

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.014.09:620.193

С. В. КЛЮЧНИК*

* Галузева науково-дослідна лабораторія штучних споруд, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

ДО ПИТАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ СТАРИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

Мета. Визначити вантажопідйомність реальної споруди в м. Жовті Води (ферми з нижнім поясом параболічної форми) з урахуванням часу експлуатації, особливості роботи прогонової будови і наявних дефектів, а також визначення можливості і умов пропуску по мосту сучасних поїзних навантажень і вирішення питань посилення, ремонту або заміни прогонових будов. **Методика.** Вантажопідйомність прогонових будов моста визначається методом класифікації відповідно до Галузевого стандарту України ДСТУ 32.6.03.111-2002 «Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів». **Результати.** На основі виконаних розрахунків отримані класи прогонової будови і класи сучасного і перспективного рухомого складу. Проведено аналіз використання прогонової будови яка відслужила вже понад 100 років під сучасне навантаження. **Наукова новизна.** Порівняно несучу здатність прогонових будов розрахованих по нормам 1886 р. з литого заліза з сучасними нормами. **Практична значимість.** На основі аналізу результатів проведених розрахунків встановлено запас міцності реального прогонової будови. Вказана можливість експлуатації прогонових будов моста в даний час під сучасні навантаження.

Ключові слова: вантажопідйомність; міцність; стійкість; витривалість; корозія; металеві мости

Вступ

На залізничних шляхах України експлуатуються мости різних типів, конструкцій та часу проектування, у тому числі мости, запроєктовані за старими нормами по навантаженню. Ці норми більш низькі в порівнянні з сучасними навантаженнями, а конструкції мостів мають суттєві дефекти, які впливають на вантажопідйомність споруд. Проблема використання старих мостів пов'язана з необхідністю перевірки їх вантажопідйомності з урахуванням наявних дефектів і забезпечення безпеки руху транспорту [2].

Зі збільшенням навантажень і швидкостей руху потягів існує необхідність приведення колії залізниці до такого стану, який не був би перешкодою для пропуску важких навантажень з великими швидкостями. Суттєвою перешкодою до цього є старі мости в разі їх слабкості або занадто знижених норм допустимих навантажень і надмірно жорстких умов обертання рухомого складу, що пред'являються до них. Мости є одним з найбільш дорогих елементів колії та вимагають колосальних витрат у разі необхідності збільшення їх вантажопідйомнос-

ті, що в сучасних умовах (ведення АТО та інші економічні труднощі) є непосильним. Очевидно, що за таких умов питання про заміну старих мостів може бути поставлене тільки у випадках їх повної непридатності та при абсолютній впевненості у своєчасності затрат. Пропускна здатність того чи іншого моста визначається напруженнями, які виникають в стержнях ферм під найбільш важкими рухомими складами, які обертаються на залізницях України і діючими технічними умовами. Наприклад, за технічними умовами на перерахунок старих мостів прийнятими в 1924 році найбільші напруження, з урахуванням динамічного впливу, не повинні перевершувати в мостах зі зварювального заліза, побудованих до 1883 г. – 740 кг/см^2 [7]. Ця цифра була надзвичайно обережною і зменшеною. Вона навіть нижче тих напружень, які допускалися в мосту при його проектуванні, – факт небачений ніде в світі і мало виправданий. Напруження, яке можна з найменшою безпекою допустити в металі, легко визначити, звичайно, тільки при простому завантаженні. Міст в цілому являє складне поєднання стрижнів, а навантаження має ряд факторів, що посилюють його вплив на міст. Ці фактори не піддаються

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

більш-менш точному визначенню і враховуються емпіричними, частково заснованими на дослідних даних, коефіцієнтами. Питання встановлення допустимих напружень і його змін можна розглянути на досвіді США. Встановивши спочатку допустиме напруження для мостів зі зварювального заліза в 1200 кг/см^2 , одночасно встановили над мостами ретельні спостереження. Спостереження показали, що ніяких шкідливих явищ в мостах не спостерігається, і напруження послідовно було підвищено з 1200 кг/см^2 до 1400 кг/см^2 , а в подальшому – до 1560 кг/см^2 . Для аналогічних мостів допустиме напруження в Німеччині становило 1400 кг/см^2 [7]. Отже, закордонна практика доводить, що при експлуатації старих існуючих мостів прийняття вдвічі меншого допустимого напруження не виправдано. Слід зазначити, що говорити про гіршу якість наших старих мостів, в порівнянні з закордонними, не доводиться. Конструкції і метал тих і інших майже не відрізняються один від одного. Крім того, значна кількість наших старих мостів часів початку ХХ століття взагалі проектувалося за кордоном і будувалося із закордонного металу. Умови ж експлуатації наших мостів безумовно відрізняються від закордонних меншими навантаженнями та швидкістю руху потягів. Звісно можна припустити дещо гірший стан їх утримання. Таким чином необхідно врахувати досвід Америки і Німеччини при визначенні вантажопідйомності старих мостів зі зварювального та литого заліза.

Мета

Визначення вантажопідйомності реальної споруди моста біля м. Жовті Води (ферми з нижнім поясом параболічної форми) з урахуванням часу експлуатації, особливості роботи прогонової будови та наявних дефектів, а також визначення можливості та умов пропуску по мостах сучасних поїзних навантажень і вирішення питань підсилення, ремонту або заміни прогонових будов.

Методика

Вантажопідйомність прогонових будов моста визначалася методом класифікації відповідно до Галузевого стандарту України ГСТУ 32.6.03.111-2002 «Правила визначення ванта-

жопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів» [2].

Визначенню вантажопідйомності прогонових будов передував детальний їх огляд з перевіркою геометричних розмірів елементів головних ферм, положення рейкової колії на прогонових будовах в плані та профілі.

Уточнювалися перерізи і прикріплення елементів головних ферм. Особлива увага зверталася на ослаблення перерізів елементів отворами під заклепки, корозією і т.ін.

При класифікації враховувалася якість заводського виготовлення і монтажу металоконструкцій, їх фізичний стан, наявність механічних пошкоджень, фізико-механічні властивості металу, з якого вони виготовлені.

Повний перерахунок методом класифікації був виконаний для всіх несучих елементів головних ферм моста.

Слід зазначити, що металеві прогонові будови моста були запроектовані під розрахункове тимчасове навантаження прийняте згідно циркуляру Департаменту залізниці від 15 січня 1896 р. за № 753 із застосуванням методики, що базувалася на розрахунках по допустимим напруженням.

За наявності в елементах прогонових будов значної корозії, крім розрахункових перерізів, у яких діють найбільші зусилля, необхідно класифікувати також перерізи, які послаблені корозією.

Вплив корозії металу враховується введенням у розрахункові формули фактичних геометричних характеристик перерізів, які розглядаються, з урахуванням послаблення їх корозією.

У кожному такому перерізі повинні визначатися відповідні геометричні характеристики для частини перерізу, яка залишилася непошкодженою.

У розрахунках на витривалість елементів прогонових будов, які послаблені корозією, повинен враховуватися ефективний коефіцієнт концентрації напружень згідно з додатком І (розділ І.2) ГСТУ 32.6.03.111-2002 [2].

Наведений перерахунок вантажопідйомності металевих прогонових будов моста базується на розрахунках по граничних станах першої групи (на міцність, стійкість форми і витривалість, розрахунок гострих опорних вузлів). При цьому всі розрахунки елементів головних ферм виконуються на основне сполучення наванта-

жень (власна вага і тимчасове вертикальне рухоме навантаження). Розрахунки на додаткове сполучення навантажень (власна вага і тимчасове вертикальне рухоме навантаження, гальмування, поперечний вітер) діючі норми дозволяють не проводити, оскільки довжина прогонних будов з наскрізними фермами на мосту менша 50 м.

Клас елементів визначався по формулі:

$$K = \frac{k}{k_{et}(1+\mu)}, \quad (1)$$

де k – допустиме тимчасове навантаження; k_{et} – еталонне навантаження (тимчасове вертикальне навантаження Н1 за схемою поїзда 1931 року); $(1+\mu)$ – динамічний коефіцієнт того ж еталонного навантаження.

Для елементів головних ферм при розрахунках на основне сполучення навантажень тимчасове навантаження, що допускається, кН/м колії, визначалося по формулах:

– при розрахунку на міцність:

$$k_M = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,1mRG - \varepsilon_p p \Omega_p); \quad (2)$$

– на міцність верхніх поясів:

$$k_M = \frac{0,1mRF_{nm} - \varepsilon_p p \Omega_p}{\varepsilon_v (\gamma+1) n_v \Omega_v}; \quad (3)$$

де γ – коефіцієнт, який враховує вплив місцевого згину від мостового полотна та дії рухомого складу;

– при розрахунку на стійкість:

$$k_C = \frac{1}{\varepsilon_v n_v \Omega_v} (0,1m\varphi RG - \varepsilon_p p \Omega_p); \quad (4)$$

– при розрахунку на витривалість:

$$k_B = \frac{1}{\varepsilon_v \theta \Omega_v} (0,1m\gamma_w RG - \varepsilon_p p' \Omega_p). \quad (5)$$

У формулах (2) – (5) позначено:

ε_v – частка вертикального навантаження рухомого складу, яка припадає на одну ферму;

ε_p – частка постійного навантаження, яка припадає на одну ферму;

n_v, n_w – коефіцієнт надійності до вертикального навантаження від рухомого складу і вітрового навантаження;

Ω_v, Ω_p – площі ліній впливу нормальних зусиль в елементах наскрізних ферм, які відповідно завантажені тимчасовим вертикальним і постійним навантаженням, м;

m – коефіцієнт умов роботи;

$R=185$ МПа – основний розрахунковий опір металу прогонової будови;

G – розрахункова площа поперечного перерізу елемента, см²;

$p=51,1$ кН/м колії – величина розрахункового постійного навантаження у розрахунках на міцність і стійкість;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину, який визначається згідно з п. 4.3.9 і додатку Ж ГСТУ 32.6.03.111-2002 [2].

θ – коефіцієнт, який враховує зниження впливу рухомого навантаження у розрахунках на витривалість (див. п. 4.3.12 і додаток Б ГСТУ 32.6.03.111-2002) [2];

γ_w – коефіцієнт зниження основного розрахункового опору у розрахунках на витривалість (п. 4.3.10 і додаток И ГСТУ 32.6.03.111-2002) [2];

p' – сумарна інтенсивність нормативного постійного навантаження у розрахунку на витривалість, кН/м колії.

Враховуючи конструкцію ферми з полігональним нижнім поясом також необхідно виконувати розрахунок гострих опорних вузлів. До гострих опорних вузлів належать кінцеві вузли прогонових будов, що зазнають згину.

Клас гострого опорного вузла головної ферми прогонової будови (рис. 1) визначається:

– за нормальними напруженнями від згину в перерізах 1-1 (там, де розходяться пояси ферми), 2-2 (які віддалені від перерізу 1-1 на 0,4-0,5 м у бік найближчої опорної частини) та у місцях обриву горизонтальних листів;

– за дотичними напруженнями на опорі;

– за міцністю вертикальних пакетів біля нейтральної осі й за міцністю горизонтальних поясних заклепок.

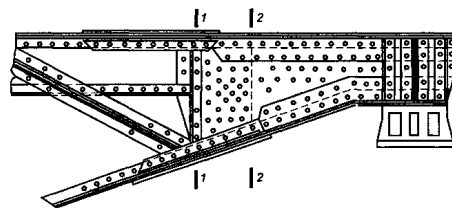


Рис.1. Схема гострого опорного вузла головної ферми

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Усі розрахункові перерізи приймаються вертикальними.

Допустиме тимчасове навантаження за нормальними напруженнями, кН/м колії, для гострого опорного вузла визначається розрахунками:

– на міцність:

$$k_M = \frac{1}{\varepsilon_v n_v} \left(\frac{0,002 m R_\chi W_0}{l a_0} - \varepsilon_p p \right); \quad (6)$$

– на витривалість:

$$k_B = \frac{1}{\varepsilon_v \theta} \left(\frac{0,002 m \gamma_w R_\chi W_0}{l a_0} - \varepsilon_p p' \right). \quad (7)$$

У формулах (6) і (7) прийнято:

$\chi=1,05$ – поправковий коефіцієнт згідно з п.4.3.8 ГСТУ 32.6.03.111-2002; W_0 – розрахунковий момент опору поперечного перерізу пояса, який розглядається, см³; l – довжина розрахункового прогону, м; a_0 – відстань від осі обпірання ферми до перерізу, який розглядається, м.

Результати

Визначення вантажопідйомності прогонової будови з наскрізними фермами з нижнім поясом параболічної форми здійснене ГНДЛ штучних споруд ДНУЗТ в 2015 році.

Одноколіїний металевий міст через річку Жовту розташований на перегоні Жовті Води I – Жовті Води II Придніпровської залізниці. Отвір моста перекритий за схемою 44,66+11,5 м. Схему моста показано на рис. 2.

Прогони моста перекриті в прогоні 0-1 металевою прогоною будовою з наскрізними фермами з нижнім поясом параболічної форми та трикутною решіткою. Повна довжина ПБ 0-1 – 46,05 м, розрахункова довжина прогонової будови – 44,66 м.

В прогоні 1-2 встановлено балкову металеву прогонову будову з суцільною стінкою. Повна довжина ПБ 1-2 – 12,65 м, розрахунковий прогін – 11,50 м.

Їзда на мосту на обох прогонових будовах верхом по плитам БМП, що обперті безпосередньо на верхні пояси головних ферм та балок.

Розраховані прогонові будови по нормам 1886 та виготовлені в 1902 році з литого заліза. Проект моста затверджений Інженерною Радою, а тимчасове навантаження прийняте згідно циркуляру Департаменту залізниці від 15

січня 1896 р. за № 753. Залізничний міст через річку Жовту на переході Жовті Води – Жовта Ріка (стара назва) побудований в 1903 році під одну залізничну колію. Опори мосту були зведені з бутової гранітної кладки на цементному розчині і облицьовані повністю тесаним гранітом.

Міст експлуатується більше ста років і має фізичний знос та морально застарів через невідповідність розрахункових навантажень, прийнятих при проектуванні і наявністю дефектів прогонових будов, які впливають на вантажопідйомність і безпеку руху.

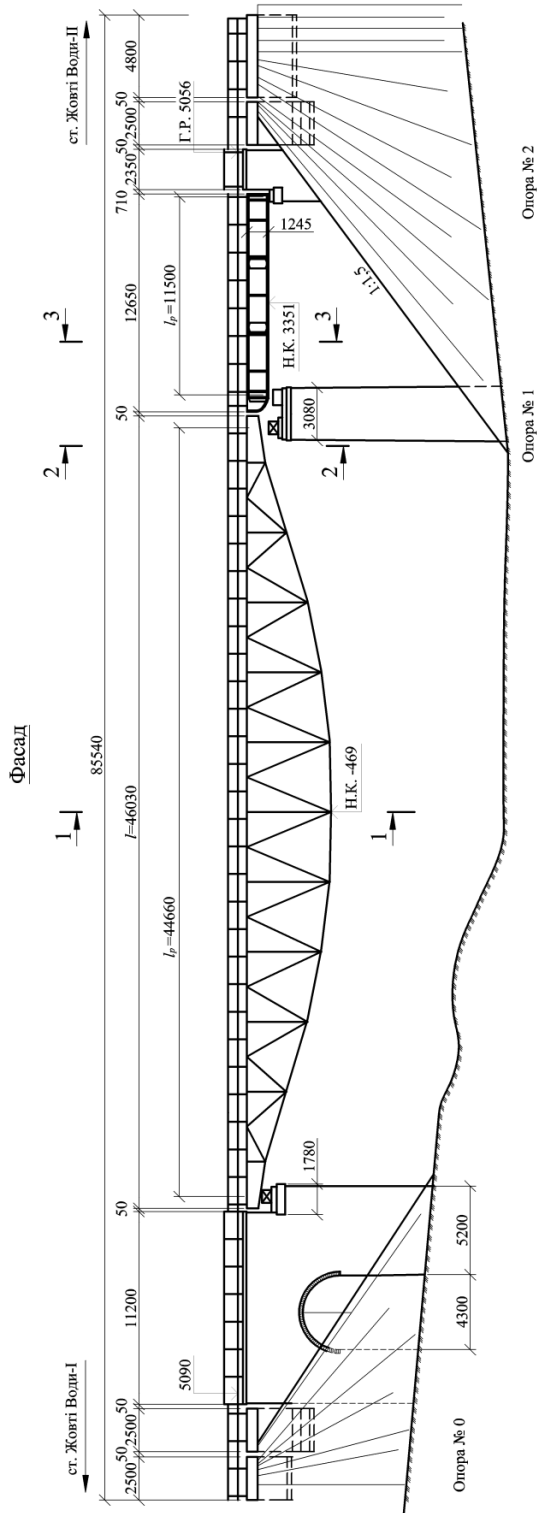
При обстеженні мосту виявлено, що елементи головних ферм металевих прогонових будов знаходяться в задовільному стані. Разом з цим, у вузлах ферм і в'язей між головними фермами є значні пошкодження металу корозією. На горизонтальних та вертикальних фасонках прикріплення до ферм поздовжніх та поперечних в'язей в нижній частині затримується волога. В нещільностях між фасонками і діагоналями в'язей та розкосів, а також нижніми горизонтальними листами нижнього поясу накопичуються продукти корозії металу, в результаті чого з'явилось розпучування на величину 3...6 мм і більше та деформація фасонки.

Особливо з виявлених дефектів металевої прогонової будови необхідно відзначити корозію основних несучих елементів (нижнього поясу).

Обчислення ординат ліній впливу зусиль в елементах головних ферм проводилося по методу кінцевих елементів за програмою «ЛІРА». При цьому ферми розраховувалися як стрижньові системи з шарнірним з'єднанням у вузлах. Лінії впливу нормальних зусиль в елементах ферм показані на рис. 3 і рис. 4. Результати розрахунків класифікації елементів головних ферм прогонової будови з параболічним нижнім поясом наведені у табл. 1.

За результатами виконаних розрахунків, мінімальний клас металевої прогонової будови з наскрізною фермою дорівнює 5,07 (за міцністю по прикріпленню), клас елементів при розрахунках на витривалість 4,44.

Для оцінки можливості пропускання по мостах рухомого складу залізниць (локомотиви, вагони, важкі транспортери та інші спеціальні навантаження), його класифікують за дією на мости. Класифікація рухомого складу полягає в тому, що його вплив на прогонові будови (еквівалентне навантаження) з урахуванням динамічного коефіцієнта виражається в одиницях еталонного навантаження ПІ.



Примітка.
 Перерізи прогонових будов дивись на рис. 1.3

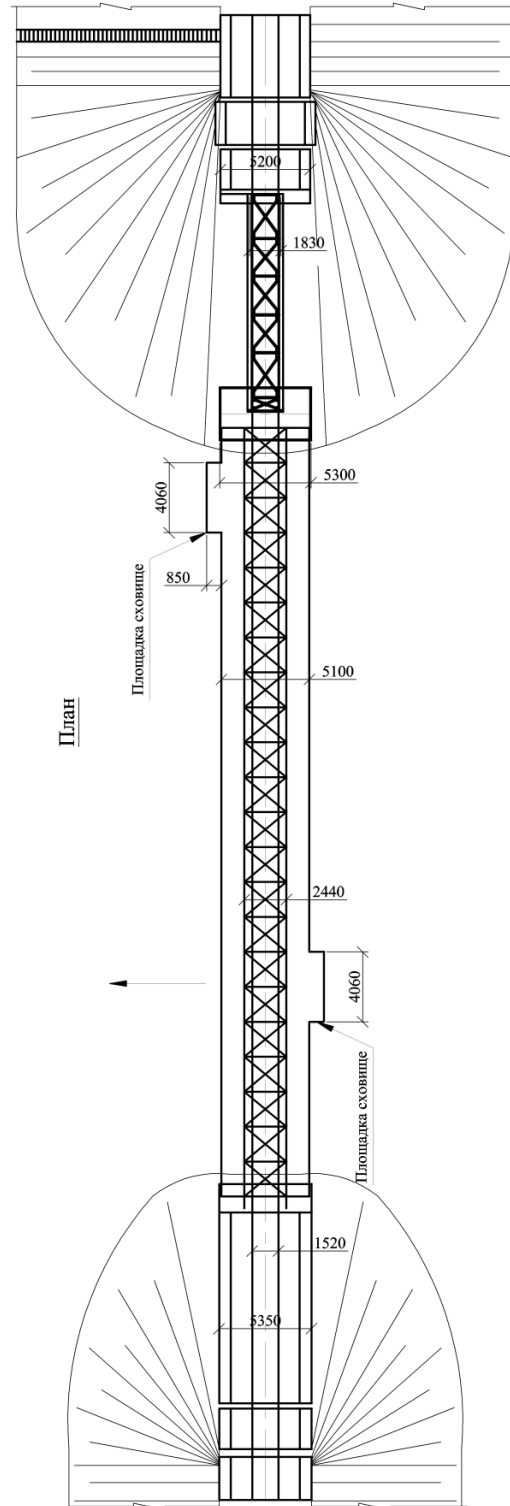


Рис. 2. Схема моста

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

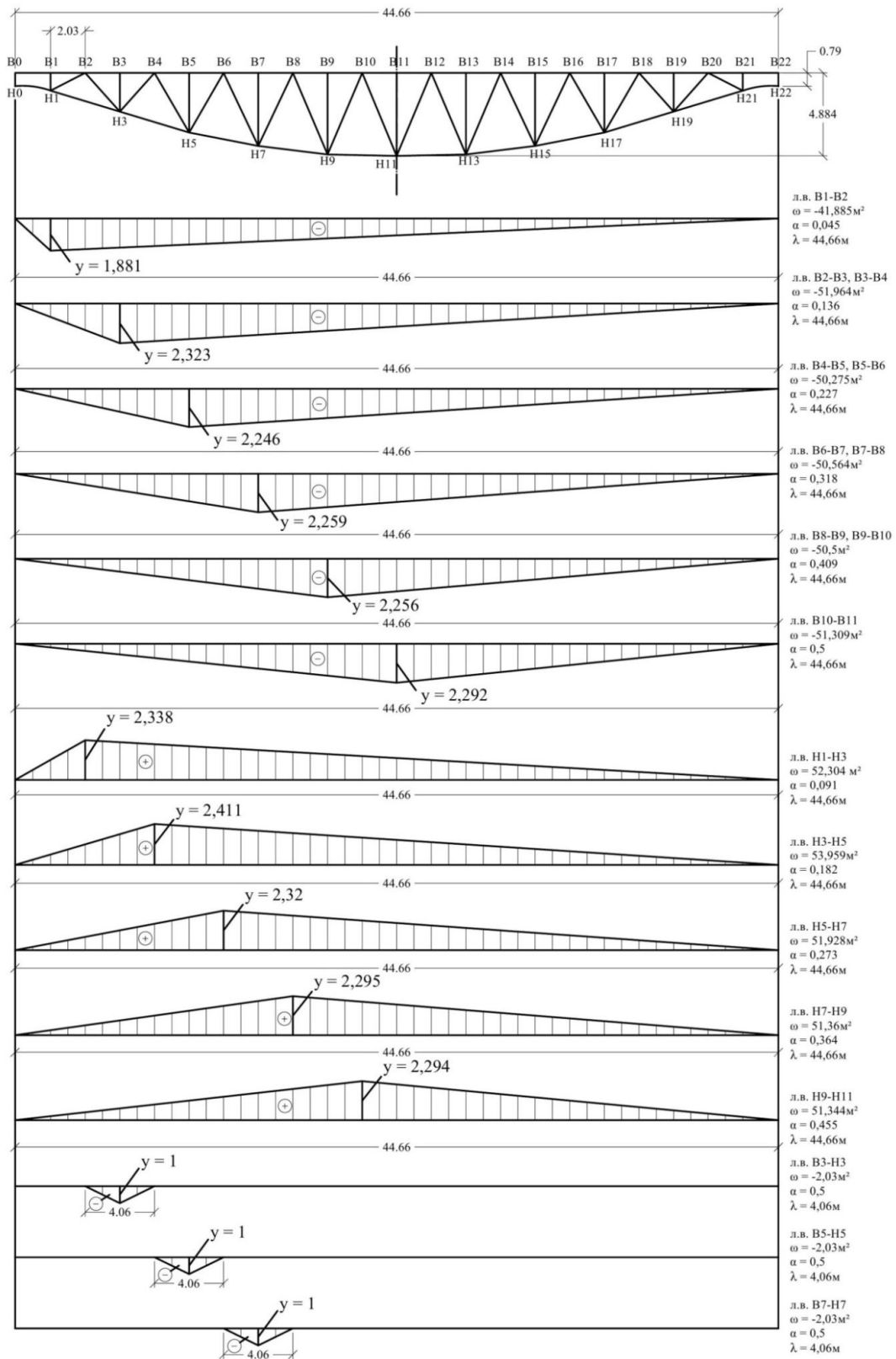


Рис. 3. Лінії впливу верхнього та нижнього поясів, а також стійок

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

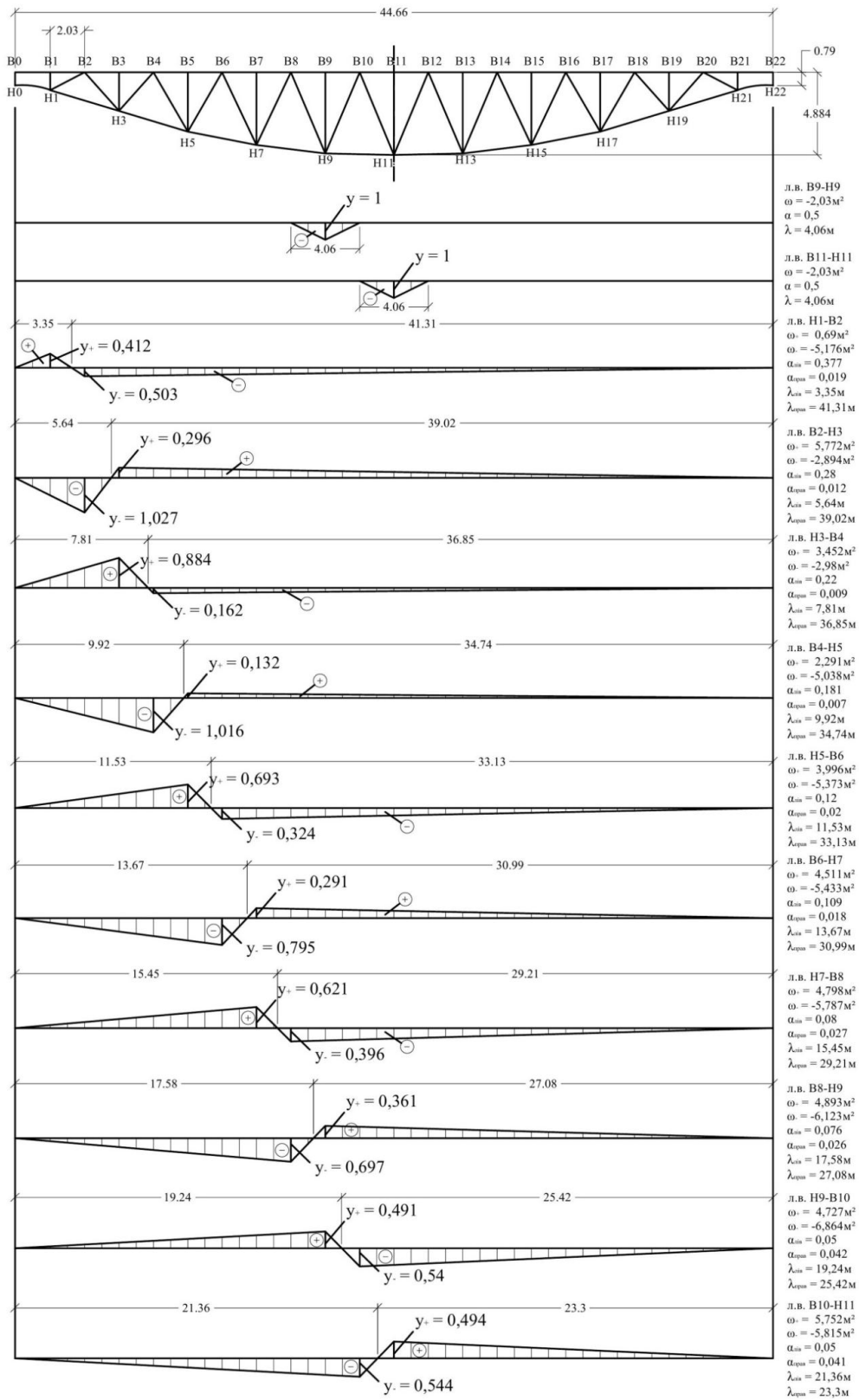


Рис. 4. Лінії впливу стійок та розкосів

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 1

Зведена таблиця класів елементів головних ферм прогонової будови 0-1

Елемент	λ	α	Класи елементів при розрахунках на				
			міцність		стійкість	K_{\min} (по міцності чи стійкості)	витрива- лість K_b
			по пере- різу	по прикріп- ленню			
Гострий опорний вузол опори №0 Переріз 0-0	-	-	10,06	17,96	-	10,06	-
Гострий опорний вузол опори №0 Переріз 1-1	-	-	7,92	17,96	-	7,92	5,09
Гострий опорний вузол опори №0 Переріз 2-2	-	-	9,05	17,96	-	9,05	4,79
H1-H3	44,66	0,091	6,79	6,54	-	6,54	5,38
H3-H5	44,66	0,182	5,31	5,07	-	5,07	4,44
H5-H7 під B5-B6	44,66	0,273	6,17	5,9	-	5,9	5,0
H5-H7 під B6-B7	44,66	0,273	7,55	7,28	-	7,28	5,98
H7-H9	44,66	0,364	6,26	5,99	-	5,99	5,07
H9-H11 під B9-10	44,66	0,455	7,66	7,39	-	7,39	6,06
H9-H11 під B10-B11	44,66	0,455	6,27	5,99	-	5,99	5,07
B1-B2	44,66	0,045	7,59	7,39	8,11	7,39	-
B2-B3 B3-B4	44,66	0,136	6,05	5,87	6,48	5,87	-
B4-B5	44,66	0,227	6,27	6,09	6,71	6,09	-
B6-B7	44,66	0,318	6,74	6,55	7,18	6,55	-
H9-H11 під B10-B11	44,66	0,455	6,27	5,99	-	5,99	5,07
B1-B2	44,66	0,045	7,59	7,39	8,11	7,39	-
B2-B3 B3-B4	44,66	0,136	6,05	5,87	6,48	5,87	-
B4-B5	44,66	0,227	6,27	6,09	6,71	6,09	-
B6-B7	44,66	0,318	6,74	6,55	7,18	6,55	-
B8-B9	44,66	0,409	6,75	6,56	7,19	6,56	-
B10-B11	44,66	0,5	6,72	6,64	7,15	6,64	-
B3-H3	4,06	0,5	10,22	16,83	11,47	10,22	13,56
B5-H5	4,06	0,5	10,22	16,83	9,62	9,62	13,56
B7-H7	4,06	0,5	11,5	16,83	8,66	8,66	15,24
B9-H9	4,06	0,5	11,5	16,83	7,03	7,03	15,24
B11-H11	4,06	0,5	11,5	16,83	6,5	6,5	15,24
H1-B2	41,31	0,018	8,08	14,04	9,27	8,08	9,92
B2-H3	39,024	0,012	8,86	11,31	-	8,86	6,16
H3-B4	7,806	0,220	9,02	7,5	-	7,5	5,37
B4-H5	9,917	0,181	6,24	6,22	5,31	5,31	6,12
H5-B6	33,127	0,020	9,47	10,39	8,0	8,0	6,44
B6-H7	13,666	0,109	7,53	7,09	6,04	6,04	5,95
H7-B8	29,211	0,027	9,99	9,41	8,01	8,01	7,96
B8-H9	17,577	0,076	13,05	8,22	11,1	8,22	9,89
H9-B10	25,423	0,042	13,52	8,44	11,47	8,44	11,57
B10-H11	21,365	0,050	15,38	9,81	12,83	9,81	10,47

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

При цьому число одиниць еталонного навантаження K_0 називають класом рухомого складу за дією на елементи моста і визначають за формулою

$$K_0 = \frac{k_0(1+\mu_0)}{k_{et}(1+\mu)}, \quad (9)$$

де k_0 – еквівалентне навантаження для рухомого складу, який класифікується, кН/м колії; $(1+\mu_0)$ – динамічний коефіцієнт рухомого складу, що класифікується; k_{et} – еквівалентне навантаження для поїзда Н1 за схемою Н1 1931 року, кН/м колії; $(1+\mu)$ – динамічний коефіцієнт для еталонного навантаження.

При порівнянні класів елементів прогонових будов за міцністю та стійкістю з класами рухомого складу можливі такі випадки:

якщо $K_0 \leq K$, рух тимчасового навантаження можливий без обмеження швидкості (з установленою на дільниці швидкістю);

якщо $K_0 > K$, але $\frac{K_0}{(1+\mu_0)} < K$, то рух тимчасового навантаження можливий з обмеженням швидкості;

якщо $K_0 > K$ і $\frac{K_0}{(1+\mu_0)} > K$, то рух відповідного навантаження по прогоновій будові неможливий навіть з обмеженням швидкості і необхідні підсилення або заміна прогонової будови.

У випадку недостатнього класу прогонової будови за витривалістю (при достатній величині класу за міцністю та стійкістю) швидкість руху поїздів не обмежується, але необхідно передбачити в плановому порядку підсилення відповідних елементів.

Обчислення еквівалентних навантажень від рухомого складу виконувалося при невідгудному розташуванні осей рухомого складу відносно вершин відповідних ліній впливу за формулами:

$$K_0 = \frac{2\sum P_i a_i}{\lambda^2} \text{ при } \alpha=0,0;$$

$$K_0 = \frac{4\sum P_i a_i}{\lambda^2} \text{ при } \alpha=0,5,$$

де P_i – навантаження від осі на рейки, кН; a_i – відстань від вантажу P_i до найближчого кінця лінії впливу з нульовою ординатою, м; λ – довжина лінії впливу, завантажена, м.

У відповідності з цими положеннями були класифіковані промислові тепловози, певні види і типи загальномережевих вантажних і спеціальних вагонів вантажного парку колії 1520 мм.

Технічні характеристики і схеми навантажень що обертаються по ділянці наведені в табл. 2, а еквівалентні навантаження і класи рухомого складу для прогонової будови $l_p=44,66$ м наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Схеми навантажень і характеристики рухомого складу

№ з/п	Тип рухомого складу	Маса, тс	Навантаження, кН/тс		Схема навантаження
			на вісь, кН (тс)	розподілене, кН/тс	
1	Промисловий тепловоз 2ТЭ116	276,0	$\frac{225,4}{23,0}$	$\frac{74,48}{7,6}$	
2	Промисловий тепловоз 2ТЭ10М	276,0	$\frac{225,4}{23,0}$	$\frac{79,67}{8,13}$	
3	4-осний суцільнометалевий піввагон із глухим кузовом, вантажопідйомністю 71,0 т, об'єм кузова 83,0 м³, моделі 12-1592, (ВАТ "Азов")	92,28	$\frac{223,6}{22,8}$	$\frac{64,3}{6,55}$	

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Закінчення таблиці 2

4	Вагон-хоппер дозатор г/п-71 тс, модель 25-4086	94,0	$\frac{230,3}{23,5}$	$\frac{76,89}{7,85}$	
5	Піввагон для сипучих металургійних матеріалів, г/п-100 тс, модель 22-4008	128,0	$\frac{313,6}{32,0}$	$\frac{111,80}{11,41}$	
6	Платформа ОАО ДВМ, г/п 100 тс, модель 23-4027	145,0	$\frac{355,25}{36,25}$	$\frac{102,08}{10,42}$	
7	4 ^x -осна цистерна для бензину и світлих нафтопродуктів, моделі 15-145, г/п-66,8 тс, об'єм котла 91,8 м ³	94,0	$\frac{230,5}{23,5}$	$\frac{65,75}{6,7}$	

Таблиця 3

Еквівалентні навантаження і класи рухомого складу для прогонової будови $l_p = 44,66$ м

№ з/п	Тип подвижного состава	Положення верхівки лінії впливу			
		$\alpha=0,0$		$\alpha=0,182$ (для НЗ-Н5)	
		Еквівалентна навантаження на 1 м моста, кН/м	Клас	Еквівалентна навантаження на 1 м моста, кН/м	Клас
1	Промисловий тепловоз 2ТЭ116	85,62	5,096	79,45	5,067
2	Промисловий тепловоз 2ТЭ10М	89,12	5,3	83,28	5,31
3	Чотириохвісний суцільнометалевий піввагон із глухим кузовом, вантажопідйомністю 71,0 т, об'єм кузова 83,0 м ³ , моделі 12-1592, (ВАТ "Азов")	74,06	4,4	68,14	4,34
4	Вагон - хоппер дозатор г/п-71 тс, модель 25-4086	87,5	5,21	80,21	5,12
5	Піввагон для сипучих металургійних матеріалів, г/п-100 тс, модель 22-4008	124,8	7,43	115,48	7,34
6	Платформа ОАО ДВМ, г/п 100 тс, модель 23-4027	117,2	6,97	108,03	6,89
7	4 ^x -осна цистерна для бензину и світлих нафтопродуктів, моделі 15-145, г/п-66,8 тс, об'єм котла 91,8 м ³	82,52	4,916	75,218	4,8

Наукова новизна та практична значимість

Співставлення класу прогонової будови та класів рухомого складу показує, що вантажопідйомність моста через річку Жовту розташована

ного на перегоні Жовті Води I - Жовті Води II відповідно до Галузевого стандарту України ГСТУ 32.6.03.111-2002 не відповідає більшості сучасного навантаження. Вочевидь, необхідно підсилення слабких елементів.

Найменший клас прогонової будови при розрахунку на витривалість нижнього поясу НЗ-Н5 становить 4,44. Слід враховувати, що втома – це процес руйнування металів і сплавів без явних ознак пластичної деформації [5].

Наведений вид руйнування спостерігається при повторному та повторно-змінному навантаженнях, для яких характерна відсутність зміни форми та геометричних розмірів елементів, на підставі зростання тріщин втоми.

Руйнування при втомі являє собою найбільш небезпечний процес. Обумовлено це відсутністю явних ознак, які б дали змогу попередити про наближення руйнування, що у більшості випадків являється миттєвим процесом. Також корозія металу послаблює переріз елементів, і може приводити при виразковому її характері до концентрації напружень.

Висновки

У випадку недостатнього класу прогонової будови за витривалістю (при достатній величині класу за міцністю та стійкістю) швидкість руху поїздів не обмежується, але необхідно передбачити в плановому порядку підсилення відповідних елементів [2], але вважати достатню величину класу за міцністю нижнього поясу (НЗ-Н5) теж не має підстави, бо вона становить 5,07, а клас рухомого складу від зчепів промислових тепловозів 2ТЭ116 – 5,067.

У наказі НКПС 1427 від 09.VII.1924 р. «Норми перерахунку старих залізних мостів» визначені норми допустимих напружень у елементах мостів допустиме напруження від сукупної дії вертикального навантаження і тиску вітру або від вертикального навантаження і зміни температури [7]. Ця величина для мостів з литого заліза, побудованих в період з 1898 р. по 1905 р., не повинно перевершувати 14 кг/мм^2 (138 МПа), а тимчасовий опір розриву $35 \dots 45 \text{ кг/мм}^2$.

В теперішній час напруження в нижньому поясі (НЗ-Н5) з урахуванням послаблення перерізу корозією становить 134 МПа від зчепів промислових тепловозів 2ТЭ116 (зафіксованих на мосту), але це не найважче можливе навантаження. При цьому запас міцності ферми всього 2,9 %, тому потрібна термінова реконструкція моста по спеціальному проекту із підсиленням існуючих конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. ДСТУ 32.6.03.111-2002. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів [Текст]. – Надано чинності 2001-12-05. – Київ : Мін. транспорту України, 2003. – 382 с.
3. Інструкція по утриманню штучних споруд [Текст]. – Надано чинності 1999-04-27. / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов і ін. – Київ : Мін. транспорту України, 1999. – 96 с.
4. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах [Текст]. – Надано чинності 2002-06-10. Головне управління колійного господарства Укрзалізниці. – Київ : Мін. транспорту України, 2002. – 301 с.
5. Вакуленко, І. О. Втома металевих матеріалів в конструкціях рухомого складу [Текст] : навчаний посібник. / І. О. Вакуленко. – Дніпропетровськ : Вид-во ДНУЗТ, 2011. – 154 с.
6. Страхова, Н. Є. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковальов и др. За ред. А. І. Лантух-Ляценка. – Київ : 2000. – 384 с.
7. К вопросу об использовании старых мостов [Текст] // НКПС Мостовое бюро при ЦУЖЕЛЕ – Москва : Транспечать НКПС, 1930. – 204 с.
8. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
9. Смирнов, А. Ф. Сопротивление материалов : учеб. для вузов [Текст] / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Н. И. Монахов Д.Ф. Парфенов и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1975. – 480 с.
10. Солдатов, К. І. Визначення класів залізничних залізобетонних прогонових будов мостів за величиною пружних прогинів. [Текст] / К. І. Солдатов, М. К. Журбенко, С. В. Ключник, В. А. Мірошник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 3. – С 187-193.
11. Ovchinnikov, P. Sing of finite element modeling for determination of buckling possibility in lengthwise stiffeners of orthotropic plate for bridge spans under operational load [Текст] / P Ovchinnikov, S. Klyuchnik // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 5. – С 130-135.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

С. В. КЛЮЧНИК*

* Отраслевая научно-исследовательская лаборатория искусственных сооружений, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, эл. почта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

К ВОПРОСУ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ СТАРЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Цель. Определить грузоподъемность реального сооружения у г. Желтые Воды (фермы с нижним поясом параболической формы) с учетом времени эксплуатации, особенности работы пролетного строения и имеющихся дефектов, а также определения возможности и условий пропуска по мостам современных поездных нагрузок и решения вопросов усиления, ремонта или замены пролетных строений. **Методика.** Грузоподъемность пролетных строений моста определяется методом классификации в соответствии с Отраслевым стандартом Украины ГСТУ 32.6.03.111-2002 «Правила определения грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов» **Результаты.** На основе выполненных расчётов получены классы пролётного строения и классы современного и перспективного подвижного состава. Проведен анализ использования пролётного строения со сроком службы более 100 лет под современную нагрузку. **Научная новизна.** Проведено сравнение несущей способности пролетных строений рассчитанных по нормам 1886 из литого железа с современными нормами. **Практическая значимость.** На основе анализа результатов проведенных расчётов установлено запас прочности реального пролётного строения. Указана возможность эксплуатации пролетных строений моста в настоящее время под современные нагрузки.

Ключевые слова: грузоподъемность; прочность; устойчивость; выносливость; коррозия; металлические мосты

S. KLUTCHNIK*

* Industrial research laboratory of artificial structures, Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 667 40 49, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

REGARDING THE ISSUE OF BEARING CAPACITY OF OLD BRIDGE SPANS

Purpose. To determine the bearing capacity of actual structure near town Zhouy Vody (Truss with parabolic lower belt) considering operation time, features of span work and existing flaws, also to determine the possibility and conditions of modern train loads passing over bridges and solutions of spans strengthening, repair or replacement problems. **Methodology.** Bearing capacity of bridge spans is being determined by classification method according to Industrial specification of Ukraine GSTU 32.6.03.111-2002 «Rules of determining of bearing capacity for steel bridge spans of railway bridges » **Findings.** Based on the performed calculations classes of the span and modern and perspective moving stock were determined. Analysis for operating the span with service time of more than 100 years with modern loads was conducted **Originality.** The comparison of bearing capacity of span made of cast iron designed according to 1886 specifications and modern specifications was conducted. **Practical value.** Based on calculations results analysis the margin of safety of actual bridge span was determined. The possibility of bridge span operation nowadays for modern loads was indicated.

Keywords: bearing capacity; strength; stability; durability; corrosion; steel bridge

REFERENCES

1. *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]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

2. DSTU 32.6.03.111-2002. *Pravyla vyznachennia vantazhopidomnosti metalevykh prohonovykh budov zaliznychnykh mostiv* [Rules for determining the carrying capacity of metal runways of railway bridges]. Kyjiv, Ministerstvo transportu Ukrainy Publ., 2003. 382 p.
3. Sushkov V. F., Vatulia L. P., Litvinov M. M. i in. *Instruktsiia po utrymanniu shtychnykh sporud* [Instruction on the maintenance of artificial structures]. Kyjiv, Transport Ukrainy Publ., 1999. 96 p.
4. *Instruktsiia z vyznachennia umov propusku rukhomoho skladu po metalevykh ta zalizobetonnykh zaliznychnykh mostakh* [Instruction on determining the conditions for passing the rolling stock on metal and reinforced concrete bridges]. *Holovne upravlinnia koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi - The main department of the railways of Ukrzaliznytsia*. Kyjiv, Ministerstvo transportu Ukrainy Publ., 2002. 301 p.
5. Vakulenko I. O. *Vtoma metalevykh materialiv v kons-truktsiiah rukhomoho skladu, navchanyi posibnyk* [Fatigue of metal materials in rolling stock designs, tutorial]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ, 2011. 154 p.
6. Strakhova N. Ye., Holubiev V. O., Kovalov P. M. i in. *Ekspluatatsiia i rekonstruktsiia mostiv* [Exploitation and reconstruction of bridges]. *Za red. A. I. Lantukha-Liashchenka – Ed. A.I. Lantuch-Lyashenko*. Kyjiv, 2000. 384 p.
7. *K voprosu ob ispolzovanii starykh mostov* [On the use of old bridges]. Moscow, Transpechat Publ, 1930. 204 p.
8. *DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy* [Bridges and pipes. Loads and effects]. Kyjiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2009. 83 p
9. Smirnov A. F., Aleksandrov A. V., Monahov N. I., Parfenov D.F. i dr. *Soprotivlenie materialov, ucheb. dlja vuzov* [Resistance of materials: Textbook. for higher educational institutionst]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ, 1975. 480 p.
10. Soldatov K. I., Zhurbenko M. K., Klyuchnik S. V., Miroshnyk V. A. *Vyznachennia klasiv zaliznychnykh zalizobetonnykh prohonovykh budov mostiv za velychynoiu pruzhnykh prohyniv* [Determination of classes of railway concrete concrete runways of bridges by the size of elastic deflections]. *Mosty ta tuneli: teoriija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 187-193.
11. Ovchinnikov P., Klyuchnik S. *Using of finite element modeling for determination of buckling possibility in lengthwise stiffeners of orthotropic plate for bridge spans under operational load*. *Mosty ta tuneli: teoriija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 5, pp. 130-135.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко, д.т.н., проф. М. І. Нетеса

Надійшла до редколегії 04.09.2018.

Прийнята до друку 22.10.2018.