https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.177

УДК 624.21/.8

Корнієв М. М., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-3018-9874*
Дітковський С. Л., *https://orcid.org/0000-0002-3234-804X*

АТ «Київстройпроект», м. Київ, Україна

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МОСТІВ В УКРАЇНІ

Анотація

Вступ. Міцність споруди можна забезпечити у випадку, коли діючі зусилля менші за опір елемента. Для того, щоб виключити можливість руйнації, опір елементів штучно зменшували, утворюючи певні запаси. Такий метод назвали методом допустимих напружень (allowable stress method). Цим методом користувався весь світ, і, до останнього часу, США і Японія. Таке зменшення напружень виконували більше на досвіді, ніж на основі математичних розрахунків.

Проблематика. Даний у статті короткий опис принципів оцінки надійності споруд. Описано як пораховані характеристичні і розрахункові навантаження. Показано, що зараз існує баланс між навантаженнями в EN 1991-2 і в ДБН В.1.2-15.

Мета. Стаття присвячена питанню оцінки надійності українських мостів, які запроєктовані за вітчизняними державними будівельними нормами.

Матеріали та методи. Дано порівняння тимчасових навантажень у ДБН В.1.2-15 із навантаженнями за Єврокодами та нормами США. Оцінені коефіцієнти надійності для навантажень. Показано, як отримані характеристичні значення опору. Зроблені висновки відносно стану розрахунків за державними будівельними нормами порівняно з Єврокодами. Висловлені побажання до подальших коректив державних будівельних норм.

Результати. Показано, що висунуті вимоги в ДБН В.1.2-14 відносно додаткового коефіцієнта надійності за відповідальністю 1,25 для мостів, є неприпустимі, оскільки змінять існуючий баланс між розрахунками мостів за ДБН В.1.2-15 і EN 1991-2 і можуть викликати необґрунтовані перевитрати матеріалів до 20 %.

Висновки. На сьогодні можна відмітити, що існує певний баланс в розрахунках міцності, стійкості і витривалості мостів (крім залізничних) за нормами ДБН В.1.2-15 і EN 1991-2.

Для довідки: Зараз в ДБН В.1.2-15 залізничне розрахункове навантаження С14, перевищує найбільш важку модель SW/2, яка передбачена EN 1991-2. Висунуті вимоги в ДБН В.1.2-14 відносно віднесення мостів до класу СС3 і введення додаткового коефіцієнта надійності за відповідальністю 1.25, зроблять навантаження на українськи мости більшими, за навантаження за всіма нормами світу. Оцінювані перевитрати матеріалів складуть до 20 %. Для виправлення помилки найбільш просто в цій ситуації зробити зміни в ДСТУ 8855, в яких слід віднести всі мости до класу СС2.

Ключові слова: міст, надійність, клас наслідків, коефіцієнт надійності, коефіцієнт відповідальності, характеристичні і розрахункові навантаження, постійні і транспортні навантаження.

Вступ

Всім зрозуміло, що міцність можна забезпечити у випадку, коли діючі зусилля менші за опір елемента. Для того, щоб виключити можливість руйнації, опір елементів штучно зменшували, утворюючи певні запаси. Такий метод назвали методом допустимих напружень (allowable stress method). Цим методом користувався весь світ, і, до останнього часу, США і Японія. Таке зменшення напружень виконували більше на досвіді, ніж на основі математичних розрахунків.

У другій половині минулого сторіччя з'явився метод, в якому дію і опір почали розглядати як випадкові величини, зміни яких оцінювали в певних межах. Це дало можливість виконати вірогідну оцінку моменту руйнації споруди (або певної відмови), використовуючи особливі коефіцієнти (коефіцієнти надійності) до дії і опору. Такий метод назвали методом граничного стану або англійською (LRFD — Load & Resistance Factor Design), тобто розрахунки за коефіцієнтами для навантажень і опору. При цьому, більша чи менша вірогідність відмов споруди залежить саме від цих коефіцієнтів. Ця стаття присвячена опису принципів побудови коефіцієнтів надійності у вітчизняних нормах і оцінці їх порівняно з коефіцієнтами прийнятими за іншими нормами.

Крім іншого, споруди були розділені за оцінкою наслідків руйнації, і для більш відповідальних споруд, коефіцієнти надійності були збільшені порівняно з менш відповідальними.

Інженер, навіть не підозрюючи того, що при проєктуванні мосту виконує розрахунки за критеріями надійності, використовуючи характеристичні і розрахункові навантаження. Яка повинна бути надійність мостової споруди? Надійність оцінюється за критерієм вірогідності відмов споруди протягом часу експлуатації споруди. Відмови можуть бути різними: від пошкоджень, що ускладнюють експлуатацію мосту і до повної руйнації з людськими жертви. Оцінка людського життя більш філософське ніж інженерне питання, але як би цинічно це не звучало, зроблені спроби його оцінити. З'явилися поняття неприпустимого ризику, контрольованого ризику і прийнятного ризику. І все звелося до визначення величин ризиків.

Базовим параметром при розрахунках вірогідності відмови, є характеристика безпеки β (число стандартів середньоквадратичного відхилення від середнього значення). Це величина, вказує на границю довірчого інтервалу розподілу функції випадкової дії, за якою відмова практично неможлива. У СРСР для розрахунків міцності ця величина для автомобільних мостів дорівнювала β = 3,0 (0,99865'0)[1] і більш високе значення для залізничних мостів до β = 4,5 (0,999997) і для тунелів до β =5,2 (0,999999). Для залізничних сталевих мостів для підвищення значення характеристики безпеки був введений коефіцієнт умов роботи m = 0,9, а для залізобетонних – зменшені розрахункові опори арматури.

При розробленні ДБН В.2.3-22:2009 «Основні вимоги проєктування» ми базувалися вже на Єврокоді EN 1990, в якому була створена система класифікації споруд за класами наслідків (класи CC), класами надійності (RC), коефіцієнтами (KF). Крім того, EN 1990 надав систему контролю проєктних і будівельних робіт рівнями контролю проєкту (DLS) і рівнем інспекції (IL), яку слід нам також виконувати.

Для прикладу розглянемо скорочену таблицю класів наслідків згідно з Єврокодом (**табл. 1**).

Таблиця 1

Класи наслідків з Єврокоду

Клас наслідків	Характеристика	Приклади
CC3	Тяжкі наслідки – велика кількість жертв або великі економічні втрати	Трибуни, цивільні будівлі де наслідки руйнації можуть бути край негативними (наприклад, кіноконцертні зали)
CC2	Середні наслідки	Жилі і офісні будівлі
CC1	Малі наслідки	Наприклад, склади, теплиці, тощо.

Єврокод відніс мости до класу CC2, взявши за основу для розрахунків β = 3,8 (забезпеченість 0,999928).

[1] У дужках вказана забезпеченість.

Таблиця 2

Класи надійності згідно з Єврокодом

Клас надійності	Мінімальне значення характеристики безпеки β (строк 50 років)
RC3	4,3
RC2	3,8
RC1	3,3

Зараз ми отримали опис наслідків руйнації мосту і значення характеристик безпеки β. Розглянемо, як саме в нормах враховуються висунуті для мостів критерії. Далі буде показано, що все зведеться до підрахунків коефіцієнтів надійності, якими користується кожний інженер.

Розрахунки надійності

Критерій надійності

Критерієм надійності або безвідмовної роботи конструкції в будівельних нормах[2] є виконання фундаментальної нерівності, в якій, розташоване ліворуч абсолютне розрахункове значення дії не має перевищити абсолютного розрахункового значення опору, розташованого праворуч[3].

$$| E_d | \le | R_d |, \tag{1}$$

де E_d та R_d — розрахункові інтегральні значення ефекту дії і ефекту опору.

Розрахункові значення дії E_d[4] дорівнюють множенню характеристичних значень E_k[4] на коефіцієнти надійності за навантаженням γ_f, а розрахункові значення опору R_d дорівнюють характеристичним значенням R_k, поділеним на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_M.

$$E_d = E_k \cdot \gamma_f; \tag{2}$$

$$R_d = R_k / \gamma_M. \tag{3}$$

Коефіцієнти надійності γ_f і γ_M в нормах

Розрахункове значення дії E_d можна представити як середнє значення μ_E плюс вірогідні відхилення $\alpha_E \beta \sigma_E$ від середнього. Розрахункове значення опору R_d, можна подати як середнє значення μ_R мінус вірогідні відхилення $\alpha_R \beta \sigma_R$ від середнього. Тоді можна записати вирази (2) і (3) в новому вигляді:

Якщо знехтувати коефіцієнтами чутливості α_E і α_R, то значення розрахункової дії і опору можна записати у вигляді:

---

[2] Мова йде про будівельні норми України, які базуються на СНиП: [3], [4], [5] и [8], а також про Єврокоди [11], [12].

[3] Значення E_d та R_d можуть бути надані в символьній формі, з параметрами від яких залежать розглянуті значення:

$$E_d = E\{F_{d1}, F_{d2}, \ldots, \alpha_{d1}, \alpha_{d2}, \ldots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \ldots\};$$
$$R_d = R\{X_{d1}, X_{d2}, \ldots, \alpha_{d1}, \alpha_{d2}, \ldots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \ldots\},$$

де F — зусилля-дія;
X — властивості матеріалу;
α — геометричні властивості;
θ — невизначеність моделі.

Для окремих граничних станів, наприклад для розрахунків витривалості, можуть виникнути необхідність більшого узагальнення при опису граничного стану.

$$E_d = \mu_E + \beta\,\sigma_E, \tag{4}$$

$$R_d = \mu_R + \beta\,\sigma_R, \tag{5}$$

де β — нормована характеристика безпеки;
μ_E та μ_R — середнє значення дії E і опору R;
σ_E і σ_R — стандарти відхилення змінної величини від середнього.

Замінивши стандарти σ (середньоквадратичні відхилення) коефіцієнтами варіації v (стандартами поділеними на середні значення) вирази набудуть вигляду:

$$E_d = \mu_E\,(1 + \beta\,v_E), \tag{6}$$

$$R_d = \mu_R\,(1 - \beta\,v_R), \tag{7}$$

де v_R і v_E — коефіцієнти варіації ефекту опору і дії.

Користуючись виразами (6) і (7) отримуємо нерівність (1) у вигляді:

$$(\mu_E + \alpha_E\,\beta\,\sigma_E) \le (\mu_R - \alpha_R\,\beta\,\sigma_R). \tag{8}$$

Графічна ілюстрація нерівності (8) показана на **рис. 1**. Вирази $(1+\beta\,v_E)$ і $(1-\beta\,v_R)$ є відстанню на графіку по осі ординат від середнього до розрахункового значення дії і опору, відповідно. Для безпечної роботи споруди має залишитися проміжок між розрахунковими дією і опором $g = R_d - E_d$, який названий резервом міцності або резервом надійності.

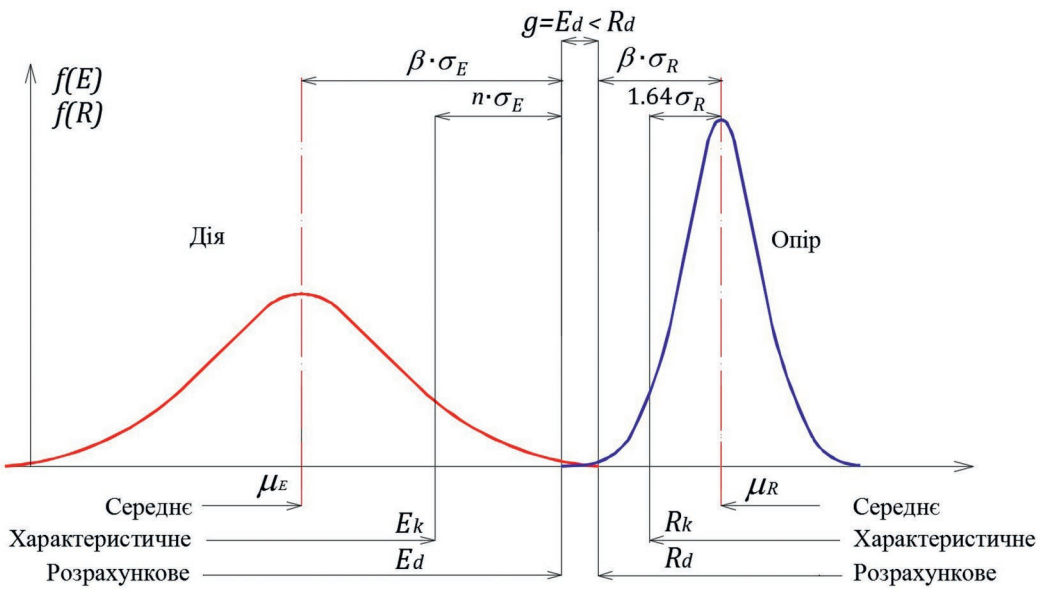

Рисунок 1 — Статистичний розподіл дії і опору

Середні і характеристичні значення

Інженер, як правило, не використовує поняття «середнє значення» дії μ_E або середнє значення опору μ_R, а використовує характеристичні (нормативні) значення, які надаються в нормах.

Для постійних навантажень середнє значення має бути прийняте номінальному (проєктному) характеристичному значенню і одночасно бути математичним очікуванням[4].
Для тимчасових навантажень — характеристичні значення набагато більше середніх значень. Їх приймають за спеціальною процедурою.

Для опору (матеріалів і виробів) характеристичні значення приймають меншими за середні значення із забезпеченістю 95 %.

Стандарти відхилень і коефіцієнти варіації

Якщо значення середнього $\bar{x}$ відоме[5], то середньоквадратичне відхилення σ отримуємо за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_i^n \left(x_i - \bar{x}\right)^2}. \tag{9}$$

Коефіцієнт варіації v — це те саме середньоквадратичне відхилення, але надане в частках від середнього значення. Коефіцієнт варіації дорівнює середньоквадратичному відхиленню до середнього значення або математичного очікування μ:

$$v = \sigma / \bar{x} \text{ або } v = \sigma / \mu. \tag{10}$$

Коефіцієнти надійності за навантаженням

Розрахункове значення навантаження E_d є добутком від множення характеристичного значення E_k на коефіцієнт надійності γ_f за формулою (2).

Коефіцієнти надійності за навантаженням, що надані в нормах, знайдені за формулою:

$$\gamma_f = 1 + \beta\, v, \tag{11}$$

де β — характеристика безпеки;
v — коефіцієнт варіації.

Навантаження

Власна вага

Власна вага — це основне навантаження для мостів. Слід відмітити, що частка власної ваги в загальних навантаженнях на прогонову будову складає, приблизно, 90 % — для залізобетонних мостів, 80 % — сталезалізобетонних і 70 % — сталевих.

---

[4] Середнє значення — це значення, яке є сумою усіх зафіксованих значень поділених на їх кількість. Середнє значення узагальненого навантаження визначається за формулою:

$$E_m = \sum \frac{E_{k,i}}{1+\beta_i v_i}\eta_i(1+\mu_i),$$

де v_i — коефіцієнт варіації i-тої дії;
β_i — характеристика безпеки i-тої дії;
η_i — коефіцієнти комбінацій одночасної дії навантажень;
μ_i — динамічний коефіцієнт.

[5] Стандартне відхилення s, якщо середнє значення $\bar{x}$ отримане в результаті випробувань можна знайти за формулою:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

У старому СНиП 2.05.03-84 коефіцієнт варіації v для власної ваги несних сталевих і залізобетонних конструкцій, був прийнятий v = 0,033. Прийнята в СНиП β = 3,0, визначала коефіцієнт надійності: $\gamma_f = 1 + \beta v = 1 + 3 \cdot 0{,}033 = 1{,}1$.

У нових ДБН В.1.2-15:2009 цей коефіцієнт становить 1,25. Навіть у випадку, коли похибки при визначенні ваги не перевищили 10 % від фактичної, проєктувальник не знає, як зміниться вага мосту протягом сторічної експлуатації. Збільшення ваги можливе за рахунок різних факторів, таких як ремонти і реконструкції, прокладання нових комунікацій, установки протишумових екранів, установки парапетів. тощо.

У випадку розрахунку коефіцієнта варіації для власної ваги формально за формулою, у нас немає впевненості в тому, що коефіцієнт варіації оцінений вірно. Тому при визначенні коефіцієнта надійності γ_f, слід порівняти його значення з коефіцієнтами в нормах інших країн. У мостових нормах США AASHTO LRFD коефіцієнт надійності дорівнює γ_f = 1,25. В Єврокоді коефіцієнт надійності дорівнює γ_f = 1,35. Він прийнятий для несних конструкцій мосту і для покриття проїзду однаковим при коефіцієнті варіації v = 0,99. Тоді, $\gamma_f = 1 + 3{,}8 \cdot 0{,}09 = 1{,}34$.

Транспортні навантаження

Підрахунок коефіцієнтів надійності для транспортних навантажень потребує великого об'єму дослідницьких робіт. Статистика достовірного вимірювання ваги екіпажів в транспортному потоці на дорогах України відсутня, але ми можемо скористатися вже зробленою роботою, яка виконувалась протягом років в п'яти каїнах Європи [9].

Принцип визначення коефіцієнта надійності дещо відрізняється порівняно з коефіцієнтом надійності для власної ваги. В Єврокоді, при розрахунку моделі LM1, коефіцієнт варіації був прийнятий рівним v = 0,2. Також прийнято, що характеристичне значення навантаження має бути на відстані від середнього, як мінімум на 5 стандартів, а розрахункове значення на 8. Тоді коефіцієнт надійності може бути знайдений за формулою:

$$\gamma_f = (1 + 0{,}8 \cdot 0{,}2) / (1 + 5 \cdot 0{,}2) = 2{,}6 / 2 = 1{,}3.$$

У результаті, з врахуванням динамічної складової, коефіцієнт прийнятий γ_f = 1,35, тобто такий самий як і для постійних навантажень.

Модель АК в наших будівельних нормах суттєво легше моделі LM1. Незважаючи на майже подвійну різницю в характеристичних навантаженнях між моделлю LM1 і моделлю A15, різниця в розрахункових навантаженнях майже була знівельована. У ДБН В.1.2-15 були змінені правила завантаження смуг мосту, змінені коефіцієнти для смуг навантажень, а також коефіцієнти надійності, які були прийняті рівними γ_f = 1,5 і динамічний коефіцієнт для тандемів, рівний 1,3. Все це допомогло зробити так, що навантаження згідно ДБН В.1.2-15 зайняли проміжну позицію між EN 1991-2 і AASHTO LFRD (див. **рис. 3** та **рис. 4**).

Рисунок 3 — Графіки зміни величини розрахункових розподілених навантажень залежно від ширини проїзду

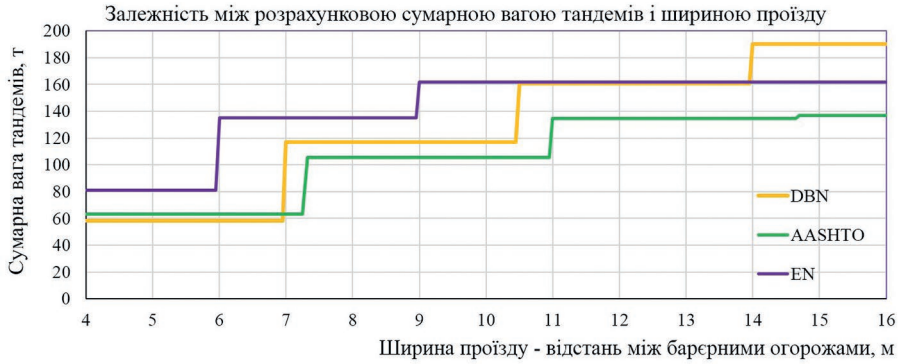

Рисунок 4 — Графіки зміни величини розрахункових навантажень тандемами залежно від ширини проїзду

Коефіцієнти надійності до опору

Ми використовуємо для будівництва в основному два матеріали. Це сталевий прокат і бетон. Коефіцієнти надійності до опору в наших нормах відповідають підходам Єврокоду.

Сталевий прокат

Сталевий прокат виготовляється на заводах з дотриманням стабільних технологій, але при цьому можливі відхилення його розмірів і механічних властивостей. Коефіцієнт варіації для прокату (передбаченого додатком Г ДБН В.2.3.-26) приймається $v = 0{,}07$,[6] як і прокату виробленого згідно з EN 10025. Прийнято, що забезпеченість характеристичного значення має становити 95 %, що відповідає $\beta = 1{,}64$. Виходячи з цього, отримаємо характеристичне значення як частку від середнього:

$$R_d = \mu_R (1 - \beta v) = \mu_R (1 - 1{,}64 \cdot 0{,}07) = 0{,}885\, \mu_R.$$

Для отримання розрахункового значення опору для елементу, виробу, або для типу розрахунку, значення R_k має бути поділене на коефіцієнт надійності за опором γ_M. У проєкті нового ДБН В.2.3-26 в **табл. 3** надані значення γ_M.

Таблиця 3

Коефіцієнти надійності за опором

Типи розрахунків	Позначення	Значення
Опір поперечних перерізів		
Опір згину, стиску і розтягу, включаючи місцеву втрату стійкості при пружній і пластичній роботі елементів з вуглецевої і низьколегованої сталі	γ_{M0}	1,0
Опір при втраті стійкості при розрахунках стійкості	γ_{M1}	1,1
Опір прокатних розтягнутих елементів розриву	γ_{M2}	1,25
Опір елементів і з’єднань		
Опір канатних розтягнутих елементів розриву	γ_{M2}	1,6

[6] У ДСТУ 8539:2015 (Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови) при визначенні характеристичного опору текучості в якості граничного приймається 5 % квантиль, що відповідає 95 % забезпеченості при 1,64 стандарту.

Кінець таблиці 3

Типи розрахунків	Позначення	Значення
Опір з'єднань на болтах	γ_{M2}	1,25
Опір з'єднань на заклепках		
Опір з'єднань на пальцях		
Опір зварних з'єднань		
Опір лиття і поковок		
Опір листів при зминанні		
Опір на зсув для фрикційних з'єднань у граничному стані за міцністю (категорія С згідно ДСТУ EN 1993-1-8)	γ_{M3}	
Опір на зсув для фрикційних з'єднань у граничному стані за експлуатаційною придатністю (категорія В згідно ДСТУ EN 1993-1-8)	$\gamma_{M3,ser}$	1,1
Опір на зминання ін'єкційних болтів	γ_{M4}	1,0
Опір вузлів з пустотних профілів решітчастих ферм	γ_{M5}	1,0
Опір пальців у граничному стані за експлуатаційною придатністю	$\gamma_{M6,ser}$	1,0
Попереднє напруження високоміцних болтів	γ_{M7}	1,1

Різні значення коефіцієнтів надійності за опором створюють різні рівні надійності для різних видів розрахунків. Наприклад, при розрахунках глобальної стійкості коефіцієнт надійності прийнятий рівним γ_{M1} = 1,1, а при розрахунках міцності γ_{M0} = 1,0. Це пов'язано з більшою невизначеністю, як в топології схеми, так і в недосконалості розрахункових схем.

Бетон

Принципи визначення розрахункового опору бетону стиску R_b пов'язані зі специфікою роботи матеріалу. Коефіцієнт надійності γ_b = 1,3 Порядок визначення наступний:

Знаходиться середнє значення з напружень руйнування кубика 15 × 15: $\overline{R}$.

Характеристичне значення опору стиску кубика 15 × 15: $R_b^G = \overline{R}(1-1{,}64v)$.

Характеристичне значення опору стиску циліндра: $R_b^N \approx 0{,}77R_b^G$.

Розрахункове значення опору бетону стиску: $R_b = 0{,}9R_b^N / \gamma_b$.

Значення опору бетону стиску для розрахунків за другою групою граничних станів:

$$R_{b,mc2} = (0{,}9 \div 1)R_b.$$

Якщо підставити всі значення, то перехід від кубикової міцності $\overline{R}$ (яке знайдене, як середнє з найбільших значень на діаграмі руйнації кубика) до розрахункового опору R_b надається формулою:

$$R_b \approx 0{,}42\overline{R}.$$

Перехід від кубикової міцності $\overline{R}$ (кг/см^2)до класу міцності бетону B (МПа) можна виразити залежністю:

$$B = 0{,}0981(1-1{,}64\cdot 0{,}135)\overline{R} = 0{,}0764\overline{R}.$$

Коефіцієнт варіації прийнятий рівним v = 0,135.

Зворотний перехід: $\overline{R} = 13{,}09B$.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю в мостовому ДБН В 2.3-22

У ДБН В 2.3-22 в табл. 4.1 наданий коефіцієнт надійності за відповідальністю споруди, який для всіх нових мостів (крім залізничних) приймається рівним γ_r = 1,05, і вводиться для всіх навантажень при розрахунках за першою і другою групою граничних станів. Цей коефіцієнт додатково розширює запас g (див. на **рис. 1**) між розрахунковою дією і розрахунковим опором.

Аналогічний коефіцієнт або коефіцієнт умов роботи m = 0,9 зменшує опір сталевих конструкцій залізничних і пішохідних мостів. Також, для цих мостів зменшені опори арматури і бетону.

Баланс, який існував у державних будівельних нормах

Збільшені коефіцієнти до постійних навантажень з 1.1 до 1.25, збільшений клас тимчасових навантажень і збільшені коефіцієнти надійності, коефіцієнти надійності до опорів, а також коефіцієнти надійності за відповідальністю і коефіцієнти умов роботи створили певний баланс між навантаженнями і опорами.

Загроза розрахунків надійності для мостів

Спочатку констатуємо, що клас СС3 вимагає застосувати до навантажень, знайдених за ДБН В.1.2-15, коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_r = 1,25, замість наданого в табл. 4.1 ДБН В.2.3-22 γ_r = 1,05.

Спробуємо з'ясувати на які мости така вимога розповсюджується і чим викликане таке збільшення?

У ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» в **табл. 1** указано, що до мостів класу СС3 віднесені мости на дорогах «загальнодержавного» рівня, але такої класифікації не існує[7]. Очевидно малися на увазі мости на міжнародних і національних дорогах, а мости на регіональних дорогах були віднесені до класу СС2.

Вже через рік виходить документ ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків» який ще більш ускладнює ситуацію. У додатку А великі і позакласні мости за класифікацією ДБН В.2.3-22:2009[8] віднесені до класу СС3 незалежно від статусу дороги, а також малі та середні мости на міжнародних і національних дорогах також віднесені до класу СС3. Тобто, міст із 4 прогонів по 33 м на регіональній дорозі має бути віднесений до класу СС3.

Незрозуміло, що робити з міськими мостами. На всяк випадок, навіть невеликий пішохідний міст, в якому вже опір зменшений на m = 0,9, Замовник прагне віднести до класу СС3, а проєктувальник цьому не може завадити.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_r = 1,25 не є і не може бути обґрунтованим! Це було написано без належного ознайомлення з побудовою структури мостових ДБН. Якщо перемножити коефіцієнт надійності за відповідальністю 1,25 на коефіцієнт надійності до власної ваги 1,25 то отримаємо результат 1,56. Такий коефіцієнт суттєво перевищує коефіцієнт для власної ваги 1,35, передбачений Єврокодом.

Віднесення мостів до класу СС3 і введення коефіцієнта 1,25 призведе до того, що українські мости будуть найбільш навантаженими в світі мостами, і зусилля в елементах мостів перевищать зусилля за Єврокодами на (10–15) %. Дати тому пояснення не видається можливим.

Тому, ми вважаємо розповсюдження коефіцієнта γ_r = 1,25 на мости є помилкою і з цим коефіцієнтом не можна погодитися.

[7] Відповідно до класифікації доріг України, автомобільні дороги державного значення підрозділяються на міжнародні (М-##), національні (Н-##), регіональні Р-##), територіальні (Т-##-##), обласні (О-######) та районні (С-######).

[8] За довжиною мости поділяють на: малі до 25 м; середні від 25 м до 100 м; великі понад 100 м. До позакласних віднесені мости з прогонами понад 100 м, або довжиною понад 300 м із прогонами понад 60 м.

Висновки

1. На сьогодні можна відмітити, що існує певний баланс в розрахунках міцності, стійкості і витривалості мостів (крім залізничних) за нормами EN 1991-2 і ДБН В.1.2-15.

Для довідки: Зараз в ДБН залізничне розрахункове навантаження С14, перевищує найбільш важку модель SW/2, яка передбачена EN 1991-2.

2. Висунуті вимоги в ДБН В.1.2-14 відносно віднесення мостів до класу СС3 і введення додаткового коефіцієнта надійності за відповідальністю 1,25, зроблять навантаження на українськи мости більшими, за навантаження за всіма нормами світу. Оцінювані перевитрати матеріалів складуть до 20 %.

3. Для виправлення помилки найбільш просто в цій ситуації, зробити зміни в ДСТУ 8855 в яких слід віднести всі мости до класу СС2.

Список літератури

1. ДБН В.1.2-15:2009. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009. 84 с. (Інформація та документація).

2. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги до проектування. Київ, 2009. 73 с. (Інформація та документація).

3. ДБН В.2.3-26:2009. Мости та труби. Сталеві конструкції. Київ, 2009. 266 с. (Інформація та документація).

4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018. 36 с. (Інформація та документація).

5. Корнієв М.М. Сталеві мости. 3 Тома, Київ, 2018. 423 с.

6. EN 1990: Eurocode - Basis of structural design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2002. 119 p.

7. EN 1991-2: Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2003. 167 p.

8. AASHTO LRFD BRIDGE (American Association of State Highway and Transportation Officials) Design Specification, 2012. URL: http://lecturer.polnes.ac.id/dosen/budinugroho/E%20book%20AASHTO%20BRIDGE%20LRFD%20DESIGN%20SPESIFICATIONS%202012/AASHTO%20LRFD%20Bridge%20Design%20Specifications%20(6th%20Eition)%20(2012%20US).PDF (дата звернення 11.01.2023).

9. G. Sedlacek, G. Merzenich, M. Paschen, A. Bruls, L. Sanpaolesi, P. Croce, J.A. Calgaro, M. Pratt, Jacob, M. Leendertz, v. de Boer, A. Vrouwenfelder, G. Hanswille. Background document to EN 1991- Part 2 - Traffic loads for road bridges – and consequences for the design,. First Edition, XXXXX 2008. 324 p.

10. EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2003. 47 p.

References

1. DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy (State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Bridges and pipes. Loads and influences). Kyiv, 2009. 84 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. DBN V.2.3-22:2009. Mosty ta truby. Osnovni vymohy do proektuvannia (State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 73 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. DBN V.2.3-26:2009. Mosty ta truby. Stalevi konstruktsii. (State Building Norms (DBN V.2.3-26:2009) Bridges and pipes. Steel structures). Kyiv, 2009. 266 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. [State Building Norms (DBN V.1.2-14:2018) A system for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures]. Kyiv, 2018. 36 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. Korniiev M.M. Stalevi mosty (Steel bridges). 3 Toma, Kyiv, 2018. 423 p. [in Ukrainian].

6. EN 1990: Eurocode - Basis of structural design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2002. 119 p. [in Ukrainian].

7. EN 1991-2: Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2003. 167 p. [in Ukrainian].

8. AASHTO LRFD BRIDGE (American Association of State Highway and Transportation Officials) Design Specification, 2012. URL: http://lecturer.polnes.ac.id/dosen/budinugroho/E%20book%20AASHTO%20BRIDGE%20LRFD%20DESIGN%20SPESIFICATIONS%202012/AASHTO%20LRFD%20Bridge%20Design%20Specifications%20(6th%20Eition)%20(2012%20US).PDF (Last accessed: 11.01.2023) [in English].

9. G. Sedlacek, G. Merzenich, M. Paschen, A. Bruls, L. Sanpaolesi, P. Croce, J.A. Calgaro, M. Pratt, Jacob, M. Leendertz, v. de Boer, A. Vrouwenfelder, G. Hanswille. Background document to EN 1991- Part 2 - Traffic loads for road bridges – and consequences for the design. First Edition, XXXXX 2008. 324 p. [in English].

10. EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. English 2003. 47 p. [in English].

Mykhailo Korniev, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3018-9874*
Serhii Ditkovskyi, *https://orcid.org/0000-0002-3234-804X*

JSC «Kyivstroyproekt», Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF BRIDGE RELIABILITY IN UKRAINE

Abstract

Introduction. The strength of the structure can be ensured in the case when the acting forces are less than the resistance of the element. In order to exclude the possibility of destruction, the resistance of the elements was artificially reduced, forming certain reserves. This method is called the allowable stress method. This method was used all over the world, and until recently the USA and Japan. Such reduction of stresses was performed more on experience than on the basis of mathematical calculations.

Problem statement. The article provides a brief description of the principles of evaluation of structures reliability. It had been described as calculated characteristic and design loadings. It is shown that there is now a balance between the loadings in EN 1991-2 and in DBN B.1.2-15:2009.

Purpose. The article is devoted to the problem of evaluation of the reliability of Ukrainian bridges, which are designed according to national standards.

Materials and methods. The comparing of temporary loadings in DBN B.1.2-15:2009 with loadings according to Eurocodes and US norms has been given. Reliability coefficients for loadings had been evaluated. It is shown how the characteristic resistance values were obtained. Conclusions are made regarding the state of calculations according to DBN in comparing with Eurocodes. Expressed wishes for further corrections of DBN.

Results. It is shown that the requirements for DBN B.1.2-14:2018 regarding the additional reliability coefficient for 1.25 liability for bridges are unacceptable, as they will change the existing balance between bridge calculations according to DBN and EN and may cause unjustified material overruns of up to 20 %.

Conclusions. Today, it can be noted that there is a certain balance in the calculations of the strength, stability and endurance of bridges (except for railway bridges) according to EN and DBN standards.

For reference: Actually in DBN, the railway design loading C14 exceeds the heaviest model, which is provided by EN 1991. The requirements put forward in DBN B.1.2-14:2018 regarding the assignment of bridges to class CC3 and the introduction of an additional reliability coefficient of 1.25 will make the loading on Ukrainian bridges are bigger, for the loading according to all world standards. Estimated material overruns will be up to 20 %. To correct the error, the easiest way in this situation is to make amendments to DSTU 8855:2019, in which all bridges should be assigned to SS2 class.

Keywords: bridges, reliability, consequence classes, reliability coefficients, responsibility coefficients, characteristic and calculated loadings, permanent and transport loadings.