

ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Клименко Є.В., Дорофєєв В.С. (Одеська державна академія
будівництва та архітектури, м. Одеса)

Пропонується визначати технічний стан будівельних конструкцій та будівель і споруд в цілому як імовірності неперевищення показниками експлуатаційної придатності граничних значень з уточненням її в процесі експлуатації.

Вступ

Нормативні методи розрахунку будівельних, в тому числі і залізобетонних, конструкцій [1, 2] по своїй суті є детермінованими, тобто в їх розрахункові моделі в явному виді не входять будь-які імовірнісно-статистичні характеристики. Однак змінність та випадковість такої змінності цих характеристик, тим чи іншим чином, враховується під час призначення нормативних та розрахункових властивостей матеріалів, навантажень та впливів, коефіцієнтів умов роботи, надійності та ін. В даний час розробляються та удосконалюються імовірнісні методи розрахунку. Вони уже доведені [3] до стану, коли можливе їх практичне використання.

Принципова різниця між проектуванням нових конструкцій та обстеженням і оцінюванням несучої здатності уже існуючих (при імовірнісному підході) полягає в тому, що в першому випадку задається певний рівень надійності, який повинен бути витриманий під час проектування. У другому випадку – необхідно визначити цей рівень надійності та порівняти з допустимими критеріями. Виходячи зі сказаного, дана проблема є актуальною.

Основна частина

Основним показником надійності об'єктів будівельних конструкцій, будівель та споруд в цілому є безвідмовність їхньої роботи. В якості кількісних характеристик безвідмовної роботи будемо використо-

увати імовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови та інтенсивність відмов. Слід розрізняти об'єктивну або „класичну“ ймовірність та суб'єктивну ймовірність.

У класичному визначенні ймовірності розглядається подія, яка є кількісним або якісним результатом дослідження.

Практичну реалізацію того, що будь-який раніше встановлений показник експлуатаційної придатності не перевищує свого граничного значення, можна інтерпретувати запропонованими Ржаніциним О.Р. [4] методом розрахунку будівельних конструкцій на надійність. При цьому усі розрахункові величини поділяють на дві групи: параметри міцності \tilde{R} та параметри навантаження \tilde{Q} .

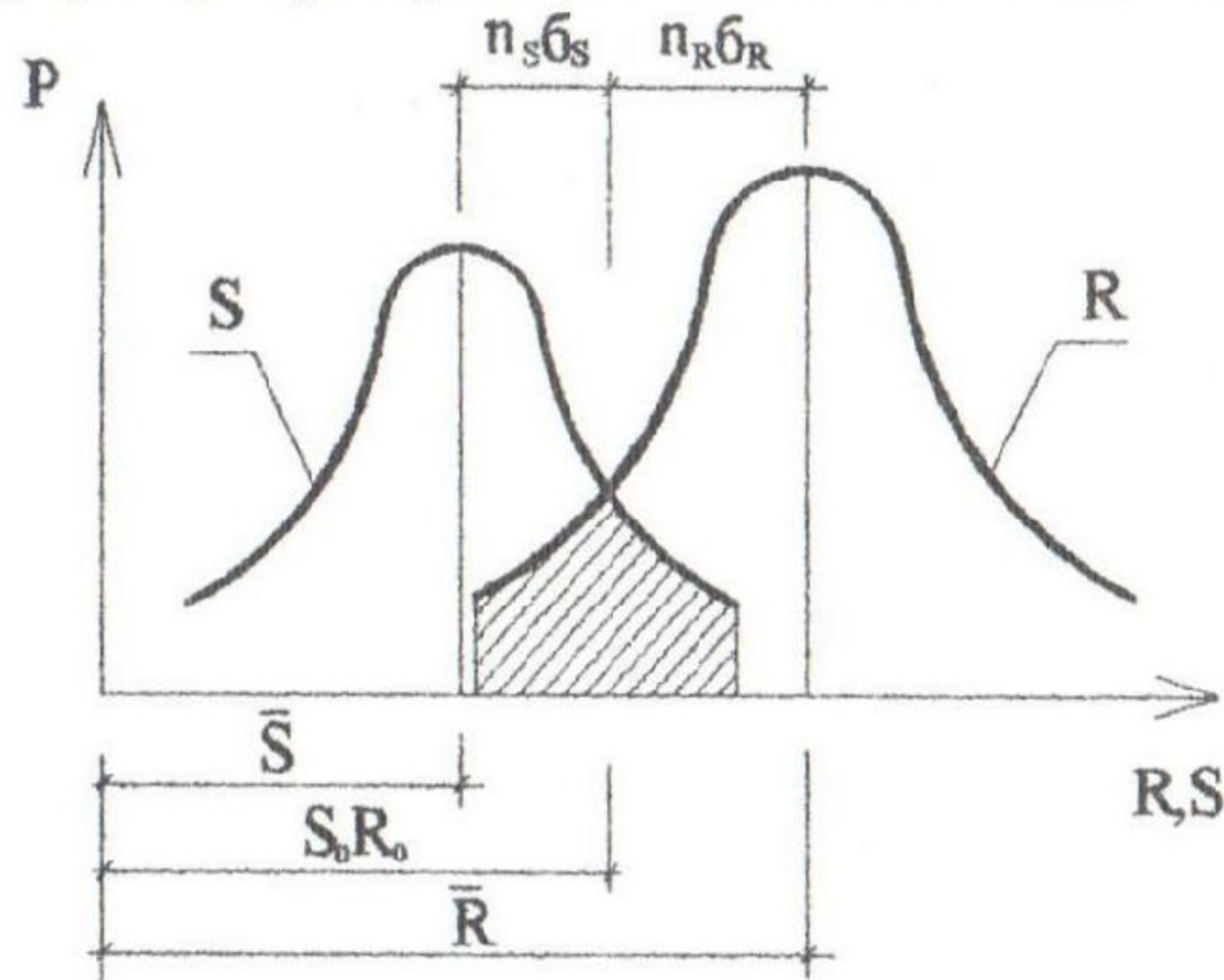


Рис. 1. Імовірність відмови конструкції за [4]

У випадку визначення технічного стану окремих будівельних конструкцій або будівель (споруд) в цілому під \tilde{R} будемо розуміти показники експлуатаційної придатності (обидві їх групи), а під \tilde{Q} – усі види навантажень та впливів оточуючого середовища.

Резерв експлуатаційної

придатності \tilde{S} при цьому буде дорівнювати (рис. 1):

$$\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{Q}. \quad (1)$$

За будь-яких законів розподілу випадкових величин \tilde{R} і \tilde{Q}

$$\bar{S} = \bar{R} - \bar{Q}; \quad (2)$$

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(R) + \sigma^2(Q)}.$$

Кількість стандартів σ_s в інтервалі від $S = 0$ до $S = \bar{S}$ називають характеристикою безпеки:

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma(S)} = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma^2(R) + \sigma^2(Q)}}. \quad (3)$$

Якщо, в процесі розрахунку будівельних конструкцій можливо встановити кореляційний зв'язок між параметрами експлуатаційної

придатності \tilde{R} та параметрами впливу оточуючого середовища \tilde{Q} та оцінити його величину кореляційним моментом $r_{R,Q}$. В цьому випадку вираз для характеристики безпеки (резерву експлуатаційної придатності) буде рівним:

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma(S)} = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma^2(R) - 2r_{R,Q} + \sigma^2(Q)}}. \quad (4)$$

Наведений підхід до визначення характеристики безпеки може мати місце лише для нормального (Гаусівського) розподілу випадкової величини, або, в крайньому випадку, – для симетричного закону розподілу. Фундаментальні дослідження, проведені науковцями [3] показали, що для більшості конструкцій, які використовуються в промисловому, цивільному та інших видах будівництва, ця умова виконується. Крім того, в теорії імовірності [5] існує центральна гранична теорема про те, що за умови широкого кола випадкових величин зі збільшенням числа доданків, розподіл асимптотично наближається до нормального.

Проаналізуємо основні показники експлуатаційної придатності (міцність) залізобетонних конструкцій. Конструкція може зруйнуватися (тут розглядається найнижчий макрорівень системи будівлі (споруди)) від досягнення граничного стану арматурою або бетоном. Тобто параметр міцності залежить від характеристик розподілу випадкових величин (фізико-механічних та геометричних) двох вищезазначених матеріалів. Оскільки реалізація цих двох подій залежить від: навантаження (зовнішнього впливу); геометричних, фізико-механічних характеристик складових конструкції, то їх слід вважати сумісними та незалежними. Імовірність появи двох незалежних подій дорівнює добутку ймовірності їх:

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B). \quad (5)$$

Як відзначають практично усі дослідники, коефіцієнт варіації (один із основних статистичних показників при нормальному розподілі випадкової величини) міцності арматурної сталі є величина доволі стала та може в розрахунках прийматися рівною $\nu = 5\%$. Для перевірки цього в 2000 році були проведені дослідження міцності та коефіцієнт її варіації арматури конструкцій перекриття та колон першого поверху будівлі холодильника ВАТ „Полтавахолод“ по вул. Зінківській в м. Полтаві. Випробування проводились на Універсальній випробувальній машині УИМ-50 в лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Полтавського національного технічного університету імені Юрія

Кондратюка. Результати показали, що для усіх діаметрів арматурної сталі, виготовленої до речі в кінці 40-50-х років минулого сторіччя, розкид міцності незначний ($v = 2,98$), тобто вкладається у наведені вище межі.

Зовсім інакше обстоїть справа з мінливістю міцності бетону. Величина міцності та її змінність залежить від великої кількості факторів та доволі детально вивчена на даний час. Під час визначення технічного стану окремих залізобетонних конструкцій слід визначати статистичні характеристики дослідним шляхом та користуватися ними під час виконання перевірних розрахунків. Тут слід лише відзначити, що останнім часом простежується тенденція до зменшення коефіцієнта варіації міцності бетону. На рисунку 2 показано як змінюється ця характеристика відносно часу зведення будівлі.

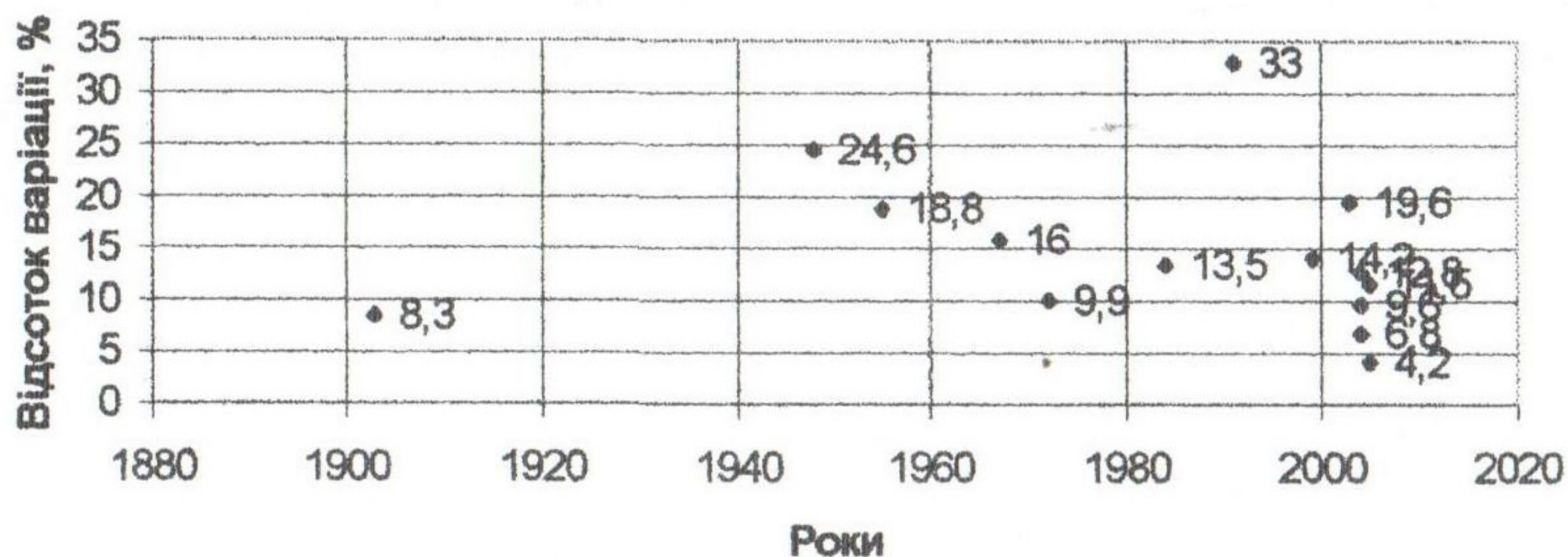


Рис. 2. Динаміка зміни коефіцієнта варіації міцності бетону з роками

Для такого аналізу було розглянуто змінність міцності бетону ряду об'єктів різних років побудови, різної міцності та способу зведення.

З графіка видно, що попри багатофакторність залежності, мінливість міцності бетону (а це є однією з характеристик надійності) змінюється з роками. Це пов'язане, в першу чергу з технологічною дисципліною та з рівнем вимогливості до контролю якості бетону, а також з використанням нових матеріалів та технологій. Дана залежність не є функціональною, але показує тенденцію зміни коефіцієнта варіації. Так, якщо в конструкціях, побудованих в кінці 80-х, на початку 90-х років минулого сторіччя цей показник сягав 33%, то останнім часом завдяки використанням нових технологій він суттєво знизився. Особливо помітне зниження мінливості міцності бетону спостерігається для конструкцій, для яких можливе якісне укладання бетонної суміші та її ущільнення, наприклад перекриттів. Ці висновки дають можливість

попередньої експертної оцінки надійності конструкції та вихідні дані для планування обсягів робіт з інструментального обстеження.

Об'єктивна імовірність для визначення надійності роботи будівлі або споруди в цілому малоприматна, оскільки для її визначення необхідно провести досить велику кількість дослідів та отримати достовірну кількість результатів.

Суб'єктивна імовірність, або невизначеність, застосовується в тому випадку коли кількість дослідів дуже обмежена чи навіть зовсім відсутня. Прикладом такого випадку якраз і є оцінювання технічного стану окремих будівельних конструкцій або будівлі чи споруди в цілому. При цьому для практичного застосування використовується підхід Джеффриса [6], коли суб'єктивна ймовірність визначається як ступінь упевненості і визначається залежно від рівнів довіри більшої частини експертів, що приймають рішення. Власне кажучи, в чинних нормах [7] і закладений такий метод визначення технічного стану окремих конструкцій, а на його результатах – і будівлі чи споруди в цілому. Більш прийнятним для експертних оцінок може бути запропонований метод Дельфи. Він представляє собою ітераційну процедуру, яка передбачає можливість анонімної критики кожного експерта іншими. В цьому випадку для формування експертної оцінки (прийняття рішення) слід створити колектив спеціалістів на чолі з досвідченим та висококваліфікованим координатором. Координатор направляє діяльність групи та забезпечує анонімність висновків окремих членів. Під час роботи, кожен експерт оцінює технічний стан конструкції і анонімно сповіщає про це керівника. Керівник, в свою чергу визначає квартилі експертних оцінок та виділяє медіану, про що сповіщає експертів та просить переглянути своє рішення або дати обґрунтування старого. На основі, як правило, 3...4 ітерацій можна отримати досить достовірну експертну оцінку. Такий підхід носить суб'єктивний характер та не може бути прийнятним при оцінюванні технічного стану конструкцій. Він може бути рекомендований під час визначення допустимих рівнів забезпеченості.

У ході проведення спостережень за поведінкою будівельних конструкцій та будівель і споруд в цілому в процесі їх експлуатації постійно накопичуються статистичні дані про окремі показники їх технічного стану. Методологічною основою процесу переходу від апріорної інформації, формалізованою у вигляді апріорного розподілу, до апостеріорної шляхом додавання отриманих дослідним шляхом нових даних про роботу системи, є метод Байєса. Процес цей представляє, власне кажучи, уточнення початкових уявлень про властивості об'єкта на підставі результатів, отриманих в процесі спостереження, тобто накопичення

спостереження, тобто накопичення інформації. Алгоритм такого процесу показаний на рисунку 3.

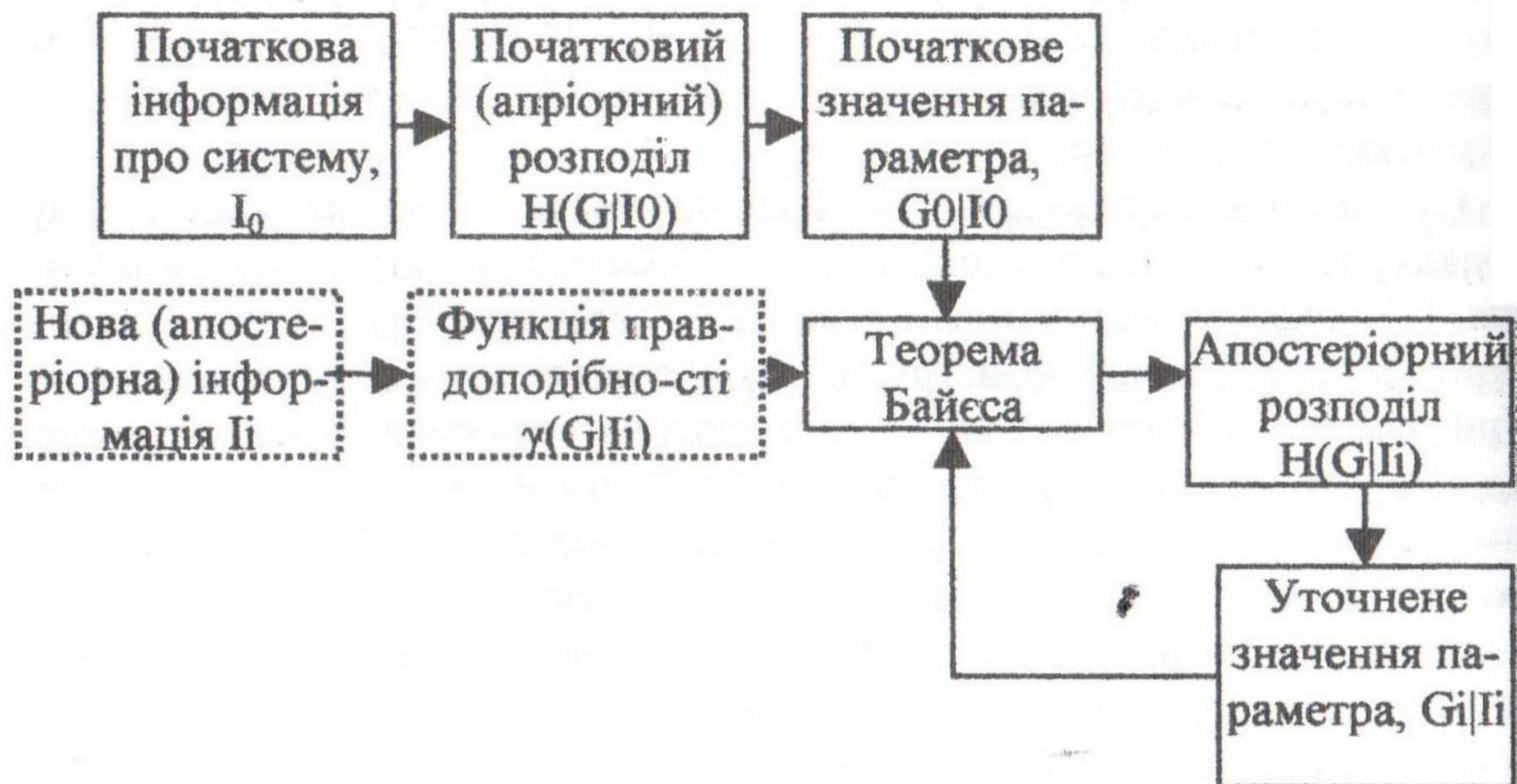


Рис. 3. Алгоритм уточнення параметрів показників експлуатаційної придатності

Якщо будь-який параметр експлуатаційної придатності позначити через G , попередні уявлення про зміну цього параметру повинні базуватися на якійсь початковій інформації. Такі уявлення визначаються або на підставі результатів спостережень (досліджень) за експлуатацією даної будівлі чи споруди, або на підставі результатів, отриманих в процесі експлуатації аналогічних будівель (споруд) (за умови подібного впливу оточуючого середовища), або на підставі експертних оцінок. Виходячи з вищевикладеного, у випадку відсутності достовірної початкової інформації ефективно використовувати принцип Джеффріса. На підставі прийнятих уявлень про хід експлуатації об'єкта приймається початковий (апріорний) розподіл параметра G – $H(G|I_0)$. Знаючи цей розподіл, можна визначити апріорну величину показника експлуатаційної придатності $G_0|I_0$. В ході спостереження (моніторингу) за ходом експлуатації будівлі отримуються нові дані, тобто отримується апостеріорна інформація I_i , яка оцінюється за допомогою функції правдоподібності $\gamma(G|I_i)$. Функція $\gamma(G|I_i)$ складається з імовірності (щільності імовірності) експериментальних даних, отриманих з дослідів (спостереження) та виражена як функція від параметру G . Тут слід зазначити, що для отримання функції достовірності повинна бути модель об'єкта

дослідження у вигляді умовного розподілу основної випадкової величини. За допомогою формули Байєса

$$H(G | I_i, I_0) = \frac{H(G | I_0) \cdot \gamma(G | I_i)}{\int H(G | I_0) \cdot \gamma(G | I_i) dG} \quad (6)$$

можна отримати апостеріорний розподіл параметра G , який буде умовним по відношенню початкового значення параметра та емпіричних даних I_i , отриманих в ході експерименту. У міру накопичення нової інформації, вона починає переважати у апостеріорному розподілі та наближається до об'єктивної. При такому підході до визначення технічного стану будівельних конструкцій відмінність між параметром та його оцінкою виражається формулою корисності. Ця функція у найбільш поширеному випадку представляється як функція втрат, що характеризує втрату якогось показника через заміну істинного значення даного параметра його оцінкою. Правило оцінювання параметра, який в Байєсівському процесі вважається випадковим, вибирається так, щоб мінімізувати функцію втрат. Оцінка параметра при такому підході не вважається величиною випадковою.

Таким чином, при оцінюванні технічного стану окремих конструкцій пропонується замінити параметр, який є невизначеним або інформація про нього недостатня, на імовірнісний розподіл множини його можливих значень. При цьому, як відомо [8], немає потреби розглядати питання ефективності, незміщеності та обґрунтованості. Використанням Байєсовських процесів в ході оцінювання технічного стану будівельних конструкцій розв'язує проблему малих вибірок [9], яка має місце при вирішенні цієї проблеми.

При визначенні технічного стану будівлі чи споруди в цілому розглядається система з наступним ієрархічним поділом:

- перший рівень – система, яка описує один із показників експлуатаційної придатності та його відповідність граничному значенню;
- другий рівень – система, яка описує сукупність показників експлуатаційної придатності (першої чи другої їх групи) та відповідність кожного із них відповідному граничному значенню.

До першого рівня можна віднести: показники міцності нормального та похилого перерізу; міцність вузла з'єднання елементів; ширина розкриття тріщин (нормальних та похилих); прогини елементів; опір теплопередачі конструкції тощо.

При імовірнісному підході до оцінювання технічного стану на першому рівні ієрархії визначається імовірність відмови конструкції за даним показником експлуатаційної придатності, тобто імовірність перевищення ним своєї граничної величини.

Метою розрахунку надійності другого рівня при такому підході є визначення імовірності відмови системи, тобто імовірність виходу хоча б одного вектора показників експлуатаційної придатності за межі області якості. Для цього в кожному випадку для обох груп показників створюється модель, що представляє собою дерево відмов. При простому виді цього дерева, наприклад послідовному з'єднанні елементів системи, імовірність безвідмовної роботи системи визначається за відомими виразами множення ймовірностей складових

$$P_y = \prod_{i=1}^m (1 - Q_i), \quad (7)$$

де Q_i – імовірність відмови i -того елемента системи при їх загальній кількості m .

В конструкціях, що експлуатуються, спостерігається дещо інша картина. З однієї сторони під час проектування в перерізах з'являються запаси пов'язані, наприклад, з дискретним сортаментом арматури, необхідністю проектувати жорсткі конструкції, тобто переважає розрахунок за другою групою граничних станів, а іншої сторони мають місце пошкодження матеріалів, викликані дією навантаження та впливів під час експлуатації. Ці запаси, якщо вони відносяться до менш надійного матеріалу (в нашому випадку – до бетону) підвищують початкову надійність системи значно більше ніж запаси у більш надійному матеріалі (сталевій арматурі). З іншої сторони, як правило, системи будівлі чи споруди є статично невизначеними, тобто мають гарячі та холодні резерви. Визначення надійності таких систем хоча і складніше, однак досить добре вивчене і може використовуватися у практичних розрахунках.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшої роботи

1. Запропонована методологія оцінювання технічного стану окремих будівельних конструкцій та будівель і споруд в цілому побудована на імовірнісному підході та дає можливість оцінювати технічний стан

як імовірність відможи, тобто перевищення окремими показниками експлуатаційної придатності граничних значень.

2. Априорна інформація про роботу конструкцій та їх стан в ході експлуатації доповнюється апостеріорною, що робить результат більш достовірним.

3. В подальшому слід розробити запропоновані в статті методи для регулювання технічного стану.

Література

1. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Госстрой СССР, 1989. – 80 с.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНИП 2.03.01-84*) // ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 192 с.
3. Застава М.М. Определение расчетной надежности железобетонных конструкций. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1998. – 180 с.
4. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
5. Справочник по теории вероятности и математической статистике Ъ Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф.. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 640 с.
6. Зельнер А. Байесовские методы в эконометрии. – М.: Статистика. 1980. – 438 с.
7. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Держ. комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. — К., 1997. — 145 с.
8. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 320 с.
9. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания: надёжность технических объектов. – М.: Наука, 1989. – 328 с.