

УДК 624.014

Період повторюваності для конструкцій з короткими строками служби

Білик С.І., д.т.н., **Володимирський В.О.,** к.т.н., **Білик А.С.,** к.т.н.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація. У статті розглядаються конструкції, термін експлуатації яких менше періоду повторюваності макрометеорологічних піків снігового навантаження. Визначені коефіцієнти надійності для різних випадків.

Аннотация. В статье рассматриваются конструкции, срок эксплуатации которых меньше периода повторяемости макрометеорологических пиков снеговой нагрузки. Определены коэффициенты надежности для различных случаев.

Abstract. In article constructions are considered, which term of exploitation is less than a recurrence period of macrometeorological peaks of snow load. Partial safety factors are specified for different examples.

Ключові слова: снігове навантаження, період повторюваності, коефіцієнт надійності.

Актуальність проблеми. Останнім часом все більшу популярність на ринку завойовують швидкокомтовані конструкції, що використовуються під автосалони, виставкові павільйони, спортивні майданчики тощо, які мають проектний строк експлуатації 5–30 років.

На роботі конструкцій з невисокими проектними строками служби може суттєво позначатися вплив нерівномірності випадкового процесу снігового навантаження внаслідок того, що період експлуатації може припадати на макрометеорологічні піки циклу багатосніжних зим. У результаті розрахунковий період повторюваності навантаження може виявитися меншим від фактичного і норма забезпеченість виявиться недостатньою. У таких випадках доцільно ув'язувати період повторюваності з прогнозованою періодичністю багатосніжних і малосніжних зим.

Огляд останніх досліджень. Розробкою моделей снігового навантаження та їх урахуванням при аналізі надійності конструкцій займалися В. Д. Райзер [8], С. Ф. Пичугін [6], В. В. Власов, О. Г. Виноградов та інші. В сучасних нормах [3, 1] знайшли відображення значення снігових навантажень у результаті опрацювань багаторічних метеорологічних спостережень. Макрометеорологічні максимуми та мінімуми характеризуються періодичністю, що пов'язано з геофізичними та

астрономічними процесами, а також синергетичною здатністю метеосистем до накопичення і вивільнення енергії [9].

Постановка задачі. В якості показника надійності виступає імовірність безвідмовної роботи конструкції протягом заданого строку служби $P^n(S_1)$. Якщо необхідно обчислити імовірність того, що діюче на конструкцію навантаження протягом строку служби не перевищить допустимого рівня, то повстає задача визначення імовірнісних характеристик процесу першого перетинання випадковою функцією заданого порогового рівня (викиду за пороговий рівень протягом n років).

Для визначення максимального снігового навантаження для об'єкта, розрахованого на n років, імовірність перевищення розрахункового граничного значення навантаження записується у вигляді:

$$P(S_n) = P^n(S_1), \quad (1)$$

де S_n – максимум за n років; S_1 – максимум за один рік. Таким чином, здійснюється перехід від максимуму за рік до максимуму за n років.

Період повторюваності для рівня забезпеченості $P^n(S_1)$ при довільній кількості років визначається залежністю:

$$T_n = \frac{n}{1 - P^n(S_1)}. \quad (2)$$

Як правило, період повторюваності дає всю необхідну інформацію для раціонального проектування. Якщо співвідношення між періодом повторюваності і граничним значенням випадкової величини задане, то можна вибрати величину того чи іншого параметра, яка необхідна для забезпеченості потрібного рівня надійності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення задачі ув'язування періоду повторюваності навантаження T з прогнозованою періодичністю багатосніжних зим можна скористатися поняттям вичерпання резерву $T_{рез}$ для періоду повторюваності, запропонованого в роботі [2]. Воно пов'язане зі зміною забезпеченості та періоду повторюваності розрахункового граничного навантаження при зростанні кількості річних періодів n випадкового процесу навантаження.

Для об'єктів із короткочасним терміном експлуатації T_{ef} можуть виникати дві розрахункові ситуації: 1) конструкція введена невдовзі після макрометеорологічного піку періоду T і час до першого перевищення розрахункового граничного значення снігового навантаження є більшим від строку експлуатації $T_{рез} > T_{ef}$ (рис. 1а); тоді забезпеченість $P^n(S_1)$ відповідає максимуму процесу навантаження за $n = T_{ef}$ періодів; 2) конструкція введена під кінець періоду T і на період служби конструкції можливі макрометеорологічні піки навантажень; тоді час до першого перевищення розрахункового граничного значення снігового навантаження є меншим від строку експлуатації $T_{рез} < T_{ef}$ (рис. 1б) і забезпеченість $P^n(S_1)$ повинна відповідати максимуму процесу навантаження за $n = T$ періодів.

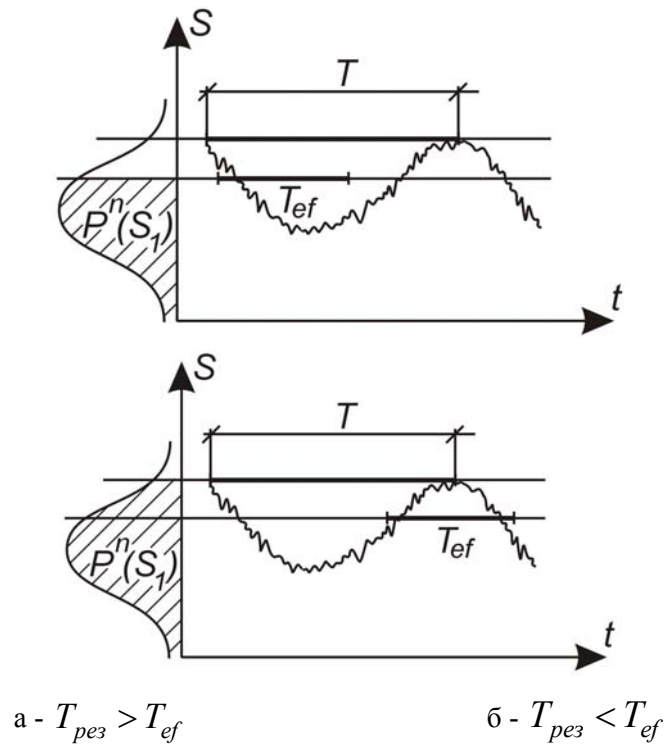


Рис. 1. Реалізація випадкового процесу навантаження

Згідно з положенням норм [1], граничні розрахункові навантаження є функціями періоду повторюваності значень випадкового процесу навантаження. Для об'єктів масового будівництва допускається середній період повторюваності T приймати таким, що дорівнює встановленому строку експлуатації T_{ef} . Для об'єктів, що мають підвищений рівень відповідальності, період повторюваності обчислюється за формулою (8.6) норм

$$T = T_{ef} K_p \quad (3)$$

і пов'язується з імовірністю $P^n(S_1)$ неперевикнення (забезпеченість) граничного розрахункового значення навантаження за n років.

Для об'єктів нового будівництва відношення періоду повторюваності навантаження до строку експлуатації представляє собою коефіцієнт $K_p = T / T_{ef}$, який застосовується в формулі (8.6) норм [1]. Отже, ув'язування терміну експлуатації конструкції з періодичністю багатосніжних зим можна трактувати як застосування рекомендацій норм [1] для конструкцій з підвищеним рівнем відповідальності.

Приклад 1. Об'єкт побудований у 2011 р. після багатосніжної зими 2010 р. Встановлений строк служби $T_{ef} = 10$ років. Періодичність багатосніжних зим, що спостерігається у даному регіоні, становить $T = 15$ років. Тоді $T_{рез} > T_{ef}$ і коефіцієнт надійності за навантаженням приймається за [1] $\gamma_{fm} = 0,69$.

Приклад 2. Будівництво об'єкту заплановано на 2020 р. Встановлений строк служби $T_{ef} = 10$ років, а наступний пік циклу навантаження прогнозується на 2025 рік. Тоді $T_{рез} < T_{ef}$ і коефіцієнт надійності за навантаженням приймається за [1] для періоду повторюваності $T = 15$ років $\gamma_{fm} = 0,76$.

Для об'єктів, які працюють після вичерпання проектного строку експлуатації, можна виходити з резерву періоду повторюваності

$$T_{рез} = T - T_{ef} \quad (4)$$

Тоді коефіцієнт $K_p = T_{рез} / T_{ef}$ характеризує імовірність того, що час до першого перевищення розрахункового граничного значення навантаження може виявитися меншим, ніж прийнятий період повторюваності. В табл. 1 наведені розрахунки коефіцієнта K_p для різних рівнів забезпеченості граничного розрахункового значення навантаження $P(S_1)$ при різних заданих строках служби $T_{ef} = n$. Результати цих розрахунків показують, що фактор часу проявляється для будівель і споруд у падінні забезпеченості $P^n(S_1)$ щодо встановленого рівня розрахункового граничного навантаження $P(S_1)$. Наприклад, при прийнятому значенні $P(S_1) < 0,96$ для будівель із прийнятим строком T_{ef} більше 15 років коефіцієнт K_p стає меншим одиниці.

Таблиця 1

Періоди повторюваності навантаження в залежності від забезпеченості розрахункового граничного навантаження і проектного строку служби

| Встановлена Забезпеченість за один період $P(S_1)$ | Строк служби, років $n = T_{ef}$ | Забезпеченість протягом встановленого строку служби $P^n(S_1)$ | Період повторюваності, років $T_n = \frac{n}{1 - P^n(S_1)}$ | Резерв періоду повторюваності, років $T_{рез} = T_n - T_{ef}$ | Коефіцієнт $K_p = \frac{T_{рез}}{T_{ef}}$ |
|--|---|---|--|---|--|
| 0,995 | 5 | 0,975 | 200 | 195 | 39 |
| | 10 | 0,951 | 204 | 194 | 19,4 |
| | 15 | 0,928 | 208 | 193 | 12,9 |
| | 20 | 0,905 | 210 | 190 | 9,5 |
| 0,99 | 5 | 0,951 | 102 | 97 | 19,4 |
| | 10 | 0,904 | 104 | 94 | 9,4 |
| | 15 | 0,860 | 107 | 92 | 6,1 |
| | 20 | 0,818 | 110 | 91 | 4,5 |
| 0,98 | 5 | 0,904 | 52 | 47 | 9,0 |
| | 10 | 0,817 | 55 | 45 | 4,6 |
| | 15 | 0,739 | 57 | 42 | 2,8 |
| | 20 | 0,668 | 60 | 40 | 2,05 |
| 0,97 | 5 | 0,859 | 35 | 30 | 6,0 |
| | 10 | 0,737 | 38 | 28 | 2,8 |
| | 15 | 0,633 | 41 | 26 | 1,73 |

| | | | | | |
|------|----|-------|----|----|------|
| | 20 | 0,543 | 44 | 24 | 1,2 |
| 0,96 | 5 | 0,815 | 27 | 22 | 4,4 |
| | 10 | 0,665 | 30 | 20 | 2,0 |
| | 15 | 0,542 | 33 | 18 | 1,2 |
| | 20 | 0,441 | 36 | 16 | 0,8 |
| 0,95 | 5 | 0,774 | 22 | 17 | 3,4 |
| | 10 | 0,599 | 25 | 15 | 1,5 |
| | 15 | 0,463 | 28 | 13 | 0,87 |
| | 20 | 0,358 | 31 | 11 | 0,55 |
| 0,94 | 5 | 0,734 | 19 | 14 | 2,8 |
| | 10 | 0,539 | 22 | 12 | 1,2 |
| | 15 | 0,395 | 25 | 10 | 0,67 |
| | 20 | 0,290 | 28 | 8 | 0,4 |
| 0,93 | 5 | 0,696 | 16 | 11 | 2,2 |
| | 10 | 0,484 | 19 | 9 | 0,9 |
| | 15 | 0,337 | 23 | 8 | 0,53 |
| | 20 | 0,235 | 26 | 6 | 0,3 |
| 0,90 | 5 | 0,590 | 12 | 7 | 1,4 |
| | 10 | 0,349 | 15 | 5 | 0,5 |
| | 15 | 0,206 | 19 | 4 | 0,27 |
| | 20 | 0,122 | 23 | 3 | 0,15 |
| 0,85 | 5 | 0,444 | 9 | 4 | 0,8 |
| | 10 | 0,197 | 12 | 2 | 0,2 |
| | 15 | 0,087 | 16 | 1 | 0,07 |
| | 20 | 0,034 | 21 | 1 | 0,05 |

Приклад 3. Термін експлуатації об'єкта вичерпаний у 2011 р. після багатосніжної зими 2010 р. Встановлений подальший строк служби $T_{ef} = 10$ років. Таким чином, протягом строку служби потрібний резерв періоду повторюваності $T_{рез} = 10$ років. За табл. 1 такій ситуації відповідає (за інтерполяцією) значення коефіцієнта $K_p = 1,0$. Тоді розрахунковий період повторюваності становить $T = T_{ef} K_p = 10 \cdot 1,0 = 10$ років і за [1] приймається коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fn} = 0,69$. Забезпеченість граничного розрахункового навантаження – 0,933.

Приклад 4. Проектний термін експлуатації об'єкта вичерпується у 2020 р. Встановлено подальший строк служби $T_{ef} = 10$ років, а наступний пік

снігового навантаження прогнозується на 2025 рік. Тоді потрібний резерв часу $T_{рез}$ повинен дорівнювати періодичності багатосніжних зим, що спостерігається у даному регіоні і становить $T = 15$ років. За табл. 1 такій ситуації відповідає значення коефіцієнта $K_p = 1,5$. Тоді розрахунковий період повторюваності становить $T = T_{ef} K_p = 10 \cdot 1,5 = 15$ років і за [1] приймається коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fn} = 0,76$. Забезпеченість граничного розрахункового навантаження – 0,95.

Висновки. Урахування при перевірці об'єктів, які працюють після вичерпання проектного строку експлуатації та при новому будівництві макрометеорологічних піків дозволяє більш відповідно визначити забезпеченість та коефіцієнти надійності. Періоди повторюваності T та інші дані щодо макрометеорологічних максимумів та мінімумів снігового навантаження, потрібні при аналізі, можуть бути отримані за даними проведених метеорологічних спостережень у кожному регіоні. Для об'єктів нового будівництва також перспективною уявляється розробка довгострокових прогностичних моделей визначення наступних макрометеорологічних піків. Це може стати тематикою наступних досліджень.

Література

- [1] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. – К. : Сталь, 2006 – 59 с.
- [2] Білик С.І. Про безпеку експлуатації будівель після вичерпання встановленого строку служби / С.І. Білик, В.О. Володимирський, А.С. Білик // Ресурсноекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наук. праць : Вип. 20 – Рівне, 2010.
- [3] EN 1991-1-3. Eurocode 1. Actions on structures : Part 1-3 : General actions - Snow loads.
- [4] Аугусти Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратэс, Ф. Кашати. – М. : Стройиздат, 1986. – 584 с.
- [5] Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
- [6] Пичугин С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий / С. Ф. Пичугин. – Полтава : АСМИ, 2009. – 452 с.
- [7] Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М. : Стройиздат, 1971. – 255 с.
- [8] Райзер В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. – М. : Стройиздат, 1995. – 347 с.
- [9] Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. – М. : Мир, 1991. – 240 с.