

6. Основные возможности Moodle [Электронный ресурс] / MoodleLearn. – Режим доступа: <http://moodlelearn.ru/mod/page/view.php?id=174>
7. Система WebTutor [Электронный ресурс] / WebSoft. – Режим доступа: http://www.websoft.ru/db/wb/root_id/webtutor/doc.html
8. LMS eLearning Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://refdb.ru/look/2705407-p3.html>
9. Сравнение Adobe Captivate 9, Articulate Storyline 2 и iSpring Suite 8.3 [Электронный ресурс] / iSpring. – Режим доступа: <http://www.ispring.ru/elearning-insights/adobe-captivate-9-vs-articulate-storyline-2-vs-ispring-suite-8/>
10. Сравнение iSpring Suite 8.3 vs. Articulate Studio 13 vs. Adobe Presenter 11 [Электронный ресурс] / iSpring. – Режим доступа: <http://www.ispring.ru/elearning-insights/ispring-suite-vs-articulate-studio-and-adobe-presenter/>
11. Готская, И. Б. Аналитическая записка «Выбор системы дистанционного обучения» [Электронный ресурс] / И. Б. Готская, В. М. Жучков, А. В. Кораблев. – Режим доступа: <https://refdb.ru/look/2705407.html>
12. Пушкар, О. І. Формалізація процесу розроблення педагогічного сценарію електронного навчання [Текст] / О. І. Пушкар, В. В. Браткевич, І. В. Литовченко // ScienceRise. – 2016. – Т. 10, № 2 (27). – С. 34–41. doi: 10.15587/2313-8416.2016.80472
13. The Super Decisions is decision support software that implements the AHP and ANP [Electronic resource]. – Available at: <https://www.superdecisions.com/>

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Удовенко С. Г.
Дата надходження рукопису 29.09.2017

Пушкар Олександр Іванович, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра комп'ютерних систем і технологій, Харківський Національний економічний університет імені Семена Кузнеця, пр. Науки, 9-а, м. Харків, Україна, 61166
E-mail: aipvt@ukr.net

Браткевич Вячеслав Вячеславович, кандидат технічних наук, професор, доцент, кафедра комп'ютерних систем і технологій, Харківський Національний економічний університет імені Семена Кузнеця, пр. Науки, 9-а, м. Харків, Україна, 61166
E-mail: vvb1944@yandex.ua

Самойленко Олеся Віталіївна, кафедра комп'ютерних систем і технологій, Харківський Національний економічний університет імені Семена Кузнеця, пр. Науки, 9-а, м. Харків, Україна, 61166
E-mail: Dilfa@ukr.net

УДК 69.05

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.116444

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

© С. В. Колесніченко, Ю. В. Селютін, І. Ю. Черних, К. Б. Мнацаканян

Виконано дослідження проблем експлуатації складних інженерних систем, будівель і споруд виконаних зі сталевих конструкцій. Запропонована оцінка та прогнозування залишкового ресурсу, аналіз ризиків подальшої експлуатації сталевих конструкцій, які отримали пошкодження в процесі експлуатації. Запропоновано враховувати розвиток в часі виявлених і виконувати облік не виявлених під час технічного обстеження дефектів і пошкоджень сталевих конструкцій. Пропонується розроблений алгоритм чисельного розрахунку залишкового ресурсу сталевих конструкцій імовірнісним або детермінованим методами.

Ключові слова: сталеві конструкції, дефект, пошкодження, залишковий ресурс, технічний стан, ризики, безпека

1. Вступ

Задачею безаварійної експлуатації будівельних сталевих конструкцій є розрахунок залишкового ресурсу на підставі результатів, що отримано під час технічного обстеження та оцінки технічного стану.

Сучасна концепція експлуатації складних інженерних систем, до яких можна віднести будівлі і споруди, передбачає перехід від поняття «абсолютна безпека» до поняття «прийнятний ризик». Для цього необхідно виконання аналізу ризиків та розробка системи з керуванням ризиків, тобто зниженню ризиків до прийнятного рівня.

Розрахунок залишкового ресурсу виконується шляхом уточнення діючих навантажень, розрахункової схеми, виявлених дефектів та пошкоджень (ДП) з урахуванням їх розвитку у часі. Однак, завжди існує ймовірність того, що під час обстеження деяка частина ДП не буде виявлена, їхня кількість, розподіл та місцезнаходження буде невідомо. Крім того, навіть для прогнозованих ДП, можливе їх спонтанний неконтрольований розвиток під час несанкціонованого суб'єктивного змінення проектних параметрів функціонування системи «вузол – конструкція – будівля – навантаження – матеріал – розрахункова схема» у те-

рміни між плановими обстеженнями під час проектного, призначеного або залишкового ресурсів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

Останнім часом в Україні проблемі визначення залишкового ресурсу приділяється достатньо уваги, особливо у рамках комплексної програми НАНУ «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», де здійснюється координація робіт як для об'єктів підвищеної небезпеки, так і для звичайних будівель і споруд. Програму було започатковано після виходу відповідної Постанови КМУ [1]. В подальшому, у роботі [2], проблеми концептуального забезпечення надійності і визначення залишкового ресурсу було систематизовано, а у роботі [3] запроваджено практичні методики визначення ризиків експлуатації та ресурсу на прикладі магістральних трубопроводів. Вся термінологія та визначення прийняті за вимогами [4, 5].

Однак, незважаючи на значну кількість публікацій з проблеми ризик-аналізу, більшість з них присвячена економічним аспектам оцінювання можливого збитку, проблемі планування і організації робіт, розробки рекомендацій з безпечної експлуатації в умовах реалізації заходів із зниження ризику [6, 7]. Маловивченим при оцінюванні ризиків експлуатованих сталевих конструкцій залишається проблема аналізу виявлених ДП, прогнозування їх розвитку, можливий облік не знайдених ДП під час обстеження.

3. Мета та задачі досліджень

Мета дослідження – надати методику ризик-аналізу експлуатації будівельних сталевих конструкцій, у якій основними факторами небезпеки є імовірність їх руйнування з урахуванням виявлених та невиявлених дефектів і пошкоджень.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Визначити групи типових ситуацій розрахунків залишкового ресурсу в залежності від параметрів технічного стану об'єкту.
2. Запропонувати загальну методику ризик-аналізу з урахуванням визначених та невизначених ДП.
3. Визначити схеми зміни залишкового ресурсу в залежності від типу системи: невідновлювальна, частково відновлювальна, повністю відновлювальна.

4. Визначення ризику безпечної експлуатації конструкцій

За результатами обстежень повинна бути сформована база ДП, та на її основі розраховані якісні та кількісні показники експлуатаційної придатності об'єкту – параметри технічного стану – ПТС, та визначена можливість продовження ресурсу. Це завжди пов'язано із відповідним ризиком. Можливі декілька причин відмов:

1. Змінення (погіршення) параметрів конструктивної безпеки. Сюди відносяться:
 - розвиток у часі виявлених ДП, відповідні параметри технічного стану, які можуть перевищити граничні, та перейти у небезпечні;

- реалізація прихованих ДП, виявити які під час обстеження не вдалось;
- 2. Змінення (погіршення) організаційно-технічних показників;
- 3. Погіршення показників природного впливу;
- 4. Вплив показників технології та виробництва на стан будівельних конструкцій.

Під час визначення залишкового ресурсу за імовірносними розрахунками, розглядається декілька груп типових ситуацій, що характеризуються взаємозв'язками та наявністю інформації між прямими та непрямими параметрами системи, результатами періодичної зміни параметрів, а також результатами натурного експерименту. З урахуванням вартості робіт з технічного обслуговування та ремонту, визначаються коефіцієнти готовності та придатності конструкції до утримання.

Перша група характеризується наявністю наступної інформації:

- визначено тип функції F , що являє зв'язок між прямими та непрямими параметрами системи, всі коефіцієнти та дисперсії цих коефіцієнтів;
 - визначено результати періодичних вимірювань кожного непрямого параметру;
- Друга група типових ситуацій характеризується наступною інформацією:
- визначено тип функції F , коефіцієнти невідомі;
 - маємо результати періодичних вимірювань непрямих параметрів а також результати експерименту, в процесі якого виконується одночасне вимірювання прямих та непрямих ПТС.

Третя група типових ситуацій характеризується наступною інформацією:

- функція F монотонна та безперервна (невідомий загальний вигляд);
 - маємо результати експерименту.
- Використовується ДМ-розподілення, прогнозується інтервальне чи точкове оцінювання ресурсу [6–8].

Загальна методологія ризик-аналізу полягає у наступних послідовних діях [9]:

- планування та організації робіт;
- ідентифікація небезпек та реципієнтів ризику;
- оцінювання ризику;
- розрахунок збитків;
- розробка рекомендацій щодо зменшення ризику.

Зупинимось детальніше на визначенні безпеки об'єкту – оцінювання ризику – послідовності логічних кроків, що дозволяють забезпечити систематичним чином розгляд факторів небезпеки. Основою для оцінювання ризику R є функціонал F , що пов'язує вірогідність P виникнення несприятливої події та математичне очікування збитку U від цієї несприятливої події:

$$R = F_R \{U, P\} = \sum_i [F_{R_i}(U_i, P_i)] = \int C(U)P(U)dU = \int C(P)U(P)dP, \quad (1)$$

де i – вид несприятливої події; C – функція ваги, що враховує взаємний вплив ризиків.

У загальному випадку, для кількісного і якісного аналізу ризиків за формулою (1) на базі досліджень складних динамічних нелінійних небезпечних процесів (виникнення пошкоджень, відмов, руйнувань та аварій) здійснюється побудова фізичних та математичних моделей об'єктів. У моделях повинно виконуватися диференціювання погроз, що складають окремі види небезпеки (локальні ризики), так і погрози комплексні небезпеки за відповідними поєднаннями та видам небезпеки (глобальний ризик).

В цих моделях та сценаріях виникнення та розвиток несприятливих подій використовуються як задані, так і розраховані та постульовані небезпечні процеси, що мають розвиток у часі t . За таким підходом використовуються часові шкали ризиків $R(t)$.

Умова безпеки тоді записується у вигляді:

$$\{R, R_{F,t}\} \leq \{[R], [R_{F,t}]\}, \quad (2)$$

де $R_{F,t}$ – значення ризиків для заданої точки F та часу t ; $[R]$ $[R_{F,t}]$ – максимально припустиме значення ризиків.

В процесі виконання обстеження конструкцій завжди існує імовірність того, що частка ДП буде не визначена. Сюди можна віднести корозійні ДП, тріщини, неповарені зварні шви та основний метал у підкранових балках, листових конструкціях резервуарів, силосів, бункерів, трубопроводів, великопрогонних покриттів. Якщо у якості можливості існування ДП взяти товщину сталі або зварного шва d , то кількість цих ДП, їх розподіл по товщині сталі та місцезнаходження невідомі. Для прогнозування існування невизначених недоліків можна використовувати інформацію про ті ДП, що визначені. На підставі встановлених розмірів ДП визначається небезпека кожного з них.

Нехай:

– $K_{oi}(d_i)$ – загальна кількість дефектів (пошкоджень) i -го найменування, що розподілені за товщиною металу d_i ;

– $K_{ni}(d_i)$ – кількість невиявлених дефектів (пошкоджень) i -го найменування, що розподілені за товщиною металу d_i ;

– $K_{vi}(d_i)$ – кількість виявлених дефектів (пошкоджень) i -го найменування, що розподілені за товщиною металу d_i ;

Для тріщини, недоліків зварних швів та корозійних ДП, імовірність їх визначення для j -тої товщини металу можна описати як [3,10,11]:

$$P(d_j) = 1 - e^{-\mu d_j}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт, що характеризує параметри розподілення.

Загальна кількість всіх i -тих ДП (виявлених і невиявлених) на j -тій товщині:

$$K_{oi}(d_j) = \frac{K_{vi}(d_j)}{P(d_j)}. \quad (4)$$

Тоді відповідна кількість невиявлених i -тих ДП, що розподілені на j -тій товщині:

$$K_{ni}(d_j) = K_{oi}(d_j)(1 - P(d_j)). \quad (5)$$

Загальна кількість невиявлених ДП для всіх товщин:

$$K_n = \sum_j K_{ni}(d_j). \quad (6)$$

Імовірність руйнування z -за гіпотетичного (невиявленого) ДП визначається множенням імовірності кількості таких ДП на імовірність руйнування від одиничного ДП для t_i , що визначається розрахунковим шляхом. Якщо потрібно оцінити імовірність руйнування за усім діапазоном товщин, то імовірності складаються.

Окремою проблемою може стати визначення критичних розмірів ДП, при яких можливе руйнування усїєї конструкції (глобальне руйнування) або локальне руйнування. У якості початкової інформації як детерміновані показники, можна використовувати параметри критичних значень ДП за [10]. Для розрахунків залишкового ресурсу потрібні чіткі безперервні моделі, що є функцією часу. У цьому випадку, наприклад для розрахунків швидкості корозійних руйнувань, можна використовувати залежності, що систематизовано у [13].

Після визначення критичних розмірів ДП, можна надати оцінку глобального або локального руйнування:

$$\sigma_0 \geq k \times \sigma_R, \quad (7)$$

де σ_R – гранична несуча здатність конструкції; $k=f(R_v, t_i, z)$; z – критичний розмір ДП. Наприклад, ДП з параметрами, що належать до категорій «А» та «Б» [10].

Кількість виявлених ДП, що можуть привести до реальних руйнувань – $K_{вр}$, визначається на підставі результатів обстеження та розрахунків.

Далі можна визначити кількість невиявлених ДП, що можуть привести до руйнувань:

$$K_{нр} = K_n \cdot (K_{вр}/K_v). \quad (8)$$

Загальна кількість ДП, що є критичними з позиції руйнування конструкції буде:

$$K_p = K_{вр} + K_{нр}. \quad (9)$$

Наприклад, для корозійних ДП, в яких на період обстеження розміри досягли критичні значення, можна визначити швидкість їх зростання через T років після виявлення. Вважаючи, що швидкість розповсюдження корозії визначається нормальним, Гаусовим розподілом, щільність імовірності буде мати вигляд:

$$\varphi(T, z) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(z-m)^2/2\sigma^2}, \quad (10)$$

де m – математичне очікування ДП із критичний розміром z ; σ – середньоквадратичне відхилення.

Де глибина дефекту є нормально розподіленою величиною з параметрами:

$$m = d + Tv_d \sigma = \sqrt{\sigma^2 + T^2 \sigma_v^2}, \quad (11)$$

де d – вимірне значення критичного параметру; v_d – швидкість зростання корозійного ДП; σ – середньоквадратичне відхилення початково визначеного розміру ДП; σ_v – середньоквадратичне відхилення швидкості зростання ДП.

Для визначення розмірів ДП у вигляді тріщини та недосконаостей зварних швів (незворотні процеси деградації) можна використовувати показники дифузійного монотонного розподілення – DM – розподілення. Імовірність того, що через T років визначений ДП придбає критичне значення z із можливим руйнуванням конструкції має вигляд:

$$P_{KP,B}(T, z) = \int_d^z \phi(T, z) dz. \quad (12)$$

Для незалежних гіпотетичних, невиявлених ДП, питома імовірність руйнування конструкції розраховується як:

$$P_{KP,H}(T, z) = 1 - \left[(1 - (P_{KPI}(T_1 d_{KPI})^{k_1}) \times \dots \times (1 - (P_{KPI}(T_i d_{KPI})^{k_i})) \right].$$

$$I_{кр,н}(T, z) = \frac{1 - (1 - I_{кр1}(T_1 t_{кр1})^{k_1(t_1)}) \dots (1 - I_{кр1}(T_i t_{кр1})^{k_i(t_i)})}{Z}, \quad (13)$$

де k – поправочний коефіцієнт окремого ДП, що, наприклад, може характеризувати його питому значущість. Для загального випадку $k=1$; $1 \dots i$ – загальна кількість гіпотетичних, невиявлених ДП.

Базуючись на (2), ризик руйнування всієї конструкції визначається як:

$$F_R(T, z) = U(Z) \times \left(\sum_i P_{KP,B}(T, z) + \sum_i P_{KP,H}(T, z) \right), \quad (14)$$

де $U(Z)$ – збиток від руйнування, що розрахований за економічними критеріями.

Отриманий за формулою (14) ризик подальшої експлуатації конструкції з виявленими та гіпотетичними ДП, дозволяє розрахувати їх залишковий ресурс. В даній ситуації з'являється реальна можливість реалізації системи управління ризиками через механізм їх переоцінювання після виконання ремонтних робіт і регулярного обстеження та паспортизації.

В усі формули визначення ризику безпечної експлуатації так чи інакше входить час T – у вигляді часу розвитку небезпечних процесів – часу до руйнування, часу придбання ДП критичних значень, інше. Фактично, це є не що інше, як залишковий ресурс,

або час, який легко можна співвіднести із залишковим ресурсом.

5. Результати дослідження та прогнозування залишкового ресурсу для різних систем

Розрахунок залишкового ресурсу можна виконувати тільки на підставі даних параметрів технічного стану (ПТС) системи як для кожної окремої конструкції так і будівлі (споруди) в цілому. Якщо вважати, що однією с задач утримання будівлі є розрахунок залишкового ресурсу, ПТС будуть відрізнятися від початкових проектних. ПТС стають основою для подальшого моніторингу об'єкту з урахуванням фактичного стану та створення прогнозних моделей подальшої експлуатації складної системи.

ПТС об'єкта, що визначені до введення його в експлуатацію (час T_0), приймаються як початкові – Y_0 для розрахунків початкового (проектного) ресурсу. Прогнозування залишкового ресурсу для невідновлювальних систем (сюди можна віднести деякі конструкції, відновлення експлуатаційних властивостей яких повністю неможливо або недоцільно) може бути представлено графіком на рис. 1.

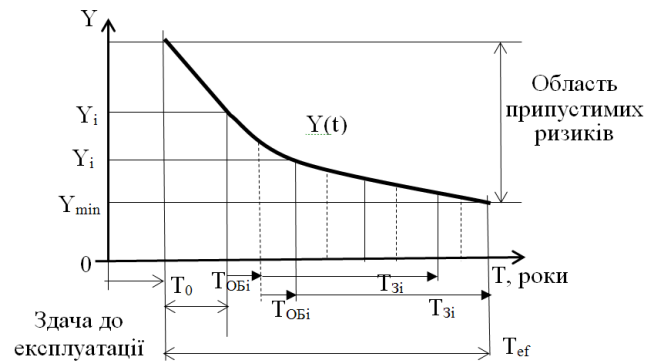


Рис. 1. Прогнозування залишкового ресурсу невідновлювальної системи: T_0 – початок експлуатації системи; $T_{еф}$ – термін експлуатації (проектний ресурс); T_B – термін до першого планового обстеження (гарантований ресурс); $T_З$ – залишковий ресурс; $T_{Об}$ – термін наступного обстеження; $Y_{0(max)}$ – ПТС в момент початку експлуатації системи; Y_i – i -те поточне визначене значення ПТС; $Y_{(min)}$ – мінімальне граничне значення ПТС; $Y(t)$ – залежність змінення ПТС у часі

Після задачі об'єкта в експлуатацію – T_0 , він має набір початкових $Y_{0(max)}$ ПТС із максимальними (найкращими) або близькими до максимальних значеннями. Цей набір визначається на підставі даних проекту та результатів обстеження по завершенню будівництва об'єкта.

Після терміну T_B виконується перше планове обстеження. З урахуванням $Y_{0(max)}$ визначаються Y_i поточні значення ПТС. З урахуванням часу, що вплинув з початку експлуатації, можливе визначення деяких прогнозних моделей розвитку дефектів та пошкоджень (корозійний знос, зміна навантажень). У межах проектного терміну експлуатації $T_{еф}$, призначається дата наступного планового обстеження та підтверджується залишковий ресурс $T_З$ у межах проектного $T_{еф}$. Такі процедури повинні виконуватися декі-

лька разів до повного вичерпання T_{ef} . Після цього об'єкт ліквідується. Прикладом таких конструкцій можуть бути тимчасові споруди та підкранові балки під великі динамічні навантаження, листові конструкції, інші конструкції капітальний ремонт яких робити недоцільно за економічними показниками або за критеріями втоми сталі.

Для повністю відновлювальних систем змінення ПТС та визначення залишкового ресурсу наведено на рис. 2. До таких конструкцій можна віднести невідповідальні сталеві конструкції, конструкції, що експлуатуються в неагресивному середовищі та без динамічних навантажень.

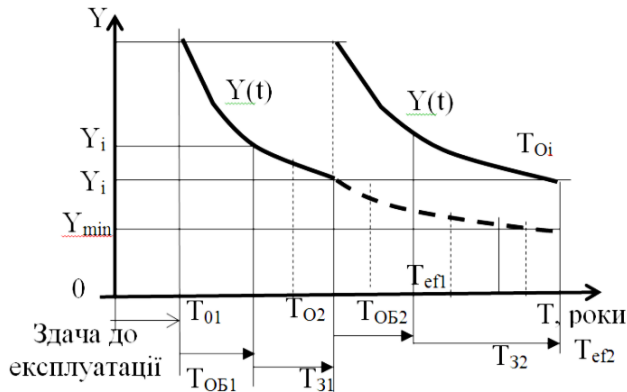


Рис. 2. Визначення залишкового ресурсу повністю відновлювальних сталевих конструкцій. T_{ef} – термін експлуатації (проектний ресурс); T_B – термін до першого планового обстеження (гарантований ресурс); T_3 – залишковий ресурс; T_{OB} – термін наступного обстеження; $Y_{0(max)}$ – ПТС в момент початку експлуатації системи; Y_i – i -те поточне значення ПТС; $Y_{(min)}$ – мінімальне граничне значення ПТС; $Y(t)$ – залежність змінення ПТС у часі

Як і для першого випадку, після здачі об'єкта в експлуатацію, визначається набір початкових $Y_{0(max)}$ ПТС. Після терміну T_B виконується перше планове обстеження. З урахуванням $Y_{0(max)}$ визначаються Y_i поточні значення ПТС. Але, визначений залишковий ресурс T_3 є часом до проведення відновлювального ремонту (капітального або поточного), після якого всі ПТС теоретично повертаються до своїх проектних значень.

Під час обстеження конструкцій не завжди можливо визначити та урахувати всі дефекти та пошкодження, зміни властивостей матеріалів та навантажень. Загальний вигляд графіку залишкового ресурсу (більшість сталевих конструкцій) в такому разі буде мати вигляд, що наведено на рис. 3.

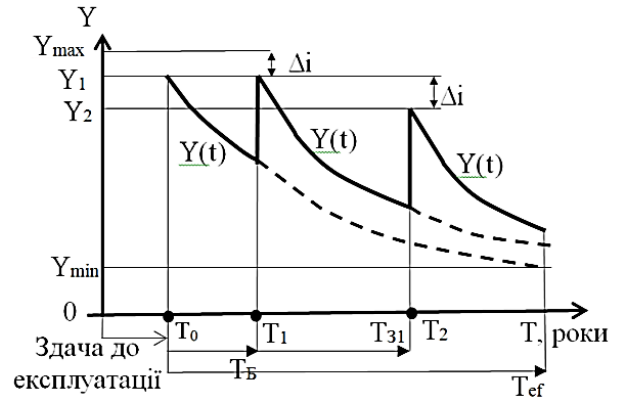


Рис. 3. Визначення залишкового ресурсу частково відновлювальних сталевих конструкцій: Δi – величина зміни ПТС у часі, T_{ef} – термін експлуатації (проектний ресурс); T_B – термін до першого планового обстеження (гарантований ресурс); T_3 – залишковий ресурс; T_{OB} – термін наступного обстеження; $Y_{0(max)}$ – ПТС в момент початку експлуатації системи; Y_i – i -те поточне значення ПТС; $Y_{(min)}$ – мінімальне граничне значення ПТС; $Y(t)$ – залежність змінення ПТС у часі

Головною відмінністю графіку на рис. 3 від графіку на рис. 2 полягає у існуванні зміни (зниження корисних властивостей) ПТС на величину Δi . Наданий графік визначення принципів для прогнозування залишкового ресурсу також має місце і для конструкцій після капітального ремонту або реконструкції, тому що завжди існують ПТС, що залежать від часу, значення яких неможливо відновити на 100 %. Саме ця особливість потребує урахування того, що прогнозування подальшої експлуатації конструкцій повинна здійснюватися з припустимим ризиком, рівень якого залежатиме від умов та термінів їх залишкового ресурсу.

На підставі вищезазначених особливостей виконується чисельний розрахунок залишкового ресурсу або за імовірнісними, або за детермінованими методами.

6. Висновки

1. Визначено групи типових ситуацій розрахунків залишкового ресурсу в залежності від параметрів технічного стану об'єкту.
2. Запропоновано загальну методику ризик-аналізу з урахуванням визначених та невизначених ДП.
3. Визначено схеми змін залишкового ресурсу в залежності від типу системи: невідновлювальна, частково відновлювальна, повністю відновлювальна.

Література

1. Про затвердження Державної науково-технічної програми "Ресурс" [Текст]. – Верховна Рада України, 2004. – № 1331.
2. Шимановський, О. В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпеки будівельних конструкцій [Текст] / А. В. Шимановський, В. П. Корольов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 1. – С. 3–9.
3. Ориняк, І. В. Методики проведення ризик-аналізу магістральних трубопроводів з метою декларування їх безпеки та подовження терміну експлуатації [Текст] / І. В. Ориняк, М. В. Бородій, А. С. Батура, С. М. Анеєв // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – 2009. – С. 22–28.
4. ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення [Текст]. – Державний Стандарт України, 1995.

5. ДСТУ-П OHSAS 18001:2006. Системы управления безопасностью и гигиеной труда [Текст]. – Державний Стандарт України, 2006.
6. Ренн, О. Три десятилетия исследования риска: достижения, новые горизонты [Текст] / О. Ренн // Вопросы анализа риска. – 1999. – Т. 1, № 1. – С. 80–100.
7. Булгаков, С. Н. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера [Текст] / С. Н. Булгаков, А. Г. Тамразян, И. А. Рахман, А. Ю. Степанов. – М.: МАКС пресс, 2004. – 304 с.
8. ДСТУ 2862-94. Надежность техники. Методы расчета показателей надежности. Общие требования [Текст]. – Державний Стандарт України, 1994.
9. Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности [Текст]. – Министерство труда и социальной политики, 2002. – № 637.
10. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються [Текст]. – Державний Стандарт України, 2016.
11. Pandey, M. D. Probabilistic models for condition assessment of oil and gas pipelines [Text] / M. D. Pandey // NDT & E International. – 1998. – Vol. 31, Issue 5. – P. 349–358. doi: 10.1016/s0963-8695(98)00003-6
12. Yuan, X.-X. A probabilistic model of wall thinning in CANDU feeders due to flow-accelerated corrosion [Text] / X.-X. Yuan, M. D. Pandey, G. A. Bickel // Nuclear Engineering and Design. – 2008. – Vol. 238, Issue 1. – P. 16–24. doi: 10.1016/j.nucengdes.2007.06.004
13. Королёв, В. П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность [Текст] / В. П. Королёв // Научные труды. – 1995. – Вып. 1-95. – С. 24.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Кравець В. А.
Дата надходження рукопису 26.09.2017*

Колесніченко Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, проректор з наукової роботи та міжнародним зв'язкам, кафедра будівельних конструкцій, будівель та споруд, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Героїв Небесної сотні, 14, м. Краматорськ, Україна, 84333
E-mail: svk.mk15@gmail.com

Селютін Юрій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інженерних розрахунків, автомобільних доріг та споруд, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Героїв Небесної сотні, 14, м. Краматорськ, Україна, 84333
E-mail: yu.v.selyutin@donnaba.edu.ua

Черних Інна Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра будівельних конструкцій, будівель та споруд, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Героїв Небесної сотні, 14, м. Краматорськ, Україна, 84333
E-mail: i.y.chernykh@donnaba.edu.ua

Мнацаканян Камо Борікович, старший викладач, кафедра будівельних конструкцій, будівель та споруд, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Героїв Небесної сотні, 14, м. Краматорськ, Україна, 84333
E-mail: mkamo2015@gmail.com