

УДК 624.046.2

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, ДВНЗ “Криворізький національний університет”

ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД В ОЦІНЦІ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Наведено аналіз діючих норм розрахунку з точки зору надійності конструкцій масового застосування. Проведено обробку даних, зроблено висновки.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Будь-яка будівельна конструкція та будівля має об'єктивну ймовірність відмови. Найбільш важкою відмовою є руйнування конструкції. З'ясування ступеню такої загрози є важливою соціальною та технічною задачею, нормований розв'язок якої на теперішній час відсутній. У той же час її розв'язок дозволив би чисельно обґрунтувати безпечну експлуатацію будівель як на стадії проектування та експертизи проекту, так і на стадії їх експлуатації.

Доведено [1], що надійність будівель в процесі експлуатації зменшується значно інтенсивніше, ніж це передбачалося проектувальниками. Така ситуація зумовлена непроєктованими умовами фактичної експлуатації будівель, а також непередбачуваними випадковими впливами, що призводить до інтенсивного накопичення ушкоджень в конструкціях. Для попередження руйнування конструкцій та аварій потрібно володіти інформацією про їх рівень залишкової несучої здатності та надійності.

Аналіз досліджень і публікацій. На теперішній час прогноз залишкового строку експлуатації будівель та споруд або окремих їх частин виконується у припущенні нормального або експонентного законів розподілу часу до відмови. Це приводить до помилкових результатів розрахунку залишкового ресурсу конструкції.

Несуча здатність, в більшості випадків, визначається розрахунковим методом на основі результатів дискретних випробувань матеріалів конструкцій та уточнення впливів, але як правило, без уточнення розрахункових схем. Визначення механічних характеристик матеріалів конструкцій дискретними або іншими методами передбачає певні труднощі, а наступне їх використання в умовних розрахункових схемах призводить до помилкових результатів та невизначеності. Інтегральні методи неруйнівних випробувань конструкцій не отримали потрібного розвитку, а руйнівні випробування доцільні лише на стадії дослідження нових видів матеріалів та конструкцій [2].

На теперішній час для конструкцій, що експлуатуються не створено норм розрахунку, аналогічних ДБН або СНиП. ДБН В.1.2-14-2009, який повинен був внести ясність в розрахунок таких конструкцій, згідно пункту 8, передбачає ймовірнісний розрахунок надійності додатково до нормативних проектних розрахунків за методом граничних станів лише для унікальних та особливо відповідальних конструкцій.

Розрахунок будівель, які експлуатуються, проводять як для нових конструкцій, що не відповідає дійсності. У свою чергу розрахунок нових конструкцій повинен проводитися згідно вимог ДБН В.2.6-98:2009. Останній, багато в чому, наслідок попередній нормативний документ СНиП 2.03.01-84* (залишається справедливою гіпотеза плоских перерізів, в основі розрахунку лежить метод граничних станів, мінливість фізичних характеристик регулюється за допомогою відповідних коефіцієнтів). У зв'язку з цим недоліки попереднього нормативного документа перералися, спадково, існуючому [3].

Норми проектування будівельних конструкцій враховують ймовірнісний характер навантаження та несучої здатності конструкцій тільки в частині обробки вихідних даних. Метод граничних станів є напівймовірнісним і надійність конструкцій при проектуванні забезпечується на основі використання частних коефіцієнтів запасу, величини яких не мають достатньої теоретичного та експериментального підґрунтя [4].

Розрахунок будівельних конструкцій, який відповідав би їх реальній поведінці під час експлуатації, повинен в повній мірі базуватися на теорії надійності, заснованій на ймовірнісних методах. Останні дозволяють дати більш об'єктивну оцінку конструкції про її придатність до нормальної експлуатації. Ці методи дозволяють більш вірно відобразити випадкову природу

основних розрахункових величин та взаємозв'язок між зовнішніми впливами та міцністю конструкції. Ймовірнісний підхід зумовлено тим, що всі міцнісні, геометричні та деформаційні характеристики конструкцій, а також усі впливи на них представляють собою випадкові величини або випадкові процеси.

Отже, одним з чинників, який повинен забезпечити надійну роботу конструкції, є використання коефіцієнтів надійності. Вперше статистична природа коефіцієнту надійності була показана в опублікованій в 1926 р. роботі Майєра, в якій автор замість розрахунку за допустимими напруженнями запропонував для вибору величин параметрів, що вводяться в розрахунок, використовувати методи теорії ймовірності. Загальні принципи питання застосування ймовірнісних методів до аналізу надійності споруд отримали розвиток у дослідженнях В.В. Болотіна, А.Р. Ржаниціна. Суттєвий внесок в удосконалення методів розрахунку надійності конструкцій та обґрунтування процедур нормування розрахункових параметрів внесли дослідження А.Я. Дрвінґа, Б.І. Снарскіса, Ю.Д. Сухова, С.А. Тимашева, В.П. Чиркова, А.П. Кудзиса, А.С. Личева та ін.

Положення сучасних норм розрахунку не мають загальної теоретичної бази. У зв'язку з цим можуть виникати парадоксальні ситуації, коли надійність споруд одного й того ж призначення, виконаних з різних матеріалів, може відрізнятись. А саме до цього призводять різні правила встановлення розрахункових величин міцнісних характеристик різних матеріалів.

Існуючий метод нормування не дозволяє оцінювати надійність конструкцій масового застосування та проектувати їх з заданим рівнем надійності. Основною вимогою з надійності є порівняння розрахункових величин навантаження та несучої здатності. Але граничний стан не може визначатися лише співставленням цих розрахункових величин. Він може наступити при величинах навантажень, менших за розрахункові, якщо реалізована менша величина несучої здатності. Тому при нормуванні вимог надійності неможливо обмежуватися напівймовірнісним підходом, як це прописано в методі граничних станів, тобто застосовувати методи теорії ймовірності для розгляду кожної вихідної випадкової величини окремо і не розв'язувати задачу надійності конструкцій [3].

Постановка завдання. Метою дослідження був аналіз діючих норм розрахунку з точки зору надійності конструкцій масового застосування, що проектуються та тих що знаходяться в експлуатації.

Викладення матеріалу та результати. Рівень надійності характеризується ймовірністю безвідмовної роботи конструкції, яка в аналітичному вигляді може бути виражена наступним чином [4]

$$P_s = 1 - \Phi(\beta), \quad (1)$$

$$\text{де } \beta = \frac{\bar{p} - \bar{w}}{\sqrt{S_p^2 + S_w^2}}.$$

$$\text{При цьому } \bar{p} = \ln \bar{r}, \quad \bar{w} = \ln \bar{q},$$

де $\bar{q} = \bar{Q}/Q_p$, $\bar{r} = \bar{R}/R_p$ - безрозмірні величини навантаження та опору.

Параметри S_w та S_p виражаються через числові характеристики розподілу:

$$S_w^2 = \ln(1 + v_q^2); \quad S_p^2 = \ln(1 + v_r^2) \quad (2)$$

В останніх двох виразах v_q, v_r - коефіцієнти варіації.

При коефіцієнті варіації $v < 0,4$

$$\ln(1 + v^2) \approx v^2,$$

$$\text{тоді } S_w \approx v_q; \quad S_p \approx v_r,$$

і вирази для характеристики безпеки набувають вигляду

$$\beta = \beta_r \chi + \beta_q / (1 + \chi^2)^{1/2}, \quad (3)$$

де $\chi = v_r / v_q$.

З викладеного можна зробити висновок [4], що характеристика безпеки залежить не тільки від забезпечення (дальностей) розрахункових значень навантажень та опорів, а й від відношення їх коефіцієнтів варіації (рис. 1).

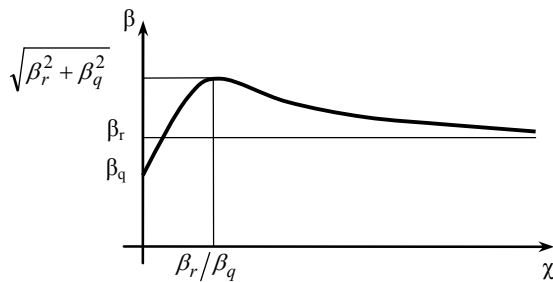


Рис. 1. Залежність характеристик безпеки від співвідношення коефіцієнтів варіації

Можна помітити, що при детермінованій міцності

$$(\nu = \chi = 0)\beta = \beta_q,$$

а при детермінованому навантаженні

$$(\nu = \chi = 0)\beta = \beta_r.$$

Продеференціювавши β по χ та прирівняв-

ши похідну до нуля, отримаємо

$$\frac{d\beta}{d\chi} = \frac{\beta_r(1 + \chi^2) - (\beta_r\chi + \beta_q)\chi}{(1 + \chi^2)^{3/2}} = 0.$$

З останнього виразу випливає, що оскільки $\chi > 0$, то $\beta_r - \beta_q\chi = 0$.

Отже, максимальна ймовірність безвідмовної роботи досягається при $\chi = \beta_r/\beta_q$.

При цьому $\beta_{\max} = (\beta_r^2 + \beta_q^2)^{1/2}$.

За одних таких самих забезпеченостей розрахункових значень міцності та навантаження, можуть змінюватися в великих межах в залежності від відношення коефіцієнтів варіації навантаження та міцності, не залежачи при цьому від значень цих коефіцієнтів.

Якщо, наприклад, прийняти $\nu_r=0,08$, $\nu_q=0,4$ ($\chi=0,2$), то отримаємо $\beta=2,12$, тобто ймовірність безвідмовної роботи $P_s=0,983$, а ймовірність відмови $P_f=1-P_s=0,017$, а для $\nu_r=0,2$, $\nu_q=0,1$ ($\chi=2,0$), відповідно $\beta=3,02$ та $P_s=0,9987$, $P_f=0,0013$. Тобто, ймовірність відмови для цих випадків відрізняється у 13 разів.

Отже, можна дійти висновку, що навіть потрібна уніфікація забезпеченості розрахункових значень різних навантажень та опорів різних матеріалів, не може забезпечити єдиний рівень надійності конструкцій. При цьому, встановлюючи забезпеченості розрахункових значень, не можна навіть уявити, яким буде рівень надійності проектованої конструкції [4].

Формула (3) була отримана без врахування коефіцієнту відповідальності. Якщо провести ввести останній в розрахунок, то вираз для визначення ймовірності безвідмовної роботи набуде вигляду

$$P_s = P\left(\frac{1}{\gamma_n} \bar{q} < \bar{r}\right) = P(\bar{m} < \bar{r}), \quad (4)$$

де $\bar{m} = \frac{1}{\gamma_n} \bar{q}$.

Формула (1) перетворюється до вигляду

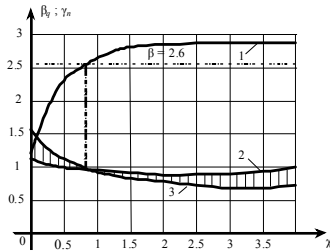
$$P = \Phi\left(\frac{\bar{r} - \bar{q} + \ln \gamma_n}{\sqrt{S_r^2 + S_q^2}}\right) = \Phi(\beta). \quad (5)$$

Звідки

$$\beta = \frac{\beta_r\chi + \beta_q}{(1 + \chi^2)^{1/2}} + \frac{\ln \gamma_n}{(\nu_r^2 + \nu_q^2)^{1/2}}. \quad (6)$$

При $\gamma_n=1$ вираз (6) з виразом (3), при цьому надійність коливається в широких межах в залежності від співвідношення мінливостей вихідних величин. При $\gamma_n \neq 1$ у виразі для характеристики безпеки з'являється додатковий член $\ln \gamma_n / (\nu_r^2 + \nu_q^2)^{1/2}$, і, відповідно, β залежить не тільки від відношення коефіцієнтів варіації вихідних величин χ , а і від їх абсолютних значень.

На рис. 2 показано графіки залежності β - χ (крива 1), $\beta_q=1,3$; $\beta_r/\beta_q=2$, а також графіки залежності γ_n від χ для тих же значень β_q та β_r при $\nu_q=0,15$ (крива 2) та $\nu_q=0,35$ (крива 3).

Рис. 2. Залежність β від χ (крива 1); залежність γ_n від χ (крива 2 та 3)

В табл. 1 показано області можливих значень ймовірностей відмови P_f та характеристики безпеки β для випадку забезпечення розрахункових значень навантажень та опорів $\beta_q=1,65$, $\beta_r=2,56$ для різних значень γ_n [4].

Таблиця 1

χ	v_r	v_q	$(v_r^2 + v_q^2)^{1/2}$	$\gamma_n = 1$		$\gamma_n = 0,95$		$\gamma_n = 0,9$	
				β	P_f	β	P_f	β	P_f
0,1	0,05	0,50	0,502	1,90	0,0287	1,80	0,0359	1,69	0,0455
0,2	0,100,05	0,500,25	0,5100,255	2,12	0,0170	2,021,92	0,02170,0274	1,911,71	0,02810,0436
0,5	0,250,05	0,500,10	0,5590,112	2,62	0,0044	2,532,16	0,00570,0154	2,431,68	0,00750,0465
1	0,300,05	0,300,05	0,4240,071	2,98	0,0014	2,862,26	0,00210,0119	2,731,50	0,00320,0668
2	0,300,10	0,150,05	0,3350,112	3,02	0,0013	2,872,56	0,00210,0052	2,712,08	0,00340,0188
3	0,300,15	0,100,05	0,3160,158	2,95	0,0016	2,792,63	0,00240,0043	2,622,28	0,00440,0113

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз табл. 1, дозволяє дійти висновку, що сучасні методи проектування споруд масового застосування та оцінки рівня їх залишкової несучої здатності можуть призводити до неоднозначних результатів, коли ймовірність відмови при $\gamma_n=0,9$ виявляється меншою ніж при $\gamma_n=1$.

Отже, проектна надійність конструкцій залежить не тільки від встановлених рівнів розрахункових значень вихідних величин, але й від співвідношення їх мінливостей. Аналіз надійності конструкцій, що проектується в припущенні їх доопрацювання з огляду встановлення розрахункових значень показує, що рівень надійності конструкцій однакової відповідальності може відрізнятись в декілька десятків разів.

У зв'язку з викладеним, доцільно було б провести певне корегування існуючих методів розрахунку. А саме, основну вимогу з надійності - співставлення розрахункових значень, замінити вимогою співставлення проектної ймовірності відмови з нормованим значенням цієї ймовірності. Зрозуміло, що останнє твердження потребує додаткових досліджень.

Список літератури

1. **Лычев А.С.** Надёжность строительных конструкций. – М.: АСВ, 2008. – 184с.
2. **Уткин В.С.** Оценка надёжности и несущей способности строительных конструкций на основе теории нечетких множеств и теории возможностей. Автореферат... канд.техн.наук. – Вологда, 2002. – 24с.
3. **Райзер В.Д.** Расчёт и нормирование надёжности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 347с.
4. **Райзер В.Д.** Теория надёжности в строительном проектировании: Монография. – М.: АСВ, 1998. – 304с.

Рукопис подано до редакції 19.03.13

УДК 69.057.693:624

А.В. ПАРШИН, В.И. АСТАХОВ, С.А. ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворозжский национальный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СМЯТИЮ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Представлены результаты исследования сопротивляемости смятию для элементов болтовых соединений фундаментов, которые были выполнены из разных марок стали и имели различную конфигурацию.

Ключевые слова: фундамент, болт, смятие, сопротивляемость, соединение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Смятие - местное сжатие, которое может сопровождаться локальной остаточной деформацией (обмятием). Применительно к болтовым соединениям сопротивление смятию - количественный показатель прочности, выражаемый в напряжениях, который определяет деформативность отверстия элемента, воспринимающего нагрузку от стержня болта. Очевидно, что при установлении количественных показателей сопротивлений смятию целесообразно рассматривать диаграммы деформирования отверстий элементов болтовых соединений, что позволит более адекватно рассчитывать крепления металлоконструкций к фундаментам различных типов.

Анализ исследований и публикаций. Отмеченный подход был использован в исследова-