

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОБЛИЦЮВАННЯ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ

© 2010 р. Л. Б. Шаміс, Т. І. Матченко, Л. Ф. Первушова

ВАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ

Перелічено параметри, що визначають ресурс металевого облицювання. Запропоновано методику визначення їхніх критичних значень та методику розрахунку залишкового ресурсу зварних з'єднань облицювання сховища відпрацьованого ядерного палива.

Ключові слова: зварне з'єднання, ресурс, випробування, металокопструкції.

Вступ

Призначений проектом строк експлуатації сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП) з високою достовірністю дає впевненість, що критичні елементи, як і СВЯП в цілому, за умови відповідного технічного обслуговування, ремонтів та експлуатаційного контролю, протягом цього строку будуть відповідати критеріям безпеки.

Експлуатація СВЯП наряду з іншими спорудами АЕС після досягнення проектного строку експлуатації є можливою лише у випадку внесення змін до ліцензії на право здійснення діяльності «експлуатація ядерної установки», що стосуються строків експлуатації енергоблоків та споруд, що входять в комплекс обслуговування і зазначені в ліцензії.

Експлуатація у надпроектний строк може бути дозволена тільки за умови, що рівень безпеки СВЯП є не нижчим, ніж установлений у чинних нормах і правилах з ядерної і радіаційної безпеки.

При визначенні ресурсу СВЯП першочерговому обстеженню підлягають облицювання басейнів витримки сховища відпрацьованого ядерного палива (БВ СВЯП), що знаходяться в аварійному стані або в стані ремонту після аварії, що знаходяться в експлуатації 25 років і більше, а також облицювання, які контактують з борною водою.

При зовнішньому розгляданні (візуальному обстеженні) обов'язковій перевірці підлягають ділянки облицювання для встановлення місць знаходження корозійних пошкоджень, подряпин, здирань, тріщин, прологів, оплавлень, відривань, розшарувань, неметалевих включень і т.д.

Загальні вимоги до звіту з періодичної переоцінки безпеки (ЗПОБ)

ЗПОБ розробляється для кожного з СВЯП й охоплює всі аспекти, важливі для безпеки. З цією метою певний енергоблок розглядається як виробничий комплекс, який включає безпосередньо енергоблок, а також усі установки, об'єкти, споруди, що входять до технологічного комплексу енергоблоків та зазначені в ліцензії на право здійснення діяльності «експлуатація ядерної установки».

У ЗПОБ необхідно надати аналіз безпеки СВЯП АЕС з урахуванням фундаментальних принципів безпеки і факторів безпеки, які, відповідно до рекомендацій МАГАТЕ [6 - 11], розподіляються за такими групами:

1. Технічний стан систем та елементів: проекту СВЯП; поточний технічний стан систем та елементів; кваліфікація обладнання; старіння.
2. Аналіз безпеки: детерміністичний аналіз безпеки; імовірний аналіз безпеки; аналіз внутрішніх та зовнішніх подій.
3. Експлуатаційна безпека і зворотний зв'язок від досвіду експлуатації: експлуатаційна безпека; використання досвіду інших СВЯП АЕС і результатів наукових досліджень.
4. Управління: організація та управління; експлуатаційна документація; людський фактор.

5. Аварійна готовність і планування.

6. Вплив на навколишнє середовище.

Періодична оцінка безпеки СВЯП має містити комплексний аналіз безпеки, який здійснюється з урахуванням внеску результатів, що отримані при розгляді кожного з факторів безпеки, та їхнього взаємного впливу.

Фактор безпеки «Старіння» безпосередньо пов'язаний із визначенням стану елементів СВЯП при подальшій експлуатації.

Старіння металу супроводжується такими процесами: вичерпання деформаційного ресурсу; зменшення товщини профілю конструкцій.

У свою чергу вичерпання деформаційного ресурсу може відбуватися як за рахунок зменшення критичної деформації, так і за рахунок накопичення деформації в процесі експлуатації.

Зменшення критичної деформації є наслідком наступних процесів: деформаційне старіння; динамічне старіння; термічне старіння; радіаційне старіння; міжкристалічна корозія; квазікристалічна корозія; радіаційне розпухання.

Накопичення деформацій є наслідком таких процесів: багатоциклічна механічна втома; багатоциклічна термічна втома; малоциклічна механічна втома; малоциклічна термічна втома; повзучість.

Зменшення товщини профілю є наслідком процесів корозії: поверхневої, виразкової та пітингової.

Крім того, можливі комбінації перелічених процесів: корозійне розтріскування; розшарування.

Для визначення залишкового ресурсу металевих конструкцій, що тривалий час експлуатуються, доцільно вміти вирахувати залишковий ресурс для всіх перерахованих процесів старіння.

Деформаційне старіння сталі проявляє себе в зміні механічних властивостей сталі: збільшення критерію текучості (σ_T); збільшення тимчасової міцності (σ_e); збільшення твердості (НВ); збільшення температури холодноламкості (NDT); збільшення температури зупинки тріщини (САТ); зменшення перехідної температури при пружному руйнуванні (FTE); збільшення перехідної температури при в'язкому руйнуванні (FTR); зменшення відносного здовження зразка після розриву (δ); зменшення відносного стоншення зразка після розриву (Ψ); зменшення кута загину зразка (α); зменшення ударної в'язкості (КСУ).

Таким чином, деформаційне старіння змінює форму діаграми деформування.

Якщо старіння відбувається при кімнатній температурі, то воно має назву природне старіння; при підвищеній температурі – штучне старіння; під час пластичних деформацій – динамічне старіння.

Таким чином, для розрахунків процесів старіння необхідно мати закони зміни швидкостей перелічених параметрів у часі.

Задача ускладнюється тим, що вуглецеві сталі можуть змінювати свою фазову структуру при зміні температури в "системі залізо – вуглець". У "системі залізо – вуглець" фазові структури практично залишаються незмінними в межах, що визначаються точками критичного насичення, а також лініями евтектичного перетворення.

Можна зробити припущення, що на лініях евтектичного перетворення та в точках критичного насичення параметри старіння мають свої критичні значення або злами та скачки.

Розглянемо інженерну методику визначення ресурсу за параметрами старіння для однієї області діаграми "залізо – вуглець", у межах якої швидкості параметрів змінюються монотонно (не мають зломів і різких перепадів).

Після тривалої експлуатації металевих конструкцій залишковий ресурс доцільно визначати за значенням відносного здовження зразка після розриву (δ , %)

$$\delta_r = \delta_0(1 - \omega),$$

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{\omega_H}{[\omega_H]}\right)^2 + \left(\frac{\omega_T}{[\omega_T]}\right)^2 + \left(\frac{\omega_\varepsilon}{[\omega_\varepsilon]}\right)^2} \leq 1,$$

де ω – параметр пошкодження ($0 < \omega < 1$); $\omega_\varepsilon, [\omega_\varepsilon]$ – пошкодження внаслідок деформації та його критичне значення; $\omega_H, [\omega_H]$ – пошкодження внаслідок радіаційного опромінювання та його критичне значення; $\omega_T, [\omega_T]$ – пошкодження внаслідок термічного впливу та його критичне значення; δ_τ, δ_0 – відносне здовження після тривалої експлуатації й на початку експлуатації відповідно.

Пошкодження можна моделювати залежностями:

$$\omega_H = a_0 + (a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \prod_{i=1}^n (K_i),$$

$$\omega_T = b_0 + T(b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot \tau^2) \prod_{i=1}^n (K_i),$$

$$\omega_\varepsilon = c_0 + (c_1 \cdot \varepsilon + c_2 \cdot \varepsilon^2) \prod_{i=1}^n (K_i).$$

де a_i, b_i, c_i – коефіцієнти поліному, що наведені в базі даних «Ресурс» для всіх марок сталей; x – показник ступеню в залежності $\varphi = p \cdot 10^x$, де φ – інтегральна доза радіаційного опромінювання (Н/см²); H – кількість нейтронів опромінення з енергією $E > 1$ МэВ; T – температура середовища, С^о; ε – деформація; τ – час; $\prod_{i=1}^n$ – знак добутку коефіцієнтів впливу; K_i – коефіцієнти, що впливають на процес старіння.

Значення коефіцієнтів K_i наведено в базі даних «Ресурс».

Якщо відома швидкість процесів старіння, то можна записати

$$\omega_H = \frac{1}{\varphi_K} \int_0^{\tau_0} \Phi(\tau) d\tau,$$

$$\omega_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_K} \int_0^{\tau_0} v_\varepsilon(\tau) d\tau,$$

$$\omega_T = \frac{1}{(T \cdot \varepsilon \cdot \tau)_K} \int_0^{\tau_0} v(T, \varepsilon, \tau) d\tau,$$

де Φ – щільність електронного потоку (Н/см²·рік); v – швидкість процесу старіння.

Механічні випробування зварних з'єднань облицювання

Механічні випробування необхідно виконувати при значних корозійних пошкодженнях, виникненні тріщин в облицюванні, якщо припускається погіршення механічних властивостей, утома при дії змінних і знакозмінних навантажень, перепади, дія надмірно високих навантажень тощо.

Для проведення механічних випробувань основного металу та зварних з'єднань облицювання необхідно вирізати ділянку листа зі швом діаметром 400 мм в облицюванні з таким розрахунком, щоб це місце можна було б легко і надійно відремонтувати за допомогою зварювання. Центр вирізаної ділянки повинен знаходитись на шві на відстані не менше 700 мм від перпендикулярно розташованого шва. На вирізаній контрольній заготовці необхідно нанести маркування (номер приміщення, поясу та листа облицювання), при подальшій механі-

чній обробці маркування необхідно перенести на зразок. Кожна заготовка (або партія), яка вирізана для визначення механічних властивостей, повинна мати супроводжувальний документ, в якому зазначається назва організації, номер приміщення, місце вирізки, дата вирізки, прізвище відповідального та його посада.

Із кожної контрольної заготовки для визначення механічних властивостей основного металу необхідно вирізати:

три зразки для визначення межі міцності, межі текучості та відносного збільшення довжини [1];

три зразки для випробувань на ударну в'язкість [2, 3];

два зразки на статичний згин.

Якщо при випробуваннях металу одна з характеристик не задовольняє вимогам стандарту або технічним вимогам, то необхідно провести повторні випробування на подвоєній кількості зразків, вирізаних із того самого приміщення та пояса облицювання.

За результатами механічних випробувань зварних з'єднань приймається, що ресурс вичерпаний, якщо відносне збільшення довжини зразка менше допустимого значення або кут загину менше 120° для вуглецевих сталей, 80° – для низьколегованих сталей товщиною меншою за 20 мм. Допустиме значення відносного збільшення довжини металу визначається по стандартах або технічних умовах на відповідні марки сталі.

Випробування зварних з'єднань на статичний згин

Випробування виконують для стикових з'єднань. При випробуванні визначають здатність з'єднання приймати заданий за розміром та формою згин. Ця здатність характеризується кутом загину α , при якому в розтягнутих шарах зразка виникає перша тріщина, яка зростає в процесі випробування. Якщо довжина тріщини, яка виникла в процесі випробування в розтягнутій зоні зразка, не перевищує 20 % його ширини, кут загину при випробуванні до виникнення першої тріщини вимірюють у ненавантаженому стані з похибкою до $\pm 2^\circ$. Для статичного згину залишковий ресурс визначається за формулою

$$\Delta\tau_\alpha = \tau_{експ} \frac{\alpha_\tau - \alpha_p}{\alpha_0 - \alpha_\tau},$$

де $\Delta\tau$ – залишковий ресурс, рік; α_τ – кут загину зразка під час випробувань, взятий із конструкції, яка знаходиться в експлуатації $\tau_{експ}$ років; α_0 – паспортне або проектне значення кута загину зразка, що має зварне з'єднання до початку експлуатації; α_p – найменше допустиме значення кута загину.

Слід виконувати випробування зразків на згин вздовж та впоперек зварного шва.

При випробуванні на ударний згин визначають ударну в'язкість або роботу удару, або процентне співвідношення крихкої і в'язкої складової поверхні зламу для металу шва, біля шовної зони при товщині основного металу 2 мм і більше. Ударну в'язкість позначають символом KC і вимірюють у Дж/см². Після випробувань зразків залишковий ресурс визначають за формулою

$$\Delta\tau_{KC} = \tau_{експ} \frac{KC_\tau - KC_p}{KC_0 - KC_\tau}, \quad (1)$$

де $\Delta\tau$ – залишковий ресурс зварного з'єднання, рік; $\tau_{експ}$ – час експлуатації металоконструкції, рік; KC_0 – ударна в'язкість з'єднання за проектом до початку експлуатації; KC_p – найменше допустиме значення ударної в'язкості, менше якого вважається, що ресурс вичерпано; KC_τ – значення ударної в'язкості під час випробувань, після експлуатації конструкції протягом часу $\tau_{експ}$.

Стійкість проти механічного старіння також характеризується зміною ударної в'язкості металу, що переніс деформаційне старіння. У такому випадку ресурс визначається за формулою (1), але застосовуються такі умовні позначення:

КСШ – ударна в'язкість після старіння металу шва;

КСЗТВ – ударна в'язкість після старіння зони термічного впливу.

Відповідно залишковий ресурс зварного з'єднання позначається $\Delta\tau_{CT}$.

Приклади умовних позначень для ударної в'язкості [2]:

1) ударна в'язкість, що визначається на зразку типу VII при температурі +100 °С, максимальній енергії удару маятника 150 Дж з надрізом v , розташованим по зоні сплавлення, позначається як $KCV^{+100} 150VIIУПЗС$;

2) ударна в'язкість, що визначається на зразку типу XI при температурі -40 °С, максимальній енергії удару маятника 50 Дж з надрізом V , розташованим у зоні термічного впливу на відстані (t мм) від кордону сплавлення до осі надрізу, позначається як $KCV^{-40} 50XIЗТВt$.

Випробовування зварного з'єднання на ударний розрив

Випробовування на опір ударному розриву виконують для зварних стикових з'єднань листів товщиною 2 мм. Випробовування проводять на маятникових копрах з пристроєм для закріплення плоских зразків. Питома ударна робота визначається за формулою

$$a_y = \frac{A_y}{V},$$

де A_y – робота удару, що витрачена на розрив зразка, Дж; V – об'єм розрахункової частини зразка, що дорівнює добутку товщини основного металу на розрахункову довжину і ширину зразка, см³.

Для ударного розриву залишковий ресурс визначається за формулою

$$\Delta\tau_{ay} = \tau_{експ} \frac{a_\tau - a_p}{a_0 - a_\tau},$$

де $\Delta\tau_{ay}$ – залишковий ресурс зварного з'єднання на ударну в'язкість, рік; a_τ – питома ударна робота зварного з'єднання після $\tau_{експ}$, рік; a_0 – проектна або за паспортом питома ударна робота до початку експлуатації; a_p – найменше допустиме значення питомої ударної роботи.

При випробовуванні зварного з'єднання на статичне (короткочасне) навантаження залишковий ресурс визначають за такими характеристиками: A % і φ % – відносне здовження та відносне звуження зразка після розриву. Випробовування виконують для всіх видів зварних з'єднань. Залишковий ресурс визначається за формулами

$$\Delta\tau_A = \tau_{експ} \frac{A_\tau - A_p}{A_0 - A_\tau},$$

$$\Delta\tau_\varphi = \tau_{експ} \frac{\varphi_p - \varphi_\tau}{\varphi_\tau - \varphi_0},$$

де $\Delta\tau_A, \Delta\tau_\varphi$ – відповідно залишковий ресурс за відносним здовженням і відносним звуженням зразка, рік; A_p, φ_p – мінімально допустиме відносне здовження і максимально допустиме відносне звуження зразка зі зварним з'єднанням; A_0, φ_0 – паспортні значення цих параметрів.

Нормативні значення A_0 наведено в таблиці.

Якщо допускається експлуатація зварного з'єднання, що має тріщину, то ресурс може визначатися за критеріями тріщиностійкості.

Так, статична тріщиностійкість визначається за критичним значенням коефіцієнта інтенсивності напружень, що має позначення для нормального відриву K_{1C} . Випробування виконуються на зразках, в яких штучно вирошена тріщина.

При повільному зростанні навантаження визначають, при яких умовах починає зростати тріщина і за якою методикою визначають K_{1C} .

Для зварного з'єднання, що має тріщину, ресурс визначається за формулою

$$\Delta\tau_{K_{1C}} = \tau_{\text{експ}} \frac{K_{1C,\tau} - K_{1C,p}}{K_{1C,0} - K_{1C,\tau}},$$

де $K_{1C,\tau}$, $K_{1C,p}$, $K_{1C,0}$ – відповідно значення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень металу (шва, ЗТВ, основного металу) після експлуатації, мінімальне допустиме значення K_{1C} і нормативне або проектне значення K_{1C} .

Кореляція співвідношення між характеристиками механічних властивостей і значеннями твердості для металу будівельних конструкцій АЕС [5]

Марка сталі	Характеристика механічних властивостей	
	Відносне поперечне звуження, φ , %	Відносне збільшення довжини, A , %
3 3сп5 10 15,15Л 20 20Л 25Л	при HB < 140 $\varphi = 103,2 - 0,332 \text{ HB}$ при HB > 140 $\varphi = 137,0 - 0,525 \text{ HB}$	при HB < 140 $A = 53,5 - 0,161 \text{ HB}$ при HB > 140 $A = 49,0 - 0,131 \text{ HB}$
08X18H10T 06X18H10T 12X18H10T 08X18H12T 12X18H12T 12X18H9T 12X18H9TL 10X18H12M3Л 08X16H11M3 03X16H9M2 08X18H10 12X18H9 10X18H9 09X18H9	при HB = 120...165 $\varphi = 116,0 - 0,335 \text{ HB}$ при HB = 165...190 $\varphi = 88,0 - 0,165 \text{ HB}$	при HB = 130...190 $A = 46 - 0,13 \text{ HB}$ при HB = 190...230 $A = 36 - 0,0775 \text{ HB}$

Ресурс за характеристиками динамічної тріщиностійкості визначають за даними випробувань під динамічним навантаженням зразків з тріщиною від втоми за діаграмами «зусилля - час». За результатами випробувань визначають вплив часу навантаження на коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) $K_1(\tau)$ та основні характеристики тріщиностійкості – критичні динамічні КІН K_{1C}^d . Через неоднозначність залежності $K_{1C}^d - \partial K / \partial \tau$ весь діапазон швидкостей навантаження ($1.5 \cdot 10^6 \dots 5 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \cdot \text{с}^{-1}$) розбивають на чотири інтервали:

$$\tau/2 < \tau_c < 3\tau;$$

$$\tau/10 < \tau_c < \tau/2;$$

$$\tau_c > 3\tau;$$

$$\tau_c < \tau/10.$$

Для кожного з інтервалів визначають K_{1C}^{∂} . Залишковий ресурс зварного з'єднання з тріщиною, яке може підпасти під динамічний вплив (ударна хвиля, падіння літака і т.д.) визначається за формулою

$$\Delta \tau_{\partial} = \tau_{експ} \frac{K_{1C,\tau}^{\partial} - K_{1C,p}^{\partial}}{K_{1C,0}^{\partial} - K_{1C,\tau}^{\partial}},$$

де $K_{1C,\tau}^{\partial}$, $K_{1C,p}^{\partial}$, $K_{1C,0}^{\partial}$ – відповідно значення після експлуатації, мінімальне допустиме значення і проектне значення K_{1C}^{∂} .

Розтріскування внаслідок зростання граничної деформації матеріалу ε_p визначається відношенням

$$E^{-1}[\sigma_x - \nu \cdot (\sigma_y + \sigma_z) + \alpha \cdot \Delta T] \geq [\varepsilon_p],$$

де ν – коефіцієнт Пуассона; ΔT – зміна температури; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – компоненти НДС у точці.

Структурний параметр пошкодження визначається співвідношенням

$$\omega = \frac{E^{-1}[\sigma_x - \nu \cdot (\sigma_y + \sigma_z) + \alpha \cdot \Delta T]}{[\varepsilon_p]}, \quad (2)$$

Пошкодження ω може змінюватись в межах ($0 < \omega \leq 1$).

Характеристики утомленості зварного з'єднання в умовах малого числа циклів навантаження представляють у вигляді графіка залежності деформації за цикл від числа циклів до виникнення тріщини.

Відповідно до рівняння Коффіна можна записати як

$$N_c^{1/2} = \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{100}{100 - \% \varphi} \right) \right] / (\Delta \varepsilon_t - \Delta \varepsilon_e), \quad (3)$$

де N_c – кількість циклів деформації ($\Delta \varepsilon_t$) до виникнення тріщини; $\Delta \varepsilon_t$ – розмах пластичної деформації за один цикл; $\Delta \varepsilon_e$ – розмах пружної деформації за один цикл; φ – відносне поперечне звуження у відсотках, яке можна визначити за твердістю сталі за методикою [5].

Алгоритм розрахунку пошкодження

При статичному навантаженні:

1. Вимірюємо твердість НВ.
2. По НВ за таблицею визначаємо А, %, яке є $[\varepsilon_p]$.
3. За формулою (2) для відомого пружно-деформованого стану визначаємо параметр пошкодження ω .

При циклічному навантаженні:

1. Вимірюємо твердість НВ.
2. По НВ за таблицею визначаємо φ , %.
3. За формулою (3) визначаємо кількість циклів навантаження N_c до початку розтріскування.

При одночасній дії циклічного та статичного навантаження ресурс визначається за формулою

$$\sqrt{\left(\frac{n}{N_c} \right)^2 + \left(\frac{\omega}{[\omega]} \right)^2} \leq 1,$$

де n – кількість циклів навантаження, які були прикладені раніше; $m = n/N_c$ – параметр циклічного пошкодження.

При одночасній дії циклічного, статичного навантаження та процесу корозії ресурс визначається залежністю

$$\sqrt{\left(\frac{n}{N_c}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{[\omega]}\right)^2 + \left(\frac{y}{h_{\min}}\right)^2} \leq 1,$$

де y – глибина корозії, мм; h_{\min} – мінімально допустима товщина сталевго листа;

$$y/h_{\min} = \Psi,$$

де Ψ – геометричний параметр пошкодження.

Якщо відомі функції параметрів m, ω, Ψ у часі, то можна збудувати модель, яка визначає ресурс в параметрах часу

$$[\tau] = a_1 + a_2 \cdot m + a_3 \cdot \omega + a_4 \cdot \Psi.$$

Після проведених випробувань і знайдених значень $\Delta\tau_{KC}, \Delta\tau_{\alpha}, \Delta\tau_{ay}, [\tau], \Delta\tau_A, \Delta\tau_{\phi}, \Delta\tau_{K1C}, \Delta\tau_{\theta}$ визначають мінімальний залишковий ресурс із перелічених і на основі консервативного підходу його приймають як остаточно обґрунтований.

Результати механічних випробувань основного металу і зварних з'єднань повинні бути представлені у вигляді протоколів і додані до ЗПОБ. Для ефективного використання запропонованої методики визначення ресурсу сталевих конструкцій облицювання розробляються база даних «Ресурс» зі швидкостями усіх процесів старіння сталей для еталонних умов експлуатації та методика визначення швидкості старіння сталей у заданих режимах експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.* – М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – 64 с.
2. *ГОСТ 7268-82. Сталь. Методы определения склонности к механическому старению по испытаниям на ударный изгиб.* – М.:1982.
3. *ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатных и повышенных температурах.* – М.:1979.
4. *Верюжський Ю.В., Матченко Т.І., Дмитрієнко М.В., Рожновська О.С. Аналіз факторів пошкодження зварних з'єднань облицювання шахти реактора // Будівництво України. - 2005. - № 6. - С. 21 - 27.*
5. *РД ЭО 0027-94. Инструкция. Определение характеристик механических свойств металла оборудования АЭС безобразцовым методом по характеристикам твердости.* - 1994.
6. *Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій (затверджені наказом Державної адміністрації ядерного регулювання України № 63 від 9 грудня 1999 р. та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 6 березня 2000 р. за № 132/4353) (НП 306.1.02/1.034-2000).*
7. *Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій та дослідницьких ядерних реакторів (затверджені наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України № 2 від 9 січня 1998 р. та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 23 січня 1998 р. за № 47/2487) (НП 306.1.02/1.007-1998).*
8. *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev.1, INSAG-12.* - Vienna, 1999.
9. *Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants. Safety Guide No.NS-G-2.10.* - Vienna: IAEA, 1999.
10. *Implementation and Review of a Nuclear Power Plant Ageing Management Programme. Safety Report Series.* - Vienna: IAEA, 1999. - No. 15.
11. *Glossary of Nuclear Power Plant Ageing, OECD/NEA, 2001.*

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБЛИЦОВКИ
ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ**

Л. Б. Шамис, Т. И. Матченко, Л. Ф. Первушова

Приведены параметры, определяющие ресурс металлической облицовки. Предложены методика определения их критических значений и методика расчета, позволяющая определить остаточный ресурс сварных соединений облицовки хранилища отработанного ядерного топлива.

Ключевые слова: сварное соединение, ресурс, испытание, металлоконструкции.

**THE METHOD OF DETERMINATION OF THE RESIDUAL SERVICE LIFE
OF THE METAL COATING OF SPENT NUCLEAR FUEL STORAGE ACCORDING
TO THE RESULTS OF TESTS OF PIECES**

L. B. Shamis, T. I. Matchenko, L. F. Pervushova

The parameters, which define the resource of the metal coating, are fixed. The method of determination of their critical value and the engineering calculation method, which is used to calculate the residual service life of welded joints of the metal coating of the spent nuclear fuel storage, are suggested.

Keywords: welded joints, resource, tests, metal structures.

Надійшла до редакції 01.03.10