

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.014.09:625.1-027.45

В. І. СОЛОМКА^{1*}, М. Е. САПУНЖИЙСЬКИЙ²

^{1*} Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 067 584 97 35, ел. пошта solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

² Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 066 012 86 36, ел. пошта sprayn231@mail.ru, ORCID 0000-0002-0990-4685

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ ШВИДКІСНИХ ПОТЯГІВ

Мета. Дослідження вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів, що експлуатуються тривалий час та знаходяться на ділянках із швидкісним рухом потягів. **Методологія.** Для досягнення поставленої мети виконано визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів методом класифікації. Класи прогонових будов визначались трьома способами із врахуванням швидкості потяга та динамічного коефіцієнта за Єврокодами. **Результат.** В результаті виконаного дослідження отримані класи металевих прогонових будов залізничних мостів та розроблені рекомендації по удосконаленню існуючої методики по визначенню вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів методом класифікації. **Наукова новизна.** Отримані в роботі результати вказують на необхідність удосконалення сучасних нормативних документів по визначенню вантажопідйомності мостових споруд, що експлуатуються на ділянках із швидкісним рухом потягів. **Практична значимість.** Результати виконаного дослідження надають можливість достовірного визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів методом класифікації і дозволять внести якісні зміни у нормативні документи по класифікації мостів з урахуванням сучасних світових досягнень у галузі розрахунків мостових споруд, що експлуатуються на швидкісних і високошвидкісних магістралях.

Ключові слова: вантажопідйомність мостів; швидкісний рух потягів; металева прогонова будова; динамічний коефіцієнт; взаємодія системи «міст-поїзд»; клас прогонової будови

Вступ

В наш час в Україні впроваджується швидкісний рух поїздів, багато ділянок якого проходять через мости, що знаходяться в експлуатації більше 30 років. Як відомо, швидкісні поїзди мають меншу масу в порівнянні із важкими вантажними потягами, але при розрахунку фактичної вантажопідйомності прогонових будов залізничних мостів, що експлуатуються на таких ділянках, необхідно звертати увагу не тільки на вимоги міцності та довговічності, а й на ті вимоги, що пов'язані із взаємодією моста та поїзда. Враховуючи світовий досвід, необхідно звернути увагу на наступне: для мостів малих та середніх прогонів важливими є вимоги до стійкості верхньої будови колії, надійності контакту колесо-рейка, комфортного проїзду пасажирів та резонансних явищ. Тому необхідність

визначення фактичної вантажопідйомності прогонових будов залізничних мостів, що знаходяться тривалий час в експлуатації на ділянках, де впроваджується швидкісний рух потягів є актуальною проблемою.

Мета

Метою даної статті є дослідження вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів, що експлуатуються тривалий час та знаходяться на ділянках, де вводиться швидкісний рух потягів.

Методика

Розрахунок металевих прогонових будов виконувався методом класифікації. Класи прогонової будови були отримані за допомогою трьох методик. Перша за ГСТУ 32.6.03.111-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

2002 [1], друга – з використанням динамічного коефіцієнту із Єврокодів для колії зі звичайним обслуговуванням, третя – з використанням динамічного коефіцієнту із розробленої методики. Тільки остання методика враховує швидкість поїзда та поведінку прогонової будови. Тому для неї була побудована модель у програмному комплексі «Selen».

Для класифікації прийнятні металеві прогонові будови залізничних мостів розрахованою довжиною 45 та 55 м, що експлуатуються на ділянках із прискореним рухом потягів однієї із залізниць України.

Основні дані прогонової будови розрахованою довжиною 55 м:

Розрахункова довжина прогонової будови – 55,0 м.

Розрахункова висота ферм – 8,5 м.

Кількість панелей – 10.

Довжина панелей проїзної частини – 5,5 м.

Відстань між осями головних ферм – 5,6 м.

Відстань між осями головних балок – 2,0 м.

Розрахункове навантаження від рухомого складу – Н8.

Матеріал – Ст3.

Основні дані прогонової будови розрахованою довжиною 45 м:

Рік будівництва – відновлений у 1945 р.

Розрахункова довжина прогонової будови – 45,0 м.

Рік будівництва – 1946 р.

Розрахункова висота ферм – 9,0 м.

Кількість панелей – 6.

Довжина панелей проїзної частини – 7,5 м.

Відстань між осями головних ферм – 5,6 м.

Відстань між осями головних балок – 2,0 м.

Розрахункове навантаження від рухомого складу – Н7.

Матеріал – Ст3мост.

Виконаний розрахунок вантажопідйомності металевих прогонових будов базується на розрахунках за граничними станами першої групи (на міцність, стійкість форми і витривалість). При цьому всі розрахунки елементів головних ферм виконуються на основне сполучення навантажень (власна вага і тимчасове вертикальне рухоме навантаження) та розрахунки на додаткове сполучення навантажень (власна вага і тимчасове вертикальне рухоме навантаження, гальмування, поперечний вітер).

У відповідності до національних вимог [2] до складу постійних навантажень входять влас-

на вага елементів конструкцій, вплив попереднього напруження, тиск ґрунту насипу і вплив його осадки, гідростатичний тиск води, вплив усадки і повзучості бетону. Рухомий склад, вага пішоходів, тиск ґрунту від рухомого складу, горизонтальне поперечне навантаження від відцентрової сили, горизонтальні поперечні удари рухомого складу, горизонтальне поздовжнє навантаження від гальмування або сили тяги відносяться до тимчасових навантажень. Вітрове, льодове, сейсмічне навантаження, навал суден, температурні кліматичні впливи, будівельні навантаження вважаються іншими (додатковими) навантаженнями.

Якщо навантаження вводиться в розрахунок в поєднанні з іншим навантаженням, до нього вводиться відповідний коефіцієнт поєднання η який враховує ймовірність одночасної появи декількох навантажень (п. 2.2 [2]). Величини навантажень і впливів в розрахунках мостів приймаються з коефіцієнтами надійності до навантаження γ_f , динамічними коефіцієнтами $1 + \mu$ або коефіцієнтами відповідальності γ_n (п. 2.3 [2]).

Коефіцієнти надійності за постійним навантаженням γ_f для мостів знаходяться в межах 1,0...2,0. Нормативне навантаження від власної ваги слід визначати за проектними розмірами та формою елементів. Для балочних прогонових будов дозволяється приймати навантаження від власної ваги як рівномірно розподілене, якщо його величина на окремих ділянках відхиляється від середньої величини не більше ніж на 10 %. Нормативне навантаження від ваги мостового полотна на одноколіній залізничній дільниці в залежності від конструкції знаходиться в межах 6,9...22,6 кН/м (п. 2.4 [2]).

Нормативне тимчасове вертикальне навантаження від рухомого складу залізниць (СК) приймають у вигляді еквівалентних навантажень v (кН/м), отриманих від окремих груп зосереджених вантажів вагою до 24,5К (кН) і рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю 9,81 (кН/м), при цьому для капітальних споруд показник $K = 14$ (п. 2.11 [2]). Інтенсивність вертикального навантаження приймається за [2] (табл. 1, Додаток Л) і для класу $K=14$ v знаходиться в межах 137,3...686,5 кН/м.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Тимчасове вертикальне навантаження від порожнього рухомого складу слід приймати рівним $13,7 \text{ кН/м}$ ($1,40 \text{ тс/м}$) колії.

У відповідності до Єврокодів [3] в залежності від характеру зміни в часі впливи поділяються наступним чином:

- постійні впливи (G), наприклад, власна вага несучих конструкцій, встановленого обладнання, дорожніх покриттів, і непрямі впливи, викликані усадкою і нерівномірними опадами;
- тимчасові впливи (Q), наприклад, під дією вітру або снігу, прикладаються до перекриттів будівель, балок і покрівлі;
- аварійні впливи (A), наприклад, вибухи або удар транспортних засобів.

Основними моделями залізничного навантаження згідно [3] є моделі LM 71, SW / 0, SW / 2, HSLM і порожній склад («ненавантажений поїзд»). Схема завантаження по моделі LM 71, зображена на рис. 1, являє собою комбінацію рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю $80,0 \text{ кН/м}$ з включенням чотирьох зосереджених сил величиною 250 кН відстань між якими становить $1,6 \text{ м}$.

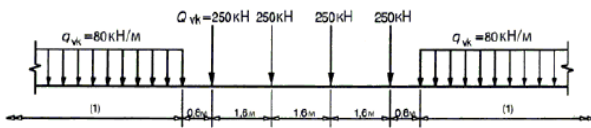


Рис. 1. Модель навантаження LM 71 і нормативні значення для вертикальних навантажень:
(1) – ніяких обмежень

Нормативні значення, наведені на рис. 2, повинні бути помножені на коефіцієнт α для ліній, що мають обсяг залізничних перевезень, більш-менш нормального обсягу перевезень. Навантаження, помножені на коефіцієнт α , називаються «класифікованими вертикальними навантаженнями». Коефіцієнт α повинен мати одне з наступних значень: $0,75; 0,83; 0,91; 1,00; 1,10; 1,21; 1,33; 1,46$.

Моделі SW/0, SW/2 являють собою статичні залізничні навантаження, що діють на нерозрізні балочні прогонові будови.

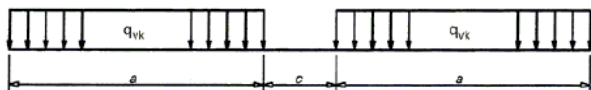


Рис. 2. Моделі навантаження SW/0 і SW/2

Модель SW/0 характеризує звичайний рухомий склад залізниць інтенсивністю наванта-

ження $133,0 \text{ кН/м}$, модель SW/2 – важкий, інтенсивністю $150,0 \text{ кН/м}$. Відмінністю даних моделей від еквівалентного навантаження національних норм [2] є наявність розривів між ділянками розподіленого навантаження довжиною $c = 5,3 \text{ м}$ для моделі SW/0 (довжина ділянки становить $a = 15,0 \text{ м}$) і $c = 7,0 \text{ м}$ для моделі SW / 2 ($a = 25,0 \text{ м}$). Нормативні значення вертикальних навантажень для моделей навантажень SW/0 та SW/2 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Нормативні значення вертикальних навантажень для моделей SW/0 та SW/2

Модель навантаження	q_{vk} , кН/м	a , м	c , м
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Модель навантаження HSLM включає два окремих універсальних поїзди зі змінною довжиною пасажирського вагона (моделі HSLM-A і HSLM-B). Модель HSLM-A (TDU – динамічний універсальний поїзд) приведена на рис. 3 і у табл. 2.

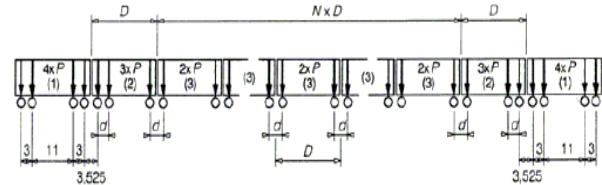


Рис. 3. Модель HSLM-A:

- 1) – тяговий вагон (передній і задній тягові вагони ідентичні); 2) – кінцевий пасажирський вагон (передній і задній кінцеві пасажирські вагони ідентичні); 3) – проміжний пасажирський вагон

Модель HSLM-B, зображена на рис. 4, включає N зосереджених сил 170 кН , прикладених через рівномірний інтервал d , м.

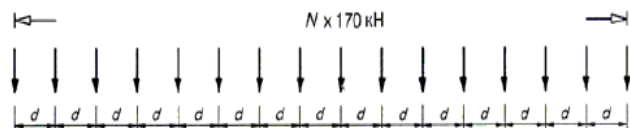


Рис. 4. Модель HSLM-B

Модель навантаження «ненавантажений поїзд» складається з вертикального рівномірно розподіленого навантаження з нормативним значенням $10,0 \text{ кН/м}$.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 2

Модель HSLM-A

Універсальний поїзд	Кількість проміжних пасажирських вагонів N	Довжина пасажирського вагона D , м	Відстань між осями візка d , м	Зосереджена сила P , кН
A1	18	18	2,0	170
A2	17	19	3,5	200
A3	16	20	2,0	180
A4	15	21	3,0	190
A5	14	22	2,0	170
A6	13	23	2,0	180
A7	13	24	2,0	190
A8	12	25	2,5	190
A9	11	26	2,0	210
A10	11	27	2,0	210

Характерні відмінності Єврокодів і національних вимог щодо коефіцієнтів і навантажень на конструкції залізничних мостів наведені в табл. 3.

За розробленою методикою динамічний коефіцієнт для швидкісного поїзного навантаження обчислюється за формулою:

$$1 + \mu_1 + \mu_2 = K \cdot \alpha + \frac{3}{(20 + \lambda)} \quad (1)$$

де $\alpha = \frac{V_{tr}}{(2 \cdot f_1 \cdot L)}$; $K \cdot \alpha$ – параметр, що враховує

залежність величини динамічного коефіцієнта від швидкості руху поїзда і характеристик прогонової будови, $K = 0,8$; V_{tr} – швидкість поїзда, м/с; f_1 – перша власна частота коливань прогонової будови, Гц; L – розрахункова довжина прогонової будови, м;

$\frac{3}{(20 + \lambda)}$ – пара-

метр, що показує залежність величини динамічного коефіцієнта від силових впливів, обумовлених наявністю коротких нерівностей шляху на мостах.

Повинні виконуватись умови:

– перша власна частота вертикальних коливань повинна знаходитися в межах $f_{1\min} \leq f_{1v} \leq f_{1\max}$;

$$f_{1\max} = 94,76 \cdot L^{-0,748} \quad (2)$$

Нижня межа першої вертикальної частоти знаходиться за формулою:

– при довжині прогонової будови від 4 м до 20 м:

$$f_{1\min} = \frac{L}{80}; \quad (3)$$

– при довжині прогонової будови більше 20 м:

$$f_{1\min} = 23,58 \cdot L^{-0,592}; \quad (4)$$

– співвідношення перших частот коливань по формі вигину і за формою крутіння має задовольняти умові $f_{1t} \geq 1,2 f_{1v}$.

Де f_{1v} – перша власна вертикальна частота коливань прогонової будови; $f_{1\max}$ – верхня межа першої вертикальної частоти; $f_{1\min}$ – нижня межа першої вертикальної частоти; f_{1t} – частота по першій формі власних коливань, пов'язаної з крученням.

Якщо перша власна вертикальна частота коливань прогонової будови не задовольняє умові, то конструкція має недостатню жорсткість. У зв'язку з цим будуть виникати високі показники вертикальних та горизонтальних прискорень кузовів вагонів.

Згідно п.1.6.4 [2] розрахунковий період власних горизонтальних поперечних коливань для балкових розрізних металевих і прогонових будов залізничних мостів має бути (у секундах) не більш $0,01\ell$ (де ℓ – прогін, м) і не перевищувати 1,5 с.

Для визначення класів прогонової будови за даною методикою необхідно знати схеми поїздів, які будуть експлуатуватися на ділянках зі швидкісним рухом. Це необхідно для врахування ефекту резонансу. Так як вагони швидкісного поїзда, як правило, мають однакову довжину і однакове осьове навантаження, то такий склад має на міст вплив, близький до періодичного.

Характерні відмінності коефіцієнтів і навантажень на конструкції залізничних мостів за Єврокодами (EN) і ДБН В.2.3-14: 2006 «Мости та труби. Правила проектування» (ДБН)

Навантаження / коефіцієнт	EN	ДБН
Класифікація впливів і навантажень	Постійні, тимчасові і аварійні впливи	Постійні, тимчасові та інші (додаткові) навантаження
Моделі (схеми) залізничного навантаження	Чотири моделі (LM 71, SW/0, SW/2, HSLM)	Одна схема (еталонне навантаження Н1 за схемою поїзда 1931 року)
Навантаження від моделі «ненавантажений поїзд» (порожній рухомий склад)	10,0 кН/м	13,7 кН/м
Інтенсивність вертикального навантаження від рухомого складу знаходиться в межах	80,0...194,2 кН/м (для всіх моделей навантажень)	137,3...686,5 кН/м (при K = 14 для капітальних споруд)
Коефіцієнти при групах (поеднанні) навантажень	гальмівні сили – 0,5; сила бічного тиску – 0,5.	сили гальмування – 0,8; вітрове – 0,5.
Коефіцієнт надійності за навантаженням знаходиться в межах	1,0...1,5; при сприятливому впливі – 0.	1,0...2,0; при сприятливому поєднанні – 0,5...0,9.
Коефіцієнт умов роботи знаходиться в межах	Не регламентується	0,85...1,25
Динамічний коефіцієнт в окремому випадку визначається за формулою	$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi}} + 0,73$ L_ϕ – визначальна довжина, м	$1 + \mu = 1 + \frac{27}{30 + \lambda}$ λ – довжина лінії впливу, м

Період цього впливу дорівнює відношенню довжини вагона (регулярного інтервалу між групами осей) до швидкості поїзда:

$$T = \frac{d}{V_{tr}} \quad (5)$$

Частота знаходиться за формулою:

$$f = \frac{V_{tr}}{d} \quad (6)$$

де d – довжина вагона, м; V_{tr} – швидкість поїзда, м/с.

Якщо період дії рухомого складу дорівнює або кратний періоду коливань конструкції (тобто в 2, 3 тощо раз більше), може виникнути резонанс.

Резонансні явища надзвичайно небезпечні. Їх не можна уникнути, але можна управляти

піковими значеннями факторів напружено-деформованого стану при цих резонансах.

Тому слід дотримуватись правил визначення швидкості, що підлягають розгляду:

– розрахункова максимальна швидкість приймається на 20 % вище проектної максимальної швидкості на відповідній ділянці;

– крок зміни швидкостей при розрахунках повинен встановлюватися таким чином, щоб виключити ймовірність пропуску зон резонансу і зниження пікових значень амплітуд, швидкостей і прискорень;

– для всіх швидкісних поїздів слід розглядати ряд значень швидкостей – від 40 м/с до розрахункової максимальної швидкості.

Результати

В результаті розрахунків отримані класи елементів металевих прогонових будов за різними методами і виконано їх порівняння.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В якості швидкісного навантаження прийняті потяги Шкода EJ675 та ЕВС 1 «Сапсан». Для вказаного навантаження визначені класи шляхом навантаження ліній впливу за методикою наданою в [1] і виконано порівняння класів

елементів прогонових будов із класами навантажень.

Класи елементів металевих прогонових будов з їздою понизу за вказаними методиками зведені у табл. 4 і 5 та побудовані графіки порівняння класів, які зображені на рис. 5 і 6.

Таблиця 4

Зведена таблиця порівняння класів прогонової будови довжиною 55 м

Марка елемента	$\lambda, м$	α	Середній відсоток розходження у класах за національними та європейськими нормами	Середній відсоток розходження у класах за національними нормами та розробленою методикою для Шкода EJ675	Середній відсоток розходження у класах за національними нормами та розробленою методикою для ЕВС 1 «Сапсан»
H0 – H2	55,00	0,10	21,90	10,69	4,94
H2 – H4	55,00	0,30	21,87	10,69	4,90
H4 – H6	55,00	0,50	21,88	10,66	5,05
B1 – B3	55,00	0,20	21,86	10,69	4,84
B3 – B5	55,00	0,40	21,91	10,70	4,85
H0 – B1	55,00	0,10	21,88	10,70	4,82
B1 – H2	48,89	0,10	21,91	10,76	4,31
H2 – B3	42,78	0,10	21,89	10,72	3,50
B3 – H4	36,67	0,10	21,78	10,44	2,23
H4 – B5	30,56	0,10	21,45	9,68	0,09
H1 – B1	11,00	0,50	14,19	7,39	30,59

Таблиця 5

Зведена таблиця порівняння класів прогонової будови довжиною 45 м

Марка елемента	$\lambda, м$	α	Середній відсоток розходження у класах за національними та європейськими нормами	Середній відсоток розходження у класах за національними нормами та розробленою методикою для Шкода EJ675	Середній відсоток розходження у класах за національними нормами та розробленою методикою для ЕВС 1 «Сапсан»
H0 – H2	45,00	0,167	21,94	8,16	0,30
H2 – H4	45,00	0,500	21,97	8,19	0,23
B1 – B3	45,00	0,333	21,95	8,12	0,28
H0 – B1	45,00	0,167	21,91	9,22	0,28
B1 – H2	36,00	0,167	21,82	7,27	2,82
H2 – B3	27,00	0,167	21,13	3,20	8,02
H1 – B1	15,00	0,500	17,64	5,95	27,42

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

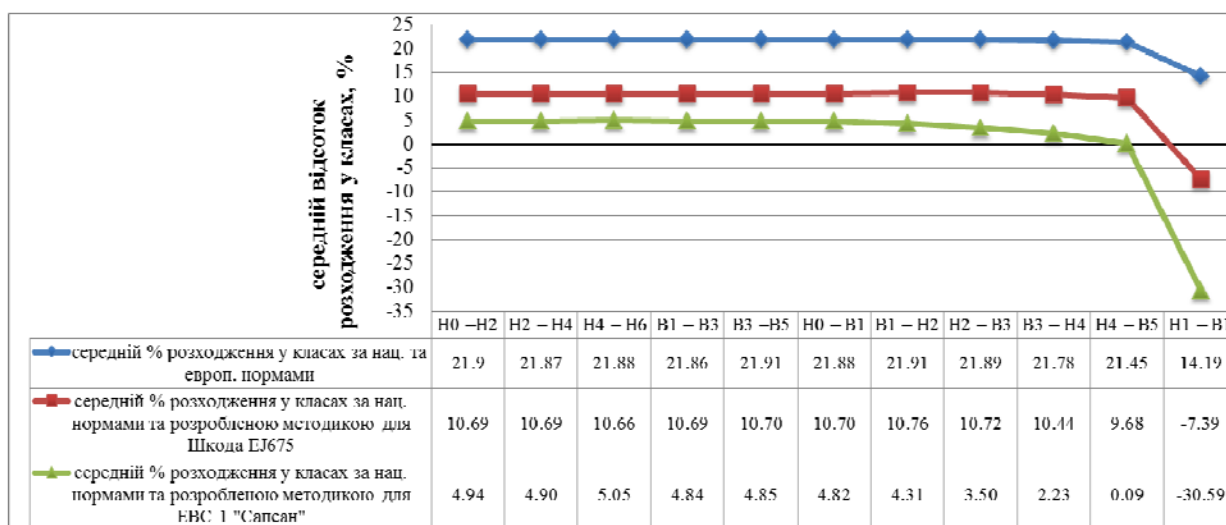


Рис. 5. Графік порівняння класів у відсотках для прогонової будови довжиною 55 м

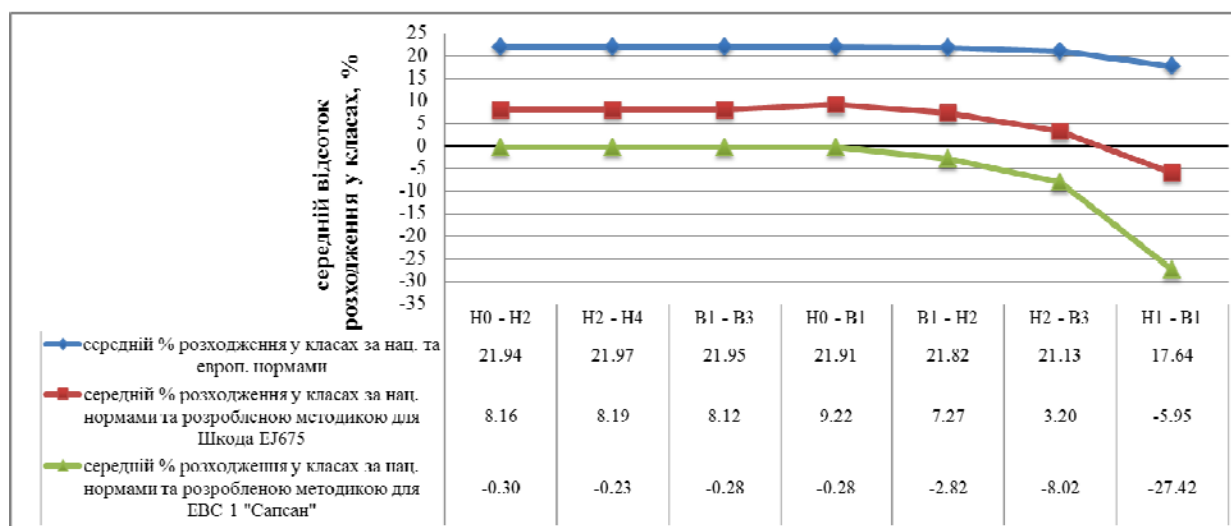


Рис. 6. Графік порівняння класів у відсотках для прогонової будови довжиною 45 м

Висновок

При визначенні фактичної вантажопідйомності металевих прогонових будов із наскрізними фермами з їздою понизу розрахунковою довжиною 55 м і 45 м встановлено:

- при використанні європейського динамічного коефіцієнту клас прогонової будови приблизно на 22 % вищий ніж при розрахунку за національними вимогами і в деякій мірі залежить від довжини прогонової будови, що не завжди оправдано в умовах експлуатації споруд на залізницях України. Це може вплинути на достовірність інформації про фактичну вантажопідйомність мостів і реальність оцінки їх несучої здатності.

- за розробленою методикою чітко видно залежність між довжиною прогонової будови і швидкістю руху поїзда:

- при зменшенні довжини прогонової будови і збільшенні швидкості руху поїзда – клас елементів збільшується.

- при довжині прогонової будови 45 м і швидкості руху поїзда 300 км/год. класи виходять вищими приблизно на 0,3 % ніж при розрахунку за національними нормами. А при швидкості руху 192 км/год. середній відсоток розходження у класах приблизно дорівнює 8 %.

- при довжині прогонової будови 55 м і швидкості руху поїзда 300 км/год. класи вище приблизно на 5 %, а при швидкості руху 192 км/год – на 10,7 %.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

З цього можна зробити висновок, що динамічний коефіцієнт за розробленою методикою справедливий для довжини прогонової будови до 45 м і швидкості руху понад 200 км/год. Але для більш точного висновку потрібні додаткові дослідження з урахуванням різних типів, довжин прогонових будов і швидкості руху поїздів.

При порівнянні отриманих класів швидкісних потягів Шкода EJ675 та ЕВС 1 «Сапсан» із класами елементів прогонових будов встановлено, що на сьогоднішній день вантажопідйомність прокласифікованих прогонових будов задовольняє умови експлуатації з урахуванням швидкісного руху.

Необхідно звернути увагу на те що при класифікації рухомого складу сучасні норми проектування враховують тільки навантаження на вісь потягів, але для швидкісних потягів цього недостатньо, тому що необхідно враховувати такі явища, як швидкість руху, динамічний удар, можливість входження моста та поїзда у резонанс та ін. У зв'язку з цим, навіть при класі поїзда $K=2$ може відбутися втрата несучої здатності конструкції мосту.

Для швидкісних поїздів, окрім визначення класу, дуже важливим є дослідження динамічних та резонансних явищ, врахування комфорту знаходження у поїзді пасажирів та аеродинамічних дій. Необхідно також враховувати аварійні ситуації, наприклад, утримання поїзда на мосту при сході з рейок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГСТУ 32.6.03.111-2002. Експлуатація залізничних мостів. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів [Текст]. – Надано чинності 2002-04-01. – Київ : Мінтранс України, 2003. – 380 с.
2. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1991-2:2010) Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT) [Текст] – надано чинності 01.07.2009 – Київ : Держпозживстандарт України, 2008 – 167 с.
4. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Надано чинності 2010-03-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 66 с.
5. Solomka, V. World experience of design of bridges and their operating conditions on railways with a high speed of trains [Text] / V. Solomka, P. Ovchinnikov // Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice. – 2014. – Issue 6. – pp. 147-153.
6. Тарасенко, В. П. Визначення фактичної вантажопідйомності прогонових будов під суміщену їзду металевих мостів, що експлуатуються, з урахуванням сучасних автомобільних навантажень [Текст] / В. П. Тарасенко, В. І. Соломка, Б. В. Савчинський // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2007. – Вип. 43. – С. 532-536.
7. Тарасенко, В. П. Результаты диагностики технического состояния и испытаний эксплуатируемого металлического разводного моста под совмещенную езду [Текст] / В. П. Тарасенко, Б. В. Савчинский, В. И. Соломка, Б. Д. Сухорюков, М. К. Журбенко, С. В. Ключник / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 14. – С. 216-219.
8. Fryba, L. Dynamics of Railway Bridges [Text] / L. Fryba. – Praha: Academia Praha. – 1996. – 330 p.
9. Calçada, Rui Bridges for High-Speed Railways [Text] / Rui Calçada, Raimundo Delgado, António Campos e Matos – Лейден, Taylor & Francis Group, 2009 – 292 p.
10. Chen, Wai-Fah Bridge Engineering Handbook, Second Edition: Fundamentals [Text] / Wai-Fah Chen, Lian Duan – Бока Ратон, Taylor & Francis Group, 2014 – 591 p.
11. Shuli, Sun Design of unballasted track bridges on Beijing – Tianjin intercity railway [електронний ресурс] / Sun Shuli, Zhang Wenjian, Wang Zhao-hu, Su Wei, Wu Cailan, Bu Qunghao / Engineering – 2011 – т. 9. – Вип. 4 – pp. 59-70 – Режим доступу: http://www.ensci.cn/chinaesen/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20110106001&flag=1&journal_id=chinaesen&year_id=2011
12. Кондратов, В. В. Результаты экспериментальных и теоретических исследований динамического воздействия высокоскоростных поездов на пролётные строения мостов [Текст] / В. В. Кондратов // Новые технологии в мостостроении: мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях – 2013. – С. 15-23.
13. Смирнов, В. Н. Динамический расчёт мостов высокоскоростных магистралей на продольные воздействия поезда на нагрузки [Текст] / В. Н. Смирнов // Новые технологии в мостостроении : мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях. – 2013. – С. 30-45.

В. И. СОЛОМКА^{1*}, Н. Э. САПУНЖИЙСКИЙ²

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 584 97 35, эл. почта solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

² Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 066 012 86 36, эл. почта spayn231@mail.ru, ORCID 0000-0002-0990-4685

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СКОРОСНЫХ ПОЕЗДОВ

Цель. Исследование грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов, находящихся длительное время в эксплуатации на участках, где вводится скоростное движение поездов. **Методология.** Для достижения поставленной цели выполнено определение грузоподъемности пролетных строений металлических мостов методом классификации. Классы пролетных строений определялись тремя способами с учетом скорости поезда и динамического коэффициента по Еврокодам. **Результат.** В результате выполненного исследования получены классы металлических пролетных строений железнодорожных мостов и разработаны рекомендации по совершенствованию существующей методики по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов методом классификации. **Научная новизна.** Полученные в работе результаты указывают на необходимость усовершенствования современных нормативных документов по определению грузоподъемности мостовых сооружений, эксплуатируемых на участках со скоростным движением поездов. **Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований дают возможность достоверного определения грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов методом классификации и позволят внести качественные изменения в нормативные документы по классификации мостов с учетом современных мировых достижений в области расчетов мостовых сооружений, эксплуатируемых на скоростных и высокоскоростных магистралях.

Ключевые слова: грузоподъемность мостов; скоростное движение поездов; металлическое пролетное строение; динамический коэффициент; взаимодействие системы «мост-поезд»; класс пролетного строения

V. I. SOLOMKA^{1*} M. E. SAPUNZHYYSKY²

^{1*} Department «Bridges and tunnels», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 584 97 35, e-mail solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

² Department «Bridges and tunnels», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 066 012 86 36, e-mail spayn231@mail.ru, ORCID 0000-0002-0990-4685

RESEARCH OF RAILWAY METAL BRIDGES' BEARING CAPACITY CONSIDERING DYNAMIC IMPACT OF HIGH-SPEED TRAINS

Purpose. Research of spans' bearing capacity for metal railway bridges operated for a long time in areas with high-speed train movement implementation. **Methodology.** To achieve this goal the determination of bearing capacity of metal spans of railway bridges was conducted by method of classification. Classes of spans were determined in three ways taking into account the speed of the train and dynamic factor according to the Eurocodes. **Findings.** As a result of the study classes of metal spans of railway bridges were received and recommendations to improve the existing methods to determine the bearing capacity of metal spans of railway bridges by the method of classification were developed. **Originality.** The results that were obtained in the study point to the need to improve current regulations to determine the bearing capacity of bridges operated in areas with high-speed movement of trains. **Practical value.** The results of the study enable reliable determination of bearing capacity of metal spans of railway bridges by classification method and will introduce a qualitative change in the regulations on the classification of bridges with current advances in global calculations of bridges operated at high-speed and higher-speed highways.

Keywords: bearing capacity; high-speed trains; metal spans; dynamic factor; vehicle-bridge interaction; span class

REFERENCES

1. *HSTU 32.6.03.111-2002. Eksploatatsiia zaliznychnykh mostiv. Pravyla vyznachennia vantazhopidomnosti metalevykh prohonovykh budov zaliznychnykh mostiv* [State Standard 32.6.03.111-2002. Exploitation of railway bridges. Rules for determining capacity metal spans railway bridges]. Kyiv, Mintrans Ukrainy Publ., 2003. 380 p.
2. *DBN V.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektivannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
3. DSTU-N B EN 1991-2:2010. *Jevrokod 1. Diji na konstrukciji. Chastyna 2. Rukhomi navantazhennja na mosty (EN 1991-2:2003, IDT)*[EN 1991-2:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2010, 207 p.
4. *DBN V.1.2-15-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya i vplyvy* [State Standard V.1.2-15-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Loads and effects]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2006. 66 p.
5. Solomka, V., Ovchinnikov P. World experience of design of bridges and their operating conditions on railways with a high speed of trains. *Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice*, 2014, issue 6, pp. 147-153.
6. Tarasenko V. P., Solomka V. I., Savchynskiy B. V. Vyznachennia faktychnoi vantazhopidomnosti prohonovykh budov pid sumishchenu yizdu metalevykh mostiv, shcho ekspluatuiutsia, z urakhuvanniam suchasnykh avtomobilnykh navantazhen [Determining the actual capacity spans in combined driving metal bridges operated, with current car load]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie – Building. Materials Science. Engineering*, 2007, issue. 43, pp. 532-536.
7. Tarasenko V. P., Savchynskiy B. V., Solomka V. I., Sukhorukov B. D. i dr. Rezultaty diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya i ispytany ekspluatiruemogo metallicheskogo razvodnogo mosta pod sovmeshchennuyu ezdu [The results of the diagnostics of the technical condition of the operated metal drawbridge test under the combined drive]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue. 14, pp. 216-219.
8. Fryba, L. *Dynamics of Railway Bridges*. Praha, Academia Praha, 1996. 330 p.
9. Rui Calçada, Raimundo Delgado, António Campos e Matos *Bridges for High-Speed Railways*. Lejden, Taylor & Francis Group Publ., 2009. 292 p.
10. Wai-Fah Chen, Lian Duan *Bridge Engineering Handbook, Second Edition: Fundamentals*. Бока Ратон, Taylor & Francis Group Publ., 2014. 591 p.
11. Sun Shuli, Zhang Wenjian, Wang Zhaohu, Su Wei, Wu Cailan, Bu Qiunghao Design of unballasted track bridges on Beijing – Tianjin intercity railway. *Engineering*, 2011, vol. 9, issue 4, pp. 59-70. Available at: http://www.inginsci.cn/chinaesen/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20110106001&flag=1&journal_id=chinaesen&year_id=2011
12. Kondratov V. V. Rezultaty eksperimentalnykh i teoreticheskikh issledovaniy dinamicheskogo vozdeystviya vysokoskorostnykh poezdov na proletnye stroeniya mostov [The results of experimental and theoretical studies of the dynamic effect of high-speed trains on spans of bridges]. *Novye tekhnologii v mostostroenii: mosty na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyakh – New technologies in bridge construction: bridges on high-speed railways*, 2013, pp. 15-23.
13. Smirnov V. N. Dinamicheskii raschet mostov vysokoskorostnykh magistralei na prodolnye vozdeystviya poezdnoy nagruzki [Dynamic calculation of high-speed highway bridges for longitudinal load train effects]. *Novye tekhnologii v mostostroenii: mosty na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyakh – New technologies in bridge construction: bridges on high-speed railways*, 2013, pp. 30-45.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Казакевичем (Україна), д.т.н., проф. А. І. Лантухом-Лященко (Україна).

Надійшла до редколегії 10.08.2016.

Прийнята до друку 26.09.2016.