

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
ЛОГІКО-ЙМОВІРНІСНИМИ МЕТОДАМИ

Т. Ю. Шевченко, к. т. н.

Ключові слова: надійність, імовірнісні методи розрахунку, врахування невизначеності, нечітка логіка, суб'єктивний фактор

Постановка проблеми. Проблема надійності будівельних конструкцій належить до числа першочергових, оскільки безперервно збільшуються обсяги будівництва і підвищуються вимоги до його якості.

Статистика відмов будівельних конструкцій свідчить, що вони зумовлені здебільшого наявністю помилок при проектуванні, виготовленні і монтажу конструкцій, порушеннями правил їх експлуатації, тобто впливом суб'єктивного фактора.

Сучасна нормативна база проектування при визначенні рівня надійності конструкцій дозволяє враховувати зовнішні навантаження і впливи, мінливість геометричних параметрів конструкцій і міцнісних характеристик матеріалів. Вплив на надійність залізобетонних конструкцій суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій, діючими нормами не враховується.

У зв'язку з цим розвиток методології прогнозування надійності залізобетонних конструкцій з урахуванням суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій, є актуальним науково-технічним завданням.

Мета статті – розвиток методології прогнозування надійності залізобетонних конструкцій з урахуванням впливу їх мінливих параметрів та суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій.

Аналіз публікацій. Загальним питанням надійності будівельних конструкцій присвячені праці В. В. Болотіна, А. В. Геммерлінга, О. Р. Ржаніцина, М. С. Стрелецького, А. Г. Ройтмана та інших науковців.

Результати досліджень у галузі надійності будівельних конструкцій наведені у працях [1 – 13]: А. Я. Барашикова, Б. І. Беляєва, Є. А. Єгорова, М. М. Застави, А. Я. Ісайкіна, Р. І. Кінша, О. С. Личова, А. В. Перельмутера, С. Ф. Пічугіна, В. Г. Пошивача, В. Д. Райзера, М. В. Савицького, О. В. Семко, Б. І. Снарксіса, К. Е. Таля, С. А. Тімашева, С. Б. Усаковського, В. П. Чіркова та інших.

Існуюча нормативна база в галузі проектування враховує вплив на надійність залізобетонних конструкцій багатьох факторів, серед яких: мінливість міцнісних характеристик матеріалів і геометричних розмірів елементів; атмосферні, сейсмічні та техногенні навантаження і впливи; вплив агресивних середовищ тощо.

Вплив на надійність мінливих параметрів конструкцій враховується при їх розрахунку ймовірнісними методами. В галузі використання цих методів найбільш відомі праці: М. Б. Краковського, А. П. Кудзіса, М. М. Складнева, В. В. Судакова та інших.

Дослідженнями у сфері застосування нечітких технологій при вирішенні питань будівельної галузі в Україні займаються Є. В. Горохов, О. Д. Панкевич, О. В. Шеліхова та інші.

На основі нечітких технологій вітчизняними науковцями створені: система підтримки прийняття рішень при діагностиці технічного стану цегляних конструкцій, методика нормування конструктивних ризиків за результатами оцінки технічного стану будівельних об'єктів тощо.

Дослідження, присвячені розробці методології оцінки впливу суб'єктивного фактора на надійність залізобетонних конструкцій, в Україні не проводились.

Таким чином, необхідно розробити методологію прогнозування надійності залізобетонних конструкцій для врахування впливу їх мінливих параметрів та суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки надійності залізобетонних конструкцій з урахуванням впливу їх мінливих параметрів і суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу залізобетонних конструкцій, запропоновано залежність:

$$P_{total} = P_{suc-1} \cdot P_{suc-2}, \quad (1)$$

де P_{total} – повна імовірність безвідмовної роботи конструкцій;

P_{suc-1} – імовірність безвідмовної роботи конструкцій, визначена з урахуванням впливу на надійність мінливих параметрів конструкцій;

P_{suc-2} – імовірність безвідмовної роботи конструкцій, визначена з урахуванням впливу на надійність суб'єктивного фактора.

Імовірність безвідмовної роботи залізобетонних конструкцій з урахуванням впливу на надійність їх мінливих параметрів визначається загальноприйнятими методами теорії надійності будівельних конструкцій.

Для визначення імовірності безвідмовної роботи конструкцій P_{suc-2} необхідні кількісні оцінки впливу на надійність суб'єктивного фактора.

На основі статистики відмов виконано аналіз впливу суб'єктивного фактора на надійність залізобетонних конструкцій на всіх стадіях їх життєвого циклу. Встановлено, що саме низька якість діяльності учасників процесу створення і процесу експлуатації конструкцій є загальною причиною появи організаційних і технологічних помилок, а саме помилок на стадії інженерних досліджень, на стадії проектування і на стадії зведення конструкцій; помилок контролю; помилок у процесі експлуатації конструкцій.

На основі кількісних даних про статистику відмов конструкцій і експертних оцінок якості діяльності учасників життєвого циклу конструкцій була запропонована диференціація їх діяльності на п'ять категорій якості: I категорія – високий (В) рівень; II категорія – рівень вищий середнього (ВС); III категорія – середній рівень (С); IV категорія – рівень нижчий середнього (НС); V категорія – низький рівень (Н).

Суб'єктивний фактор може впливати на надійність конструкцій на кожній стадії їх життєвого циклу. Для кількісної оцінки цього впливу була розроблена імовірнісна модель життєвого циклу конструкцій.

Запропоновано граничні значення імовірності безвідмовної роботи залізобетонних конструкцій P_{suc-2} залежно від категорій якості діяльності учасників життєвого циклу конструкцій (див. табл. 1) [14].

Таблиця 1

Граничні значення імовірності безвідмовної роботи залізобетонних конструкцій

Категорії якості діяльності учасників усіх процесів	Рівень якості діяльності учасників усіх процесів	Імовірність безвідмовної роботи конструкцій з урахуванням впливу суб'єктивного фактора P_{suc-2}
I	високий	0,99 999
II	вищий середнього	0,99 997
III	середній	0,99 977
IV	нижчий середнього	0,99 941
V	низький	0,99 896

Розроблено інженерну методику врахування категорій якості діяльності учасників життєвого циклу конструкцій при прогнозуванні надійності їх функціонування.

Із використанням експертних оцінок встановлено значущі показники та розроблено моделі оцінки рівня якості діяльності учасників процесу створення та процесу експлуатації залізобетонних конструкцій залежно від деякої множини факторів – показників якості.

Для побудови моделей використовувалися нормативні документи з галузі якості, рекомендації експертів у галузі будівельних конструкцій, а також дані експертних висновків про технічний стан будівельних конструкцій, запозичених зі звітів обстежень конструкцій.

Запропоновано основні показники якості діяльності учасників процесу створення конструкцій (наявність в організації відповідної ліцензії; кваліфікація персоналу організації; наявність в організації функціонуючої на належному рівні системи менеджменту якості відповідно до регламенту сімейства стандартів ISO 9000; термін функціонування організації; стан матеріально-технічної бази організації), а також процесу їх експлуатації (дотримання

правил технічної експлуатації конструкцій; наявність пошкоджень від силових і агресивних впливів; наявність пошкоджень від механічних впливів; розвиток дефектів, що виникли при виготовленні і монтажі конструкцій).

Більшість із наведених показників якості діяльності оцінити можливо тільки якісно, суб'єктивно. Тому при моделюванні рівня якості діяльності учасників процесу створення і експлуатації залізобетонних конструкцій використано логіко-лінгвістичну експертну інформацію.

Задача моделювання рівня якості діяльності учасників процесу створення і процесу експлуатації зводиться до розв'язання задачі ідентифікації багатовимірної залежності «фактори – показники якості – рівень якості».

Для розв'язання поставленої задачі використано метод двоетапної ідентифікації нечіткими базами знань.

На першому етапі проводиться структурна ідентифікація залежності «фактори – показники якості – рівень якості» шляхом формування нечіткої бази знань, яка грубо відображає нелінійний взаємозв'язок «входи – вихід» за допомогою лінгвістичних правил «якщо – то», що генерується експертами.

На другому етапі відбувається параметрична ідентифікація досліджуваної залежності шляхом підбору таких параметрів функцій належності нечітких термів і бази знань, які мінімізують розбіжність між модельними та експериментальними даними.

Для реалізації етапу параметричної ідентифікації використовувалися дані аналізу експертних висновків з обстеження залізобетонних конструкцій об'єктів, запозичені з архівних матеріалів науково-дослідної частини ДВНЗ «ПДАБА».

Поверхні «входи – вихід» отриманої нечіткої моделі до реалізації етапу параметричної ідентифікації наведені на рисунку 1, а після реалізації – на рисунку 2.

До реалізації етапу параметричної ідентифікації результат моделювання збігається з експериментальними даними у 80 % випадків. Після реалізації етапу параметричної ідентифікації результат моделювання збігається з експериментальними даними в 95 % випадків.

За аналогією була побудована модель оцінки рівня якості діяльності учасників процесу створення залізобетонних конструкцій. Точність моделювання оцінки рівня якості діяльності учасників процесу створення залізобетонних конструкцій аналогічна точності моделювання рівня якості діяльності учасників процесу експлуатації.

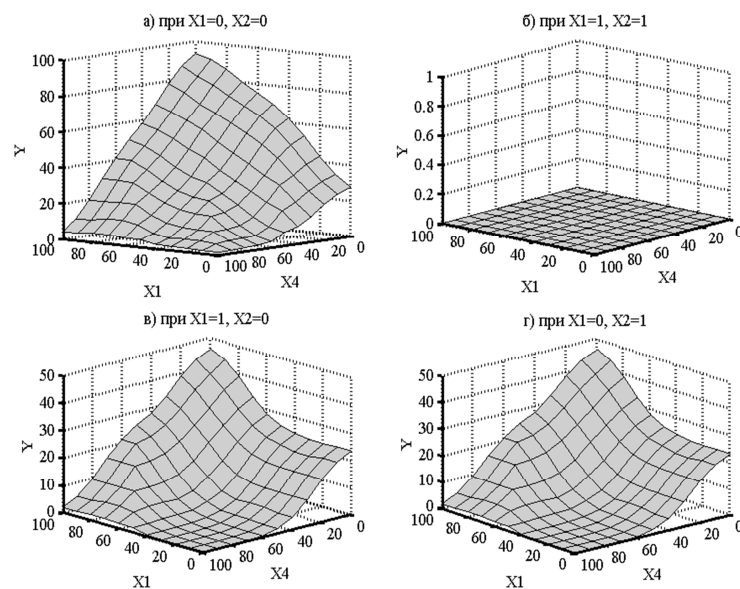


Рис. 1. Поверхні «входи – вихід» нечіткої моделі до реалізації етапу параметричної ідентифікації

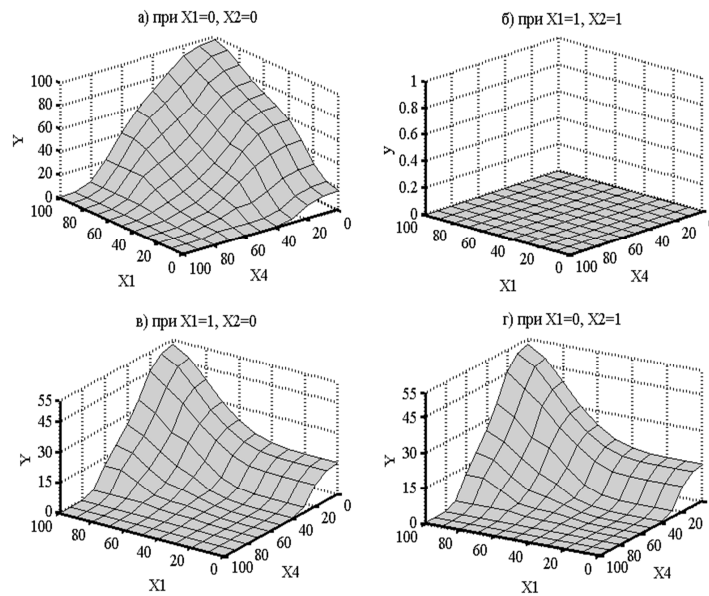


Рис. 2. Поверхні «входи – вихід» нечіткої моделі після реалізації етапу параметричної ідентифікації

Із використанням норм проектування залізобетонних конструкцій проведено апробацію запропонованого логіко-ймовірнісного підходу на прикладі оцінки надійності міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються.

Розглянуто залізобетонні елементи прямокутного перерізу при таких параметрах: висота 40 см, ширина 20 см, захисний шар 2 см, крок поперечної арматури – від 5 до 15 см, площа поперечної арматури – від 0 до 3,08 см², бетон класу В 25, подовжня арматура 2 Ø 16 А 400.

Для кожної умови міцності похилих перерізів, наведеної в нормах проектування, виконано три варіанти розрахунку міцності. При першому варіанті розрахунку як мінливі параметри були прийняті тільки міцнісні характеристики бетону і арматури. Цей варіант розрахунку відповідає підходу, прийнятому для забезпечення безвідмовності елементів при їх проектуванні за діючими нормами. Другий варіант розрахунку характеризується врахуванням нормованої мінливості міцнісних характеристик матеріалів і геометричних характеристик елемента. При розрахунку за третім варіантом урахувалася фактична мінливість міцнісних і геометричних параметрів елемента.

Дані аналізу надійності міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються, показали, що елементи істотно нерівнонадійні. При цьому залізобетонні елементи за надійністю міцності похилих перерізів диференціюються на: елементи, які мають запас міцності; елементи, надійність яких достатня; елементи, які мають недостатню надійність. За достатній рівень надійності прийнято забезпеченість розрахункових значень міцності матеріалів ($\gamma = 3$, забезпеченість $P = 0,99\ 865$).

Проведено ранжування параметрів залізобетонних елементів, що згинаються, за критерієм внеску в дисперсію міцності похилих перерізів: визначальними параметрами в забезпеченні міцності похилих перерізів залізобетонного елемента, що згинається, є фізико-механічні характеристики бетону і арматури (рис. 3). При врахуванні фактичної мінливості параметрів внесок решти параметрів – s, h, a, b, A_{sw} (позначення відповідно СНиП 2.03.01-84*) в дисперсію міцності похилих перерізів складає від 10 до 32 %. Отже, для забезпечення надійності міцності похилих перерізів елементів, що згинаються, необхідний контроль як якості матеріалів, так і відповідності геометричних параметрів залізобетонних елементів із проектними.

Із використанням запропонованого логіко-ймовірнісного підходу виконано прогнозування надійності міцності похилих перерізів залізобетонних балок з урахуванням граничних рівнів якості діяльності учасників процесу їх створення і експлуатації, а також визначено показники надійності експлуатаційних властивостей конструкцій для різних категорій їх технічного стану.

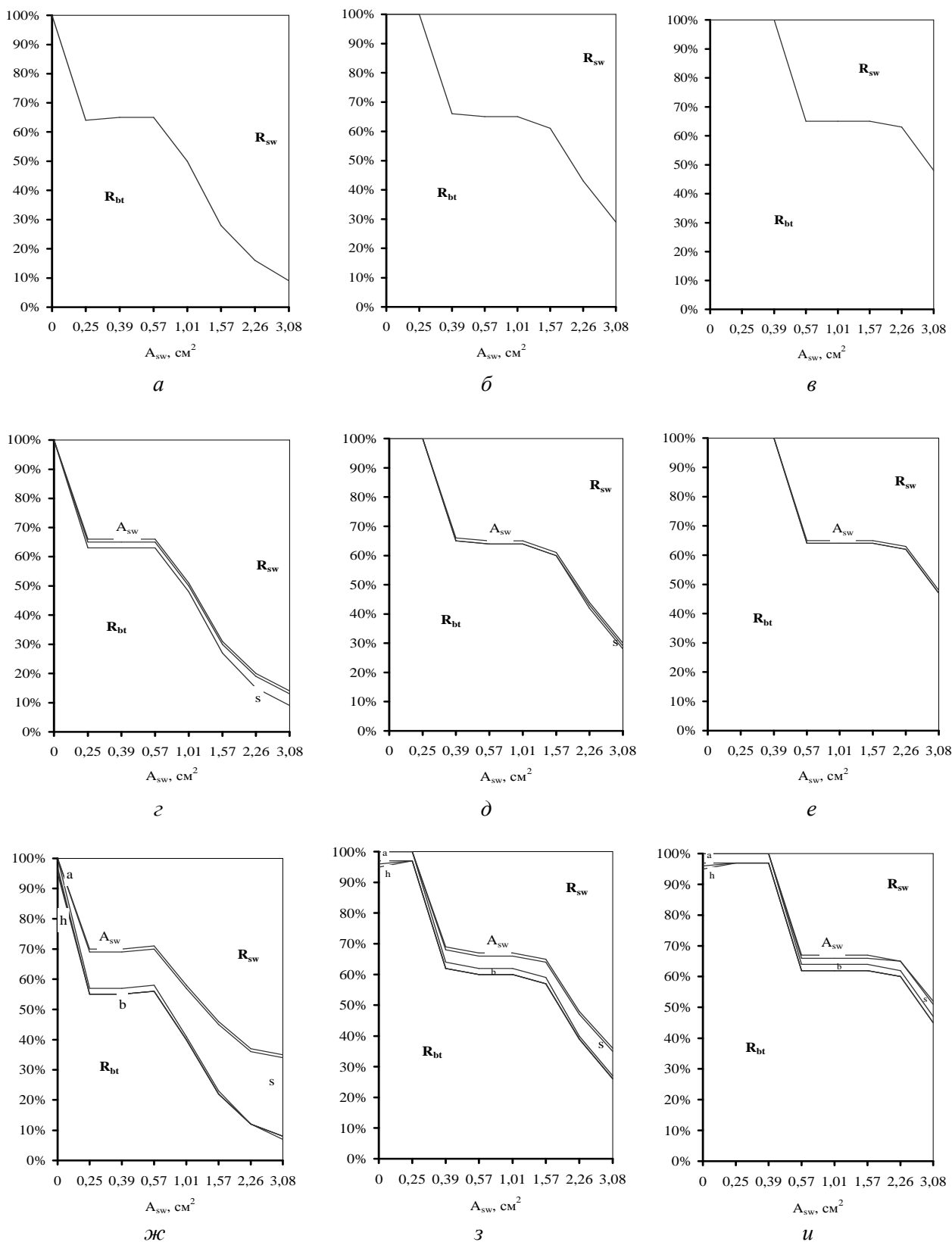


Рис. 3. Ранжування параметрів залізобетонних елементів, що згинаються, за критерієм внеску в дисперсію міцності похилих перерізів: крок поперечної арматури а, г, ж – 5 см; б, д, з – 10 см; в, е, и – 15 см; при розрахунку за варіантами: а, б, в – першим; г, д, е – другим; ж, з, и – третім

Висновки. Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Запропоновано логіко-ймовірнісний підхід до прогнозування надійності залізобетонних конструкцій, що дозволяє врахувати вплив мінливих параметрів і суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій.

2. На основі статистики відмов виконано аналіз впливу суб'єктивного фактора на надійність залізобетонних конструкцій на всіх стадіях їх життєвого циклу. Встановлено, що саме низька якість учасників процесу створення і процесу експлуатації конструкцій є загальною причиною появи організаційних і технологічних помилок, а саме помилок на стадії інженерних досліджень, на стадії проектування і на стадії зведення конструкцій; помилок контролю; помилок у процесі експлуатації конструкцій.

3. Запропоновано загальні положення, принцип розрахунку і методологію розв'язання задач урахування впливу суб'єктивного фактора на надійність залізобетонних конструкцій на основі логіко-ймовірнісного підходу до прогнозування їх надійності, а також розроблено інженерну методику врахування категорій якості діяльності учасників життєвого циклу конструкцій при прогнозуванні надійності їх функціонування.

4. На основі експертних оцінок запропоновано основні показники якості діяльності учасників процесу створення конструкцій (наявність в організації відповідної ліцензії; кваліфікація персоналу організації; наявність в організації функціонуючої на належному рівні системи менеджменту якості відповідно до регламенту сімейства стандартів ISO 9000; термін функціонування організації; стан матеріально-технічної бази організації), а також процесу їх експлуатації (дотримання правил технічної експлуатації конструкцій; наявність пошкоджень від силових і агресивних впливів; наявність пошкоджень від механічних впливів; розвиток дефектів, що виникли при виготовленні і монтажу конструкцій).

5. Запропоновано моделі, що відображають залежність рівня якості діяльності учасників процесу створення та процесу експлуатації залізобетонних конструкцій від визначеної множини факторів – показників якості. Результати моделювання за встановленими залежностями збігаються з експериментальними даними в 95 % випадків.

6. Проведено апробацію запропонованого логіко-ймовірнісного підходу на прикладі оцінки надійності міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються.

7. Проведено ранжування параметрів залізобетонних елементів, що згинаються, за критерієм внеску в дисперсію міцності похилих перерізів. Результати ранжування свідчать, що визначальними параметрами в забезпеченні міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються, є фізико-механічні характеристики бетону й арматури. При врахуванні фактичної мінливості параметрів внесок решти параметрів – s, h, a, b, A_{sw} (позначення відповідно СНиП 2.03.01-84^{*}) в дисперсію міцності похилих перерізів складає від 10 до 32 %. Таким чином, для забезпечення надійності міцності похилих перерізів елементів, що згинаються, необхідний контроль як якості матеріалів, так і відповідності геометричних параметрів залізобетонних елементів із проектними.

8. Із використанням запропонованого логіко-ймовірнісного підходу виконано прогнозування надійності міцності похилих перерізів залізобетонних балок, що згинаються, з урахуванням граничних рівнів якості діяльності учасників процесу створення і експлуатації конструкцій.

9. Визначено показники надійності експлуатаційних властивостей залізобетонних конструкцій для різних категорій їх технічного стану з використанням запропонованого логіко-ймовірнісного підходу.

10. Результати досліджень можуть бути використані при виконанні моніторингу для прогнозування надійності будівельних конструкцій, оцінці залишкового ресурсу конструкцій для прийняття рішення про їх підсилення чи ремонт.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Хоциалов Н. Ф.** Запасы прочности // Строительная промышленность. – 1929. – № 10. – С. 10 – 15.

2. **Maier M.** Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkraften anstatt nach zulässigen Spannungen / Maier M. – Berlin: Springer – Verlag, 1926. – 150 p.

3. **Стрелецкий Н. С.** Основы статистического учета коэффициента запаса прочности конструкций / Н. С. Стрелецкий.– М. : Стройиздат, 1947. – 94 с.

4. **Ржаницын А. Р.** Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
5. **Болотин В. В.** Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. – М. : Стройиздат, 1982. – 351 с.
6. NF EN 1992-1-1. Eurocode 2: Calcul des structures en béton. Partie 1-1: règles générales et règles pour les bâtiment. – AFNOR, 1992. – 203 p.
7. **Краковский М. Б.** Учет условий надежности при расчете железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. – 1983. – № 4. – С. 22 – 23.
8. **Кудзис А. П.** Оценка надежности железобетонных конструкций / А. П. Кудзис. – Вильнюс : Мокслас, 1985. – 280 с.
9. **Складнев Н. Н.** Особенности применения вероятностных методов для расчета и оптимизации железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции промышленного и гражданского строительства. – 1981. – С. 44 – 59.
10. **Судаков В. В.** Контроль качества и надежность железобетонных конструкций / В. В. Судаков. – Л. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
11. **Савицкий Н. В.** Основы расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивных средах: дис... докт. техн. наук: 05. 23. 01, 05. 23. 05 / Савицкий Николай Васильевич. – Д. : ПГАСА, 1994. – 400 с.
12. **Аугусти Г.** Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати; пер. с англ. Ю. Д. Сухова. – М. : Стройиздат, 1988. – 584 с.
13. **Уткин В. С.** Определение надежности строительных конструкций: учеб. пособ. / В. С. Уткин, Л. В. Уткин. – Вологда : ВоПИ, 1998. – 163 с.
14. **Савицкий Н. В.** Диагностика строительных объектов с применением методов нечеткой логики / Н. В. Савицкий, Т. Ю. Шевченко, А. А. Тытюк // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: Международ. науч.-техн. конф. 19 – 20 окт. 2006 г. : тез. докл.. – 2006. – С. 286 – 288.

УДК 624.01

Прогнозування надійності залізобетонних конструкцій логіко-ймовірнісними методами / Т. Ю. Шевченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 1 – 2.-С. 31 – 37. – рис. 3. – табл. 1. – Бібліогр.: (14 назв.).

Викладено логіко-ймовірнісний підхід до прогнозування надійності залізобетонних конструкцій, що дозволяє врахувати вплив їх мінливих параметрів і суб'єктивного фактора, зумовленого діяльністю людини, на всіх стадіях життєвого циклу конструкцій. Наведено рекомендації щодо їх використання.

***Ключові слова:** надійність, імовірнісні методи розрахунку, врахування невизначеності, нечітка логіка, суб'єктивний фактор.*

Прогнозирование надежности железобетонных конструкций логико-вероятностными методами / Т. Ю. Шевченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 1 – 2. – С. 31 – 37. – рис. 3. – табл. 1. – Библиогр.: (14 назв.).

Изложен логико-вероятностный подход к прогнозированию надежности железобетонных конструкций, который позволяет учитывать влияние их изменчивых параметров и субъективного фактора, обусловленного деятельностью человека, на всех стадиях жизненного цикла конструкций. Приведены рекомендации по их использованию.

***Ключевые слова:** надежность, вероятностные методы расчета, учет неопределенности, нечеткая логика, субъективный фактор.*

Prognosis of reinforced concrete structures reliability by the logical-probabilistic methods / T. U. Shevthenko // Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 1 – 2. – P. 31 – 37. – pic. 3. – tabl. 1. – Bibliogr.: (14 names).

This thesis focuses on the development of a methodology of prognosis of reliability of reinforced concrete structures taking into account of influence of changeable parameters and subjective factor, caused by human activity at all stages of structures` life cycle. The recommendations of their usage are proposed.

***Key words:** reliability, probabilistic methods of calculations, taking into account of uncertainty conditions, fuzzy logic, subjective factor.*