

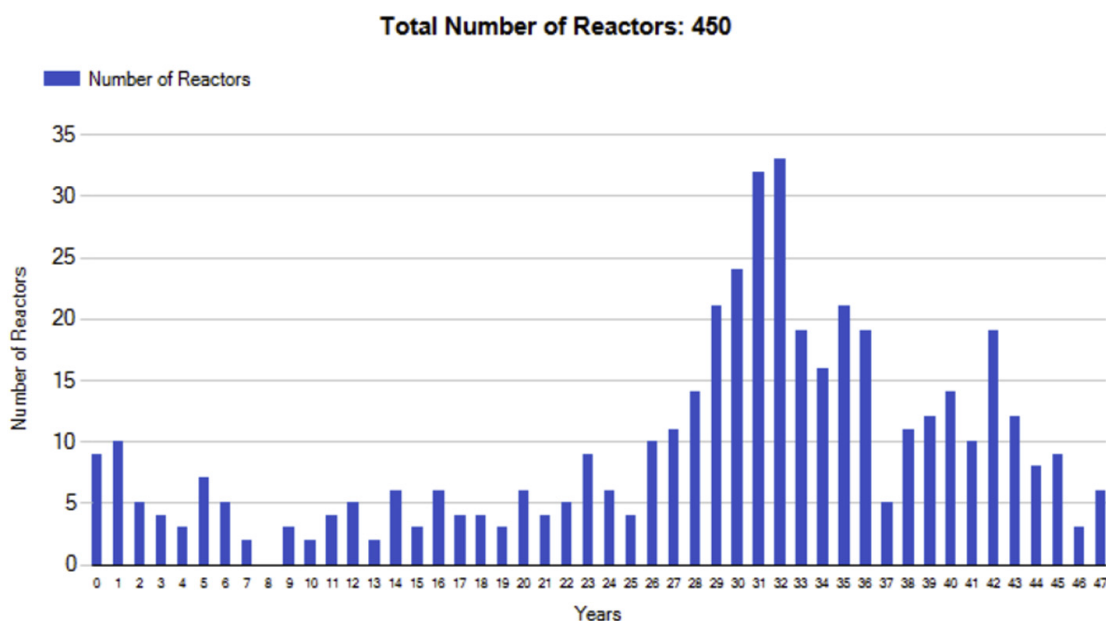
# РЪКОВОДСТВА НА МААЕ, ПОДПОМАГАЩИ ПРОДЪЛЖАВАНЕ СРОКОВЕТЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЯДРЕНИТЕ ЦЕНТРАЛИ В СВЕТА

Галя Димова

“АЕЦ Козлодуй” ЕАД, Дирекция БиК

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Голяма част от ядрените централи в света са експлоатирани над 30 години. В периода до октомври 2016 г. от всичките 450 експлоатирани централи, 79 са експлоатирани повече от 40 години, а други 182 са експлоатирани повече от 30 години (<https://www.iaea.org/pris>). Проектният срок за експлоатация на централи е обикновено 30-40 години, [1].



Фиг. 1. Брой на реактори / години на експлоатация

Възможностите за продължаване на срока на експлоатация (ПСЕ) на ядрените централи се демонстрират чрез анализи, изпитвания и управление на ресурса за очаквания допълнителен срок на експлоатация ДСЕ. Изключително важно е да има оценяване и надграждане на мерките по безопасност при ДСЕ. Ядрените оператори и регулаторните органи трябва да осигуряват спазване на изискванията за сигурност при експлоатацията на централите. През последното десетилетие нараства броя на страните, отдаващи най-голям приоритет на задачата за ПСЕ на ядрените блокове. Развиват се техническите дисциплини, основаващи се на изискванията за управление на стареенето на механични и електрически системи, компоненти и строителни конструкции. Управлението на стареенето на КСК включва инженерни и икономически аспекти на задачата. Основните дейности са насочени към допълнителни изследвания на метала на

механичното оборудване и на електрооборудване, изготвяне на анализи, проектирани спрямо ДСЕ, провеждане на периодичен преглед на безопасността, обучение и тренинг на персонала.

За да провери готовността на централата за ПСЕ, в МААЕ се развиват дейности и служби, свързани с аспекти на безопасността при ПСЕ (Safety Aspects of Long Term Operation, SALTO). МААЕ, отчитайки необходимостта да асистира ядрените централи в страните-членки публикува изисквания за ДСЕ в Safety Reports Series № 57, [2] и в IAEA Safety Standards Series № NS-G-2.12 [3], в които се съдържат препоръките за методологията, ключови елементи и внедряване на дейностите по управление на стареенето в документацията за ТОиР на ядрените централи при ДСЕ. Напоследък най-често използваната публикация на МААЕ е Ageing Management for Nuclear Power Plant: International Generic Ageing Lessons Learned IGALL, (Safety Reports Series № 82) [4]. Документът представлява практическо ръководство за подпомагане на страните-членки за внедряване, поддържане и подобряване на ефективни програми за управление на стареенето, както и за ревалидиране на анализите за оценка на състоянието на КСК. Готовността на ядрените централи за ДСЕ се представя пред проверяваща мисия, наричана SALTO. Мисията е структурирана и организирана по подобие на OSART мисиите – международен екип от експерти, организирани от МААЕ, проверява ключови позиции по аспекти на безопасността при ДСЕ. SALTO мисиите се провеждат съгласно SALTO Peer Review Guidelines (IAEA Services Series № 26) [1]. До 2016 г. са проведени 29 SALTO мисии в 18 централи в 15 страни-членки. Естеството на изводите от мисиите и отправените препоръки се отнасят за организацията, човешките ресурси, управленските цели, липси в документацията и в процедурите, недостатъчни данни, непълни програми, за да се управлява физически стареенето на експлоатирано и на изведено от експлоатация оборудване, недостатъчно демонстриране, че КСК ще изпълняват своите функции при ДСЕ. Липсващите или непълни позиции за доказване способността на централите за ДСЕ могат да бъдат класифицирани в следните пет категории, [1]:

- Недостатъчни входни данни за демонстриране готовността на централата за ДСЕ;
- Недостатъчно демонстриране, че КСК ще изпълняват своите проектни функции по безопасността при ДСЕ;
- Липсващи или непълни програми за управление на стареенето;
- Липсващи или непълни програми за квалификация на оборудването;
- Анализите за оценка на техническото състояние на КСК не се проектирани към края на ДСЕ.

Целта на настоящия доклад е да представи ръководства на МААЕ, подпомагащи ПСЕ на ядрените централи, както и съдържащи се акценти.

## 2. РЪКОВОДСТВА НА МААЕ, ПОДПОМАГАЩИ ЯДРЕНИТЕ ЦЕНТРАЛИ ЗА ДОПЪЛНИТЕЛЕН СРОК НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

### 2.1. Ръководство Safe Long Term Operation of NPP, Safety Reports Series 57, [5]

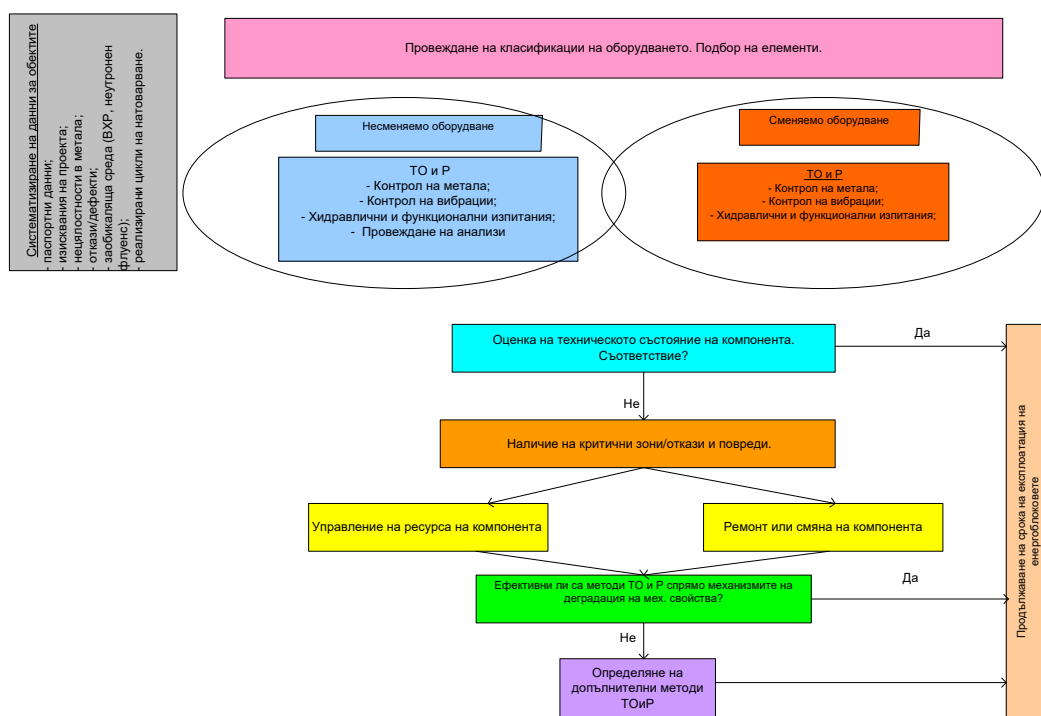
Решение за ДСЕ е конкретно за всяка ядрена централа и се базира като минимум на преценките: 1) важни икономически и стратегически позиции на централа за държавата и обществото; 2) приложими регулаторни изисквания; 3) техническа оценка на физическото състояние; 4) техническа оценка на влиянието на околната работна среда; 5) икономически фактори.

Ръководството обхваща основните аспекти на процеса при ДСЕ:

- преглед на програмите в централата по ТОиР: 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.



Фиг. 2. Процес на ПСЕ.

## 2.2. Ръководство Ageing Management for Nuclear Power Plant: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), Safety Reports Series № 82, [4]

Ръководството IGALL подпомага ядрените централи и регулиращите органи за поддържане на изискваното ниво на безопасност по време на експлоатация, като се имат предвид механизмите на деградация на оборудването в различните типове централи. В документа се съдържат критериите и практиките на отделните държави, приложими при продължаване срока на експлоатация на блоковете. 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).

Изготвените и приети програми за управление на стареенето са дадени в Приложение 1 към настоящия доклад, анализите TLAAs са описани в Приложение 2. Ръководството IGALL обхваща добрите практики на страните-членки и предлага препоръки при изготвяне на програмите и анализите. Наблюдават се три подхода при програмите:

- Програмата съдържа коригиращи и превантивни действия, определени спрямо конкретен механизъм на деградация на механични свойства на материала (AMP101 “Low-cycle Fatigue Monitoring” – мониторинг на нискоциклова умора);

- Програмата е изготвена за конкретно съоръжение, като са записани всичките (установени) механизми на деградация на механични свойства и са определени коригиращите и превантивни действия (AMP116 “Steam Generators” – парогенератори);

- Програмата е изготвена за отделна дейност от системата за техническо обслужване и инспекции на съоръженията (AMP103 “Water Chemistry” – Водохимичен режим).

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.

Ръководството IGALL предлага в екселски формат обобщена таблица, съдържаща 1) системи/компоненти, 2) типичните ефекти на стареене/механизми на деградация; 3) критични

местоположения/части; 4) материал; 5) околна/работна среда; 6) номер на програма за управление на стареенето; 7) анализи; 8) дизайн на реакторна установка (Приложение 3).

### 2.3. Standards Ageing Management for Nuclear Power Plants for LTO, NS-G-2.12, [6]

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. Физическото остаряване може да увеличи вероятността от повреди и откази, т.е. едновременно да протича деградация на физически бариери, което от своя страна би могло да повлияе на свързани едно или повече нива на защита. Важен е процеса на проследяване (screening) по какъв начин изменението на механични свойства във времето би довело до загуба на функции на системите за безопасност. Ефективното управление на стареенето на практика представлява координиране на съществуващите програми по поддръжка, безразрушителен контрол, контрола на образци-свидетели, както и на програмите / инструкциите за експлоатация и поддръжка на оборудването и външни изследователски програми.

### 2.4. 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 17 [7]

Ръководството обхваща методологията и техниките за провеждане на оценките. Аспектите за проверка на готовността за ДСЕ обхващат: 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.

### 2.5. Implementation and review of a nuclear power plant ageing management programme, Safety Reports Series 15 [8]

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 АМР; 4) внедряване на АМР.

## 2.6. Proactive Management of Ageing for NPP, Safety Reports Series 62 [9]

Ръководството предлага насоки за управление на стареенето на КСК, които да се прилагат освен към проектния жизнен цикъл на централата, също и към свързани дейности - инженерни услуги, доставки, производство на компонентите, транспортиране и инсталиране.

## 2.7. Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation (Specific Safety Requirements SSR 2/2) [10]

Процесът ПСЕ включва няколко стъпки оценяване на КСК, ревалидиране на анализите, преглед на управление на стареенето, преглед и подобряване на програмите.

### Използвани съкращения:

ДСЕ - Допълнителен срок на експлоатация;

КСК- Компоненти, системи и конструкции;

ТОиР – Техническо обслужване и ремонт;

AMP - Ageing Management Program, програма за управление на стареенето;

TLAA - Time Limited Ageing Analyses, анализи, съдържащи количествени оценки за стареенето;

IAEA / МААЕ – International Atomic Energy Agency / Международна агенция по атомна енергия;

ПСЕ – продължаване срока на експлоатация;

IGALL - International Generic Ageing Lessons Learned;

SALTO - Safety Aspects of Long Term Operation, аспекти на безопасността при продължаване срока на експлоатация.

## 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ръководствата на МААЕ, подпомагащи АЕЦ за ПСЕ предлагат препоръки и добри практики за дейностите. От друга страна – тези ръководства са в помощ на проверяващите експерти при SALTO мисиите. Програмите AMPs, които най-често трябва да бъдат подобрявани са за управление на стареенето на корпус на реактора, на вътрешнокорпусни устройства; на кабели; на тръбопроводи; на контейнента; на басейна за отлежаване на гориво, както и за мониторинг на умора

## 4. РЕФЕРЕНЦИИ

1/ Main corrective measures in an early phase of nuclear power plants preparation for safe long term operation, Robert Crivanec, Jan Fiedler, Nuclear Engineering and Design, 02.03.2017

- 2/ Safety Reports Series № 57, Виена, 2008 г.
- 3/ IAEA Safety Standards Series № NS-G-2.12, Виена, 2009 г.
- 4/ Ageing Management for Nuclear Power Plant: International Generic Ageing Lessons Learned, IGALL, Safety Reports Series № 82, IAEA, Vienna, 2015 г.
- 5/ Safe Long Term Operation of NPP, Safety Reports Series 57, Виена, 2008 г.
- 6/ Standards Ageing Management for Nuclear Power Plants for LTO, NS-G-2.12, Виена, 2009
- 7/ SALTO Guidelines for peer review of long term operation and ageing management of nuclear power plants, IAEA Services Series 17, Виена, 2008 г.
- 8/ Implementation and review of a nuclear power plant ageing management programme, Safety Reports Series 15, Виена, 1999 г.
- 9/ Proactive Management of Ageing for NPP, Safety Reports Series 62, Виена, 2009 г.
- 10/ Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation (Specific Safety Requirements SSR 2/2), Виена 2016 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### IGALL [4] - Типови програми за управление на стареенето, AMPs

AMP101 "Low-cycle Fatigue Monitoring"	AMP121 "One-time Inspection of Class 1 Small-bore Piping"
AMP102 "In-service Inspection/Periodic Inspection"	AMP122 "PWR Flux Thimble Tube Inspection"
AMP103 "Water Chemistry"	AMP123 "BWR Control Rod Drive Return Line Nozzle"
AMP104 "Reactor Head Closure Stud Bolting"	AMP124 "Open-Cycle Cooling Water System"
AMP105 "BWR Vessel ID Attachment Welds"	AMP125 "Buried and Underground Piping and Tanks"
AMP106 "BWR Feedwater Nozzle"	AMP126 "Boraflex Monitoring"
AMP107 "BWR Stress Corrosion Cracking in Coolant Pressure Boundary Components"	AMP127 "Inspection of Overhead Heavy Load and Light Load (Related to Refueling) Handling Systems"
AMP108 "BWR Penetrations"	AMP128 "Compressed Air Monitoring"
AMP109 "BWR Vessel Internals"	AMP129 "BWR Reactor Water Cleanup System"
AMP110 " PWR Boric Acid Corrosion"	AMP130 "Fire Protection"
AMP111 "PWR Cracking of Nickel-Alloy Reactor Coolant Pressure Boundary Components"	AMP131 "Fire Water System"
AMP112 "Thermal Ageing Embrittlement of Cast Austenitic Stainless Steel"	AMP132 "Aboveground Metallic Tanks"
AMP113 "PWR Vessel Internals"	AMP133 "Fuel Oil Chemistry"
AMP114 "Flow-accelerated Corrosion"	AMP134 "External Surfaces Monitoring of Mechanical Components"
AMP115 "Bolting Integrity"	AMP135 "Inspection of Internal Surfaces in Miscellaneous Piping and Ducting Components"
AMP116 "Steam Generators"	AMP136 "Lubricating Oil Analysis"
AMP117 "Closed Treated Water Systems"	AMP137 "Monitoring of Neutron-Absorbing Materials Other than Boraflex"
AMP118 "Reactor Vessel Surveillance"	AMP138 "PWR Reactor Coolant Pump"
AMP119 "One-time Inspection"	AMP139 "CANDU/PHWR Fuel Coolant Channels"
AMP120 "Selective Leaching"	AMP140 "CANDU/PHWR Feeder Piping"



AMP141 "CANDU/PHWR Reactor Assembly"
AMP142 "CANDU/PHWR Fuel Handling"
AMP143 "CANDU/PHWR Auxiliary System Valves"
AMP144 "CANDU/PHWR Auxiliary System Pumps"
AMP145 "CANDU/PHWR Moderator and Moderator Purification Heat Exchangers"
AMP146 "CANDU/PHWR Inspection Programmes"
AMP147 "Containment Bellows"
AMP148 "CANDU/PHWR Reactor Shutdown Systems"
AMP149 "CANDU/PHWR Heavy Water Management"
AMP150 "CANDU/PHWR Annulus Gas System"
AMP151 "CANDU/PHWR Failed Fuel Detection System"

AMP152 "WWER Reactor Vessel Surveillance"
AMP153 "WWER Main Gate Valves"
AMP154 "PWR Pressurizer"
AMP155 " Residual Heat Removal Heat Exchangers"
AMP156 "WWER Reactor Coolant_Piping"
AMP157 Internal coatings and linings
AMP158 "PWR Valves"
AMP159 "PWR Pumps"
AMP160 Neutron Fluence Monitoring
AMP161 "High-cycle Fatigue Monitoring"

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

IGALL [4] - Типови анализи за оценка на техническото състояние, TLAAs

TLAA101 "Low-Cycle Fatigue Usage"
TLAA102 "RPV Neutron Embrittlement"
TLAA103 "Crack Growth Analyses for Flaws Detected in Service"
TLAA104 "Corrosion Allowances"
TLAA105 "CANDU/PHWR Fuel Channel Creep"
TLAA106 "Environmentally Assisted Fatigue"
TLAA107 "High-cycle Fatigue for Steam Generator Tubes"
TLAA108 "Fatigue of Cranes"
TLAA109 "PWR RPV Internals Swelling"
TLAA110 "Thermal Ageing of Cast Austenitic Stainless Steels"
TLAA111 "CANDU/PHWR Hydrogen Embrittlement and Delayed Hydride Cracking in Pressure Tubes"
TLAA112 "Main Circulation Pump Flywheel"
TLAA115 "Fatigue and Thermal Ageing Analysis of Manufacturing Flaws"
TLAA116 "Thermal Ageing of Low Alloy Steels"
TLAA117 "Under Clad Cracking"
TLAA118 "PWR Components With Undocumented Restrictions On Operation"
TLAA119 "High-cycle Thermal Fatigue"
TLAA120 "PWR RPV Internals Vibrations"
TLAA121 "IASCC Fluence Limit for Stainless Steel"
TLAA122 "Thermal Ageing of Martensitic Stainless Steels"
TLAA123 "CANDU/PHWR Calandria Internals Vibrations"
TLAA124 "Leak Before Break Concept"

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 IGALL [4] – Обобщена таблица (Master Table), извадка

Table number	IGALL number	Country number	Country input	Systems	Structure/ component	Ageing effect/ degradation mechanism	Critical location/ part	Material	Environment	Ageing Management Programme (AMP)	Further Action	Design
101	6			Reactor pressure vessel, internals, reactor coolant system	Pressurizer	Cumulative fatigue damage due to fatigue	Pressurizer relief tank: tank shell and head, flange, nozzle	Steel with stainless steel or nickel-alloy cladding	Treated borated water	AMP101 Fatigue Monitoring	Yes, if TLAA (TLAA101 Low-Cycle Fatigue Usage, TLAA106 Environmentally Assisted Fatigue)	PWR
101	8			Reactor pressure vessel, internals, reactor coolant system	Main circulation loop/ piping	Cumulative fatigue damage due to fatigue	Piping and component (external surface), bolting	Steel, stainless steel	System temperature up to 340°C (644°F)	AMP101 Fatigue Monitoring	Yes, if TLAA (TLAA101 Low-Cycle Fatigue Usage)	PWR