

ВЕРОЯТНОСТНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ДЕФЕКТИ В МЕТАЛА НА КОМПОНЕНТИ ОТ I-ВИ КОНТУР НА АТОМНИ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ ТИП ВВЕР

ГАЛЯ ДИМОВА¹, КОНСТАНТИН СТАЕВСКИ²

¹ „АЕЦ КОЗЛОДУЙ“ ЕАД – Орган за контрол от вида С
Изпитвателен център „Диагностика и контрол“, гр. Козлодуй

² Катедра „Ядрена техника и ядрена енергетика“
Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Гая Димова, Константин Стаевски. ВЕРОЯТНОСТНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ДЕФЕКТИ В МЕТАЛА НА КОМПОНЕНТИ ОТ I-ВИ КОНТУР НА АТОМНИ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ ТИП ВВЕР

Използването на вероятностни методи за оценка на целостта на компоненти на атомни електроцентрали тип ВВЕР се препоръчва като добра практика от серията стандарти за безопасност на Международната агенция по атомна енергетика (МААЕ) – Safety Guide, от Унифицираната процедура за оценка на остатъчния ресурс на компоненти и тръбопроводи в атомни електроцентрали тип ВВЕР, VERLIFE, както и в авторски публикации. Типичен пример за приложение на такива модели е оценката на риска от разрушаване на съоръжението, на което се основава контролът, информиращ за риска – Risk-informed Inservice Inspection (RI-ISI). Настоящата статия представя вероятностно разпределение на дефекти в компоненти от I-ви контур на атомни електроцентрали, основани на проследяване на развитието на дефектите, констатирани чрез методите на безразрушителен контрол.

Galya Dimova, Konstantin Staeovski. PROBABILITY DISTRIBUTION OF THE DEFECTS OF THE METAL OF THE COMPONENTS, I-ST CONTOUR OF NUCLEAR POWER PLANT TYPE WWER

Using of probability methods for assessment of the integrity of the components of NPP type WWER is recommended as a good practice in Series of IAEA Safety Guides, as well as Unified Procedures for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPP, VERLIFE, and in other publications.

За контакти: Гая Димова, 3320 Козлодуй, област Враца, „АЕЦ Козлодуй“ ЕАД, ОКС-ИЦ ДиК, тел. 0973-7-24-79; E-mail: gtdimova@npp.bg.

As a typical example of such models is seen the risk assessment from facility destruction which is the basis of the Risk-informed In-service Inspection (RI-ISI). This paper suggests probability distribution of the defects of the metal of the components of NPP type WWER, based on the In-service inspection results achieved via non-destructive methods.

Keywords: methods for non-destructive examinations, discontinuity of the metals (weld), Weibull distribution

PACS numbers: 81.70-q; 02.50.cw

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Обосноваването на якостта и ресурса на компоненти на реакторни установки тип ВВЕР-1000 се провежда чрез детерминистични методи, при които се използват коефициенти на якостни запаси. Граничното състояние на оборудването и тръбопроводите в АЕЦ се определя по якостни критерии, като се отчитат условията на експлоатация и състоянието на конструкцията. Но посредством тези коефициенти не може да се оцени степента на надеждност на компонентите, тъй като се предполага, че вероятността за разрушаване теоретично е нула. Безотказната отработка на обектите не може да бъде предварително предсказана еднозначно. В съвременните подходи за изследване и оценка на ресурса на експлоатирани атомни централи се прилагат вероятностни модели [1]. Тези модели се основават на резултатите от контрола на метала на механично оборудване с безразрушаващи методи. Те не са стандартизирани и все още слабо се прилагат. Същевременно използването на вероятностни методи за оценка на стареенето се препоръчва като добра практика от серията стандарти за безопасност на Международната агенция по атомна енергетика (МААЕ) – Safety Guide, от Унифицираната процедура за оценка на остатъчния ресурс на компоненти и тръбопроводи в атомни електроцентрали тип ВВЕР, VERLIFE, както и в авторски публикации [3]. Типичен пример за приложение на такива модели е оценката на риска от разрушаване на съоръжението, на което се основава контрола, информиращ за риска – Risk-informed Inservice Inspection (RI-ISI).

Настоящата статия разглежда подход за описване на вероятно разпределение на нецялостности, получени от безразрушителен метод на контрол на заварени съединения на щуцери към парогенератори.

2. МЕТОД НА ИЗСЛЕДВАНЕ

С цел навременно откриване на нецялостности в метала, а също и за следене развитието на вече констатирани такива, съгласно нормативните изисквания [4] на съоръженията се провежда периодичен експлоатационен контрол на метала с методи на безразрушителен контрол. Заварените съединения на щучерите към парогенераторите са изследвани чрез ултразвуков метод. При този метод в метала на компонента се разпространява ултразвуков сигнал с честота 0,5–10 МHz. Анализират се характеристиките на отразения ултразвуков сигнал от гранични повърхности, в това число и от повърхности на вътрешни и на подповърхностни нецялостности в метала.

Импулсният ехо-метод е най-широко разпространения метод за ултразвуков контрол и се прилага за регистриране на нецялостности и за определяне на техните параметри – вид, размери, разположение [6]. Оценката на съответствието на размерите на нецялостностите е съгласно нормативни документи. Разглеждани са индикациите на нецялостности в метала на компонентите. С цел да се проследи динамиката на развитието на констатираните нецялостности, са събрани следните входни данни:

– Индикации от ултразвуков контрол на нецялостности на метала на съоръжението – проследявани са параметрите на нецялостностите: размер a_i на i -та нецялостност, местоположението \dot{y} и взаимното разположение спрямо други нецялостности.

– Стойности за критични размери $[a]$ на нецялостности на съответния сегмент на съоръжението – вземат се от паспортите или от нормативния документ [5].

– Периодът t_i на експлоатацията на съоръженията – взема се от експлоатационната документация.

Целта е да се проведе анализ на развитието на индикациите и тенденциите за достигане на критичното състояние ($a_i = [a]$).

Входните данни за дадено съоръжение са представени в графичен вид. Всяка точка има координати (t_i, y_i) , където t_i отговаря на съответния период на експлоатация на съоръжението (когато са констатирани индикациите), а

$$y_i = \frac{a_i}{[a]_i} \quad (1)$$

е нормираната стойност на дължината на дефекта спрямо критичните му размери. В колкото повече периоди от време има данни за дадена индикация, толкова по-ясно ще се изрази тенденцията на развитието \dot{y} . Интервалите от време за експлоатационен контрол на съоръженията са от 1 до 4 години. За да има изразена тенденция на развитието на нецялостностите, трябва да са натрупани данни от минимум 16–20 години експлоатационен

срок на съоръжението. Друга практическа трудност е да е осигурено, че се обработват данни за една и съща индикация. Това се постига чрез използване на координатна система и реперна точка на сканиране. Координатите на откритата нецялостност се съпоставят с тези от предишния контрол. Наличието на нецялостности в контролирани зони на съоръжението означава, че тези зони са критични за целостта на съоръжението.

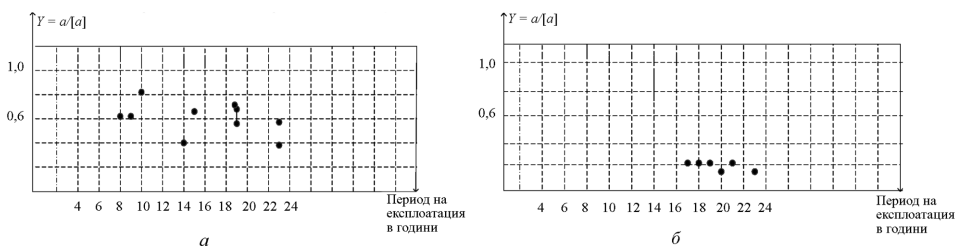
Представеният графичен метод е прост за реализиране и не изисква специално програмно осигуряване. Следенето на развитието на параметър на дадена индикация на нецялостност, и по-конкретно, контролиране на съотношението y_i в различни периоди от време ще позволи да се предскаже моментът от време, когато ще се достигне до критично ниво, или $y_i = 1$.

3. РЕЗУЛТАТИ

Заварените съединения на щучери към парогенератори тип ПГВ 1000М са контролирани с ултразвуков метод. Изследвани са параметрите на индикациите на констатираните нецялостности. Резултатите от направените измервания могат да се групират в три групи.

Първа група от резултати. Стойностите на y_i не се променят от времето за експлоатация на съоръжението, наблюдава се плато (фиг. 1).

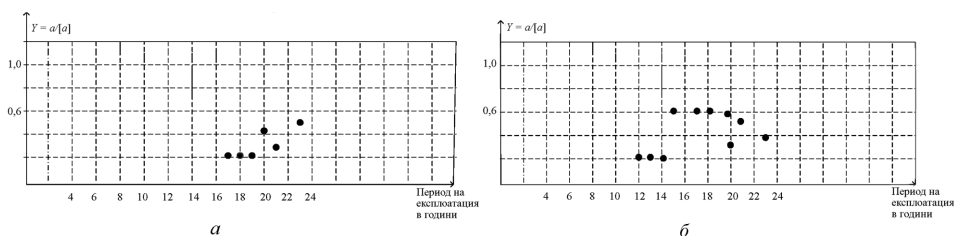
Няма развитие на индикациите, те са в устойчиво състояние. На основание факта, че нецялостностите не се развиват, може да се приеме, че няма признаци за деградация на механични свойства на материала на заварените съединения. Понякога на практика се оказва, че при следващ експлоатационен контрол една индикация може да се оцени с по-малък размер. И тъй като нецялостността очевидно не може да намалее по размери, то обяснението е свързано с възможностите на методиката за безразрушителен контрол (възпроизводимостта на резултатите, неопределеността на контрола).



Фиг. 1. Развитие на нецялостности на метала по резултати от контрола: първа група

Изводите за безопасната експлоатация на съоръженията са, че те могат да продължават да работят при същите натоварвания. Следващият експлоатационен контрол трябва да бъде не по-късно от 30 000 часа отработка (около 4 години). Ако $y_i > 0,8$, е задължително този срок да се съкрати [2].

Втора група от резултати. Стойностите на y_i нарастват с увеличаване времето за експлоатация на съоръжението (фиг. 2).



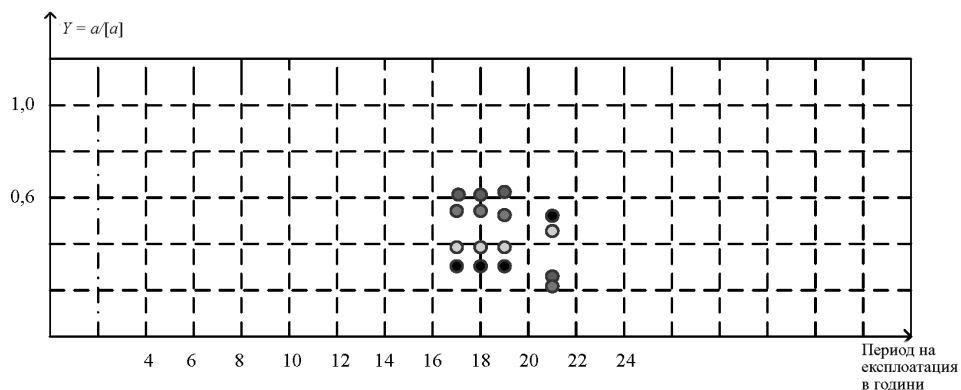
Фиг. 2. Развитие на нецялостности на метала по резултати от контрола: втора група

Изводите за последваща безопасна експлоатация на съоръженията са, че е необходимо да бъде извършена техническа диагностика на съоръженията, по възможност да се променят експлоатационните условия (промяна на налягането при функционални изпитания, резервиране на мощности и др.) и да се намалят сроковете за последващ експлоатационен контрол на съоръжението. По-честото провеждане на контрола ще даде възможност да се получат повече данни за размерите на индикациите. Тенденцията за развитие на параметрите на индикациите на нецялостностите ще бъде по-явно изявена. По този начин ще е възможно да се определи дали е механизъм на деградация на механични свойства на материала. Може да бъде определен моментът от време, когато y_i ще нарасне до стойност 1 (критично състояние).

Трета група от резултати. Анализ на развитието на повече от една нецялостност на дадено съоръжение в различни периоди от време.

В случай че имаме повече от една нецялостност, констатирана от експлоатационен контрол на даден възел на съоръжението, се използват правилата за схематизиране на нецялостностите. Ако нецялостностите са близко разположени, те сеобединяват – т.е. цялата група от нецялостности се разглежда като една нецялостност. В този случай подходът за обработката на данните е по първа или втора група резултати. При наличие на негрупируеми нецялостности на един изпитван обект всяка нецялостност дава своя “принос” в деградацията на обекта и се изследва самостоятелно. Тук

се разглеждат и случаите, когато една от тези независими нецялостности е окрупнена (или може да бъде окрупнена) от близко разположени нецялостности. За целите на статистическия анализ, е необходим минимален брой n нецялостности за един обект (заварено съединение), изследвани през различни периоди от експлоатация на съоръжението, като $n \geq 5$. На фиг. 3 е представено развитието на 4 броя негрупируеми (независими) индикации на едно заварено съединение, изследвани през 4 последователни експлоатационни периода на съоръжението.



Фиг. 3. Развитие на нецялостности на метала по резултати от контрола: трета група

За конкретен експлоатационен период всяка индикация е изследвана с една и съща апаратура и чувствителност на метода. Има нарастване на 2 индикации и намаляване на 2 индикации. Очевидно е, че е налице процес на деградация на механични свойства на материала. Анализира се геометричното местоположение на всяка индикация и се следи изменението на нейния размер при последващата експлоатация на обекта. Могат да се направят изводи за доминиращите фактори на деградация и да се набележат мероприятия за безопасната експлоатация на съоръжението.

4. АНАЛИЗ

За описване разпределението на характерните относителни дължини на нецялостностите използваме двупараметричния модел на Вейбул, като насяма данни в съответната вероятностна мрежа:

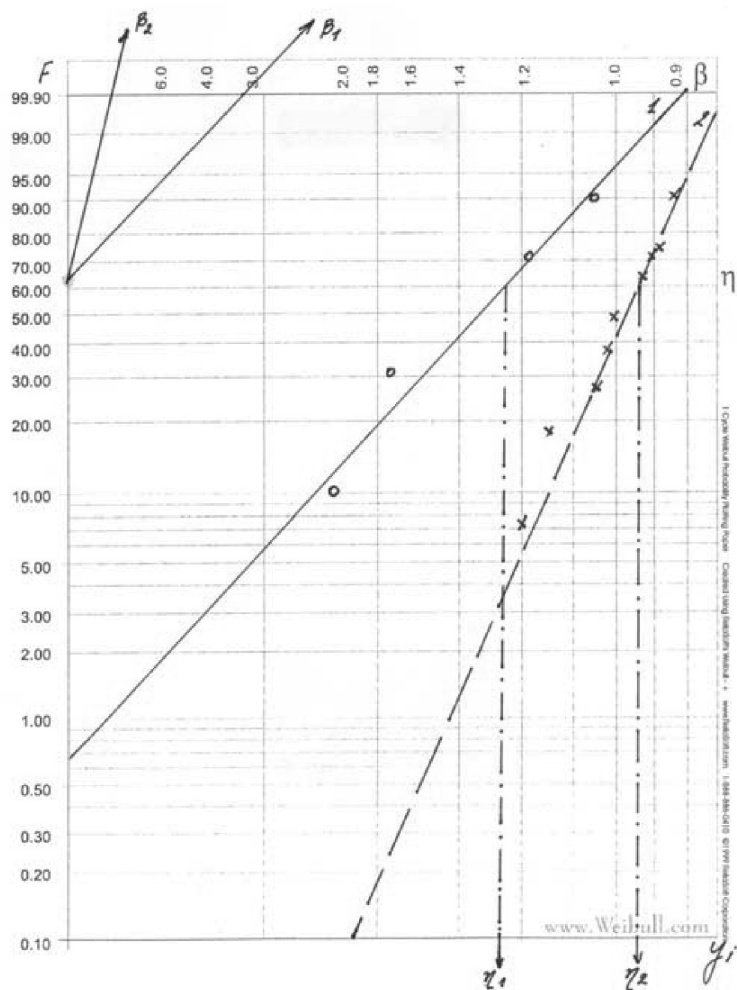
$$F(y_i) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{y_i}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{y_i}{\eta}\right)^\beta}, \quad (2)$$

където F е вероятност за реализация на събитието $y_i > 1$, β , η параметри на вейбулово разпределение.

Обработени са данни от два периода на контрола на заварените съединения на щупери. Параметрите на модела са определени аналитично чрез метода на максималното правдоподобие (MLE), като в табл. 1 са записани данните от статистическа обработка на размерите на индикациите след 10 и след 18 години експлоатация. Същите данни са представени чрез вероятностната мрежа на фиг. 4, графично са определени параметрите на модела.

Таблица 1. Статистическа обработка на индикации след 10 и 18 години експлоатация

Ранжирани данни от нецялостности след 10 години експлоатация			
i	y_i	$F(y_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}, [\%]$	β, η
1	0,26	10,90	$\beta_1 = 3.08$ $\eta_1 = 0.46$
2	0,33	34,38	
3	0,33		
4	0,33	73,43	
5	0,53		
6	0,66	89,06	
Ранжирани данни от нецялостности след 18 години експлоатация			
1	0,5	7,44	$\beta_2 = 7.11$ $\eta_2 = 0.75$
2	0,54	18,08	
3	0,64	28,72	
4	0,65	39,36	
5	0,70	50,00	
6	0,78	60,63	
7	0,8	71,27	
8	0,82	81,91	
9	0,86	92,55	



Фиг. 4. Двупараметрично вейбулово разпределение на стойностите за y_i ;
 1 – след 10 години експлоатация, $\beta_1 = 3.1$; $\eta_1 = 0.46$;
 2 – след 18 години експлоатация, $\beta_2 = 7.1$; $\eta_2 = 0.75$

5. ИЗВОДИ

От анализа на обработените данни се налагат следните изводи.

– С увеличаване на периода на експлоатация на съоръженията скоростта на нарастване на дефектите се увеличава, т.е. процесът на дегенерация на носещата способност на материала се интензифицира. Същевременно флукуацията (дисперсията) на размерите намалява и се отчита по-висока степен на корелация с приложения – двупараметричен модел на Вейбул.

– Във връзка с горепосоченото е необходимо да се увеличи контролът в критичните зони на съоръженията.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аркадов, Г. В., А. Ф. Гетман, А. Н. Родионов. Надеждность оборудования и трубопроводов АЭС и оптимизация их жизненного цикла. Москва, 2010.
- [2] Unified Procedures for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPP. VERLIFE, European Commission, 2008, Appendix XVI.
- [3] Острейковский, В. А. Старение в АЭС. Продление срока эксплуатации. Москва, 1994, 134–174.
- [4] АТПЭ-9-03. Типовая программа эксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов АС с ВВЭР-1000. Министерство Российской Федерации по атомной энергии, концерн РОСЭНЕРГОАТОМ, 2003.
- [5] ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводов АЭУ. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля. ГОСАТОМЭНЕРГОНАДЗОР, СССР, 1989.
- [6] Скордев, А., И. Бъчваров, К. Маринов. Безразрушителен контрол. София, 1984, с. 134.