



РОЛЯ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИЯ КОНТРОЛ ПРИ ПРОДЪЛЖАВАНЕ НА СРОКОВЕТЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА БЛОКОВЕ ВВЕР 1000 В АЕЦ “КОЗЛОДУЙ”

РОЛЬ БЕЗРАЗРУШИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛА ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ ВВЭР 1000 В АЭС “КОЗЛОДУЙ”

SIGNIFICANCE OF NONDESTRUCTIVE EXAMINATION FOR LONG TERM OPERATION OF UNITS WWER 1000 IN KOZLODUY NPP

Физ. Димова Г.Т.¹

¹ОКС-ИЦ ДиК, “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, Козлодуй, България
e-mail адреси на автора: gdimova@npp.bg, gtdimova@abv.bg

Abstract: This paper describes an approach for categorization of the non-destructive examinations of components and pipe-lines of the equipment of KNPP. The subject concerns a cross-section of both significance of the component for nuclear safety, assessments of technical condition, as well as influence of the environment. The current investigation can be used for organization of non-destructive examinations in NPP.

KEY WORDS: NUCLEAR POWER PLANT, NDE.

1. Въведение

Целта на настоящия доклад е да представи ролята и значението на дейностите по безразрушителен контрол (БК) за продължаване на сроковете на експлоатация на реакторни установки, тип ВВЕР 1000, 5 и 6 блок на АЕЦ “Козлодуй” до 60 години (или с 30 години над проектния срок).

Текущият лицензионен срок за експлоатация на блок 5 изтича през 2017 г., а за блок 6 – през 2019 г. От 2011 г. в АЕЦ “Козлодуй” се реализира проект за продължаване срока на експлоатация (ПСЕ) на ядрените установки. През първата фаза от ПСЕ беше извършена комплексна оценка на актуалното физическо състояние на съоръженията, основана на данни от експлоатацията, ремонта, дефектите, отказите и оценена ефикасност на методите на контрола спрямо механизмите на деградация на механични свойства. На Фигура 1 са показани основните стъпки за оценка на техническото състояние на компонентите и съоръженията. Във всяка действаща АЕЦ има огромен брой възли и детайли. Не е целесъобразно да се оценява състоянието на всеки отделен елемент, затова се провеждат класификации за подбор на съоръжения от системите за безопасност и от системите, важни за безопасността. Друг тип класификация е сменяемо-несменяемо оборудване. Изготвени са списъци на компоненти, за които е важно да бъде оценено техническото състояние. За тези избрани вече компоненти са систематизирани данни от тяхната експлоатационна история (паспортни и нормативни изисквания, брой отработени цикли на натоварване, функционални откази, дефекти в метала), а също и методите на техническо обслужване и ремонт (ТОиР).

Руските документи [1,2] регламентират обхвата на съоръженията и компонентите, които трябва регулярно да се контролират, обемите и методите на контрола, и

периодичността за прилагането им. През първата фаза на проекта ПСЕ в АЕЦ бе извършен преглед (обзор) на методите за експлоатационен контрол, надзор и изпитване. Изготвени са листове от обследване на всяко съоръжение. Описани са критичните зони в метала, при необходимост компонента се сменява, а за несменяемото оборудване бе извършено допълнително обследване, извън щатните програми по ТОиР. На основание крайната оценка от първия етап на проекта, определяща, че техническото състояние на съоръженията позволява продължаване на техния срок на експлоатация, се предприеха по-нататъшните оценки на работоспособността на конструкциите.

Проекта ПСЕ се планира и извършва от АЕЦ “Козлодуй” и консорциума РосЕнероАтом, Русия; Електриците дьо Франс, Франция и Риск Инженеринг, България.

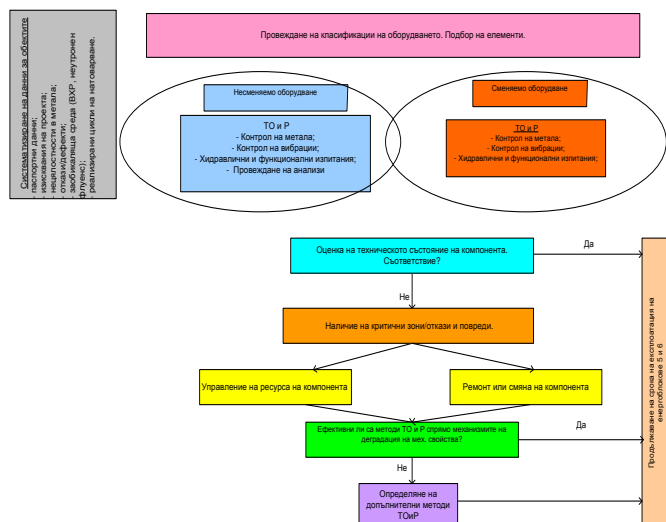
През втората фаза от ПСЕ се извършва оценка на механичните свойства след 30 годишна експлоатация и последваща оценка на работоспособността на конструкциите. За всяко от съоръженията в реакторната установка - реактор, парогенератори, компенсатор на налягането, главни циркуляционни тръбопроводи, главни циркуляционни помпи, турбини, свързващи тръбопроводи и арматура са изготвени якостни анализи. Към настоящия момент втората фаза на проекта е приключена за 5-ти блок, и предстои да се реализира за 6-ти блок.

През третата фаза от проекта ПСЕ ще бъде извършено лицензиране на блоковете за нов удължен период на експлоатация.

Методите на БК имат значение за оценките на състоянието на компонентите, както през първата фаза на ПСЕ – комплексната оценка на състоянието, така и през втората фаза - комплексен анализ. В рамките на настоящия доклад е проведено авторско изследване за това, от една страна - какви са нормативните изисквания за контрола, и от друга страна –



какво на практика е необходимо допълнително да се направи при поставяне на задачата ПСЕ на блоковете.



Фиг. 1. Проекта ПСЕ - първа фаза

Оказва се, че в американските стандарти ASME [6] VT контрола се диференцира на категории, в зависимост от физическото състояние на съоръженията. Например - VT III категория се прилага в случаите: 1) установено е, че ерозион-корозионните механизми на деградация намаляват дебелината на стената на съд под налягане с повече от 10%; 2) има износване на повърхностите, което може да причини загуба на функции или теч; 3) ерозион-корозионни отлагания, износване; 3) необходимо е да бъде оценено общото състояние и цялостност на обекта, вкл. наличие на крепежни детайли и др.

VT II категория се прилага в случаите: 1) резултатите от визуален контрол за компонента показват, че последния трябва да се ремонтира; 2) наличен е теч през стената/завареното съединение; 3) наблюдава се зона на корозия вследствие на теча и др.

VT I категория се прилага в случаите, когато е важно да се оразмери нецялостност; използват се технически средства за контрол с висока резолюция.

2. Термини и съкращения

Критични зони – места в оборудването, за които са установени работни напрежения около и над допустимите

БК – безразрушителен контрол;

ВХР – водохимичен режим;

ПСЕ – продължаване срока на експлоатация;

СБ – системи по безопасност;

СВБ – системи, важни за безопасността;

ТОиР – техническо обслужване и ремонт;

VT, PT, UT, ET – visual, penetrant, ultrasonic, eddy-current testing;

a - малка полуос на дефект, схематизиран като елипса;

N – брой цикли на натоварване;

K – коефициент на интензивност на напреженията;

R – размах на K;

$R_{p,0.2}^T$ - граница на пропорционалност.

3. Методология на БК при ПСЕ на блокове ВВЕР 1000

Дейностите по БК при ПСЕ могат да бъдат обобщени накратко:

3.1. Извършен е преглед (обзор) на методите на контрол, прилагани към съответното съоръжение (оценени са вида и

периодичността на метода, съответната методика за контрол, местата на контрола);

3.2. Оценени са действащите механизми на деградация – прави се на основание работната среда, действащите натоварвания, отработените цикли, информацията за отказите и дефектите;

3.3. Оценена е ефективността на методите на контрол спрямо механизмите на деградация на механични свойства;

3.4. Оценена е необходимостта от прилагане на допълнителен контрол;

3.5. Направена е окончателна оценка за ПСЕ, основана на ефективни методи на контрол и на якостни анализи;

3.6. Извършва се преоценка на периодичността на контрола за различните съоръжения.

По съоръженията се контролират външна и вътрешни повърхности (основен метал и заварени съединения), заварени съединения на прилежащите щучери/тръбопроводи, уплътнителни повърхности, крепежни елементи. По тръбопроводите се контролират заварени съединения, колена, тройници, арматура. Работните програми за експлоатационен контрол на метала обхващат периодичност на контрола през 4 години (или 30 000 часа) за съоръжения от системите за безопасност на АЕЦ, или от системите, важни за безопасността. За тръбопроводни системи от втори контур периодичността на контрола се увеличава. Периодичният експлоатационен контрол на голяма част от съоръженията включва визуален, капиларен (цветен), ултразвуков контрол и вихровотоков контрол на топлообменниците. Оценката на ефективността на методите на контрола спрямо механизмите на деградация на механични свойства е важна стъпка, защото е гарант за безопасната работа на блоковете. В Таблица 1 са показани механизми на деградация и изискванията за ефективност на контрола.

Механизъм на деградация на механични свойства	Експлоатационен контрол и мониторинг	Ефективност на контрола, изисквания
Ерозия-корозия.	Анализ и подобряване на водохимичния режим. Изследване на корозионните отлагания Безразрушителен контрол (VT, PT, UT); UT на дебелина на стени	Измеряемите параметри на ВХР трябва да съответстват на нормите. Всички отклонения от нормите трябва да се елиминират. Да се провежда мониторинг на дебелината на стените на тръбопроводите.
Окрехкостяване и уякчаване от неутронен флуенс. Окрехкостяване от дефекти.	Изпитване на образци-свидетели. Безразрушителен контрол (VT, PT, UT)	Материалът трябва да има съпротивлението срещу крехко разрушаване. Всички приложими методи да позволяват навреме да се открият дефектите.
Умора на материала	Изпитване на образци-свидетели; Анализи на умора; Безразрушителен контрол и хидравлични изпитания.	Всички приложими методи за контрол / мониторинг да позволяват навреме да се

		открит дефектите и компонента да се ремонтира
Термично стареене	Изпитване на образци-свидетели; Радиографичен контрол RT; Металография; Хидравлични изпитания.	
Износване	Визуален контрол VT Изпитване	

Таблица 1. Механизми на деградация, експлоатационен контрол и мониторинг на съоръженията, и изискванията за ефективност на контрола.

Оценка на необходимостта от прилагане на допълнителни методи на контрол се прави на почти всички стадии и етапи на ПСЕ, Таблица 2:

Етапи от ПСЕ	Допълнителни методи на контрол/мониторинг
Изготвяне на списъци за оценяване на състоянието на оборудването. Класификации на оборудването.	Установено е наличие на класифицирано оборудване, за което в АЕЦ не е планиран регулярен контрол/мониторинг; назначава се допълнителен контрол.
Преглед на проектната документация.	Установено е наличие на оборудване с липсващи паспортни данни, назначава се контрол на твърдост и контрол със спектрални методи.
Преглед на условията на работната среда и действащите натоварвания.	Установено е наличие на зони по оборудването, където действащите натоварвания са около и над допустимите стойности. Назначава се мониторинг на тези места.
Преглед на резултатите за дефекти и откази на оборудването (след 30 години експлоатация). Определят се критични зони по оборудването.	Прилаганите методи на контрол са чувствителни и достатъчни за проявяване и за оценяване на дефектите; или се назначават други методи на контрол.
Преглед на периодичността на контрола.	Периодичността на контрола е достатъчна, за да се осигури навременно откриване на дефектите и ремонтване на съоръженията, в противен случай периодите на контрола се намаляват.
Анализ на механични свойства	При изменение на механични свойства се назначава контрол на твърдост.
Якостни анализи	При изменение на фазовия състав на материалите, се назначава металографски контрол.

Таблица 2. Оценка на необходимостта от допълнителни методи за контрол/мониторинг на компоненти.

Окончателната оценка за продължаване на срока на експлоатация на съоръженията се взема след провеждане на якостни анализи. Изготвят се анализи на крехко разрушаване с постулиран или реален дефект. Скоростта на нарастване на дефекта да се определя по Методика М-02-91, [4].

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

Граничното състояние на обекта при наличие на дефект се определя, ако е изпълнено:

$K_1 \leq [K_1]$ по критерия за съпротивление на крехко разрушаване, и

$R_F^T = 1.2 \cdot R_{p_{0.2}}^T$ по критерия за пределни пластични състояния.

4. Резултати и анализи

На голяма част от оборудването и тръбопроводите се прилагат регулярно методи на контрол визуален VT, капилярен PT, ултразвуков UT. Тези методи, предписани по проекта на съоръженията, прилагани самостоятелно или съвместно с други методи от системата за ТОиР за мониторинг на параметри на работна среда, позволяват навреме да се открият дефектите и компонента да се ремонтира. При експлоатацията на „АЕЦ Козлодуй” периодичния безразрушителен контрол се допълва с диагностични системи (за контрол на течовете, за оценка на действащите напрежения и др.). Освен “добрата практика при експлоатацията на АЕЦ”, е редно да се отбележи, че при реализацията на проекта ПСЕ се проявяват и слабите места в процесите. За реализацията на проекта ПСЕ се оказва, че необходимите допълнителни дейности са в две направления – 1) повишаване на обемите на контрола, и 2) промяна на периодичността на контрола.

Установява се, че е необходимо да се провежда регулярен контрол на съоръжения, които не са включени в системата за ТОиР, но са важни за безопасната експлоатация на АЕЦ – като опорите и носещата конструкция на корпуса на реактора, полярен кран и презареждащата машини, хидроамортизаторите на парогенераторите, на арматура и тръбопроводи.

Периодичността на контрола за съоръженията се определя от руските нормативни документи [1,2]. Тези правила, обаче, дават само обща рамка на честотата на контрола, без да обхващат многообразието от различните натоварвания, влиянията на околната работна среда и съответното износване на метала след 30 години експлоатация. В рамките на II-рия етап от комплексното обследване е направена оценка на термо-хидравличните натоварвания на съоръженията на блокове 5/6. Оценени са разпределенията на напреженията (термични и хидравлични) в съоръженията и са извършени якостни анализи. Необходимо е да се увеличи честотата на контрола в критичните зони на метала, с повишени напрежения (със стойности около допустимите). Също така – периодически да се оценява развитието на дефектите по методи на механика на разрушаване, на база направеното прогнозиране на механични свойства.

За целите на контрола за съоръжения и компоненти в АЕЦ е приемливо да се категоризира контрола като обхват на дейности, на основание риска за безопасната експлоатация на съоръженията, като се включи информация от:

1) класификационно ниво на съоръженията с оглед на безопасната експлоатация на АЕЦ (източник на данни – списъци на класифицирано оборудване);

2) данни за състоянието на метала на съоръженията (източник на данни – листове от обследване на съоръженията, отчети за механични свойства и якостни анализи)

3) установени действащи механизми на деградация (източник на данни – отчетите за оценка на физическото състояние от първия етап на ПСЕ).

В Таблица 3 е дадено примерно (възможно) разпределение на категориите контрол за различните съоръжения.

Класификация по степен на важност на съоръженията / Наличие на критични зони	Съоръжения от СБ	Съоръжения от СВБ, от I контур на АЕЦ	Съоръжения от II контур на АЕЦ	Спомагателни съоръжения
Има установени критични зони от якостните анализи; дефекти от експл. контрол.	Първа категория по методи на контрола, включваща: VT I PT, ET, UT		Първа VT I PT I UT (дебелометрия)	Втора VT II PT II UT (дебелометрия)
Има установени критични зони от якостните анализи; няма дефекти	VT I PT, ET, UT		VT II/III PT UT (дебелометрия)	VT III
Няма установени критични зони.	VT II PT, ET, UT			
Механизъм на натоварване	Радиационно натоварване, Термohидравлични натоварвания	Ерозия, корозия Корозия под напрежение	Ерозия, корозия, общо отгняване на стените	Износване корозионни отлагания

Таблица 3. Предложение за категоризация на контрола.

Смисълът на категоризацията на контрола за отделните съоръжения е да се унифицират изискванията на контрола за съоръженията, като се отчетат тяхното състояние и значение за безопасната експлоатация:

- Първа категория на контрола да се прилага за съоръжения от СБ и СВБ, с констатирани критични зони. Специфичните дейности са свързани с намаляване на интервалите между отделните контроли, прилагане на съвкупност от методи на контрол по квалифицирани методики, използване на диагностични системи за локализиране и контрол на течовете, строг контрол на циклите на натоварване във всички режими, изготвяне на нови разчети за якост и др. Оценка на съответствието на резултатите от контрола да се докладва съвместно с оценката на съпротивление на крехко разрушаване.

- Втора категория на контрола да се прилага за съоръжения, без наличие на критични зони. Дейностите по контрола тук да са както е по нормативните изисквания (или както е текущото състояние в АЕЦ), а оценката на съответствието да е по нормативите [1].

- Трета категория на контрола да се прилага за определяне на общото механично и структурно състояние на обекта и неговите опори, цялостност на конструкцията, корозионно-ерозионни износвания и наноси, и др.

5. Заключение

При реализиране на проекта ПСЕ се установяват две основни направления на дейности, свързани с безразрушителния контрол – промяна на обемите за контрола и включване на нови съоръжения в системата за ТОиР, и промяна на периодичността на контрола. С цел безопасната експлоатация на ядрената установка и за по-добро разпределение на ресурсите, се предлага категоризация на контрола. По този начин би имало единен и обоснован подход за организиране, планиране и провеждане на контрола за всичките съоръжения, основан на тяхното физическо и механично състояние, и значение за безопасната експлоатация. Показният подход демонстрира как обемите и периодичността на контрола могат да се определят, освен на основание нормативните изисквания, също и на база оценка на напрегнато-деформационно състояние на обектите и оценка на влиянието на работната среда.

6. Литература

1. ПНАЭГ 7-010-89- Оборудование и трубопроводов атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
2. АТПЭ-9-03 Типовая программа эксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с ВВЭР-1000.
3. Общей программой комплексного обследования фактического состояния и оценки остаточного ресурса КСК блока № 5 АЭС «Козлодуй» ПМ АТЭ.116/02-0807-2012.
4. Методика за определяне на допустими размери на дефекти в метала на оборудване и тръбопроводи по време на експлоатация на АЕЦ, Москва, 1991 г., М-02-91;
5. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Nondestructive examination, 2013.
6. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, 2013.