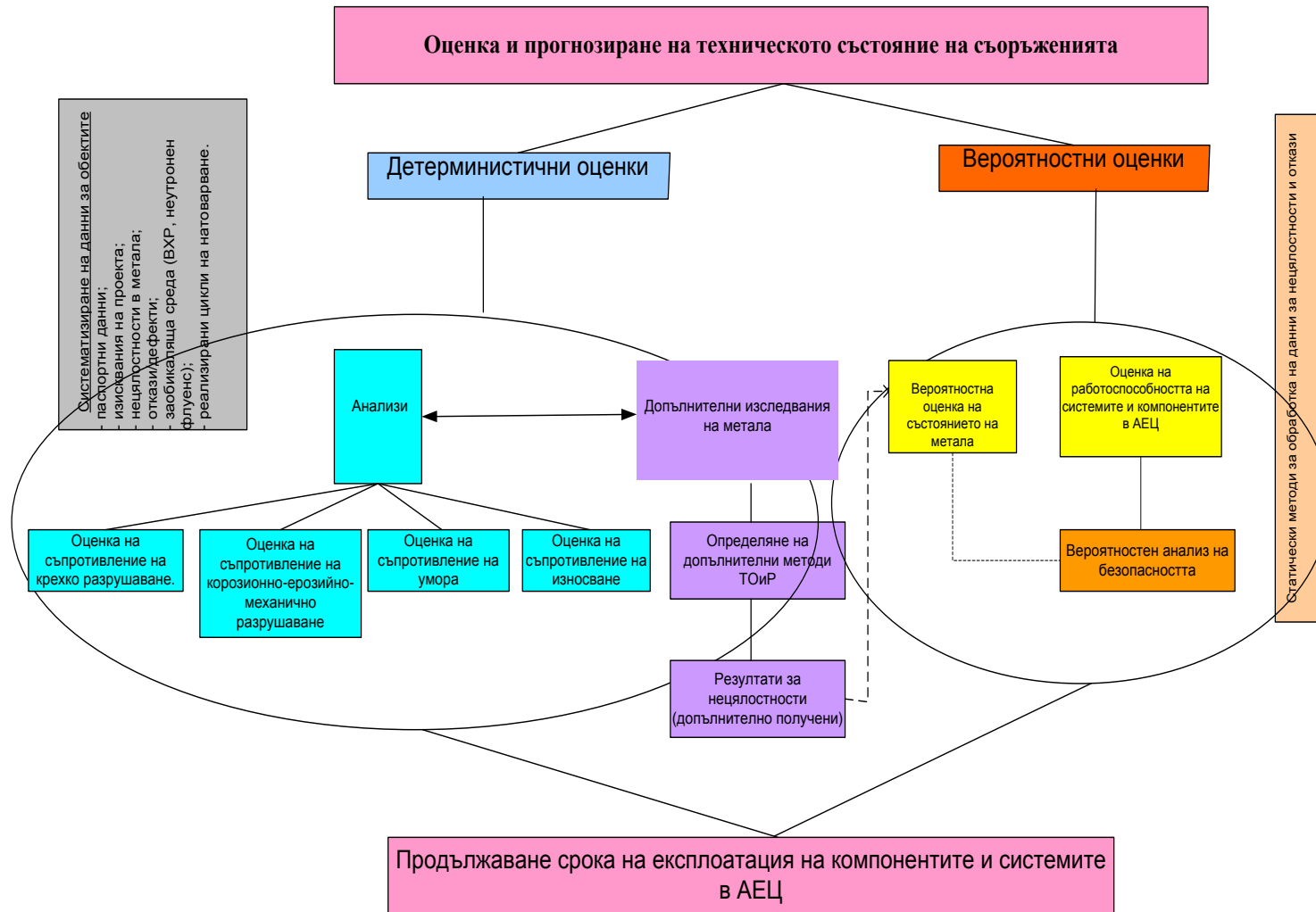
### Разширение на обхвата на контролираните обекти

- Механични свойства на опори, (на корпуси на реактори, на парогенератори)
- Полярен кран и презареждаща машина за ядреното гориво
- Хидроамортизьори на парогенератори
- Пожарни тръбопроводи и сухотръбия
- Вътрешно-корпусни устройства
- Арматура
- Ултразвуков контрол за превенция на корозионните повреди и опасност от изтъняване на стените (тръбопроводи и арматура)
- Оценка на изменението на геометричните размери на вътрешно-корпусната шахта, поради очаквано раздуване (набухване) в условията на радиация
- Контрол на твърдост
- Металографски контрол за оценяване на структурни изменения



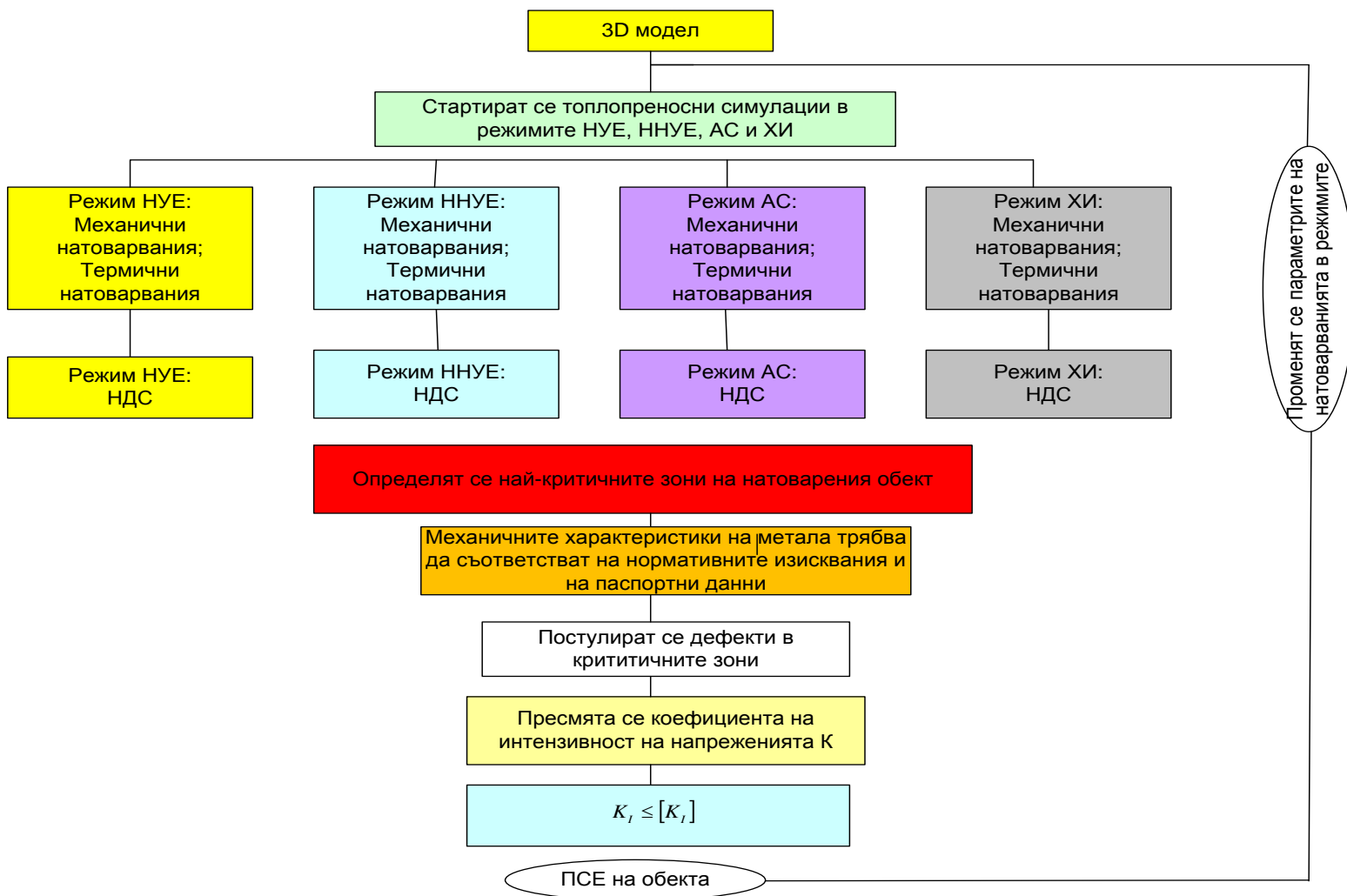


# 10. Анализи за работоспособност



----- Не е изискване по Наредбата за обосновка безопасността на ЯЦ

# 9. Анализи за работоспособност



# 10. Практика на контрола

## Визуален контрол / Visual Testing (VT)

Директен контрол при пряк достъп.

Дистанционен достъп до труднодостъпни повърхности

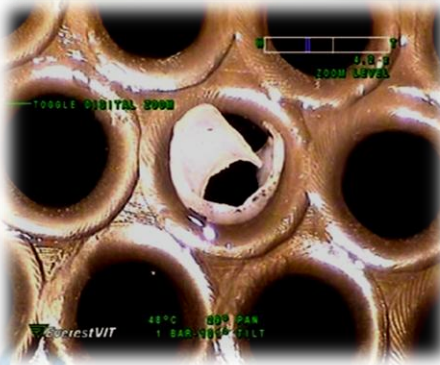
*Телескопична камера с инфрачервена светлина*



*Радиационно и водоустойчива камера с PAN & TILT движение*



*Видеоскопи и ендоскопи*



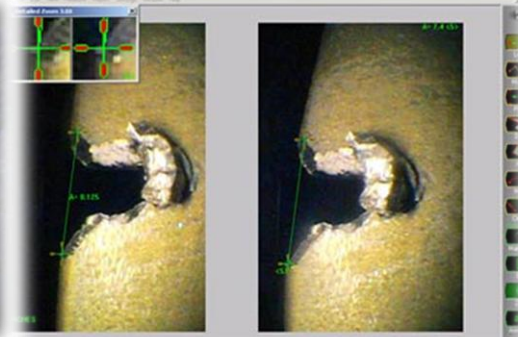
*Бороскопи*



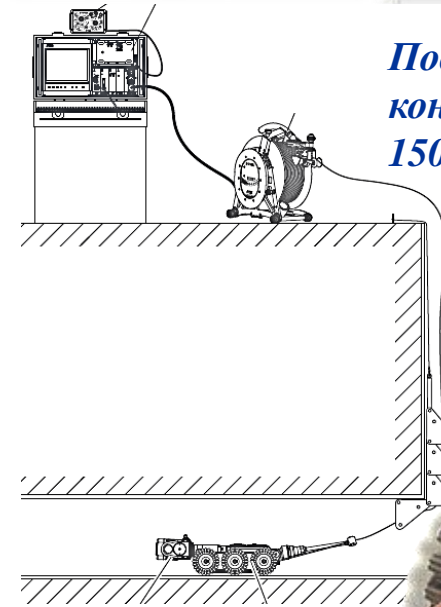


# 10. Практика на контрола Визуален контрол (VT)

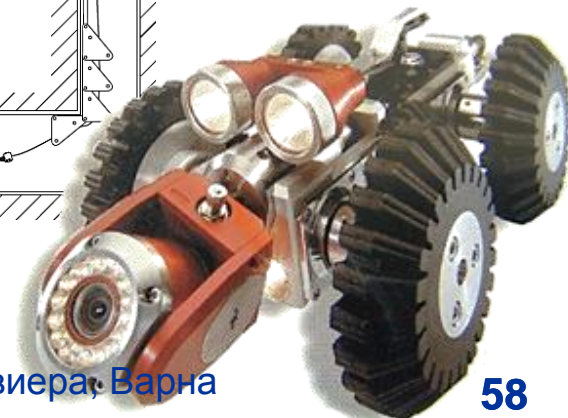
*Видеоскоп със стерео и сярково измерване*



*PUSH камера*



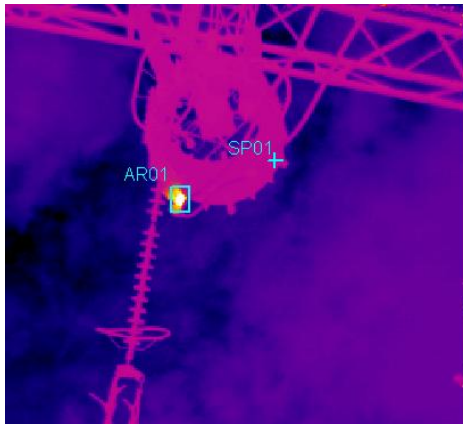
*Подвижна система за  
контрол на тръби с  $\varnothing$   
150÷600*



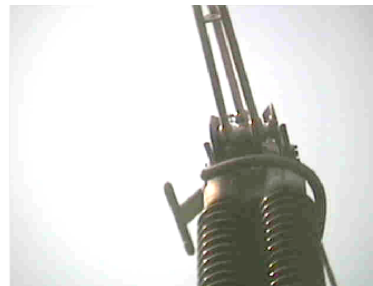
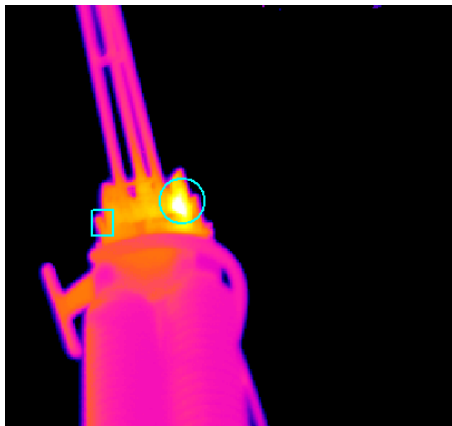
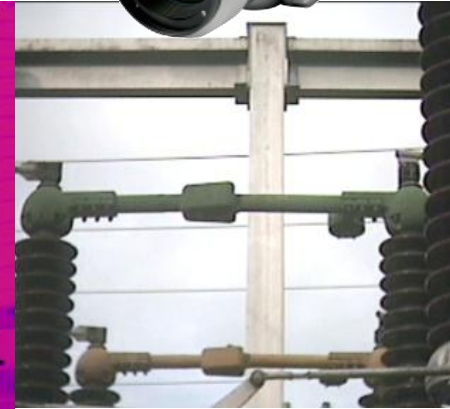
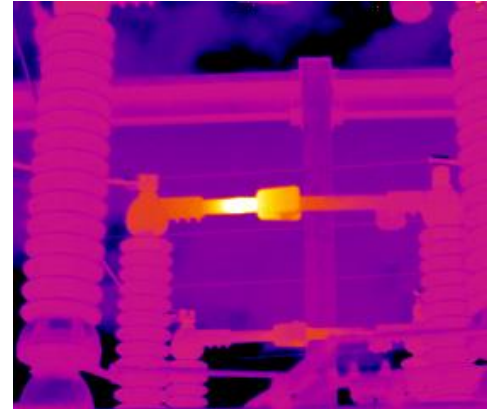
# 10. Практика на контрола

## Термовизия - Infra-Red Thermal Imaging (TI)

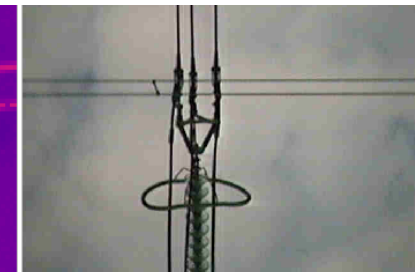
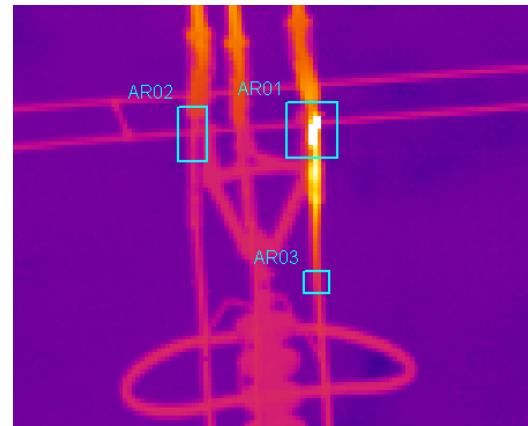
*Дистанционно регистрира температурните аномалии*



Label	Value
SP01	16.9°C
AR01 : max	107.1°C



Label	Value
AR01 : max	84.1°C
AR02 : max	50.0°C



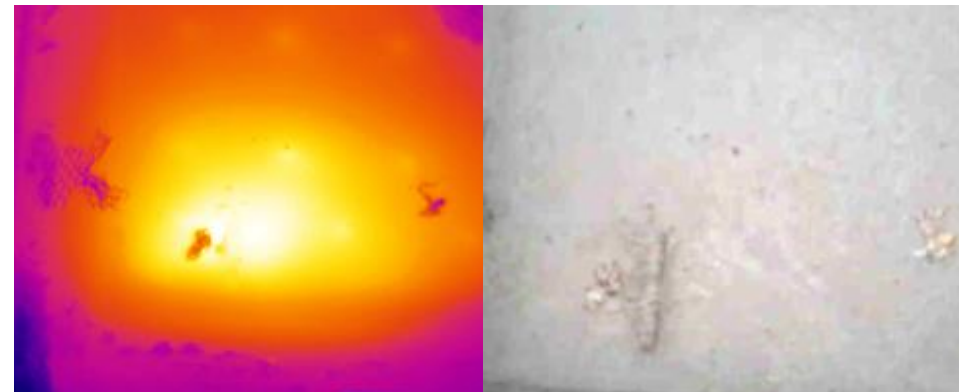
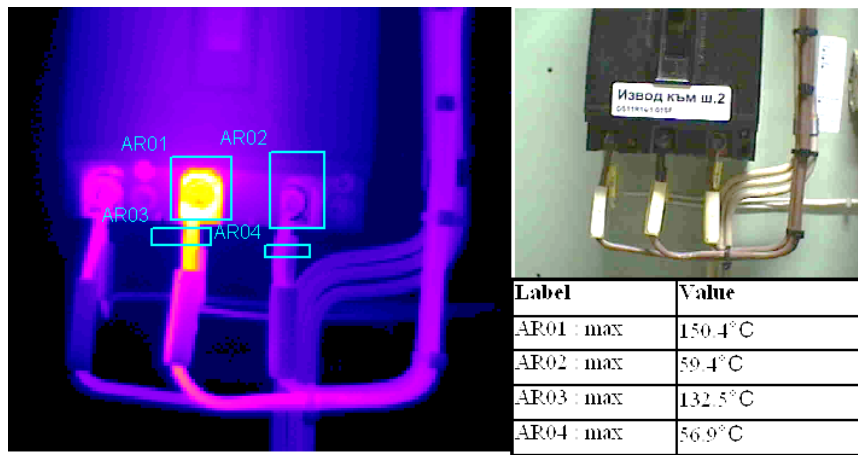
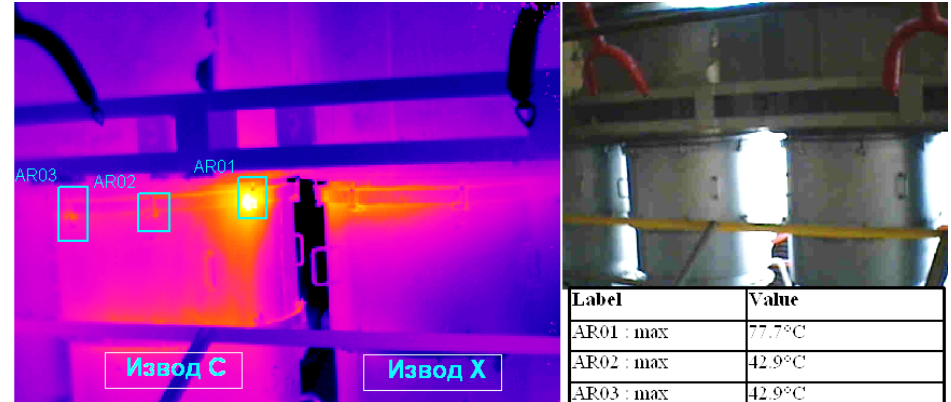
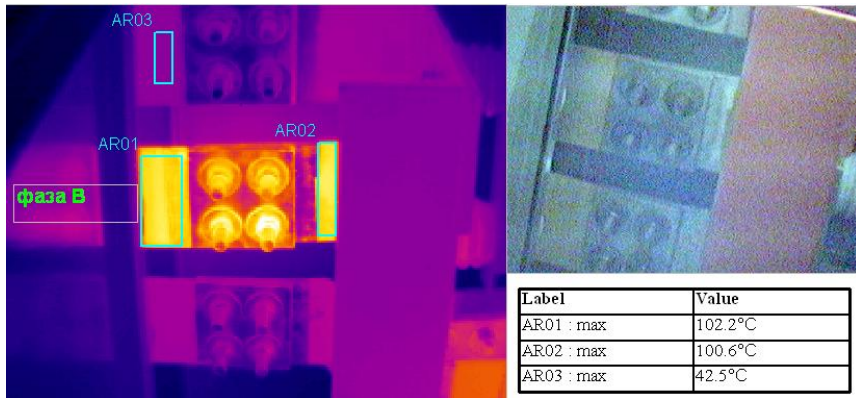
Label	Value
AR01 : max	110.5°C
AR02 : max	13.4°C
AR03 : max	11.8°C





# 10. Практика на контрола

## Термовизия - Infra-Red Thermal Imaging



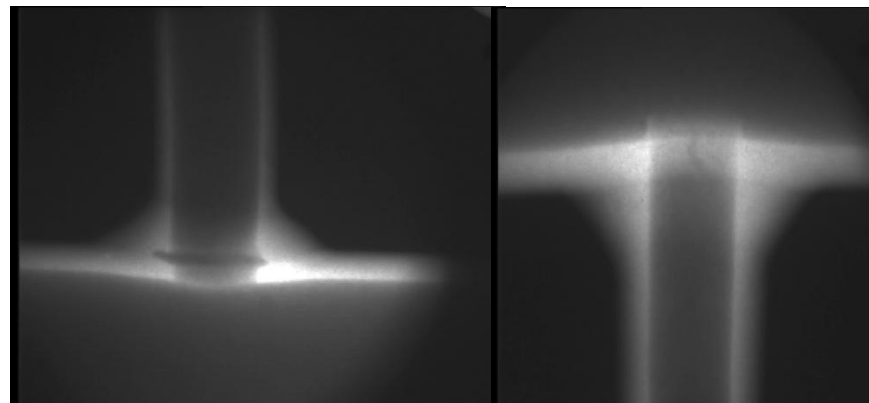


# 10. Практика на контрола

## Радиографичен контрол

### Radiographic Testing (RT)

- *Откриване на нецялостности в основен и заварен метал*

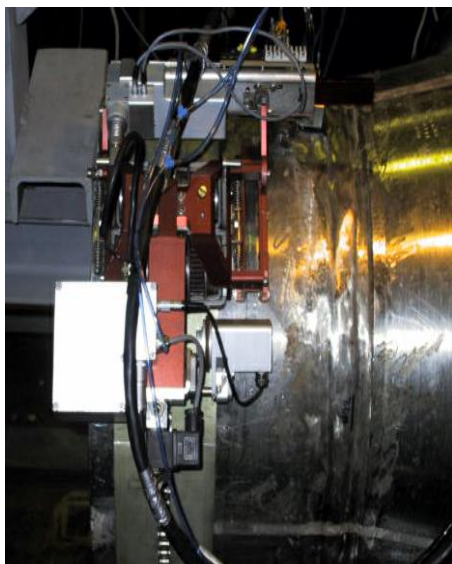


# 10. Практика на контрола

## Ултразвуков контрол

### Ultrasonic Testing (UT)

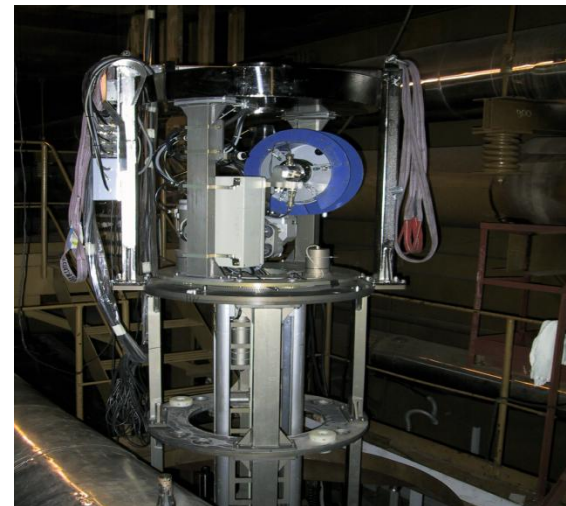
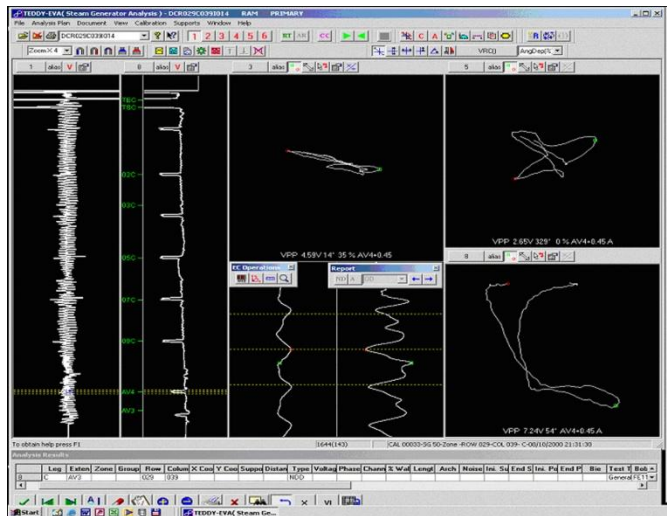
- *Откриване на нецялостности в основен и в заварен метал*





# 10. Практика на контрола Вихротоков контрол – Eddy Current Testing (ET)

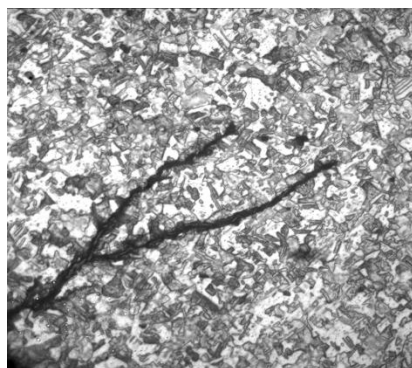
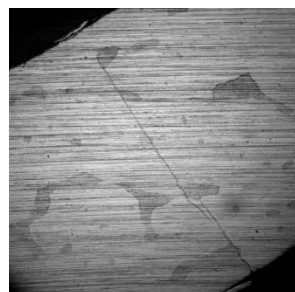
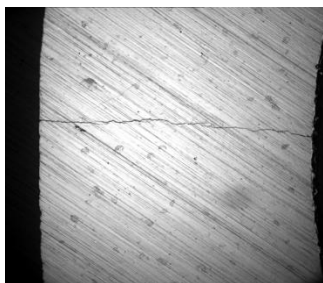
*Наблюдение на индикации в  
топлообменни тръби  
(ПГ, кондензатори)*



# 10. Практика на контрола

## Металографски контрол - Metallographic Method

- *Микроструктурни анализи*
- *Анализи на фазата*



## 10. Тенденции при контрола и диагностиката в “АЕЦ Козлодуй”

### Други методи на контрол

- Прилагане на методи на контрол, за установяване на критични зони с повишена концентрация на напреженията;
- Използване на диагностичните системи, монтирани на съоръжения в АЕЦ.



# БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!

 “АЕЦ КОЗЛОДУЙ” ЕАД

3321 гр. Козлодуй, тел.: 0973/ 7 20 20, факс: 0973/ 8 05 91, [www.kznpp.org](http://www.kznpp.org)  
Български Атомен Форум - Булатом, 5-7 юни 2019 г., в.к.Ривиера, Варна