

РОЗВИТОК ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ З ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ АЕС (ОГЛЯД)

© 2011 р. Т. І. Матченко¹, О. Т. Матченко², Л. Б. Шаміс¹, Л. Ф. Первушова¹

¹ПАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ

²ЗАТ «Науково-технічний центр «Ресурс», Київ

Виконано аналіз існуючої методичної бази щодо визначення технічного стану та залишкового ресурсу будівельних конструкцій I і II категорії відповідальності. Визначено відсутні будівельні норми для оцінки стану і ресурсу будівельних конструкцій, розглянуто складові для вирішення цієї проблеми.

Ключові слова: ресурс, залізобетон, довговічність, методика.

Вступ

На теперішній час так склалося, що в Україні відсутні державні будівельні норми: оцінка довговічності сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації;

оцінка довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації;

оцінка довговічності ізоляційних виробів для конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації.

Існуючі нормативні документи [1 - 4] присвячені оцінці технічного стану будівельних конструкцій та захисту конструкції від корозії [5, 6]. На підставі визначення технічного стану можна визначити обґрунтованість та ефективність виконання ремонтних робіт.

При проектуванні відповідальних конструкцій АЕС зі строком експлуатації понад 100 років і при умовах ускладнення або неможливості виконання ремонтних робіт на етапі проектування необхідне розрахункове обґрунтування закладених у проекті конструктивних рішень і матеріалів, які гарантують нормальну експлуатацію протягом проектного ресурсу. Нормативної і методичної рекомендованої державою документації по оцінці довговічності будівельних конструкцій на сьогодні в Україні не існує.

Отже, нормативні документи з довговічності повинні мати класифікацію конструкцій за призначенням; визначення необхідних якостей конструкцій і матеріалів, необхідних для виконання свого призначення; визначення параметрів, які моделюють необхідні якості; викладення методик оцінки довговічності для кожного з параметрів.

Вважаємо, що проблема оцінки довговічності або визначення ресурсу споруд незважаючи на всю багатогранність може бути вирішена методом поступового наближення, при якому спочатку вирішуються частинні задачі розрахунку кінетики деградації для найбільш простих механізмів старіння та умов взаємодії, для яких накопичено значний експериментальний матеріал, а наступний крок - побудова більш складних моделей, що враховують багато факторів та їхній взаємний вплив на старіння з урахуванням умов пасивації або активації процесів і нелінійності процесів.

Застосування складних моделей деградації вимагає розробки розрахункового комплексу «Ресурс» та бази даних «Ресурс» швидкостей старіння, корозії і деградації всіх конструкційних матеріалів і бази даних усіх коефіцієнтів впливу на швидкості старіння.

Ступінь агресивності середовища по відношенню до бетону

Зараз ступінь агресивності середовища по відношенню до залізобетонних конструкцій оцінюється ступенем агресивності зовнішнього середовища по характеристикам клімату і її хімічного складу в відповідності з показниками, прийнятими в СНиП 2.03.11-85 і поділяється на три ступені агресивності: слабка, середня, сильна. У СНиП при оцінці ступеня агресивності прийнято середній строк служби 50 років. У практиці проектування доцільно вміти оці-

нювати деградацію конструкцій, що мають проектний ресурс до 25, 50, 100, 150 і 300 років. У зв'язку з цим доцільно розширити межу ступеня агресивності середовища, наприклад: відсутня, слабка, середня, сильна, надто сильна. Причому відповідно до проектного строку служби кожна ступінь агресивності середовища повинна відрізнятися за швидкістю деградації (1/рік) і не перевищувати значення параметра наприкінці експлуатації.

Основні положення оцінки залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій:

залишковий ресурс кожної залізобетонної конструкції визначається допустимим ресурсом окремих її елементів (бетону, повздовжньої і поперечної арматури, закладних деталей, анкерів, зварних з'єднань);

в основу оцінки залишкового ресурсу повинно бути покладено:

- індивідуальний підхід до прогнозування технічного стану конструкції і її елементів на необхідний термін;

- принцип визначення «безпечної експлуатації по технічному стану» конструкції;

- експертну оцінку технічного стану і залишкового ресурсу;

фізична (детерміністична) модель накопичення незворотних змін у конструкційних матеріалах бетону (наповнювач, цемент) або складових елементах (бетон, арматура).

Модель накопичення пошкоджень обґрунтується: точністю визначення параметрів; наявністю відповідної системи діагностування та контролю.

Розрахунок залишкового ресурсу будівельних конструкцій, що тривалий час експлуатуються й мають пошкодження, необхідно виконувати за аналізом швидкості деградації конструкцій за параметрами критичних станів.

При розрахунку залишкового ресурсу необхідно визначати:

швидкість зміни деформацій для металоконструкцій і швидкість зміни напружень для бетону (1a);

швидкість зміни форми конструкції (1b);

швидкість зміни положення конструкції (1c);

аналіз можливості переходу конструкції в змінну систему внаслідок зростання змін форми, положення, деформацій (1d);

швидкість зміни конфігурації (1e);

швидкість повзучості (1f);

швидкість зростання прогинів конструкції (2a);

швидкість зростання коливань конструкції (2b);

швидкість накопичення мікротріщин (2c);

швидкість зростання розкриття тріщин та їх довжини (2d);

швидкість корозії металу, сульфатизації бетону (2f).

Карта факторів впливів на поверхню

Карта факторів впливів на поверхню конструкції повинна містити таку інформацію:

середовище (газ, повітря, рідина, ґрунт);

перелік агресивних компонентів та їхні концентрації в середовищі;

перелік штамів мікробів, бацил, грибів та їхні концентрації;

електричний опір середовища;

інтенсивність сонячного опромінювання;

інтенсивність нейтронного та фотонного опромінювання;

температура середовища;

циклічність зволоження;

величина рухливих електричних токів.

Параметри деградації, за якими визначається ресурс бетону:

глибина сульфатизації поверхні конструкції, мм;

глибина карбонізації поверхні конструкції, мм;

густина накопичення мікротріщин, %;

густина накопичення пор, %;

накопичена деформація повзучості, %;
 відносне розбухання бетону, %;
 величина розкриття тріщин у бетоні ($a_{cr,1}$ і $a_{cr,2}$), мм;
 міцність бетону на стиск після довгострокової експлуатації R_r , МПа;
 ударна в'язкість бетону KCU , Дж/см²;
 динамічний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{1g} , МПа $\sqrt{м}$;
 в'язкість руйнування бетону K_{1c} , МПа $\sqrt{м}$.

Параметри деградації металу, за якими визначається ресурс арматури:

глибина поверхневої корозії, мм;
 глибина виразкової корозії, мм;
 зміна відносного здовження сталі, %;
 зміна відносного поперечного звуження сталі, %;
 кількість циклів навантаження, n ;
 зміна ударної в'язкості сталі, Дж/см².

Після визначення швидкості деградації матеріалів виконується розрахунок деградації елементів конструкції (закладних деталей, анкерів, зварних з'єднань тощо), а потім розрахунки конструкцій:

розрахунок швидкості деградації та залишкового ресурсу залізобетонної конструкції за перерізом, нормальному до повздовжньої осі елемента;

розрахунок швидкості деградації та залишкового ресурсу залізобетонної конструкції за перерізом, похилим до повздовжньої осі елемента;

розрахунок швидкості деградації бетону при місцевому стиску та його ресурсу;

розрахунок ресурсу закладних деталей;

розрахунок швидкості корозії зварних з'єднань арматури і закладних деталей;

розрахунок ресурсу повздовжньої та поперечної арматури при повторних навантаженнях та в агресивному середовищі при відкритих тріщинах в бетоні.

Конкретні параметри деградації будівельних конструкцій визначаються за категорією відповідальності конструкції, режимами навантаження, категоріями впливів, комбінаціями навантажень, що визначаються стандартами на проектування.

Алгоритм прогнозу строку служби бетону

Алгоритм прогнозу строку служби бетону в конструкціях споруд має такі етапи:

1. Установлюються експлуатаційні вимоги до ресурсу, найгіршому технічному стану та функціям, які повинна виконувати конструкція протягом експлуатації, критичні допустимі пошкодження за другою групою критичних станів.

2. Установлюються критичні характеристики експлуатаційної придатності матеріалів, що складають залізобетон, а також матеріалів, що захищають бетон від середовища.

3. Установлюються елементарні поверхні на конструкції за однаковими комбінаціями впливів.

4. Установлюється передбачений вид і розмір кожного фактора пошкодження з комбінації факторів для кожної елементарної поверхні.

5. Приймаються або визначаються характеристики матеріалу, для якого дається прогноз строку служби.

6. Із бази механізмів пошкодження вибираються ті, що характерні для факторів впливів, і вибираються методики, за якими необхідно вести розрахунки.

7. Розробляється математична модель пошкодження залізобетону, яка включає в себе швидкості деградації за кожним фактором, коефіцієнти впливу інтенсивності цих факторів.

8. Розробляється модель зміни інтенсивності усіх факторів у часі для поверхні, що розглядається, тобто історія впливів.

9. Із бази даних вилучається інформація про швидкості деградації і коефіцієнти впливу у відповідності з історією впливів.
10. Будуються сценарії деградації.
11. Прогнозується строк служби залізобетону на поверхні.
12. Прогнозується строк служби конструкції.
13. Прогнозується строк служби споруди.

Алгоритм визначення залишкового ресурсу залізобетонної конструкції приведений на рисунку нижче.



Алгоритм визначення залишкового ресурсу.

Параметри, за якими ведеться розрахунок залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій (ЗБК)

Контрольовані параметри

Параметри міцності, тріщиностійкості, деформаційного ресурсу бетону і арматури

Параметри довговічності (ресурсу) ЗБК

- Швидкості зміни в часі (τ):
- міцності бетону $R_b(\tau)$;
 - модуля пружності бетону $E_b(\tau)$;
 - міцності арматури $R_s(\tau)$;
 - відносного здовження при розриві арматури $A(\tau)$;
 - відносного звуження при розриві арматури $Z(\tau)$;

	<ul style="list-style-type: none"> - щільності енергії ударної в'язкості арматури з виточкою у вигляді $U - KCU(\tau)$; - щільності енергії ударної в'язкості арматури з виточкою у вигляді $V - KCV(\tau)$; - критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) арматури $K_{IC}(\tau)$; - критичного КІН арматури при динамічному навантаженні $K_{Ig}(\tau)$
Захисний шар бетону a_{zu}	<p>Швидкості зміни в часі (τ):</p> <ul style="list-style-type: none"> - накопичення пошкоджень (ω) захисного шару $a_{zu}(1 - \omega(\tau))$; - глибини карбонізації (y_k) захисного шару $y_k(\tau)$; - розтріскування (N) захисного шару з критичною шириною розкриття тріщин на 1м.п. довжини ЗБК $N(\tau)$; - сумарного розкриття всіх тріщин на 1м.п. довжини ЗБК $\sum_{i=1}^n a_{crc}(\tau)$
Структура бетону для ЗБК, що належать до I категорії відповідальності	<p>Швидкість і історія зміни параметрів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - об'ємна маса CaO (τ) ; - пористість $\Pi(\tau)$; - зчеплення цементного каменю з заповнювачем $\psi(\tau)$
Радіаційний фон для ЗБК, що належить до I категорії відповідальності	Історія зміни потужності експлуатаційного нейтронного потоку на поверхню ЗБК та його інтегральна величина за весь період експлуатації $\varphi(\tau)$, $\Phi(\tau)$
Режим навантаження ЗБК	Історія зміни: <ul style="list-style-type: none"> - температури $T^\circ(\tau)$; - циклів навантаження $N(\tau)$; - деформацій усадки $\varepsilon_{sh}(\tau)$; - деформацій повзучості з мірою $\varphi_n(\tau)$
Тріщини	Місця виникнення і розвитку тріщин: <ul style="list-style-type: none"> - нормальних $l(\tau)$, $a_{crc}(\tau)$; - похилих $l(\tau)$, $a_{crc}(\tau)$; - уздовж розтягнутої арматури $l(\tau)$; - уздовж стиснутої арматури $l(\tau)$
Схема армування конструкції	Історія (сценарій): <ul style="list-style-type: none"> - зміни положення арматури внаслідок втрати стійкості стиснутих стержнів, порушення зчеплення з бетоном при руйнації захисного шару; - швидкості зростання ексцентриситетів і моментів внаслідок зростання викривлення ЗБК
Кліматичний район	Історія зміни параметрів впливу на ресурс
Схема діючих навантажень і технологічних впливів	Історія (у часі) зміни навантажень і впливів та програма (у часі) подальшого режиму навантаження
Хімічні забруднення ділянок ЗБК	Час впливу (τ): <ul style="list-style-type: none"> - насичення олією; - хімічними речовинами
Прогини, нахили і викривлення ЗБК	Швидкість зростання: <ul style="list-style-type: none"> - прогинів $w(\tau)$; - кута нахилів $\gamma(\tau)$; - радіуса викривлення $r(\tau)$
Корозія бетону	Швидкість зростання ділянки враженого бетону $V(\tau)$
Корозія арматури	Швидкість корозії: <ul style="list-style-type: none"> - робочої арматури; - зварних з'єднань арматури;

Захисні покриття бетону, арматури, закладних деталей	- конструктивної арматури Швидкість деградації та паспортний ресурс захисних покриттів
Стики між конструкціями та закладні деталі ЗБК	Швидкість корозії катета шва: - зварних з'єднань; - зубів різьбових з'єднань; - поверхонь шайб та головок болтів; - карбонізація та корозія бетону призми відриву закладних деталей

Для побудови моделі деградації захисного шару бетону, а потім арматури ЗБК необхідно знати, унаслідок яких процесів відбулося пошкодження захисного шару бетону.

Причини виникнення тріщин у конструкціях

Вид ЗБК, місце розташування тріщин	Причини виникнення тріщин
Колони: горизонтальні по висоті колони	Випадковий короткочасний згин внаслідок динамічного навантаження
Колони: вертикальні поблизу ребер або на гранях	Надмірний вигин стержнів робочої арматури у зв'язку з рідко встановленими хомутами
Балки і прогони: похилі тріщини на при опорних зонах	Недостатня несуча здатність по поперечній силі або недостатня анкерування вздовж стержнів на опорі; повзучість бетону
Балки і прогони: вертикальні і похилі в прольотах	Недостатня несуча здатність на сприйняття згинаючого моменту; повзучість бетону; температурні коливання
Балки і прогони: горизонтальні вздовж арматурних стержнів	Для стиснутої зони: - надмірний згин стержнів робочої арматури у зв'язку з втратою їхньої стійкості; - порушення зчеплення арматури та бетону; - значні термічні розширення арматури
Плити: тріщини спрямовані перпендикулярно до робочого прольоту по середині плити	Для розтягнутої зони: - значні термічні розширення арматури; - при бетонуванні конструкції арматурні стержні були нерівні (мали вигини); - враження бетону грибок; - випадкове динамічне навантаження; - недостатня несуча здатність; - повзучість бетону
Плити: радіальні і кільцеві по середині плити	Місце зосередженого динамічного удару; місце корозії бетону від розлитих хімічних речовин; надмірні прогини; повзучість бетону
Плити: на опорних ділянках	Недостатнє армування; осадка опори
Плити: тріщини вздовж арматурних стержнів	Для ЗБК у вологому стані внаслідок корозії арматури і збільшення об'єму продуктів корозії; ураження бетону грибок
Монолітні стіни: вертикальні і похилі тріщини одиночного характеру протяжністю на всю висоту стіни	Нерівномірна осадка фундаменту
Монолітні стіни: вертикальні і похилі тріщини одиночного характеру незначною протяжністю, хаотичні	Унаслідок усадки бетону

Авторами отримано співвідношення, що описують фізико-хімічні закономірності кінетики бетону залежно від кількості агресивних компонент, які проникають у бетон у газових, рідинних середовищах та в ґрунті [9 - 11, 18, 19, 22].

Співвідношення описують зміну в часі міцності [9], морозостійкості [21], пористості, фільтрації або водопроникності бетону [19].

На підставі цієї методології розроблено спрощені інженерні методики для розрахунків довговічності бетону в умовах корозії вилуговування, кислотної корозії, сульфатної корозії, зміни в часі морозостійкості бетону.

Для вирішення поставленої задачі розроблено модель деградації бетонів, яка ґрунтується на розрахунках накопичених пошкоджень від окремих факторів впливу і відповідно процесів деградації, також розроблено модель накопичення пошкоджень у сталевій арматурі від усіх впливів і модель, що дає змогу виконувати розрахунки будь-якого залізобетонного перерізу в будь-який час експлуатації та визначати його міцність і прогнозований ресурс із заданою надійністю для визначеного допустимого технічного стану.

Відповідно до цілі роботи розроблено інженерні методики визначення ресурсу бетону для процесів деградації:

- карбонізація в газах і на повітрі [9-11];
- корозія в рідинах I виду [18];
- корозія в рідинах II виду;
- корозія в рідинах III виду;
- корозія в нейтронних потоках [12];
- корозія від кліматичних впливів [8];
- деградація від циклічного навантаження;
- деградація від повзучості [9].

Також розроблено методики визначення ресурсу сталеві арматури та її зварних з'єднань для процесів деградації:

- вичерпання ресурсу при циклічному навантаженні [15];
- циклічна тріщиностійкість;
- поверхнева корозія [13];
- деформаційне старіння [15];
- термічне старіння;
- динамічне старіння.

Розроблено методику визначення ресурсу захисного шару бетону, що руйнується продуктами корозії арматури.

Методика визначення ресурсу закладних деталей залізобетонних конструкцій викладена в роботах [14 - 16].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Нормативные* документи по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений. – К.: Госстрой Украины, 2003.
2. *НПАОП 45.2-1.01-98* Правила обстеження, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд. Держбуд України. – К., 1998.
3. *Положение* о безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений.
4. *ДБН 362-92* Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації.
5. *СНиП 2.03.11-85* Защита строительных конструкций от коррозии. Государственный комитет СССР по делам строительства. – М., 1986.
6. *ВСН 214-85/ММСС СССР* Сборник конструкций по защите от коррозии. ЦБНТИ, М., 1984. - 242 с.
7. *Матченко Т.І.* Визначення і вдосконалення правил та норм в атомній енергетиці з продовження залишкового ресурс будівельних металевих конструкцій // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського. –2008. - Вип. 2. - С. 110 - 128.
8. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку довговічності залізобетонних конструкцій, що знаходяться під впливом атмосферних опадів // Будівництво України. - 2009. - № 9-10. - С. 35 - 38.

9. *Матченко П.Т.* Інженерна методика визначення залишкового ресурсу бетону // Будівництво України. - 2009. - № 5. - С. 36 - 37.
10. *Матченко Т.І., Матченко П.Т., Куніченко А.О.* Методика визначення залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій сховища відпрацьованого ядерного палива на ЧАЕС // Там же. - 2008. - № 6. - С. 33 - 39
11. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку залишкового ресурсу захисного шару бетону робочої арматури залізобетонних конструкцій, що експлуатуються // Там же. - 2010. - № 2. - С. 36 - 40.
12. *Матченко П.Т.* Методика розрахунку ресурсу бетону, що накопичує теплові нейтрони // Там же. - № 1. - С. 30 - 34.
13. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку залишкового ресурсу сталеві арматури в корозійному середовищі // Там же. - № 3. - С. 30 - 32.
14. *Матченко Т.І.* Методика визначення запасу міцності зварних з'єднань опорної ферми реактора після довгострокової експлуатації // Там же. - 2007. - № 9. - С. 30 - 32.
15. *Матченко П.Т.* Методика розрахунку залишкового ресурсу сталеві арматури циклічно навантажених залізобетонних конструкцій, що експлуатуються // Там же. - 2009. - № 1-2. - С. 44 - 47.
16. *Матченко Т.І.* Визначення швидкості корозії закладних деталей шахти реактора // Там же. - 2008. - № 4. - С. 36 - 38.
17. *Матченко Т.І.* Використання теорії графів у методі експертних оцінок визначення залишкового ресурсу захисної оболонки реактора // Там же. - 2007. - № 7. - С. 41 - 43.
18. *Матченко Т.І., Матченко П.Т., Рожновська О.С.* Визначення швидкості протікання борної води крізь залізобетонну оболонку шахти реактора // Там же. - 2006. - № 2. - С. 43 - 46.
19. *Матченко П.Т.* Методика оцінки довговічності залізобетонних конструкцій, що працюють в ґрунті // Будівельні конструкції. - 2010. - Вип. 73. - С. 671 - 628.
20. *Матченко П.Т.* Методика визначення деформаційного ресурсу арматурних сталей за результатами випробувань зразків // Будівництво України. - 2010. - № 4. - С. 41 - 47.
21. *Матченко П.Т.* Методика прогнозування проектної та залишкової морозостійкості залізобетонних конструкцій // Там же. - № 6. - С. 31 - 37.
22. *Матченко П.Т.* Методика оцінки довговічності залізобетонних конструкцій, що працюють в агресивних рідинах // Там же. - 2011. - № 1. - С. 36 - 39.

РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЭС

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

Выполнен анализ существующей методической базы по определению технического состояния и остаточного ресурса строительных конструкций 1 и 2 категории ответственности. Определены отсутствующие строительные нормативные документы для оценки состояния и ресурса строительных конструкций, рассмотрены составляющие для решения этой проблемы.

Ключевые слова: ресурс, железобетон, долговечность, методика.

DEVELOPMENT AND ADVANCE OF METHODOLOGICAL BASIS OF THE DETERMINATION OF REMAINING LIFE OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION OF NPP

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

The analysis is made of the existing methodological basis on determination of the technical state and residual service life of building constructions with categories of responsibility 1 and 2. The absent norms parameters for estimation of the state and service life of constructions are determined. Components for the decision of this problem are analyzed also.

Keywords: resource, reinforced concrete, durability, methodology.

Надійшла до редакції 08.02.11