

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТІНКИ ПОЗДОВЖНЬОЇ БАЛКИ ЗАЛІЗНИЧНИХ МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ МОСТОВОГО ПОЛОТНА

У роботі наведено результати експериментальних досліджень роботи стінки балки під тимчасовим навантаженням. Дані дослідження проводились у декілька етапів при різних типах мостового полотна.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований работы стенки балки под временной нагрузкой. Данные исследования проводились в несколько этапов при разных типах мостового полотна.

The results of experimental studies of wall girders under live load are given in the paper. These studies were conducted in several stages with different types of the bridge floor.

### Аналіз причин виникнення тріщин втоми

На сьогодні з 298 металевих прогонових будов, що експлуатуються на залізницях України, 100 прогонових будов є дефектними через наявність тріщин втоми. Тріщини втоми класифіковано в літературі [1] за місцем розташування у елементах прогонових будов, причому харак-

терними є тріщини, що утворюються у стінках поздовжніх балок.

Розрахунки на втому базуються на припущенні, що кожен елемент мосту за період експлуатації (80...100 років) сприймає до 2 мільйонів циклів навантажень (завантажень конструкції рухомим складом, відповідно до рис. 1).

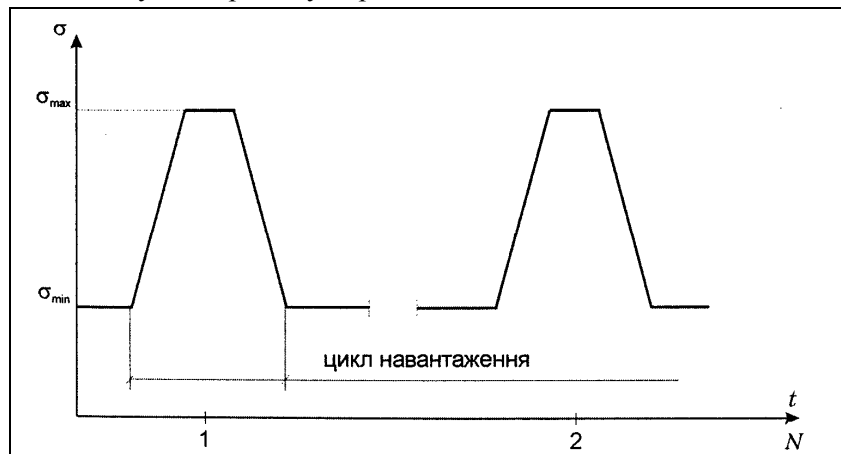


Рис. 1. Діаграма завантаження прогонової будови при розрахунках на втому:

$\sigma_{\max}$  – напруження від рухомого складу та власної ваги;  $\sigma_{\min}$  – напруження від власної ваги

Перехід від розрахункового опору на міцність до зменшеного опору матеріалу втоми здійснюється за допомогою коефіцієнта  $\gamma_w$ , у відповідності до літератури [2], відповідно перевірка достатності перерізу виконується з умови:

$$\sigma^{\text{вТ}} \leq \gamma_w R_y m,$$

де  $\gamma_w$  для залізничних мостів зі сталі 10ХСНД визначають за формулою:

$$\gamma_w = \frac{1}{(0.81 \cdot \beta \pm 0.2) - (0.81 \cdot \beta \mp 0.2) \cdot \rho} \leq 1,$$

де  $\beta$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;  $\rho$  – коефіцієнт асиметрії циклу навантажень,  $\rho = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$ .

$$\rho = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}.$$

Але дана методика має суттєвий недолік. В основу визначення коефіцієнта  $\beta$  покладені результати випробувань зварних зразків без урахування впливу залишкових напружень. Це призводить до того, що на ділянці знакозмінних напружень попередня формула дає необґрунтовано завищені розрахункові опори втоми, на що наголошується у роботах [3] та [4].

Дослідження тріщиностійкості металевих конструкцій виконувалось у роботах [5, 6, 7]. Встановлено, що в багатоцикловій області (при кількості циклів більше двох мільйонів) граничні розмахи напружень не залежать від асиметрії циклів навантаження [4]. Аналогічні припущення покладені в основу закордонних методик розрахунку, що передбачає визначення допустимих розмахів напружень.

Обстеження підтверджують, що в прогонових спорудах мостів є технологічні дефекти у зварних з'єднаннях (не провари значних розмірів, шлакові включення, пори та ін.), що можуть різко зменшувати опір втомі зварних з'єднань.

Суттєве значення на процеси втоми мають особливості тимчасового навантаження. Залізничний транспорт характерний значним динамічним впливом на конструкції. Високочастотні коливання візків вагонів, що в свою чергу накладаються на основні цикли навантажень суттєво можуть зменшити опір втомі окремих елементів конструкцій. Відомо, що коли частоти одночасно діючих напружень значно відрізняються, то довговічність елементів конструкцій суттєво зменшується що доведено у роботах [8, 9], і ці явища не враховуються при проектуванні мостів.

Отже, для отримання надійних мостових конструкцій, необхідно, щоб норми відповідали

а)



характеру процесу, та реально відображали, що відбувається у матеріалі конструкції. Не менше, а мабуть навіть і більше значення має удосконалення правил проектування конструкцій, в яких були б враховані природа процесу виникнення тріщин, і які б виключали можливість появи неприпустимих вібрацій і місцевих напружень.

### Експериментальні дослідження стінки балки

Встановлено, що характер втомних пошкоджень залежить від конструктивних особливостей прогонових будов та типу мостового полотна, застосованого на прогоновій будові, що описано в літературі [10, 11], але експериментальним дослідженням причин утворення тріщин не приділялось достатньо уваги.

У зв'язку з цим, одною з задач, яка вирішувалась при випробуваннях прогонової будови на мостовому переході через річку Сура на 248 км залізничної лінії Дніпропетровськ – Лошкарьовка, було дослідження дійсної роботи стінки балки під тимчасовим навантаженням при різних типах мостового полотна.

Локомотив 2ТЭ116 у відповідності до програми випробувань навантажував прогонову будову, при цьому відбувалась реєстрація всіх показань вимірювальних приладів на спеціальних вимірювальних комплексах (рис. 2).

б)

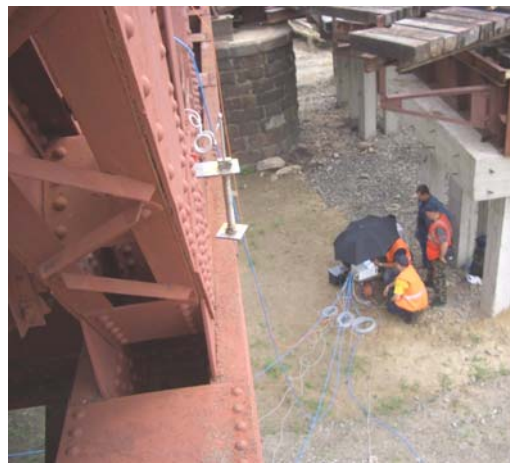


Рис. 2. Перший етап випробувань:

а – заїзд навантаження на міст; б – реєстрація показань при цьому

Вимірювальні прилади – прогиноміри та тензометри були встановлені у відповідності до схем встановлення. По кожній із схем завантаження реєструвались прогини та напруження у характерних точках. Після завершення випро-

бувань прогонової будови з мостовим полотном на дерев'яних поперечинах, дане мостове полотно було демонтовано, на його місце встановлено мостове полотно на плитах БМП (рис. 3).



Рис. 3. Демонтаж старого полотна та встановлення мостового полотна на плитах БМП

При демонтажі поперечин виявилось, що в деяких місцях має місце зменшення товщини верхньої полиці на 50...60 %. Цей дефект характерний для поздовжніх балок металевих прогонових будов, і є одною з основних причин

зниження вантажопідйомності цих конструкцій.

Після встановлення цього типу мостового полотна випробування були повторені у відповідності до програми випробувань (рис. 4).



Рис. 4. Монтаж колії на плитах та встановлення локомотиву у характерній точці

Характерним для цього типу мостового полотна є встановлення плит на дерев'яні підкладки, які укладаються на верхню полицю балок та щільно прирубуються до неї. Плити притягуються до балок за допомогою шпильок, встановлених у передбачені для цього отвори. Дані випробування дадуть змогу дослідити дійсну роботу плит на такому прокладному шарі.

#### Результати експериментальних досліджень

Під час натурних випробувань поздовжньої балки на її вертикальній стінці, на відстані 25 см від верхнього пояса, на зовнішній і внутрішній поверхні були наклеєні тензорезистори, відповідно Т5 та Т6, для визначення місцевих напружень від дії постійних і тимчасових навантажень. Простежимо за зміною цих напружень.

Після укладення мостового полотна на мостових брусах стискальні напруження на зовнішній поверхні стінки складають  $4,86 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ , а внутрішній поверхні –  $5,17 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Заміна мостового полотна на дерев'яних брусах на мостове полотно на залізобетонних плитах (БМП) викликає не тільки кількісну, а й якісну зміну напружень в стінці балки. Зовнішня поверхня стінки розтягнута ( $\sigma_5 = 120,6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ), а внутрішня поверхня стінки стиснута ( $\sigma_6 = -83,3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ).

Під час статичних випробувань поздовжньої балки з мостовим полотном на дерев'яних брусах, зовнішня поверхня її стінки переважно

розтягнута (максимальні розтягувальні напруження  $\sigma_5 = 49 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ), і тільки при двох положеннях статичного навантаження зовнішня поверхня стінки стиснута (максимальні стискальні напруження  $\sigma_5 = -18 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). Внутрішня поверхня стінки балки головним чином стиснута (максимальні стискальні напруження

$\sigma_6 = -38,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). Тільки в одному випадку (десята схема завантаження) внутрішня поверхня стінки розтягнута ( $\sigma_6 = 6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ).

Результати динамічних випробувань, які виконувались пропуском по прогоновій будові з різними швидкостями тепловозу 2ТЭ116, що використовувався також і як статичне навантаження, зведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Результати динамічних випробувань**

Положення тензорезистора	Швидкості випробувального навантаження, км/год					
	5,0		20,0		40,0	
	$\sigma_{\max}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$\sigma_{\min}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$\sigma_{\max}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$\sigma_{\min}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$\sigma_{\max}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$\sigma_{\min}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Зовнішня поверхня поздовжньої балки (Т5)	48,53	-20,16	49,35	-20,0	50,54	-21,67
Внутрішня поверхня поздовжньої балки (Т6)	-47,93	-11,72	-39,95	13,57	-36,66	14,76
Коефіцієнт асиметрії циклу, $\rho$	-0,988		-0,81		-0,725	

Статичні випробування поздовжньої балки з мостовим полотном на залізобетонних плитах (БМП) показали, що зовнішня поверхня стінки балки стиснута, а максимальні стискальні напруження складають  $\sigma_5 = -93 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ . Внутрішня поверхня стінки балки переважно розтягнута. Максимальні розтягувальні напруження становлять  $\sigma_6 = 67,1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ . Стискальні напруження з'являються тільки при першій схемі завантаження  $\sigma_6 = -27,8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Результати динамічних випробувань також свідчать, що зовнішня поверхня стінки балки переважно стиснута ( $\sigma_5 = -110,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). В той же час, з'являються і невеликі розтягувальні напруження ( $\sigma_5 = 18 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). Внутрішня поверхня стінки, головним чином, розтягнута ( $\sigma_6 = 60,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). Стискальні напруження складають ( $\sigma_6 = -32,8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ).

При статичних і динамічних випробуваннях поздовжньої балки з мостовим полотном на залізобетонних плитах, включених у сумісну роботу з нею, працював тільки один тензорезистор, розташований на зовнішній поверхні стінки балки (Т5). Показання тензорезистора дозволяють судити про роботу стінки балки. Статичні випробування свідчать про те, що зовнішня поверхня стінки балки майже при всіх схемах завантаження стиснута, а стискальні напруження у порівнянні з мостовим полотном на плитах БМП значно нижчі (максимальні стискальні напруження  $\sigma_5 = -29 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). Тільки при першій схемі завантаження виникають незначні розтягувальні напруження ( $\sigma_5 = 2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ). За результатами динамічних випробувань максимальні стискальні напруження зовнішньої поверхні стінки складають ( $\sigma_5 = -25,8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ), а розтягувальні –  $\sigma_5 = 7,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Аналіз наведених вище результатів свідчить про роботу стінки поздовжньої балки на позacentровий стиск. При цьому, якщо мостове по-

лотно на дерев'яних брусах, зовнішня поверхня стінки поздовжньої балки від дії тимчасового навантаження переважно розтягнута, а якщо мостове полотно на плитах БМП або на залізобетонних плитах, включених в сумісну роботу з поздовжніми балками – навпаки стиснута. Внутрішня поверхня стінки поздовжньої балки при різних конструкціях мостового полотна під дією тимчасового навантаження працює відповідно на стиск або на розтяг.

У зв'язку з цим виникає питання: як впливає заміна мостового полотна на витривалість стінки поздовжньої балки?

Враховуючи, що при визначенні коефіцієнта  $\gamma_w$  при розрахунках на витривалість елементів сталевих конструкцій та їхніх з'єднань (12) суттєвий вплив має коефіцієнт асиметрії циклу перемінних напружень ( $\rho$ ), визначимо його при дії тимчасового навантаження на поздовжню балку з різними типами мостового полотна. Якщо на поздовжню балку укладене мостове полотно на дерев'яних брусах, то при дії тимчасового навантаження коефіцієнт асиметрії циклу ( $\rho$ ) для перерізу стінки поздовжньої балки змінюється від  $-0,725$  до  $-0,988$ . Той же переріз стінки поздовжньої балки з мостовим полотном на стінках БМП при дії тимчасового навантаження характеризується коефіцієнтом асиметрії циклу  $\rho = -0,545$ . У першому випадку коефіцієнт  $\gamma_w$  змінюється в межах від  $0,6$  до  $0,66$ , а в другому – від  $0,73$  до  $0,85$ , що свідчить про більш сприятливі умови роботи перерізу стінки поздовжньої балки з мостовим полотном на залізобетонних плитах на витривалість.

Виконані натурні експериментальні дослідження напруженого стану стінки поздовжньої балки з різними типами мостового полотна при дії постійного та тимчасового навантаження дозволяють зробити наступні висновки:

- Верхні перерізи стінки працюють на позцентровий стиск, сприймаючи циклічні навантаження від рухомого складу.
- Включення залізобетонної плити у сумісну роботу з бетонною балкою значно зменшує амплітуду зміни напружень у перерізі її стінки.
- Мостове полотно на плитах БМП та на плитах, включених у сумісну роботу з поздовжніми балками значно покращує роботу їх стінок на витривалість.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рекомендації з огляду, підсилення, ремонту та збільшення експлуатаційного ресурсу суцільно-стінчатих зварних прогонових будов. ЦП-0176 [Текст] : Затв.: Наказ ЦП УЗ 03.04.07. № 202Ц / ЦП УЗ. – К., 2007. – 76 с.
2. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. правила проектування [Текст] / Мін-во будівн., архіт-ри та житл.-комун. госп-ва. – К., 2006. – 367 с.
3. Лучко, Й. Й. Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності [Текст] / Й. Й. Лучко, Г. Т. Сулим, В. І. Кир'ян; під ред. Й. Й. Лучка. – Львів: Каменяр, 2004. – 885 с.
4. Труфяков, В. И. Усталость сварных соединений [Текст] / В. И. Труфяков. – К.: Наук. думка, 1973. – 216 с.
5. Кирьян, В. И. Методика предупреждения разрушений элементов сварных металлоконструкций при однократном динамическом нагружении [Текст] : [на англ. яз.] / В. И. Кирьян, С. В. Шимановский. // Проблемы прочности. – 2002. – № 3. – 202 с.
6. Кудрявцев, И. В. Усталость сварных конструкций [Текст] / И. В. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
7. Кирьян, В. И. Методика оценки сопротивления материалов и сварных соединений зарождению трещин при динамическом нагружении [Текст] / В. И. Кирьян, С. В. Шимановский // Автоматическая сварка. – 1988. – № 5. – С. 16-20.
8. Труфяков, В. И. Определение долговечности при двухчаститном нагружении [Текст] : обзор, сообщ. 1 / В. И. Труфяков, В. С. Ковальчук // Проблемы прочности. – 1982. – № 9. – С. 9-15.
9. Определение долговечности при двухчастотном нагружении [Текст] : предлагаемая методика, сообщ. 2 // Проблемы прочности. – 1982. – № 10. – С. 15-20.
10. Фишер, Дж. Трещинообразование в стальных мостах [Текст] / Дж. Фишер, Д. Мерти // Гражданское строительство. – 1985. – № 2. – С. 9-13.
11. Усталостные трещины в сплошностенчатых пролетных строениях [Текст] / Ю. П. Миролюбов и др. // Вопросы проектирования и эксплуатации искусственных сооружений: сб. тр. – 1983. – С. 62-69.

Надійшла до редколегії 26.03.2010.

Прийнята до друку 02.04.2010.