

*О.В. Семко, д.т.н., профессор
О.П. Воскобийник, д.т.н., с.н.с.
І.О. Пархоменко, аспірант*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ЙМОВІРНІСНОГО РОЗРАХУНКУ ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОШКОДЖЕННЯМИ ТРУБИ-ОБОЛОНКИ

Сформульовано основні критерії оцінювання технічного стану та передумови розрахунку безвідмовності трубобетонних конструкцій (стійок), що знаходяться в експлуатації. Запропоновано методика ймовірнісного розрахунку трубобетонних стійок, що базується на застосуванні методу імітаційного моделювання (Монте-Карло) уніфікованого апроксимуючого полінома їх несучої здатності, отриманого за планом чисельного експерименту, і дозволяє врахувати вплив різних типів наявних механічних дефектів та пошкоджень труби-оболонки на фактичні показники безвідмовності такого типу конструктивних елементів.

Ключеві слова: *трубобетонні конструкції, експлуатація, технічний стан, дефекти, пошкодження, труба-оболонка, безвідмовність, метод імітаційного моделювання (Монте-Карло), чисельний експеримент, уніфікований апроксимуючий поліном*

*А.В. Семко, д.т.н., профессор
Е.П. Воскобойник, д.т.н., с.н.с.
И.О. Пархоменко, аспирант*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСЧЕТА ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ТРУБЫ-ОБОЛОЧКИ

Сформулированы основные критерии оценки технического состояния и предпосылки расчета безотказности эксплуатируемых трубобетонных конструкций (стоек). Предложена методика вероятностного расчета трубобетонных стоек, основана на применении метода имитационного моделирования (Монте-Карло) унифицированного аппроксимирующего полинома их несущей способности, полученного по плану численного эксперимента, которая позволяет учесть влияние различных типов имеющихся механических дефектов и повреждений трубы-оболочки на фактические показатели безотказности такого типа конструктивных элементов.

Ключевые слова: *трубобетонные конструкции, эксплуатация, техническое состояние, дефекты, повреждения, труба-оболочка, безотказность, метод имитационного моделирования (Монте-Карло), численный эксперимент, унифицированный аппроксимирующий полином*

O. Semko, ScD, Professor
O. Voskobiynyk, ScD, senior researcher
I. Parhomenko, post-graduate
Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University

THE PROBABILITY METHOD CALCULATION OF CONCRETE FILLED STEEL TUBES WITH LOCAL DAMAGES OF STEEL TUBE

Main criteria of assessment of technical condition and the prerequisite of calculation reliability of the concrete filled steel tubes of designs (racks) are formulated in the article. The offered method of probability calculation of concrete filled steel tubes with local damages of steel tube of designs. It is based on application of a method of imitating modeling (Monte-Carlo) of unified polynomial approximant of their bearing ability, which is received on the plan of numerical experiment allows consider the influence of types influence of present defects and damages of steel tube to reliability indicators.

Keywords: *Concrete filled steel tubes construction, service, technical state, defects, damages, trumpet shell, reliability, method of imitating modeling (Monte-Carlo), numerical experiment, unified approximant polynomial.*

Вступ. Сучасний закордонний і вітчизняний досвід експлуатації об'єктів будівництва, а також аналіз причин їх аварій (відмов) свідчить, що сьогодні найбільш гостро постає проблема забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних конструкцій, будівель і споруд на всіх етапах їх життєвого циклу. Незважаючи на існуючий багаторічний досвід проектування й експлуатації сталезалізобетонних конструкцій, на сьогодні у вітчизняних нормативах відсутні будь-які рекомендації щодо обстеження та діагностування технічних станів такого типу конструктивних елементів. Це у свою чергу вимагає найближчим часом доповнити ДБН В.2.6-160:2010 [5] цілою низкою стандартів (ДСТУ), серед яких нормативні документи, котрі регламентуватимуть процедуру обстеження, оцінювання технічних станів і підсилення сталезалізобетонних конструкцій (СЗБК), що неможливо без розроблення ймовірнісних моделей і критеріїв відмов сталезалізобетонних конструкцій та оцінювання проектних і фактичних показників їх надійності (безвідмовності).

Зважаючи на актуальність цієї проблеми, в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка були започатковані дослідження надійності та ризиків сталезалізобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації, зокрема трубобетонних елементів з дефектами і пошкодженнями.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковане розв'язання даної проблеми, свідчить, що серед основних типів дефектів та пошкоджень трубобетонних конструкцій слід виділити дефекти бетонного ядра (осердя) й експлуатаційні пошкодження сталеві труби-оболонки: місцеві вигини, вирізи, тріщини внаслідок корозійної втоми та інші види різноманітних послаблень поперечного перерізу, що впливають не лише на особливості роботи та несучу здатність такого типу конструктивних елементів, а й суттєво змінюють показники їх фактичної експлуатаційної надійності [2, 12].

Так, у попередніх дослідженнях авторів [2, 12] було розглянуто роботу коротких трубобетонних стійок із різними типами одиночних та групових механічних пошкоджень труби-оболонки: із вирізами круглої форми, із наскрізними прорізами з різною (вертикальною та горизонтальною) орієнтацією в просторі, із корозійними рівномірними та нерівномірними пошкодженнями тощо.

На основі аналізу результатів виконаних експериментальних досліджень [2, 12] були отримані якісні оцінки впливу різних типів механічних дефектів та експлуатаційних пошкоджень труби-оболонки на характер роботи, напружено-деформований стан і несучу здатність коротких трубобетонних стійок, а також встановлені їх мінімально допустимі параметри (що характеризуються втратами площі поперечного перерізу ΔA_s), наявність яких майже не впливає на несучу здатність конструктивного елемента.

Проте на сьогодні в літературі відсутні дані щодо впливу різних типів локальних пошкоджень труби-оболонки на фактичні показники надійності (безвідмовності) трубобетонних конструкцій під час експлуатації, що є **не розв'язаною раніше частиною загальної проблеми, котрій присвячується стаття.**

Постановка завдання досліджень надійності трубобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації. Забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки об'єктів будівництва, встановленого нормами [4], під час експлуатації здійснюється шляхом діагностування і контролю їх технічного стану. При цьому рішення щодо можливості використання об'єкта за призначенням у передбачених проектом умовах протягом певного терміну експлуатації, що прогнозується, приймається залежно від встановленої категорії технічного стану. Тобто з точки зору математичного опису процесу технічного діагностування система (у даному випадку будівельна конструкція, будівля чи споруда в цілому) на момент обстеження залежно від здатності виконувати протягом прогнозованого терміну всі передбачені нормативними вимогами функції може знаходитись в одному з чотирьох технічних станів [1, 3, 9, 12].

Отже, основним завданням технічного діагностування є розпізнавання станів технічної системи в умовах обмеженої інформації [1], що неможливо без застосування ймовірно обґрунтованих методів та критеріїв, які поряд із детермінованими методами розрахунку несучої здатності базуються на аналізі показників фактичної безвідмовності конструктивних елементів з урахуванням наявних дефектів та пошкоджень.

Зважаючи на це, основною метою дослідження є формулювання основних передумов і розроблення методики розрахунку фактичної безвідмовності трубобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації та мають дефекти й пошкодження труби-оболонки.

Основний матеріал і результати. Під час розгляду питання забезпечення експлуатаційної надійності трубобетонних конструкцій першим етапом є формулювання основних передумов і положень їх ймовірного розрахунку, що є основою для подальшого розроблення методики нормування технічного стану такого типу конструктивних елементів.

При застосуванні диференціальних підходів [1] задача технічного діагностування (у нашому випадку – розмежування технічних станів) полягає у виборі значень $g_{o,i}$ контрольованих параметрів працездатності конструкції $g_{k,i}$ (статистичні розподіли щільності ймовірності яких для кожного з чотирьох можливих нормативних технічних станів – S_1, S_2, S_3, S_4) [9]:

$$g_{k,i}(R_1, \dots, R_n, F_1, \dots, F_m) \leq g_{o,i}, \quad (1)$$

де R_i – параметри, що контролюються (міцність, деформативність, розміри дефектів чи пошкоджень тощо);

F_i – умовні контрольні значення характеристик зовнішнього середовища (навантаження та інші впливи);

$g_{o,i}$ – граничне значення $g_{k,i}$, що визначає технічний стан конструктивного елемента.

У рамках даних досліджень розглядаються трубобетонні стійки з різними типами одиночних і групових механічних пошкоджень труби-оболонки: з вирізами круглої та

прямокутної форми, із наскрізними прорізами з різною (вертикальною та горизонтальною) орієнтацією в просторі, із корозійними рівномірними та нерівномірними пошкодженнями тощо [2]. Авторами було експериментально досліджено вплив вищезазначених пошкоджень труби-оболонки на характер роботи та несучу здатність коротких трубобетонних стійок [13], що дозволило встановити їх мінімально допустимі параметри (що характеризуються втратами площі поперечного перерізу ΔA_s), наявність яких майже не впливає на несучу здатність конструктивного елемента, а саме: для вирізів круглої форми – $< 0,3 \%$; для вертикальних наскрізних одиночних пропилів (тріщин) та надрізів – $< 1 \%$; для вертикальних наскрізних групових пропилів (тріщин) залежно від їх довжини та відстані між ними по колу – $< (1 - 1,5) \%$; для горизонтальних наскрізних групових пропилів (тріщин) незалежно від товщини – $< 15 \%$; для суцільної (більше 1/4 площі поверхні) рівномірної поверхневої корозії – $< 5 \%$; для локальної рівномірної поверхневої корозії – $< 10 \%$.

Тому контрольованим параметром, що підлягає ймовірнісному нормуванню, в даному випадку є розмір (гранично допустиме значення) наявного пошкодження труби-оболонки: площа або розмір (ширина, довжина) механічного послаблення труби-оболонки трубобетонної конструкції.

Для розв'язання цієї задачі перш за все за допомогою методів теорії надійності необхідно отримати кількісні оцінки впливу такого типу дефектів труби-оболонки (контрольованих параметрів) на статистичні розподіли несучої здатності трубобетонних елементів (стійок) та показники їх фактичної безвідмовності.

Передумови розрахунку безвідмовності трубобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями труби-оболонки.

Відомі на сьогодні методи теорії надійності будівельних конструкцій [8, 10, 11, 15] дозволяють визначити лише частину загальної ймовірності відмови, що визначається базисними змінними, врахованими при розрахунках. При цьому такий підхід не дає змоги оцінити можливий вплив помилкових дій людини. Навіть за наявності помилки лише за рахунок прийнятої помилкової механічної моделі фактична ймовірність відмови виявиться більшою за теоретичну.

Отже, теоретично знайдена ймовірність відмови досить чутлива до змін стохастичної (ймовірнісної) моделі. За допомогою статистичних досліджень можливо достатньо надійно оцінити середню частину кривої щільності розподілу, а також середнє та стандартне відхилення. Однак поведінку щільності на краях (на «хвостах») неможливо обґрунтувати статистично. У цьому випадку необхідно брати до уваги вихідні передумови та допущення, які досить вагомо впливають на результат, особливо на малі значення ймовірностей.

Тому в літературі [15] отримало розповсюдження поняття оперативної ймовірності відмови, яка і є теоретичною ймовірністю, що може слугувати інженерові як порівняльна величина при якісній оцінці надійності. Вона є умовною ймовірністю при виконанні цілого комплексу допущень, наприклад, про типи розподілів базисних змінних. Порівняння оперативних ймовірностей відмов доцільне лише для моделей з рівними розрахунковими допущеннями. Недивлячись на це, вирішуючи лише частину аспектів надійності, оперативна ймовірність відмови на сьогодні має вирішальне значення при проектуванні та конструюванні. Щоправда, ймовірність відмови через помилкові дії людини, як правило, більша, ніж теоретична оперативна ймовірність відмови, її вплив вважається досить малою величиною, якою можна знехтувати.

Оскільки в подальших розрахунках ми будемо користуватися теоретичними моделями зі співставимими передумовами, під ймовірністю відмови буде матися на увазі саме її теоретично підрахована частка, тобто оперативна ймовірність відмови або оперативна безвідмовність.

Зважаючи на це, сформулюємо основні передумови розрахунку показників надійності (оперативної безвідмовності) трубобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації та мають дефекти й пошкодження труби-оболонки:

1. У подальшому будемо виходити з припущення, що за методикою граничних станів рівень надійності конструкції визначається лише вибором розрахункових значень навантажень та опорів. При цьому умова неперевищення межі області допустимих станів конструкцій може визначатись як

$$\tilde{N}(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m) - \tilde{F}(\tilde{x}_{m+1}, \tilde{x}_{m+2}, \dots, \tilde{x}_n) \geq 0, \quad (2)$$

де \tilde{N} та \tilde{F} – випадкові параметри міцності конструкції та навантажувального ефекту на неї, що є функціями випадкових величин $\{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m, \tilde{x}_{m+1}, \dots, \tilde{x}_n\}$.

2. Розглянемо випадок ідеально запроектованої конструкції (без запасів міцності), коли нерівність (1) умови забезпечення безвідмовності, тобто невиходу за граничний стан, приймає вигляд

$$\gamma_n F(G_d, a_d, C, \gamma_{sd}) = N(f_d, a_d, \gamma_{rd}). \quad (3)$$

Таке припущення дозволяє абстрагуватись від конкретних типорозмірів елементів і виконувати аналіз, користуючись безрозмірними величинами.

3. При визначенні показників надійності (у нашому випадку – оперативної ймовірності безвідмовної роботи) для спрощення розрахунків будемо розглядати лише випадок однопараметричного навантаження.

4. Під час імовірнісного розрахунку всі випадкові величини вважаються нормально розподіленими.

5. Кількісні оцінки безвідмовності в рамках даних досліджень пропонується аналізувати на момент обстеження, враховуючи фактор часу, шляхом застосування відповідного коефіцієнта надійності за навантаженням, значення якого при новому будівництві залежить від проектного терміну експлуатації (T_{ef}), а при обстеженні конструкцій, що знаходяться в експлуатації, – терміну до наступного планового обстеження, який встановлюється згідно з нормами [9].

Відповідно до прийнятих передумов розрахунку ймовірнісним критерієм розмежування технічних станів може слугувати виконання нерівності

$$P_{f,i}(T_{ef}) = Prob \{g_i(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) < 0 / T_f\} \leq P_i^{ex}, \quad (4)$$

де g_i – функція роботоспроможності відносно відмови i -го виду;

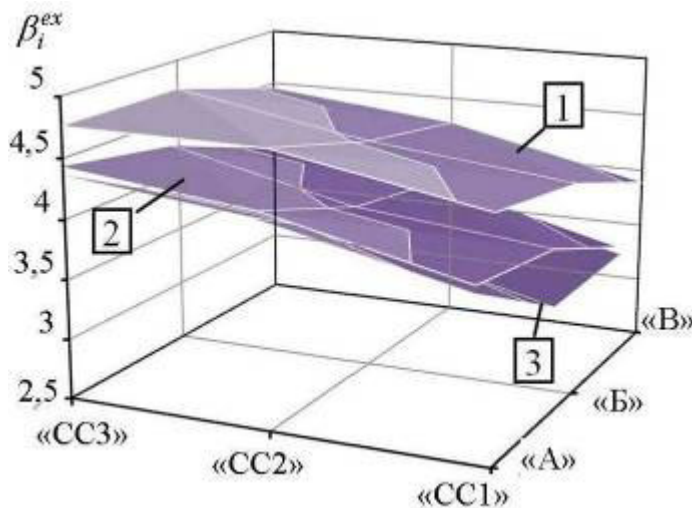
P_i^{ex} – «нормативна» ймовірність відмови i -го виду.

Графічно для I групи граничних станів це можна представити у вигляді нормованих поверхонь характеристики безпеки β_i^{ex} (рис. 1) відповідно [4].

Методика ймовірнісного розрахунку трубобетонних конструкцій з пошкодженнями труби-оболонки.

Одним із масивів вихідних даних для виконання ймовірнісного розрахунку трубобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації, слугують статистичні дані щодо параметрів розподілу їх несучої здатності. Для центрально стиснутих елементів (трубобетонних стійок) – це, насамперед, значення випадкової величини максимальної несучої здатності (\tilde{N}_u).

Як випадкові величини під час імовірнісного розрахунку трубобетонних стійок пропонується розглядати міцнісні характеристики матеріалів (призмova міцність бетону \tilde{f}_c та опір осьовому розтягу сталі на межі текучості \tilde{f}_y), а також геометричні розміри дефекту (послаблення), у загальному випадку – \tilde{A} .



Позначення:
 1, 2, 3 – усталена, перехідна та аварійна розрахункові ситуації відповідно;
 СС1...СС3 – клас наслідків об'єкта, що експлуатується (відповідно до ДБН В.1.2-14-2009 [4])

Рис. 1. Нормовані поверхні характеристики безпеки трубобетонних конструкцій

Зважаючи на результати попередніх досліджень [2, 13], під час проведення ймовірнісного розрахунку розглянемо вплив на статистики розподілу несучої здатності коротких трубобетонних стійок двох найбільш небезпечних типів пошкоджень їх труби-оболонки (рис. 2), а саме:

- вирізи круглої форми («тип 1»);
- вертикальний наскрізний пропил («тип 2»).

При цьому як кількісну оцінку параметра пошкодження $\tilde{\Delta}$ приймемо:

- для пошкоджень круглої форми – їх діаметр d_{def} [см];
- для вертикальних пропилов – їх ширину t_{def} та довжину L_{def} [см].

Таким чином, випадкова величина несучої здатності трубобетонної стійки із пошкодженнями першого типу є функціонально пов'язаною із трьома розглядуваними випадковими величинами:

$$\tilde{N}_{pl} = f(\tilde{f}_c; \tilde{f}_y; \tilde{d}_{def}), \quad (5)$$

а з пошкодженнями другого типу – із чотирма випадковими величинами:

$$\tilde{N}_{pl} = f(\tilde{f}_c; \tilde{f}_y; \tilde{t}_{def}; \tilde{L}_{def}). \quad (6)$$

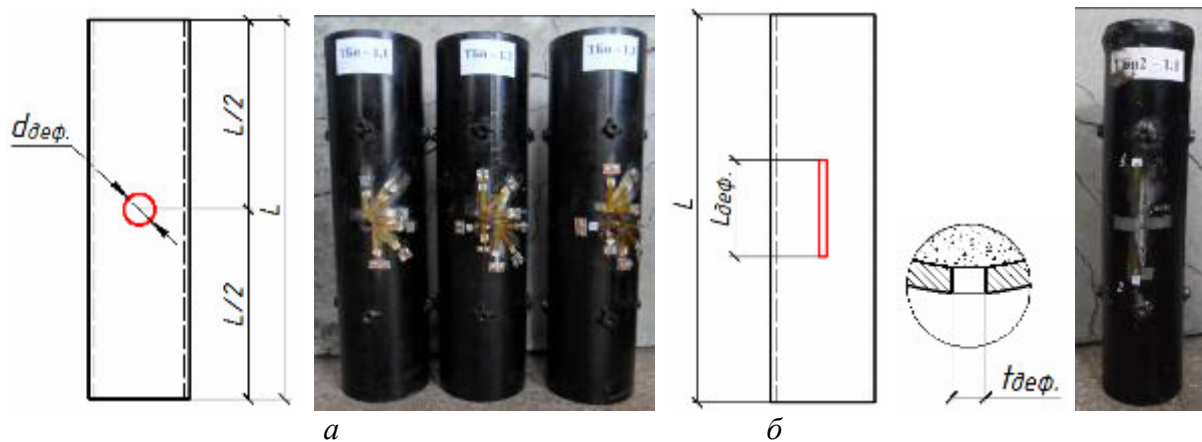


Рис. 2. Схема розташування та параметри найбільш небезпечних типів локальних дефектів труби-оболонки коротких трубобетонних стійок:

- а* – наскрізний виріз круглої форми («тип 1»);
- б* – наскрізний поздовжній пропил («тип 2»)

Унаслідок відсутності достатньої кількості репрезентативних вибірок експериментальних даних, а також нормативних апробованих детерміністичних методик розрахунку трубобетонних конструкцій з дефектами (локальними послабленнями) труби-оболонки використання поширених методів отримання статистик розподілу несучої здатності (лінеаризації функції або методу імітаційного моделювання у класичній постановці [8, 10, 11, 15]) є доволі ускладненим.

Тому в рамках даних досліджень авторами пропонується для отримання параметрів розподілу несучої здатності трубобетонних стійок із різними типами локальних механічних пошкоджень труби-оболонки застосовувати метод непрямого статистичного моделювання уніфікованого апроксимуючого полінома, обчисленого за планом чисельного експерименту, вигляду

$$N_{pl} = a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_2 + a_4 x_1^2 + a_5 x_2^2 + a_6 x_3^2 + a_7 x_1 x_2 + a_8 x_1 x_3 + a_9 x_1 x_2 \quad (7)$$

або

$$N_{pl} = a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_2 + a_4 x_4 + a_5 x_1^2 + a_6 x_2^2 + a_7 x_3^2 + a_8 x_4^2 + a_9 x_1 x_2 + a_{10} x_1 x_3 + a_{11} x_1 x_4 + a_{12} x_2 x_3 + a_{13} x_2 x_4 + a_{14} x_3 x_4, \quad (8)$$

де $x_1 \dots x_4$ – варійовані параметри; a_i – коефіцієнти регресії.

Для проведення чисельного експерименту доречним буде обрати план, що дозволить проаналізувати вплив на функцію відгуку (в нашому випадку - поздовжню силу N_{pl}) трьох факторів, що варіюються на трьох рівнях:

$$\begin{aligned} \text{нижньому: } x_{n,i} &= x_{m,i} - n \sigma_{x,i}; \\ \text{нульовому: } x_{o,i} &= x_{m,i}; \\ \text{верхньому: } x_{e,i} &= x_{m,i} + n \sigma_{x,i}, \end{aligned} \quad (9)$$

де $x_{m,i}$ та $\sigma_{x,i}$ – відповідно середнє значення та середньоквадратичне відхилення i -ої випадкової величини (незалежної змінної);

n – кількість стандартів нормального розподілу i -ої випадкової величини.

Рівні варіювання випадкових величин міцнісних характеристик матеріалів під час виконання чисельного експерименту відповідно (7) приймемо такі:

$$\begin{aligned} \tilde{f}_y &= (f_{ym} - 3 \cdot \sigma_{f_c}; f_{ym}; f_{ym} + 3 \cdot \sigma_{f_y}) = (20,6; 27,1; 33,5) \text{ [кН / см}^2\text{]}; \\ \tilde{f}_c &= (f_{cm} - 3 \cdot \sigma_{f_c}; f_{cm}; f_{cm} + 3 \cdot \sigma_{f_c}) = (1,4; 2,4; 3,3) \text{ [кН / см}^2\text{]} \end{aligned} \quad (10)$$

що відповідає мінливості опору арматурної сталі – 8% (сталь класу С235) та призмової міцності бетону – 13,5% (клас бетону за міцністю С20/25).

Обрані рівні варіювання випадкових геометричних параметрів для різних типів пошкоджень труби-оболонки трубобетонних стійок наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Рівні варіювання випадкових змінних для трубобетонних стійок із дефектами труби-оболонки «тип 1»*

Параметри, що варіюються	Рівень варіювання		
	«-1»	«0»	«+1»
$x_1 (f_c), \text{кН/см}^2$	1,41	2,38	3,34
$x_2 (f_y), \text{кН/см}^2$	20,56	27,05	33,54
$x_3 (d_{def}), \text{см}$	1 ($d_{def}=3,3t, \Delta A_s=0,3\%$)	2 ($d_{def}=6,7t, \Delta A_s=0,6\%$)	3 ($d_{def}=10t, \Delta A_s=0,9\%$)

* t – номінальна товщина труби-оболонки; ΔA_s – відносні втрати площі поперечного перерізу труби-оболонки

Таблиця 2. Рівні варіювання випадкових змінних для трубобетонних стійок із дефектами труби-оболонки «тип 2»*

Параметри, що варіюються	Рівень варіювання		
	«-1»	«0»	«+1»
$x_1 (f_c), \text{кН/см}^2$	1,41	2,38	3,34
$x_2 (f_y), \text{кН/см}^2$	20,56	27,05	33,54
$x_3 (t_{\text{деф}}), \text{см}$	0,3 $(t_{\text{деф}}=t, \Delta A_s=0,97\%)$	0,45 $(d_{\text{деф}}=1,3t, \Delta A_s=1,45\%)$	0,6 $(t_{\text{деф}}=2t, \Delta A_s=1,93\%)$
$x_4 (L_{\text{деф}}), \text{см}$	5 $(1/8 L)$	7 $(1/6 L)$	10 $(1/4 L)$

t – номінальна товщина труби-оболонки; L – висота трубобетонної стійки

Під час проведення чисельного експерименту значення функції відгуку (несучої здатності трубобетонної стійки N_{pl}) через відсутність у нормах [5, 6, 16] нормативної методики врахування в розрахунку впливу наявних локальних послаблень можна отримати із застосуванням методу скінченноелементного аналізу [14]. При такому підході за критерій досягнення граничного стану конструктивного елемента (рис. 3) приймемо досягнення в трубі-оболонці деформацій, що відповідають межі текучості сталі, тобто 220×10^{-5} .

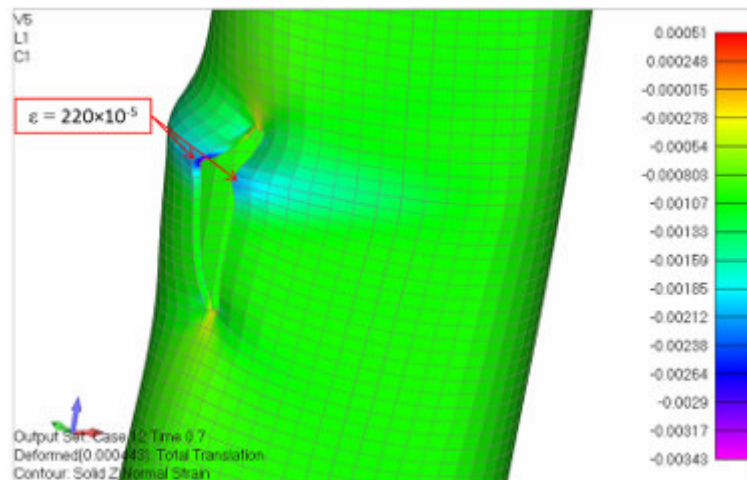


Рис. 3. Розподіл нормальних напружень у моделі трубобетонного зразка з локальним пошкодженням у вигляді наскрізного послаблення труби-оболонки при досягненні у ній деформацій 220×10^{-5} $\sigma_z, \text{Па}$

Висновки. У статті сформульовано основні критерії оцінювання технічного стану та передумови розрахунку безвідмовності трубобетонних конструкцій (стійок), що знаходяться в експлуатації.

Пропонується методика ймовірнісного розрахунку трубобетонних стійок, що базується на застосуванні методу імітаційного моделювання (Монте-Карло) уніфікованого апроксимуючого полінома їх несучої здатності, отриманого за планом чисельного експерименту. Такий підхід дозволяє врахувати вплив на фактичні показники безвідмовності двох (найбільш небезпечних) типів механічних пошкоджень труби-оболонки: локальних вирізів круглої форми та вертикальних наскрізних пропилов, геометричні розміри яких розглядаються у нашому дослідженні як випадкові величини. За критерій руйнування розглядуваного типу конструктивних елементів (функцію відгуку) запропоновано приймати досягнення в трубі-оболонці деформацій, що відповідають межі текучості сталі, отримані за допомогою методу скінченноелементного аналізу.

Література

1. Биргер И.А. *Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М. : «Машиностроение», 1978. – 240 с.*
2. Воскобійник О.П. *Сталезалізобетон: надійність, технічні стани, ризики : монографія / О.П. Воскобійник. – Донецьк : Донбас, 2014. – 394 с.*
3. Воскобійник О.П. *Комплексні методи керування ризиками під час експлуатації будівель та споруд / О.П. Воскобійник // Металеві конструкції. – 2013. – Том 19. – №3. – С. 183–189.*
4. ДБН В.1.2-14-2009. *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст] : на заміну ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84 ; чинний з 2009 – 12-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.*
5. ДБН В.2.6-160:2010. *Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення : чинний з 2011–09-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.*
6. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. *Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDN) [Текст] : чинний з 2013–06–01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 159 с.*
7. Перельмутер А.В. *Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А.В. Перельмутер. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. – 216 с.*
8. Пичугин С.Ф. *Надежность стальных конструкций производственных зданий [Текст] : монография / С.Ф. Пичугин. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 456 с.*
9. ДСТУ В.1.2-№ : 201X. *Обстеження і паспортизація технічного стану будівель та інженерних споруд [Текст] : вводиться вперше. – К. : Мінрегіон України, 2012. – 67 с.*
10. Райзер В.Д. *Расчет и нормирование надежности строительных конструкций [Текст] / В.Д. Райзер. – М. : Стройиздат. – 1995. – 352 с.*
11. Ржаницын А.Р. *Теория расчета строительных конструкций на надежность [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.*
12. Семко О.В. *Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.*
13. Семко О.В. *Особенности работы трубобетонных конструкций с локальными повреждениями трубы-оболочки / О.В. Семко, О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 207–214.*
14. Семко А.В. *К вопросу моделирования напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых трубобетонных конструкций / А.В. Семко, Е.П. Воскобійник, И. О. Пархоменко // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. статей. Часть 1. – Брест: БГТУ, 2014. – С. 213 – 218.*
15. Шпете Г. *Надежность несущих строительных конструкций [Текст] / Г. Шпете ; пер. с нем. О.О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с. – Перевод. изд.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. – ISBN 5–274–01208–6.*
16. Eurocode 4. *Common Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.*

Надійшла до редакції 20.12.2014

© О.В. Семко, О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко