

У ДК 624.21

ДІАГНОСТИКА ТА АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОЯВИ ТРІЩИН В БАЛКАХ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ З ПОВЕРХОВИМ СПОЛУЧЕННЯМ ПОЗДОВЖНИХ І ПОПЕРЕЧНИХ БАЛОК

В.П. Тарасенко, к.т.н., доц., О.С. Распопов, к.т.н., доц., Б.В. Савчинський, зав.лаб.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ

Проїзна частина металевих мостів автодорожніх, залізничних та під суміщену їзду безпосередньо сприймає навантаження від рухомого складу. В найбільш тяжких умовах конструкції проїзної частини працюють в мостах під суміщену їзду, які мають автопроїзд і залізничний проїзд в одному або різних рівнях, та в залізничних мостах. Проїзна частина, як правило, має поздовжні і поперечні металеві балки та збірну або монолітну залізобетонну плиту автопроїзду та залізничне мостове полотно.

Проблема надійності несучих конструкцій проїзної частини пов'язана з особливостями взаємодії поздовжніх та поперечних балок з поясами головних ферм, в рівні яких розташована їзда, при проході по мосту автотранспорту та залізничного рухомого складу. Актуальність проблеми підтверджується появою тріщин в поперечних та поздовжніх балках на окремих мостах, де в проектах були допущені недоліки щодо конструктивних рішень опирання поздовжніх балок на поперечні.

Проїзна частина автопроїзду моста під суміщену їзду. На основі аналізу результатів обстежень прогонових будов багатопрогнового позакласного моста під суміщену їзду, які проводились ГНДЛ штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна та іншими організаціями, були виявлені закономірності розташування та причини виникнення тріщин в поперечних балках автопроїзду, а також наведені основні конструктивні рішення проведеного підсилення балок та реконструкції проїзної частини автопроїзду.

Прогонові будови моста – двоюрусні, з розрізними металевими балочними фермами. В нижньому ярусі здійснюється одноколіїний залізничний рух, а в верхньому – автомобільний і трамвайний. Схема головних ферм і поперечний переріз прогонових будов показані на рисунку 1. Виготовлені прогонові будови за проектом “Проектстальконструкції” в 1955 році [1]. Головні ферми мають паралельні пояси і трикутну решітку з Н-подібним перерізом елементів. Пояси і розкоси головних ферм виготовлені із низьколегованої сталі марки НЛ2, а останні елементи із сталі марки Ст.3 мост.

Заводські і монтажні з'єднання елементів виконані на заклепках. Основні розміри та інші відомості для прогонових будов моста наведені в таблиці 1.

Балочна клітка автопроїзду має клепані поперечні балки, які розташовані в верхніх вузлах головних ферм, та десять поздовжніх балок, що обпираються

на поперечні балки. Поперечні балки мають переріз у вигляді клепаного двотавра із двох швелерів № 30 і вертикального листа між ними, а поздовжні балки виконані із прокатних двотаврів № 55а.

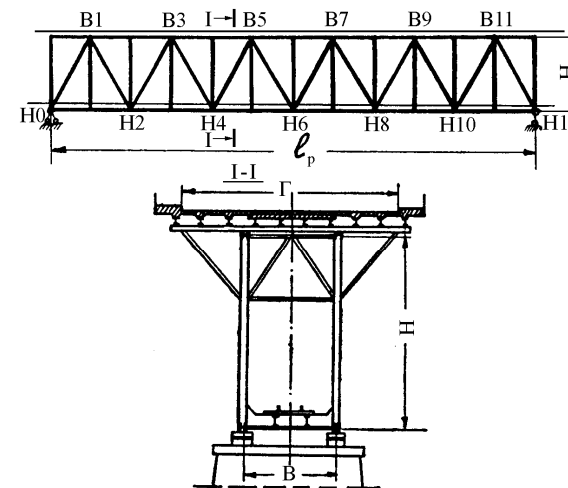


Рис. 1. Схема прогонової будови моста під суміщену їзду

Таблиця 1

Характеристика прогонових будов

№ n/n	Основні дані прогонових будов	Величина
1	Розрахунковий прогін, м	82,20
2	Висота головних ферм, м	12,14
3	Відстань між осями головних ферм, м	5,78
4	Довжина панелі, м	6,85
5	Ширина проїзної частини автопроїзду, м	13,41
6	Розрахункові навантаження:	
	а) залізничне	H8
	б) автомобільне	H-13 та НГ-60
	в) трамвайне	T-13
7	Маса прогонової будови, т	1870

Сполучення поздовжніх і поперечних балок автопроїзду поверхове. Зверху на поздовжні балки укладена збірна залізобетонна плита автопроїзду та трамвайного проїзду.

Поперечні балки прикріплені заклепками до верхнього поясу головних ферм і мають додаткові обпирання по осі прогонової будови на верхній вузол поперечних в'язей між фермами, а на кінцях консольних зв'язів – на спеціальні підкоси, як показано на рисунку 2.

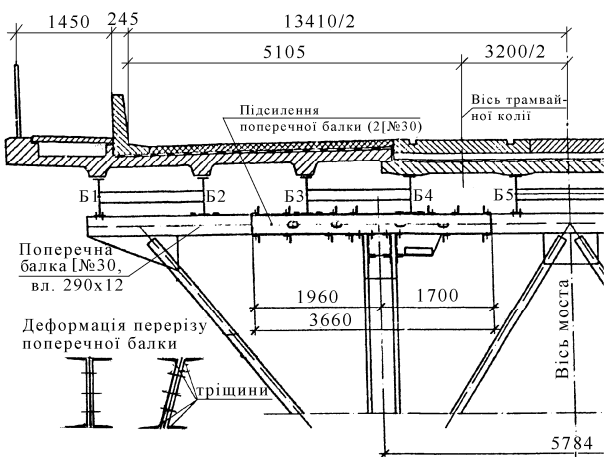


Рис. 2. Конструкція проїзної частини автопроїзду

Поздовжні балки B1, B5, B6 та B10 приклепані до верхніх полицок швелерів поперечних балок (див. рис. 2). Інші поздовжні балки вільно обпираються без прикріплення на поперечні балки за винятком поперечної балки П6. До середньої поперечної балки П6 приклепані всі поздовжні балки.

Верхні пояси головних ферм при завантаженні прогонової будови тимчасовим навантаженням від рухомого складу працюють на стиснення. На довжині половини прогону деформація верхнього поясу ферм визначається за формулою

$$\Delta l = \frac{\sigma_T l_p}{2E},$$

де σ_T - середнє напруження в панелях поясу від тимчасового навантаження; l_p - розрахунковий прогін ферм; E – модуль пружності сталі.

При середніх напруженнях σ_T від тимчасового навантаження в межах 50,0÷60,0 МПа величина деформації Δl досягає 8÷10 мм. Разом з цим слід

відзначити, що поздовжня деформація плити проїзної частини і поздовжніх балок у зв'язку з їх великою жорсткістю на порядок менша. Різниця деформацій верхніх поясів головних ферм і поздовжніх балок автопроїзду зменшується від кінців прогонової будови до її середини пропорційно відстані відповідних вузлів ферм від середини прогону.

В проекті прогонових будов моста при розрахунках і конструюванні балочної клітки проїзної частини автопроїзду була прийнята гіпотеза, що негативний вплив різниці деформацій верхніх поясів головних ферм і поздовжніх балок буде компенсуватись за рахунок горизонтального вигину поперечних балок на значній довжині між поздовжніми балками B1 і B5 та між балками B6 і B10 (див. рис. 2). Передбачалось також, що балки B2, B3, B4 та балки B7, B8, B9, які не клепані з поперечними балками, будуть ковзати по них в поздовжньому напрямку. Останнє припущення виявилось помилковим, ковзання поздовжніх балок по поперечних із-за наявності великих сил тертя не відбувається, що привело до деформації (перекосу) перерізу поперечних балок в зоні розташування поздовжніх балок B3 і B4 та B7 і B8 (див. рис. 2) і масової появи тріщин в поперечних балках. Можлива деформація контуру перерізу поперечних балок автопроїзду при проектуванні прогонових будов не розглядалась.

Безпосередньою причиною появи тріщин в поперечних балках автопроїзду є місцеве перенапруження в металі поперечних балок при вказаних деформаціях та втомлення металу в умовах змінного циклу навантаження [2].

Тріщини сконцентровані в місцях переходу від стінки до верхньої та нижньої полицок швелерів поперечних балок, що приводить до розшарування перерізу балок (відділення полицок від стінки) на значній довжині. Зазначені тріщини є на всіх прогонових будовах багатопрогонового моста. Як приклад, наявність і довжина тріщини в міліметрах в балках однієї з прогонових будов та план розташування поперечних балок, які підлягали підсиленню, показані на рисунку 3.



Рис. 3. Поперечні балки прогонової будови 2-3, які підлягали підсиленню

Реконструкція проїзної частини моста та підсилення поперечних балок автопроїзду за проектом Дніпродіпротрансу були проведені в 2004 році. При цьому були реконструйовані деформаційні шви між сусідніми прогоновими будовами над проміжними опорами і влаштовані додаткові деформаційні шви

в плиті і поздовжніх балках в середині прогонів, завдяки чому деформація поперечних балок автопроїзду при сумісній роботі з поясами головних ферм зменшилась в два рази.

Проїзна частина залізничних прогонових будов з їздою верхом. В 1944 році проектним інститутом Проектстальконструкція в умовах, коли в короткі строки необхідно було виготовити і встановити на залізничних мостах надзвичайно велику кількість зруйнованих металевих прогонових будов, були запропоновані нові типові проекти прогонових будов з їздою в рівні нижнього і верхнього поясів.

Прогонові будови ПСК з їздою низом були розроблені для діапазону розрахункових прогонів від 33,0 до 110 м.

Прогонові будови з їздою верхом мають розрахункові прогони 44,0; 55,0 і 66,0 м і висоту головних ферм 8,5 м. Відстань між головними фермами – 4,0 м. Для всіх прогонових будов ПСК довжина панелі становить 5,5 м.

При розробці прогонових будов ПСК вирішення всіх питань (генеральних схем, типу решіток ферм, форми перерізу елементів ферм, конструкції вузлів та стиків і т. ін.) було підпорядковане головній ідеї – спростити виготовлення конструкцій на заводі з використанням машинного клепання та максимальної уніфікації довжин елементів Н-подібного перерізу із чотирьох кутиків і горизонтального листа (або планок). Для найбільш навантажених елементів додавались два вертикальні листи. Розрахункове навантаження Н7.

Відмітними особливостями прогонових будов ПСК з їздою верхом є зменшення відстані між головними фермами до 4,0 м, використання хрещатих поперечних в'язів головних ферм та зміна конструкції балочної клітки проїзної частини, в якій було прийняте поверхове сполучення поздовжніх і поперечних балок. Конструкція обпирання поздовжніх балок на поперечні показана на рис. 4.

Висота перерізу поздовжніх і поперечних балок однакова і становить 1000 мм. Балки клепані і компонуються із чотирьох поясних кутиків і вертикального листа. Поздовжні балки мають також верхній горизонтальний лист, який закінчується на підході до верхніх «рибок».

Поздовжні балки з'єднуються поперечними в'язями у вигляді розпірок із швелерів № 20, які поставлені в середині панелей і над поперечними балками. Діагоналей поперечні в'язі між поздовжніми балками не мають ні в середині панелей, ні над поперечними балками. Поздовжні в'язі між поздовжніми балками також відсутні.

Навантаження від поздовжніх балок на поперечну передається в основному через товсті ($\delta=20$ мм) вертикальні фасонки поперечних в'язів поздовжніх балок, які розташовані над вертикальною стінкою поперечної балки і приторцьовані до нижньої «рибки» (див. рис. 4). Це повинно полегшувати роботу поясних кутиків поперечної балки у зв'язку з тим, що тиск на них від поздовжніх балок передається в основному біля «обушків». Як показує досвід, під нижніми торцями вказаних фасонки поперечних в'язів появляється виробка в металі цих фасонки і металі нижніх «рибок».

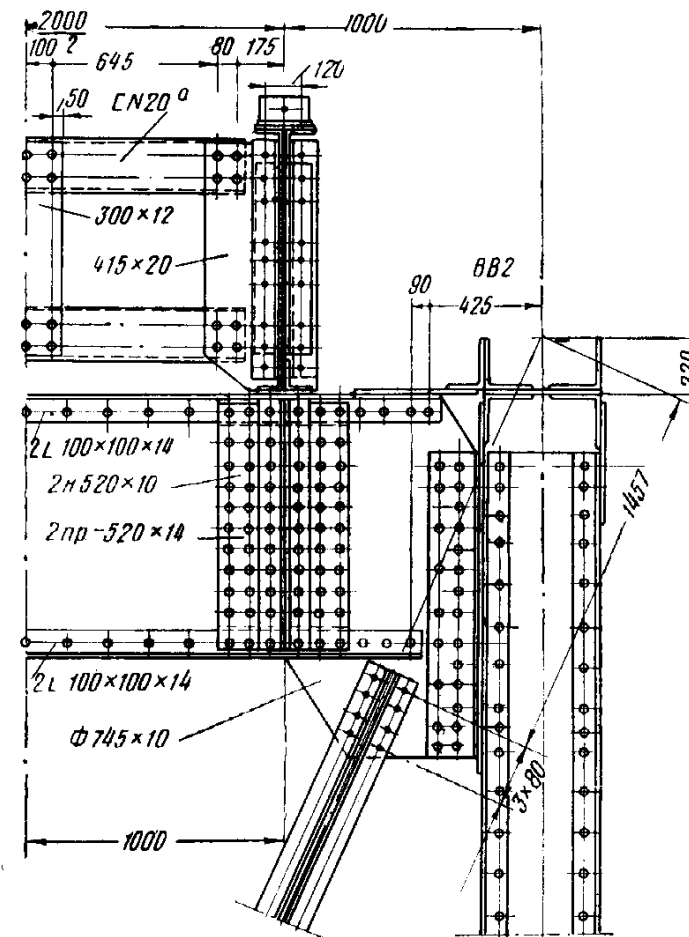


Рис. 4 Конструкція балочної клітки в прогонових будовах ПСК з їздою верхом

Вертикальний лист перерізу поперечних балок під поздовжніми балками (див. рис. 4) за допомогою двосторонніх листових накладок стикуються з вертикальними фасонками поперечних в'язів головних ферм. Поясні кутики (верхні і нижні) поперечних балок заходять на ці фасонки і з'єднуються з ними заклепками. Горизонтальні полицки верхніх поясних кутиків поперечних балок приклепані до горизонтальних фасонки верхніх поздовжніх в'язів між фермами.

Під поздовжніми балками на поперечних балках поставлені з двох сторін ребра жорсткості із спарених кутиків, які приторцьовуються до горизонтальних полицок верхніх поясних кутиків поперечних балок (див. рис. 4).

Верхні і нижні поясні кутики поздовжніх балок в опорних перерізах над поперечними балками закінчуються. Прикріплення поздовжніх балок до поперечних здійснюється за допомогою чотирьох вертикальних заклепок (болтів), які розташовуються на кінцевих відрізках горизонтальних полицок нижніх поясних кутиків поздовжніх балок.

На мосту, який було обстежено, встановлено п'ять прогонових будов ПСК з їздою верхом з величиною розрахункового прогону 55,0 м і одна індивідуальна прогонова будова з величиною розрахункового прогону 41,6 м.

Для прогонових будов ПСК з поперечним сполученням балок проїзної частини основними дефектами і розладнаннями є наступні:

- ослаблення та розрив вертикальних заклепок або болтів прикріплення поздовжніх балок до поперечних;
- нещільність обпирання поздовжніх балок на поперечні, що приводить до більш інтенсивного зношення металу і збільшення динамічної дії рухомого складу;
- поздовжні тріщини в нижніх поясних кутиках поздовжніх балок уздовж обушків кутиків на їх кінцевих відрізках;
- збільшення довжини тріщин і поява виколів з повним відділенням частини горизонтальної полицки поясних кутиків;
- тріщини уздовж обушків верхніх поясних кутиків поперечних балок в місцях обпирання поздовжніх балок;
- виколвання горизонтальних полицок верхніх поясних кутиків поперечних балок в зоні обпирання поздовжніх балок.

Як показують результати спостережень, поздовжні тріщини в нижніх поясних кутиках поздовжніх балок в місцях обпирання їх на поперечні балки починаються з торця і йдуть вздовж «обушка» кутиків. Досить швидко ці тріщини досягають довжини 100-150 мм.

При подальшому розвитку довжина тріщини збільшується до 200 мм і більше і розвивається вздовж «обушка» кутика або відхиляється до отвору заклепки (або болта) прикріплення нижньої «рибки» поздовжньої балки. Ці тріщини можуть проходити по всій ширині горизонтальної полицки поясного кутика і повного її виколвання. Засвердлювання тріщин, як правило, не приводить до бажаного результату.

Більш небезпечними і значно впливаючими на зниження вантажопідйомності прогонових будов є тріщини і виколвання горизонтальних полицок поперечних балок в місцях обпирання на них поздовжніх балок. При наявності тріщин і виколвання горизонтальних полицок верхніх поясних кутиків ці полицки повністю виключаються із роботи. Слід відзначити, що тріщини в верхніх поясних кутиках поперечних балок виникають в розрахункових перерізах, де діють максимальні згинальні моменти і поперечні сили.

Дефекти і розладнання в балках проїзної частини, які були виявлені при обстеженні цього моста, спостерігаються практично на всіх прогонових будовах ПСК з поперечним розміщенням поздовжніх та поперечних балок на мережі залізниць України та на залізницях інших регіонів. Це свідчить про те, що причиною вказаних дефектів і розладнань є недоліки прийнятих в проектах прогонових будов ПСК конструктивних рішень для проїзної частини з поперечним сполученням поздовжніх і поперечних балок.

На основі проведеного натурального обстеження проїзної частини прогонових будов моста, вивчення технічної документації і історії моста, аналізу результатів попередніх обстежень прогонових будов цього моста та інших мостів з прогоновими будовами ПСК з поперечним сполученням балок проїзної частини, аналізу характеру та динаміки розвитку тріщин встановлено наступне:

- основною причиною появи тріщин і виколів в нижніх поясних кутиках поздовжніх балок в місцях їх обпирання на поперечні та тріщин і виколів горизонтальних полицок верхніх поясних кутиків поперечних балок і розладнань вузлів обпирання є недоліки прийнятого в проектах ПСК конструктивного рішення поперечного сполучення балок, яке привело до місцевих перенапружень в металі;

- високий рівень місцевих напружень та динамічний характер навантаження при проході локомотивів, вагонів і окремих візків рухомого складу сприяли тому, що тріщини в результаті втомлення металу виникли уже на протязі перших десяти років експлуатації моста і далі збільшувалась їх кількість і розміри;

- несприятливий вплив на напружений стан металу в місцях появи тріщин мають деформації балок, які виникають при сумісній роботі балок проїзної частини з верхніми поясами головних ферм при завантаженні всієї прогонової будови рухомим складом;

- необхідно також відзначити, що у зв'язку з відсутністю діагоналей поперечних в'язів між поздовжніми балками при дії горизонтальних поперечних навантажень від рухомого складу можлива деформація контуру поперечних в'язів і додаткові напруження в поясних кутиках поздовжніх балок на їх кінцевих відрізках та в кутиках поперечних балок;

- при наявності нещільності обпирання поздовжніх балок на поперечні збільшуються динамічні навантаження на балки і з'являються осередки корозії, виплески та виробка металу в місцях обпирання.

Проїзна частина прогонових будов такої конструкції потребує виконання капітального ремонту та підсилення за спеціально розробленими проектами з влаштуванням додаткового пояса поздовжніх балок. Проведеними розрахунками показана достатньо висока ефективність такого підсилення.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Дорошенко Е.В., Хохлов А.А. Экспериментальные исследования динамической работы мостов под совмещенную езду. Труды ДИИТа, вып. 38. Вопросы теории колебаний, статики и динамики мостов. Днепропетровск, 1962. С.111-121.
2. Содержание и реконструкция мостов В.О. Осипов, Ю. О. Козьмин, В. С. Андиперовский, А. А. Кирста. Под редакцией В. О. Осипова – М. Транспорт, 1986 – 327 с.
3. В.П. Тарасенко, О.С. Распопов, Б.В. Савчинський. Діагностика та аналіз причин появи тріщин в балках проїзної частини металевих прогонових будов мостів з поперечним сполученням поздовжніх і поперечних балок.