

В.К. Шиндер, В.В. Волоцюга, Ю.В. Шиндер
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра мостів та будівельної механіки

ПРОПОЗИЦІЇ ДО ЙМОВІРНІСНОЇ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ НОРМАЛЬНИХ СІЧЕНЬ ПЛИТНО-РЕБРИСТОЇ СИСТЕМИ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТА

© Шиндер В.К., Волоцюга В.В., Шиндер Ю.В., 2013

Наведено основні положення загального підходу до побудови методики деформаційного розрахунку міцності дефектної прогонової мостової споруди у ймовірнісній постановці, яка ґрунтується на методі статистичних випробувань.

Ключові слова: ймовірнісна оцінка, плитно-ребриста система, автодорожній міст, нормальний закон розподілу.

It is presented the main results of general approach to building method of deformation strength calculation of defective span bridge structures in a probabilistic formulation, based on the method of statistical tests.

Key words: probabilistic assessment, plate-ribbed system, road bridge, normal distribution law.

Вступ

Сучасний стан розвитку будівництва вимагає пошуку та вдосконалення теорій та методів розрахунку мостових залізобетонних конструкцій, зокрема плитно-ребристих, які б дали змогу обґрунтовано та адекватно використовувати резерви несучої здатності, реально оцінювати справжні характеристики матеріалів, максимально враховувати реальний стан конструкцій та їх елементів. Необхідність точніших розрахунків пояснюється багатьма чинниками, серед яких економія будівельних матеріалів та трудозатрат, постійний брак фінансування, неперервний динамічний розвиток інфраструктури, і як наслідок, постійне збільшення вимог до міцності і надійності доріг, мостів, шляхопроводів.

Постановка проблеми

Сучасні методи розрахунку мостових систем, зокрема і плитно-ребристих, є детермінованими, тобто розрахунок мостових конструкцій проводиться на фіксовані значення навантажень із врахуванням фіксованих параметрів міцності матеріалів і ступенів пошкодження конструкцій. У чинних нормативних документах випадкові реальні значення параметрів постійного та тимчасового навантажень, величина і розташування дефектів, геометричні характеристики прогонових будов, фізико-механічні параметри матеріалів замінені розрахунковими та нормативними в такий спосіб, щоб були забезпечені міцність і надійність мостової прогонової споруди і моста загалом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Попереднім аналізом літературних джерел встановлено, що тема ймовірнісної оцінки міцності нормальних січень плитно-ребристої системи автомобільних мостів досліджувалася мало, та сьогодні постає актуальним завданням сучасного будівництва та має перспективи розвитку. Серед іншого, така тематика розглядалася у [6, 8–10].

Виклад основного матеріалу

Алгоритм ймовірнісного розрахунку міцності прогонової споруди автомобільного моста може бути побудований на основі методу статистичних випробувань, в основу якого покладено

багатократний розрахунок ситуацій проїзду транспортних засобів без врахування динамічних ефектів дії рухомого навантаження.

Для описання варіацій міцнісних характеристик добре підходить нормальний закон розподілу, який описується співвідношенням

$$p_R(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} e^{-\frac{(R-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}}, \quad P_R(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(R-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}} dR, \quad (1)$$

де \bar{R} і σ_R – центр і дисперсія нормального розподілу.

За результатами випробувань стандартних зразків записується ряд випадкових значень R певного параметра, наприклад границі міцності за розтягу, та будуються відповідні гістограми. Середньостатистичне значення розподілу визначається за виразом

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k=1}^m R_k n_k}{\sum_{k=1}^m n_k}, \quad (2)$$

де $n_k (k=1, m)$ – кількість зразків, міцність яких відповідає R_k , а стандарт міцності (середньоквадратичне відхилення) дорівнює

$$\sigma_R = \sqrt{\sum (R - \bar{R})^2}. \quad (3)$$

Нормальний опір матеріалу визначається за співвідношенням

$$R_k = \bar{R}(1 - \alpha\nu), \quad (4)$$

де α – коефіцієнт, який визначається із умов забезпечення заданої міцності і за чинними нормами дорівнює 1,64. Коефіцієнт варіації $\nu = \sigma_R / \bar{R}$ для бетону приймають за розтягу $\nu = 0,165$, за стиску $\nu = 0,135$ через те, що діапазон розподілу міцності бетону за стиску менший, ніж за розтягу. Для арматури приймають $\nu = 0,008 - 0,10$.

Отримані для арматури і бетону значення коефіцієнтів варіації не враховують спільної роботи досліджуваних бетонних призм і арматурних стрижнів. Теоретичні розрахунки та експериментальні випробування [1, 2] дали змогу оцінити ефект спільної роботи бетону і арматури, що виражається зміщенням у бік збільшення середніх значень міцності в 1,25–1,40 раза та в значній зміні характеру статистичних розподілів – різко знижується діапазон міцності, що відображається в коефіцієнті варіації, який для бетону – $\nu = 0,03 - 0,05$.

Розрахунковий опір визначається за співвідношенням

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (5)$$

де γ_m – коефіцієнт надійності матеріалу, який встановлюється так, щоб близькою до нуля була імовірність появи опору стиску або розтягу арматури чи бетону.

Отже, за наведеним підходом можна проектувати нові споруди з необхідною надійністю. Та в такому імовірнісному випадку розрахунку надійності необхідно використовувати випадкові значення міцності матеріалів, а не нормативні чи розрахункові. Хоча в практиці доволі часто неможливо отримати достовірні дані з розподілу міцності матеріалів, та застосування дійсних значень міцності і навантаження дає змогу максимально достовірно оцінити міцність, надійність і резерв несучої здатності. Мінливість механічних властивостей матеріалів розглядалася у багатьох дослідженнях, зокрема в [3–7].

У разі відсутності експериментальних даних можна отримати випадкові значення за допомогою нормативних, використовуючи для цього генератор псевдовипадкових чисел. Адже нормативний опір ми можемо визначити з проектного класу бетону і арматури, або використовуючи неруйнівні методи контролю міцності. Далі визначаємо центр і стандарт розподілення за формулами, отриманими за (4), при цьому задаємо коефіцієнт варіації V . Задавши необхідне число випадкових значень, центр та стандарт розподілу, отримаємо ряд псевдовипадкових чисел для нормального закону розподілу.

Нормальний закон розподілу може бути застосований і для описання мінливості геометричних характеристик поперечних перерізів. Це впливає з аналізу численних обмірів натурних конструкцій – малий статистичний діапазон. Крім того, той самий закон можна застосувати для описання навантаження власної ваги. Тут центр розподілу приймається як значення нормативного навантаження ($N_n = \bar{N}$), а стандарт розподілу визначається за формулою

$$\sigma_n = \frac{N_n(\gamma_f - 1)}{\alpha}, \quad (6)$$

де γ_f – коефіцієнт надійності по навантаженню за ДБН; а α – коефіцієнт, що залежить від забезпеченості величини N_n ; $(\gamma_f - 1)$ – являє собою коефіцієнт варіації V . Коефіцієнт варіації власної ваги для залізобетонних мостів (за [8]) рекомендується приймати 0,033.

Вертикальне навантаження від дії транспортного потоку може бути описане за дійсними параметрами руху або за нормативними навантаженнями.

Закони розподілення інтенсивності u , швидкість руху U , дистанція між автомобілями l_{\min} , тобто характер діючого навантаження можна встановити за допомогою спостереження за прольотом моста чи відрізком l дороги, за допомогою регулярного фотографування з паралельним заміром прогинів, що дасть можливість встановити закон розподілення маси автомобілів. Встановивши пости контролю ваги автомобілів, можна отримати відсоткове співвідношення автомобілів по їхній вазі. Але такий процес отримання завантаження трудомісткий та затратний, хоча отримані дані можуть бути безпосередньо використані під час статистичної оцінки моста. Тому для практичних розрахунків запропоновано у [9] підпорядкувати ймовірність знаходження \bar{P}_i^l кількості i автомобілів на відрізьку l , зрізаному законом Пуассона:

$$\bar{P}_i^l = c \cdot \frac{m^i \cdot e^{-m}}{i!}; \quad (7)$$

$$c = \frac{e^m}{\sum_{i=0}^n \frac{m^i}{i!}}, \quad (8)$$

де c – константа зрізання, що визначається максимально можливою кількістю $n = l/l_{\min}$ автомобілів, які можуть одночасно знаходитися на відрізьку l за $m = lu/3600v$; $i=0,1,2, \dots, n$.

Ймовірність P_i^l потрапляння i автомобілів ($i \neq 0$) на відрізок l з врахуванням корегування на стиснення визначається за формулою

$$P_i^l = \bar{P}_i^l + \bar{P}_i^l \frac{u - \sum_{i=1}^n i \cdot \bar{P}_i^l \frac{3600}{l} v}{\frac{3600}{l} v \sum_{i=1}^n i \cdot \bar{P}_i^l}. \quad (9)$$

Певний комплекс даних, які були отримані про інтенсивність і характер транспортного потоку на основі спостереження, наведений у [10]. Слід звернути увагу, що у разі динамічного розрахунку або для визначення динамічного коефіцієнта за статичного розрахунку, треба мати дані

про стан покриття розглядуваної ділянки. Для цього профіль нерівного покриття подають у вигляді двовимірної випадкової величини, а саме: довжину і глибину нерівностей. Для апроксимації умовних щільності розподілу довжини і глибини нерівностей можуть застосовуватися розподілення Релея.

Отже, використовуючи формули (7)–(9) і беручи до уваги ймовірність появи автомобілів визначеної маси, можна визначити випадкові ситуації завантаження для того, щоб використати їх для статичного розрахунку.

Висновки

У роботі наведені пропозиції щодо ймовірнісної оцінки міцності нормальних січень плитно-ребристої системи автодорожнього моста. Пропонується будувати алгоритм ймовірнісного розрахунку міцності прогонової споруди автодорожнього моста на основі методу статистичних випробувань, в основу якого покладено багатократний розрахунок ситуацій проїзду транспортних засобів з використанням нормального закону розподілу.

1. Иосилевский Л.П., Руденко М.С. Пути совершенствования проектирования железобетонных мостов // *Транспортное строительство*. – 2001. – №5. – С. 21–25. 2. Сизов В.П. Сопоставление коэффициентов вариации по средней прочности бетона и частным результатам в серии // *Бетон и железобетон*. – 1999. – №1. – С. 29–30. 3. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. – М., 2000. 4. Мадатян С.А. Нормативные и расчетные сопротивления арматуры // *Бетон и железобетон*. – 2005. – №3. – С. 2–5. 5. Дегтярев В.В. Изменчивость механических свойств и площади поперечного сечения арматуры класса А500С // *Бетон и железобетон*. – 2005. – № 1. – С. 2–7. 6. Mirza S.A., McGregor J.G. Variability of mechanical properties of reinforcing bars // *Journal of the Structural Division*. – 1979. – №ST5. – Pp. 921–937. 7. Gamble W. L. Thermex-processed reinforcing bars // *Concrete International*. – 2003. – V.25. – №7. – Pp. 85–88. 8. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. – М.: Транспорт, 1980. – 134 с. 9. Барченков А.Г. Динамический расчет автодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1976. – 199 с. 10. Косенко М.В. Нелинейный деформационный расчет прочности и живучести применяемых в мостостроении железобетонных плитнобалочных систем с дефектами и повреждениями. – [Электронный ресурс]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Косенко Михаил Васильевич. – Воронеж: РГБ, 2007. – 142 с. 11. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. – Чинні від 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.