

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:625.1.09.012.35/.014-049.32

М. В. ГЕРНИЧ^{1*}, С. В. КЛЮЧНИК², Д. С. СПІВАК³

^{1*} Кафедра «Транспортна інфраструктура», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38(096) 784 51 17, ел. пошта Gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798

² Кафедра «Транспортна інфраструктура», Дніпровський 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

³ Студент ННЦ «Мости і тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38(099) 200 07 64, ел. пошта dimalena6@gmail.com

СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПРОГОНОВІ БУДОВИ МОСТІВ ДЛЯ ПОСТКОНФЛІКТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЗРУЙНОВАНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Мета. Метою роботи є аналіз існуючих сталезалізобетонних прогонових будов мостів, визначення їх переваг та недоліків, дослідження змін напружень в елементах прогонової будови та її прогинів через поєднання в сумісну роботу металевих балок та залізобетонної плити проїзної частини, можливості використання даних конструкцій в постконфліктному відновленні зруйнованої транспортної інфраструктури. **Методика.** Розгляд висвітлених в літературі даних. Вивчення досвіду проектування та будівництва сталезалізобетонних прогонових будов мостів в нашій державі та за кордоном. Побудова розрахункової моделі, її завантаження, зміна товщини залізобетонної плити, аналіз результатів. **Результати.** Результатом даної роботи є зібрані дані про переваги та недоліки сталезалізобетонних прогонових будов мостів під залізницю, вплив об'єднання в сумісну роботу металевих балок та залізобетонної плити проїзної частини на напруження в елементах прогонової будови та на її вертикальні прогини, аналіз можливості використання даних конструкцій для швидкого відновлення руху поїздів. **Наукова новизна.** Вона полягає в тому, що для швидкого та якісного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури, зокрема залізничних шляхів, пропонується використовувати металеві балки тривалого зберігання (мобілізаційного резерву), які виконані за типовими проектами в середині минулого століття, в поєднанні із залізобетонною плитою, включеною в сумісну роботу (сталезалізобетонні прогонові будови). Це дасть можливість раціонально використовувати наявний резерв матеріалів, високі темпи відновлення та надійне відновлення руху потягів. **Практична значимість.** Спираючись на отримані дані можливо зробити висновок, що спосіб поєднання в сумісну роботу металевих балок тривалого зберігання та залізобетонної плити проїзної частини підвищує вантажопідйомність отриманих прогонових будов. Також встановлено, що сталезалізобетонні прогонові будови залізничних мостів є конструкціями, в яких поєднані кращі властивості будівельних матеріалів, вони мають низку переваг, тому використання даних конструкцій може забезпечити ефективне відновлення зруйнованих бойовими діями залізничних споруд в стислі терміни.

Ключові слова: сталезалізобетонні прогонові будови; відновлення; напруження; прогини; європейські стандарти

Вступ

Набутий за тисячоліття досвід післявоєнної відбудови засвідчує, що неефективність заходів, спрямованих на відновлення зруйнованих бойовими діями територій та економічних зв'язків, може призвести до повторення військових конфліктів. Відповідно до дослідження "Crisis Prevention and Recovery Report 2008 – Post'Conflict Economic Recovery: Enabling Local

Ingenuity" починаючи з 1965 року це мало місце в 11 з 36 країн, причому тричі в Афганістані, Руанді, Ліберії та Чаді. Крім того, бойові дії тривають зараз на території України, Сирії, Ємені, Сомалі та інших держав (Полчанов, 2017).

В даній роботі розглянуто досвід проектування та експлуатації сталезалізобетонних прогонових будов мостів під залізницю та можливість використання даних конструкцій для

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

швидкого та надійного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури.

Історія розвитку та застосування сталезалізобетонних конструкцій свідчить про пошуки шляхів підвищення характеристик міцності матеріалів (сталь та бетон), а також на виявлення найбільш ефективних та раціональних форм поєднання бетону і сталі при їх сумісній роботі.

В кінці XIX сторіччя серед будівельників існувало уявлення, що сталеві балки, оштукатурені бетоном (для збільшення вогне- та корозійної стійкості), отримують підвищену жорсткість та міцність. Цей факт було підтверджено випробуваннями, що проводилися в Англії в 1923 р. Вітчизняні будівельники при будівництві мостів та шляхопроводів відмічали, що в залізобетонній конструкції елементу дорожнього полотна, яка була влаштована на верхні полки сталевих балок, існуючі напруження значно зменшувалися, порівняно з розрахунковими. В 1929 р. Каугей та Скотт в Англії, а також Фрейсте в Франції вперше висловили думку про доцільність використання особливих та специфічних з'єднувальних деталей для забезпечення сумісної роботи залізобетону і сталі. В 1939 р. у Швейцарії були запатентовані балки системи «Альфа», в яких сумісна робота сталі та залізобетону забезпечувалась спіралями, привареним до верхньої полки сталеві балки. Перші сталезалізобетонні мости системи «Альфа» були побудовані в США та Швейцарії (Білокуров, 2015).

В Україні сьогодні на залізниці експлуатуються 276 мостів із сталезалізобетонними прогоновими будовами із загальної кількості 2400, що складає близько 11 %. Це переважно балкові системи, із суцільною стінкою, їздою поперек довжиною 24...36 м.

Сталезалізобетонні прогонові споруди складаються з металевої частини, яка повинна проектуватися по нормам що застосовуються для металевих конструкцій та залізобетонної плити, проектування якої не повинно суперечити проектуванню залізобетонних конструкцій. При цьому слід враховувати властивості, притаманні лише сталезалізобетонним прогоновим будовам мостів.

Теоретично та експериментально напружено-деформований стан сталезалізобетонних прогонових будов, робота сталезалізобетонних конструкцій різного виду, конструкції сталезалізобе-

тонних мостів та їхні експлуатаційні якості містяться у працях багатьох вчених.

Необхідність швидкого відновлення зруйнованої бойовими діями транспортної інфраструктури для забезпечення необхідних обсягів перевезень зумовлює розробку та прийняття відповідних рішень. Важливим резервом металу для будівництва мостів є металеві конструкції тривалого зберігання – мостові балки мобілізаційного резерву.

Мета

Метою даної роботи є аналіз існуючих сталезалізобетонних прогонових будов мостів, визначення їх переваг та недоліків, дослідження можливості використання даних конструкцій в постконфліктному відновленні зруйнованої бойовими діями транспортної інфраструктури.

Методика

Сталезалізобетонні прогонові будови набули широкого поширення в мостобудуванні, починаючи з кінця 50-х років минулого століття. Особливістю сталезалізобетонних прогонових будов є жорстке об'єднання залізобетонної плити проїзної частини зі сталевими головними балками, яке забезпечує їх спільну роботу (Стрелецкий, 1981; Стороженко, Тимошенко, Нижник, Гасій, & Мурза, 2008). Конструктивні форми прогонових будов, які проектували різні організації, відрізняються великою різноманітністю. Найбільш характерними основними системами сталезалізобетонних прогонових будов, здійснених у залізничних мостах, є:

- балкові розрізні;
- балкові нерозрізні;
- арочні;
- об'єднані;
- рамні.

В даній роботі більш ретельно буде розглянуто балкові розрізні прогонові будови з суцільною стінкою, їздою поперек, вони є найбільш розповсюдженими та мають певні переваги при будівництві та експлуатації.

Металева частина (сталеві балки) таких прогонових будов може бути зварною та збірною (поєднання елементів перерізу балки виконане за допомогою заклепок та/або високоміцних болтів).

Залізобетонна частина (плита проїзної частини, плита баластного корита) може бути ви-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

конана монолітна (бетонуванням безпосередньо в прогоні) або збірною (залізобетонні плити виготовляються на заводі з подальшим монтажем в прогоні).

В сталезалізобетонних прогонових будовах мостів важливим є надійне поєднання сталеві балки та залізобетонної плити для якісної сумісної роботи.

У випадку монолітної залізобетонної плити проїзної частини (баластного корита) спільна робота залізобетонної плити з металевими балками, забезпечується використанням жорстких або гнучких металевих упорів (рис. 1).

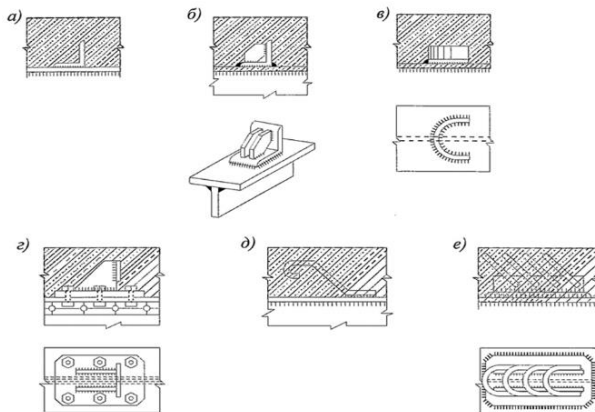


Рис. 1. Приклади жорстких та гнучких металевих упорів:

- а – жорсткі упори виконані з відрізків кутників;
- б – кутники зміцнені ребрами жорсткості;
- в – виконані з листової сталі, привареної безпосередньо до поясу балки;
- г – упори приварені до спеціального листа, який потім прикріплюють високоміцними болтами до верхнього поясу балки;
- д – гнучкі арматурні випуски, виконані з обрізків арматурних стержнів;
- е – дуги приварені до верхнього поясу балки

Теоретичні та експериментальні дослідження об'єднання залізобетону і сталі жорсткими упорами виконані багатьма організаціями СРСР, Німеччини, Франції, США, Канади ряді інших країн (Johnson, & McRuddi, 2009), статичні дослідження сталезалізобетонних конструкцій на зрушення при повторних навантаженнях виявили непружний характер роботи жорстких упорів і накопичення залишкових переміщень зсуву (Стрелецкий, 1981). Залишкові переміщення з величиною того ж порядку, що і пружні, виникають вже на перших спробах навантаження. Було відзначено характерні зменшення модуля пружних деформацій у міру накопичення залишкових переміщень. Вичерпування несучої здатності об'єднання в більшості

випадків відбувається в результаті руйнування бетону плити внаслідок деформацій зминання (Стрелецкий, 1981).

У гнучких упорів не має такого недоліку, також важливою перевагою гнучких арматурних зв'язків і з'єднань в порівнянні з жорсткими упорами є хороше сприйняття вертикальних зусиль розтягу між залізобетонною плитою і сталевий балкою, які виникають при роботі сталезалізобетонних прогонових будов. Аналіз розроблених конструкцій анкерів показав, що найбільш технологічним та надійним є використання гнучких анкерів, приварених напівавтоматичним методом (рис. 2).



Рис. 2. Анкери, приварені напівавтоматичним методом

Цей тип анкерів зараз отримав найбільш широке використання у капітальному будівництві взагалі та у транспортному будівництві зокрема (Kuhlmann, Breunig, Gözl, Pourostad, & Stempniewski, 2020). Використання даних упорів за кордоном регламентується документами (ISO 14555:2006, 2006), вітчизняному будівництві, на сьогодні, відсутні подібні нормативні акти. Циліндричні стержні упорів, зварювальні пістолети та інше обладнання для приварювання гнучких упорів з голівками, випускають закордонні фірми «Нельсон», «Кротон-Паркінсон», «Пеко», «Філіпс» та ін. У останні роки на ринку України з'явилося нове обладнання фірми «Нельсон», яке здатне приварювати болти та шпильки від 5 до 32 мм. Це, безумовно, сприяє збільшенню продуктивності праці.

У разі використання збірної залізобетонної плити проїзної частини (плити баластного корита) для об'єднання елементів використову-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ють високоміцні болти або шпильки. В такому випадку для передачі зрушуючих сил використовується переважно тертя, а при болто-клейовому об'єднанні для цієї ж мети використовується, крім того, зчеплення, що забезпечується клейовим складом (рис. 3). Позитивною особливістю передачі зрушуючих сил між залізобетоном і сталлю з використанням високоміцних болтів, тобто тертям або зчепленням, є менші місцеві збурення і концентрації зрушуючих зусиль і напружень, чим при використанні упорів або анкерів.

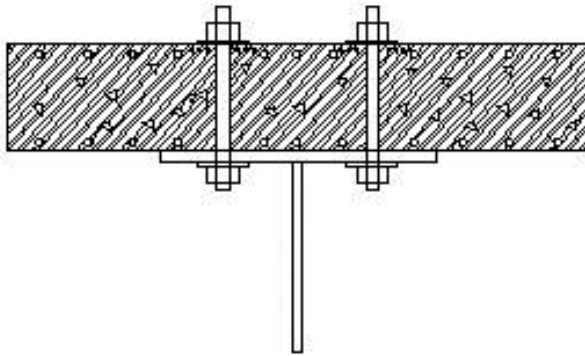


Рис. 3. Об'єднання за допомогою високоміцних болтів

Зрушуючі сили передаються розосереджено силами тертя (або поєднанням тертя зі зчепленням) і сприймаються безпосередньо спертою на сталевий пояс поверхню залізобетону. Обтискання шва і розосереджений характер передачі зусиль різко підвищують надійність роботи об'єднання під повторними навантаженнями. Високоміцні болти, що пропускаються крізь залізобетонну плиту і полицю сталевого поясу, забезпечують одночасно з обтисканням шва також і анкерування залізобетону на сталі. Високоміцні болти, що обтискають залізобетон, застосовують переважно при збірній залізобетонній плиті, проте можливе використання їх і при монолітній плиті. Перевага фрикційного або болто-клейового рішення визначається конкретними місцевими умовами.

В світовій практиці використовують поєднання металевих балок зі збірними залізобетонними плитами приварюванням гнучких штирьових упорів до верхніх поясів балок. Блоки збірних залізобетонних плит виготовляють з вікнами на всю висоту плити, або з глу-

хими нішами, що мають отвори для подальшого заповнення сумішшю (рис. 4).

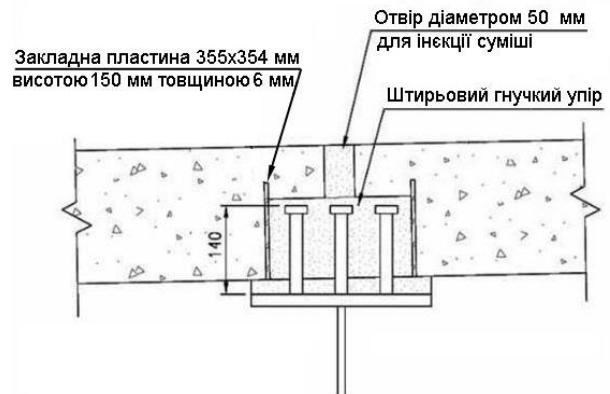


Рис. 4. Варіант поєднання залізобетонної плити та металевої балки

Спільна робота балок і збірної залізобетонної плити може забезпечуватися за допомогою закладних гнучких упорів з головками або за допомогою спільного омоноличування випусків арматури.

Під залізницю використовують мостове полотно з укладкою верхньої будови колії на баласт та безпосереднім кріпленням до залізобетонної плити. Використання мостового полотна на баласті дає можливість виправляти профіль колії при зміні будівельного підйому прогонової будови та надає можливість здійснювати швидкісний рух потягів по мосту за рахунок однакової жорсткості колії на підходах та в прогоні. Безбаластне мостове полотно в свою чергу має меншу майже в три рази вагу, але позбавлене переваг мостового полотна з їздою на баласті.

Сьогодні в Україні видані та діють цілком або частково цілий ряд державних будівельних норм України (ДБН) у області мостобудування. В середині 2013 року в Україні були видані Eurocode (ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012, 2013), формально вже зараз можна виконувати проектування за цими нормами, але виконувати проектування в цьому випадку без достатнього досвіду не так просто, а для сталезалізобетонних прогонових будов мостів взагалі складно, так як треба користуватися трьома Eurocode – бетонним, металевим та сталезалізобетонним, також враховувати їх додаткові розділи. Розрахунки по вітчизняним нормам можна доповнювати, а в деяких моментах дублювати розраху-

нками по Eurocode (ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012, 2013).

Розглядати переваги та недоліки сталезалізобетонних прогонових будов буде доцільно порівнюючи певні показники з іншими конструкціями прогонових будов. Найбільш близькими до сталезалізобетонних прогонових будов є металеві та залізобетонні прогонові будови. На сьогодні в Україні можна відмітити достатній рівень технологій будівництва металевих мостів та відсталість технологій будівництва залізобетонних мостів середніх та великих прогонів. Тому не має можливості провести повноцінне порівняння сталезалізобетонних прогонових будов з металевими та залізобетонними, без врахування окремих місцевих факторів (Корнеев, 2015). Але можливо виділити переваги сталезалізобетонних прогонових будов які не залежать від особливостей країни будівництва.

Основна перевага полягає в тому, що при жорсткому об'єднанні металевої балки та залізобетонної плити виникає стиснення залізобетонної плити при вигині балок. Це призводить до зменшення стиснутої зони перетину верхніх поясів сталевих балок, підвищенню горизонтальної жорсткості прогонових будов, зниженню витрати сталі на 12...18 % в порівнянні з металевими прогоновими будовами (Осипов (Ред.), 1988). До того ж сталезалізобетонні прогонові будови простіші за конструкцією та дешевші за металеві. Покриття проїзної частини служить довше ніж на металевій прогоновій будові за рахунок більшої жорсткості плити. Шум від потягу менший за рахунок масивності плити.

Витрати сталі на сталезалізобетонні прогонові будови у 1,5...2 рази вищі за залізобетонні, але витрати бетону на одиницю довжини тут майже не залежать від величини прогону. У той же час як у залізобетонних прогонових будовах витрати бетону збільшуються зі збільшенням прогону. Відповідно конкурентоздатність сталезалізобетонних прогонових будов у порівнянні із залізобетонними зі збільшенням прогону також збільшується (Коваль, & Балабух, 2012).

Ще однією перевагою сталезалізобетонних мостів є економія часу, витраченого на будівництво, тому побудова сталезалізобетонних мостів є одним з найпривабливіших рішень у багатьох країнах. Ще більшу економію часу

можна отримати шляхом заводського виготовлення не тільки металоконструкцій прогонової будови, але і залізобетонної плити проїзної частини.

До недоліків мостів із сталезалізобетонних прогонових будов, в наших умовах, можна віднести сезонне виконання робіт по бетонуванню плити. Застосування штучного обігріву збільшує вартість будівництва та викликає загрозу збільшення термальної усадки бетону. Також до недоліків цих прогонових будов можна віднести улаштування залізобетонної плити після того як головні балки вже встановлені в прогін, тоді як металеві прогонові будови можуть бути зібрані на підходах та встановлені в прогін вже з огороженням та водовідводом (Корнеев, 2015).

Сьогодні актуальними є концепції збереження й розвитку мостових споруд (Кислов, & Безбабичева, 2009), можливість використання прогонових будов, виконуваних за типовими проектами для пропуску сучасного навантаження. Також актуальними є питання експлуатації і ремонту вже існуючих мостових споруд (Більченко, Кіслов, & Бадаєва, 2008). В основу нових типів сталезалізобетонних конструкцій покладено концепцію синтезу кращих зразків сталевих і залізобетонних конструкцій, які враховували їхні істотні переваги. Використання сталезалізобетону як прогонових будов мостів є доволі поширене (Снитко, 2005).

Необхідність швидкого відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури для забезпечення необхідних обсягів перевезень, збільшення навантажень та швидкостей на залізниці зумовлює необхідність підвищення вимог до експлуатаційної надійності транспортних споруд. Стрімке подорожчання цементу, кам'яних матеріалів сприяє ширшому використанню в нашій країні сталезалізобетонних прогонових будов, переважно для перекриття середніх і малих прольотів мостів. Важливим резервом металу для будівництва мостів є металеві конструкції тривалого зберігання – мостові балки мобілізаційного резерву, які не були у використанні, тощо.

До таких конструкцій відносяться:

1. Спеціальні мостові металоконструкції багатопільового призначення за проектом 6-Ф7310 ЦНІПроектстальконструкції, 1982 року.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

2. Конструкції інвентарні балочні (КИБ-82) із прокатних двотаврових балок по ТУ 14-2-24-72 за проектом 5856 СКБ Главмостостроя, 1982 року.

3. Металеві залізничні пакетні прогонові будови з використанням прокатних двотаврових балок по ТУ 15-2-24-72 за проектом 5715 СКБ Главмостостроя, 1980 року.

4. Залізничні інвентарні металеві прогонові споруди серії 3.501.2-127 по проекту Гіпротранспуті, 1981 року.

5. Збірно-розбірні залізничні прогонові будови СРП-33,6 НС, Ленгіпротрансмосту, 1981 року.

Більш ретельно зупинимося на збірно-розбірних прогонових будовах, що збираються з окремих елементів або блоків із застосуванням з'єднань, що допускають виконання збирання, а при необхідності і розбирання, швидкими і простими способами. Після розбирання конструкції збірно-розбірних прогонових будов можуть бути використані повторно або навіть кілька разів. Ці прогонові будови є інвентарними та уніфікованими.

В таблиці 1 наведені основні характеристики збірно-розбірних прогонових будов.

Таблиця 1

**Основні характеристики
збірно-розбірних прогонових будов**

Характеристика	СРП-23	СРП-23М	СРП-23МП	СРП-23НС	СРП-33,6	СРП-33,6 НС
Розрахункове навантаження	Н6	Н6	Н6	В	Н6	В
Матеріал (метал)	М16С	М16С	15ХСНД	15ХСНД-2	10Г2СД	15ХСНД-2
Маса прогонової будови, т	25,12	23,3	28,8	20,8	38,8	37,1
Будівельна висота, м: в прогоні на опорі	3,01 3,03	3,01 3,03	1,98 1,98	1,6 1,59	3,01 3,01	2,2 2,2

Одним із способів збільшення вантажопідйомності металевих балок (мобілізаційного резерву) є нарощування металу головних балок. В даній роботі нас цікавить питання можливості підвищення вантажопідйомності металевих балок за рахунок включення їх в спільну роботу з залізобетонною плитою проїзної частини, це може забезпечити ефективне використання наявних матеріальних ресурсів, але постає завдання розробки ефективних конструктивних рішень.

В Україні є позитивний досвід використання металевих балок тривалого зберігання (мобілізаційного резерву) для відновлення значної кількості автодорожніх мостів у стислі терміни після руйнівних повеней 1998 та 2000 років у Закарпатській області. Цікавим є те, що використовуючи металеві балки мобілізаційного резерву були створені сталезалізобетонні прогонові будови (Балабух, 2010).

Робочі проекти сталезалізобетонних мостів із металевих балок тривалого зберігання розроблено проектним інститутом «Західдіпрошлях» (ГПП А. Г. Походенко). Кількість балок підбирали залежно від величини прогонів та габаритів проїзду. Понизу балки об'єднували поперечними в'язями із прокатних елементів, поверху – залізобетонною плитою проїзної частини. В усіх мостах плити проїзної частини були влаштовані із монолітного залізобетону, і тільки у одного моста плита була збірною. Пливу проїзної частини об'єднували з балками жорсткими упорами. Всі мости, були збудовані і випробувані статичним і динамічним навантаженням (Балабух, 2010).

Досвід будівництва цих мостів показав, що конструктивно-технологічні рішення сталезалізобетонних прогонових будов із балок тривалого зберігання є доволі ефективними. За рахунок використання їх на дослідних об'єктах отримана економія 1,197 млн. грн. (Балабух, 2010).

Результати

З метою поглиблення аналізу даних конструкцій, були проведені розрахунки досліджуваної конструкції з вихідними даними, які повністю відповідають дослідній прогоновій будові. Для теоретичних досліджень взято збірно – розбірні прогонові будови однієї серії, які можуть збиратися повною довжиною 27,6 м та

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

33,6 м. Конструкція цих прогонових будов з їздою поверху виконана з зварних двотаврів із суцільними вертикальними стінками, зі сталі 15ХСНД.

В якості розрахункової моделі була побудована просторова схема з плоских елементів, де елементи були змодельовані у відповідності до їх геометричних розмірів, що дало можливість оцінювати власну вагу прогонової будови разом зі зв'язками. Дуже важливо на даному етапі досліджень шляхом спрощення розрахункової схеми не втратити особливості роботи всієї конструкції прогонової будови – суттєві спрощення є неприпустимими.

Була отримана скінчено-елементна модель, що складається з 420954 шт. вузлів та 168175 шт. кінцевих елементів (рис. 5). У дужках позначено по яким саме осям заборонене переміщення. Розрахунки проводились для просторової конструкції в програмному комплексі ANSYS. Дана розрахункова схема враховує конструктивні особливості дійсної прогонової будови.

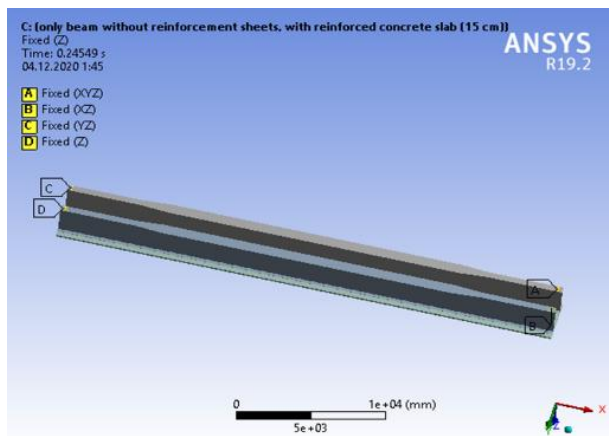


Рис. 5. Розрахункова модель прогонової будови

Визначено зусилля в елементах головної балки:

- від власної ваги балок окремо;
- від власної ваги балок разом із залізобетонною плитою;
- від рухомого складу.

Розрахункове навантаження від рухомого складу – С14. Прикладається лінійним розподіленим навантаженням.

Розрахункова власна вага сталевих балок, з повздовжніми та поперечними зв'язками – 7,117 кН/м, що прикладається розподіленим навантаженням на всю поверхню верхнього

горизонтального листа (ВГЛ) та складає 14,77 кПа.

Розрахункова власна вага залізобетонної плити буде змінюватись за рахунок зміни товщини плити тому – варіативна, вона прикладається розподіленим навантаженням на всю поверхню плити. Бетон марки В30.

Наступним етапом дослідження було розгляд та аналіз змін загальних переміщень та напружень в елементах головних балок при зміні товщини залізобетонної плити включеної в сумісну роботу з металевою частиною. Результати розрахунків приведені в таблиці 2.

Як видно з результатів приведених в таблиці, за рахунок включення в сумісну роботу залізобетонної плити з головними балками:

1. Вся прогонова будова стає жорсткішою, зі збільшенням товщини плити – зменшується загальне переміщення.

2. Напруження у головних балках в середині прогону зі збільшенням товщини плити – зменшуються.

3. Напруження у головних балках на опорі зі збільшенням товщини плити – збільшуються.

Таблиця 2

Напруження в моделі прогонової будови

№ з/п	Товщина плити, см	Переміщення, мм	Напруження у балках посередині прогону, МПа	Напруження на опорі балки, МПа
1.	0	162,07	260,43	282,21
2.	10	117,09	236,82	295,99
3.	15	98,56	216,11	295,96
4.	20	90,57	213,43	300,81
5.	25	85,17	211,63	305,59
6.	30	81,13	210,31	310,97
7.	35	77,94	209,23	314,77
8.	40	75,29	208,3	319,56
9.	45	73,02	207,41	325,19
10.	50	71,05	206,54	329,54
11.	55	69,28	205,67	334,34
12.	60	67,65	204,74	339,61

За результатами, для наочності, побудовані графіки залежності переміщень та головних напружень в балці (рис. 6, 7).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

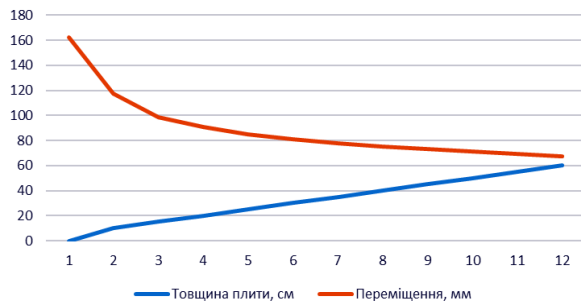


Рис. 6. Залежність переміщень від товщини плити

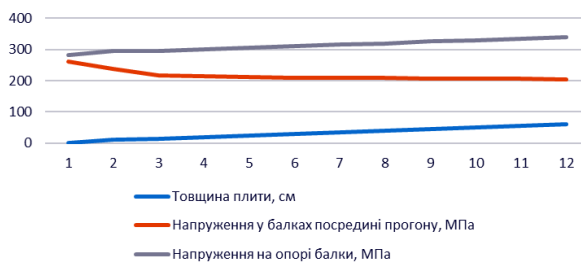


Рис. 7. Залежність напружень від товщини плити

Аналізуючи графік залежності переміщень від товщини плити можна зробити висновок, що при товщині плити $h=10\dots 20$ см, переміщення значно зменшуються, при збільшенні товщини плити збільшення жорсткості уповільнюється.

Розглядаючи графік залежності напружень в елементах головних балок видно, що напруження в середині прогону суттєво зменшуються при товщині плити до $h=20$ см, далі зменшення напружень уповільнюється та майже не залежить від зміни товщини плити. Проте напруження в елементах головних балок на опорі постійно зростає із зростанням товщини плити.

Наукова новизна та практична значимість

Спираючись на отримані дані можливо зробити висновок, що сталезалізобетонні прогонові будови залізничних мостів є конструкціями в яких поєднані кращі властивості будівельних матеріалів, мають низьку перевагу, тому використання даних конструкцій може забезпечити ефективне відновлення зруйнованих бойовими діями транспортних об'єктів.

Висновки

Було проведено дослідження актуальних нормативних документів, сучасний стан розвитку сталезалізобетонних конструкцій та техно-

логій у області їх спорудження та капітального ремонту. У результаті проведених досліджень можна зробити декілька висновків:

1. Для залізничних мостів розроблено ефективні конструкції сталезалізобетонних прогонових будов. Сфера застосування сталезалізобетонних конструкцій є досить широкою, що обумовлює великий інтерес до їх поглибленого дослідження та проектування.

2. Аналіз показав, що у вітчизняних нормах доволі чітко викладено розрахунки сталезалізобетонних мостів за першою і другою групами граничних станів.

3. Важливим резервом металу для будівництва мостів є металеві конструкції тривалого зберігання (мостові балки мобілізаційного резерву). Завдяки застосування їх для будівництва сталезалізобетонних мостів забезпечується ефективне використання наявних матеріальних ресурсів.

4. Аналізуючи вдалий приклад використання балок тривалого зберігання (мостових балок мобілізаційного резерву) для будівництва автомобільних мостів в нашій країні, доцільно буде розглянути питання використання балок тривалого зберігання для відновлення руху залізничного транспорту.

5. Спосіб об'єднання металевих балок із залізобетонною плитою для спільної роботи, тим самим перетворення їх на сталезалізобетонні прогонові будови, може підвищити вантажопідйомність уже існуючих металевих прогонових будов залізничних мостів.

6. Провівши аналіз результатів дослідження можна зробити висновок, що найбільш ефективною буде залізобетонна плита товщиною $h=15\dots 20$ см.

7. Аналіз розроблених конструкцій анкерів показав, що найбільш технологічним та надійним є використання гнучких анкерів, приварених напівавтоматичним методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ISO 14555:2006 (2006). Welding – Arc stud welding of metallic materials.
- Johnson, R., & McRuddi, L. (2009). Popular Structures of Composite Concrete Bridges. *World Composite Structures: 18th International Conference on Steel Structures*, 116-129.
- Kuhlmann, U., Breunig, S., Gözl, L.-M., Pourostad, V., & Stempniewski, L. (2020). New developments in steel and composite bridges. *Journal of Construc-*

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- tional Steel Research*, 174, 106277.
- Балабух, Я. А. (2010). *Міцність, деформації та експлуатаційні якості сталезалізобетонних мостів*: дис. канд. техн. наук. Львів: Львівська політехніка.
- Блокур, П. С. (2015). *Міцність та деформативність сталезалізобетонних балкових конструкцій, посилені зовнішнім сталевим армуванням*: дис. канд. техн. наук. Київ: Нац. авіац. ун-т.
- Більченко, А. В., Кіслов, О. Г., & Бадаєва, О. В. (2008). Концепція розвитку будівництва, експлуатації і ремонту мостових споруд до 2012 р. в м. Харкові. *Науковий вісник будівництва*, 48, 71-73.
- ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012 (2013) Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила. Расчет конструкций на огнестойкость (EN 1994-1-2:2005, IDT).
- Кіслов, А. Г., & Безбабичева, О. И. (2009). О разработке концепции сохранения и развития мостовых сооружений. *Труды 69 Междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»*, 112-114.
- Коваль, П. М., & Балабух, Я. А. (2012). Робота сталезалізобетонних балок мостів та їх розрахунок. *Проблеми розвитку міського середовища*, 8, 127-136.
- Корнеев, М. М. (2015). *Сталежелезобетонные мосты. Пособие по проектированию мостов*. Санкт-Петербург: ПГУПС.
- Осипов, В. О. (Ред.) (1988). *Мосты и тоннели на железных дорогах*. Москва: Транспорт.
- Полчанов, А. Ю. (2017). Стан наукових досліджень з питань постконфліктного відновлення. *Інвестиції: практика та досвід*, 6, 46-51.
- Снитко, В. П. (2005). *Проективання сталезалізобетонних мостів*. Київ: НТУ.
- Стороженко, Л. І., Тимошенко, В. М., Нижник, О. В., Гасій, Г. М., & Мурза, С. О. (2008). *Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій*. Полтава: АСМІ.
- Стрелецкий, Н. Н. (1981). *Сталежелезобетонные пролётные строения мостов*. Москва: Транспорт.

M. HERNICH^{1*}, S. KLUTCHNIK², D. SPIVAK³

^{1*} Department «Transport infrastructure», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 784 51 17, e-mail Gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798

² Department «Transport infrastructure», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 667 40 49, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

³ Student gr. MT1921, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 200 07 64, e-mail dimalena6@gmail.com

COMPOSITE REINFORCED CONCRETE BRIDGE GIRDERS FOR POST-CONFLICT RECONSTRUCTION OF THE DESTROYED TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Purpose. The purpose of this work is to analyze the existing composite reinforced concrete girder structures of bridges, determine their advantages and disadvantages, study of stress changes in the elements of the girder structure and its deflections caused by the coupling of metal beams and reinforced concrete roadway, the possibility of using these structures in post-conflict reconstruction. **Methodology.** Examination of the data covered in the literature. Studying the experience of design and construction of reinforced concrete girder structures of bridges in our country and abroad. Construction of the calculation model, its loading, change of thickness of a reinforced concrete plate, the analysis of results. **Findings.** The result of this work is collected data on the advantages and disadvantages of reinforced concrete girder structures of bridges under the railway, the impact on stress in the elements of the girder structure and on its vertical deflections by the joint work of metal beams and concrete slab, analysis of the possibility of using such girders for fast resumption of train traffic. **Originality.** It lies in that for the rapid and high-quality restoration of destroyed transport infrastructure, including railways, it is proposed to use metal beams of long-term storage (mobilization reserve), which are made on standard projects in the middle of last century, combined with reinforced concrete slab included in joint work, thereby obtaining composite reinforced concrete girder structures. This will allow rational use of the available reserve of materials, high recovery rates and reliable recovery of train traffic. **Practical value.** Based on the obtained data, it is possible to conclude that the method of combining the long-term stored metal beams and reinforced concrete slabs of the carriageway increases the load-bearing capacity of the obtained girder structures, so the use of these structures can ensure the effective restoration of war-torn railway structures in a short time.

Keywords: composite reinforced concrete girders; restoration; stresses; deflections; European standards

REFERENCES

- ISO 14555:2006 (2006). Welding – Arc stud welding of metallic materials. (in English)
- Johnson, R., & McRuddi, L. (2009). Popular Structures of Composite Concrete Bridges. *World Composite Structures: 18th International Conference on Steel Structures*, 116-129. (in English)
- Kuhlmann, U., Breunig, S., Gözl, L.-M., Pourostad, V., & Stempniewski, L. (2020). New developments in steel and composite bridges. *Journal of Constructional Steel Research*, 174, 106277. (in English)
- Balabukh, Ya. A. (2010). *Mitsnist, deformatsii ta ekspluatatsiini yakosti stalezalizobetonnykh mostiv* : dys. kand. tekhn. nauk. Lviv: Lvivska politekhnika. (in Ukrainian)
- Bilokurov, P. S. (2015). *Mitsnist ta deformatyvniit stalezalizobetonnykh balkovykh konstruksii, posylenykh zovnishnim stalevym armuvanniam* : dys. kand. tekhn. nauk. Kyiv: Nats. aviats. un-t. (in Ukrainian)
- Bilchenko, A. V., Kislov, O. H., & Badaieva, O. V. (2008). Kontsepsiia rozvytku budivnytstva, ekspluatatsii i remontu mostovykh sporud do 2012 r. v m. Kharkovi. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 48, 71-73. (in Ukrainian)
- DSTU-N B EN 1994-1-2:2012 (2013) Yevrokod 4. Proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstruksiy. Chast 1-2. Obshchie pravila. Raschet konstruksiy na ognestoykost (EN 1994-1-2:2005, IDT). (in Russian)
- Kislov, A. G., & Bezbabicheva, O. I. (2009). O razrabotke kontsepsii sokhraneniya i razvitiya mostovykh sooruzheniy. *Trudy 69 Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta»*, 112-114. (in Russian)
- Koval, P. M., & Balabukh, Ya. A. (2012). Robota stalezalizobetonnykh balok mostiv ta yikh rozrakhunok. *Problemy rozvytku miskoho seredovishcha*, 8, 127-136. (in Ukrainian)
- Korneev, M. M. (2015). *Stalezhelezobetonnye mosty. Posobie po proektirovaniyu mostov*. Sankt-Peterburg: PGUPS. (in Russian)
- Osipov, V. O. (Red.) (1988). *Mosty i tonneli na zheleznykh dorogakh*. Moskva: Transport. (in Russian)
- Polchanov, A. Yu. (2017). Stan naukovykh doslidzhen z pytan postkonfliktnoho vidnovlennia. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, 6, 46-51. (in Ukrainian)
- Snytko, V. P. (2005). *Proektuvannia stalezalizobetonnykh mostiv*. Kyiv: NTU. (in Ukrainian)
- Storozhenko, L. I., Tymoshenko, V. M., Nyzhnyk, O. V., Hasii, H. M., & Murza, S. O. (2008). *Doslidzhennia i proektuvannia stalezalizobetonnykh strukturnykh konstruksii*. Poltava: ASMI. (in Ukrainian)
- Streletskiy, N. N. (1981). *Stalezhelezobetonnye proletnye stroeniya mostov*. Moskva: Transport. (in Russian)

Надійшла до редколегії 08.01.2021.

Прийнята до друку 21.01.2021.