

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:625.1.09.012.35-027.31

В. В. МАРОЧКА<sup>1\*</sup>, С. Г. БОБОШКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

<sup>2</sup> Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

### РОЗРОБКА НОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ДЛЯ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

**Мета.** Покращення конструкції залізобетонних прогонових будов для малих та середніх залізничних мостів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети розглянуто сучасну конструкцію та проаналізовано законний досвід конструювання залізобетонних прогонових будов. **Результати.** Проведено дослідження актуальних нормативних документів, сучасного стану розвитку конструкцій та технологій у області спорудження та капітального ремонту малих та середніх прогонових будов. Розроблено удосконалену конструкцію залізобетонних прогонових будов, що дозволяє уникати основних проблем, які виникають у ході експлуатації прогонових будов існуючої конструкції. **Наукова новизна.** Запропонована нова концепція зовнішнього армування залізобетонних прогонових будов. Удосконалені арматурні та опалубні креслення залізобетонних прогонових будов залізничних мостів. **Практична значимість.** Запропоновані рішення дозволяють вирішити одразу ряд проблем, пов'язаних з виробництвом та експлуатацією залізобетонних прогонових будов на залізничних мостах.

*Ключові слова:* малі прогонові будови; залізобетон; зовнішнє армування; розрахунок; проект

#### Вступ

Сучасний розвиток мостобудування характеризується широким впровадженням залізобетонних конструкцій у якості несучих елементів мостів. Не дивлячись на широкий спектр будівельних матеріалів, що можуть бути використані при спорудженні транспортних споруд, частка залізобетонних конструкцій складає 75-85 %. Технологічність, довговічність та економічна ефективність роблять залізобетонні конструкції безальтернативними у прогонових будовах малих мостів (з прогонами до 12 м) та вкрай ефективними в середніх мостах (з прогонами до 33,6 м).

Сучасний розвиток технологій будівництва та виробництва будівельних конструкцій дає змогу не тільки вводити часткові зміни, а й повністю змінювати конструкцію в сторону технологічності та якості кінцевого виробу. В той же час, існуюча конструкція прогонових будов потребує вирішення цілого ряду недоліків.

#### Мета

Розробити конструкцію економічно ефективних залізобетонних прогонових будов малих та середніх залізничних мостів.

#### Методика

Робота із заміни старих прогонових будов малих та середніх мостів, як правило, відбувається постійно, у плановому порядку. Об'єми даних робіт різні на різних залізницях та залежать не скільки від нагальної необхідності ремонту, скільки від об'єму капітальних вкладень, які залізниця готова виділити на проведення цих робіт.

Широкого розповсюдження отримали прогонові будови зі звичайного залізобетону, виконані за типовим проектом інв. № 557/11 [2]. Даний проект являв собою серію плитних прогонових будов з прогонами 2,95-16,5 м та ребристих прогонових будов з прогонами 9,3-16,5 м.

Принципово прогонові будови являли собою двоблочну конструкцію з несучим елементом у вигляді плити або ребра з баластним коритом у вигляді плити з бортиками.

Якість виконання проекту, широкий діапазон та достатньо маленький крок довжин між суміжними прогоновими будовами (навіть

менший, ніж вимагали тодішні норми) є безпечною перевагою даного типового проекту.

Подальшого розвитку даний проект отримав у серії прогонових будов, розроблених ДП «Науково-конструкторське технологічне бюро

коліяного господарства Укрзалізниці», що увійшли до відомчого нормативного документу ЦП-289 «Інструкція з проектування залізобетонних прогонових будов для залізничних мостів з балок типу БПС» [1] (рис. 1).

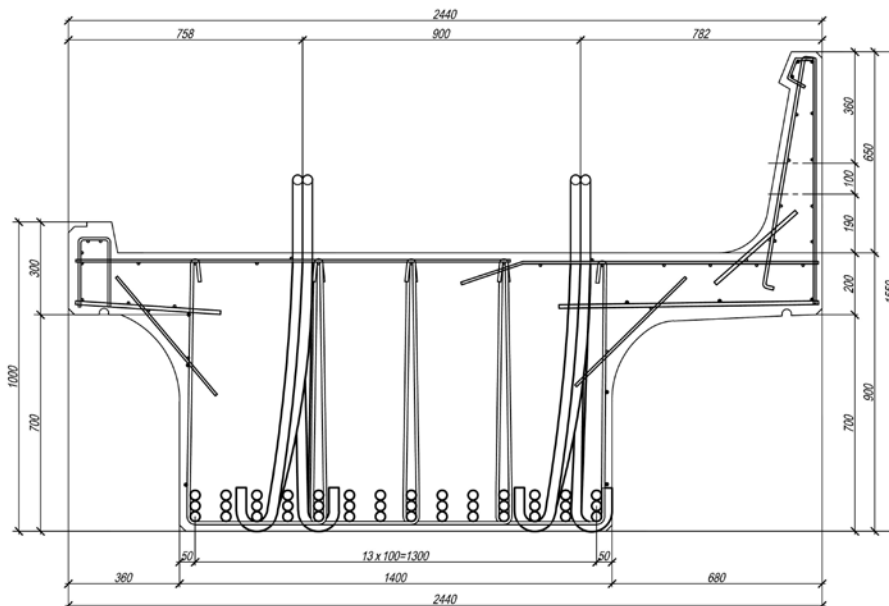


Рис. 1. Конструкція прогонової будови довжиною 12,2 м за ЦП-289

У розробленій серії прогонових будов реалізовано цілий ряд нововведень:

- арматура АІІ замінена на більш міцну А 400с;
- бетон М300 та М400 замінено на сучасний В40;
- використано сучасні гідроізоляційні матеріали;
- водопропускні трубки старого зразку замінено на сучасні полімерні, нейтральні до агресивних середовищ;
- висота бортика збільшена до 650 мм з метою можливості механізованої заміни баласту;
- удосконалена конструкція внутрішнього бортика.

Удосконалення, виконані у конструкції, є вкрай актуальними та важливими з позицій експлуатації, але вони не вирішили цілий ряд недоліків, закладених у конструкцію раніше, та таких, що можуть бути виправлені і забезпечили б уникнення проблем, описаних у [3].

У світовій практиці використання малих прогонових будов пов'язане перш за все з іс-

нуючими залізничними коліями та з спорудами на них. На нових ділянках колії, як правило, при невеликих прогонах, практично завжди використовуються водопропускні труби з металевого гофрованого листа [6, 10, 12, 16, 18]. Дані конструкції є дешевшими, більш технологічними та простішими у експлуатації.

Загальний рівень розвитку конструкцій та технологій виготовлення залізобетонних прогонових будов у Європі описано у літературі [15]. Слід зважати на те, що на сьогодні даний регіон відрізняється передовим рівнем розвитку у багатьох галузях науки, у тому числі і у мостобудуванні. Високий, якщо не найвищий у світі рівень розвитку матеріалів, конструкцій та особливо технологій у будівництві на довгі роки вперед визначає рівень мостобудування у країнах Євросоюзу взірцем для наслідування.

Окремим класом конструкцій починаючи з середини ХХ сторіччя розвиваються сталезалізобетонні конструкції взагалі та сталезалізобетонні прогонові будови зокрема. Такі конструкції характерні використанням у зоні розтягу сталі, у зоні стиску – залізобетону (рис. 2).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

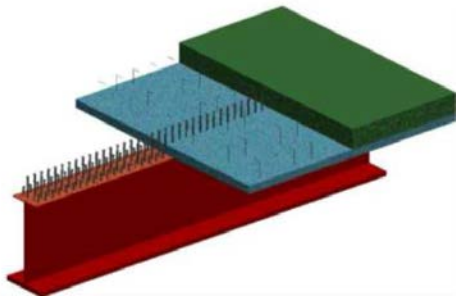


Рис. 2. Принципова конструкція сталезалізобетонної балки

Конструкції прогонових будов можуть бути як повністю виготовлені на заводі (класична технологія), так і частково на заводі, а частково – на будівельному майданчику (так звана VFT технологія монтажу). Збірно-монолітна конструкція сталезалізобетонних прогонових будов за технологією VFT передбачає виготовлення на заводі металеві балки з тонкою плитою, яка слугує опалубкою при подальшому монтажі.

Досвід використання даного типу конструкцій довів не тільки їх економічну ефективність, а також суттєві конструктивні переваги у порівнянні з іншими способами реалізації конструкцій.

Окремої уваги заслуговує рішення у області сталезалізобетонних конструкцій, пов'язане з інноваційним методом об'єднання сталі та бетону.

Конструкція анкерів передбачає поступову і постійну передачу зсувних зусиль між залізобетонною та металевою частинами прогонової будови (рис. 3).

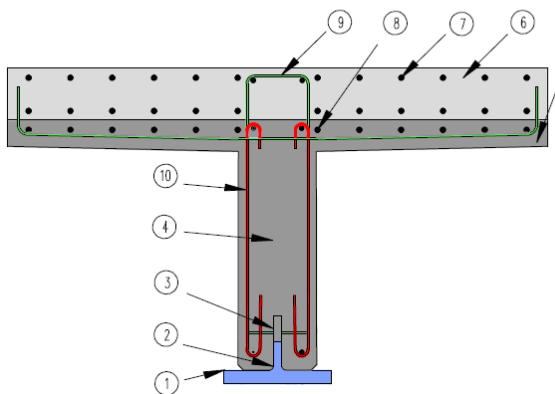


Рис. 3. Армування у інноваційних сталезалізобетонних конструкціях

Дана технологія пов'язана перш за все зі збірно-монолітними конструкціями за VFT те-

хнологією, описаною раніше та у літературі [7, 9, 11, 13, 14, 17]. З використанням даного способу анкерів технологія має назву VFT-WIB®. Дана конструкція вже не є класичною залізобетонною конструкцією, а скоріше, залізобетонною конструкцією із зовнішнім армуванням. Дана технологія є достатньо новою, вона описана у літературі [9, 11, 17, 18]. Найбільш ефективною вона є для конструктивних рішень малих та середніх мостів у варіанті збірно-монолітної конструкції, що вказано у літературі [7]. Головною перевагою, що вказується авторами розробки, є суттєвий економічний ефект – один погонний метр таких анкерів може замінити до 20 звичайних гнучких анкерів. Насправді думка доволі суб'єктивна, оскільки не враховується ускладнення арматурного каркасу, що є обов'язковою частиною вузла передачі зусилля між сталюю та залізобетонною частинами балки.

Відома конструкція прогонової будови середнього мосту, що являє собою залізобетонну балку, посилену половинками двотаврів так, як описано раніше у технології VFT-WIB® (рис. 4).

У літературі [8] наголошується, що прогонові будови розроблені для широкого спектру довжин від 6,5 до 24 метрів, причому від 6,5 до 16 метрів вони є вкрай економічно ефективними. Дана конструкція є доволі цікавою та потребує подальших досліджень.

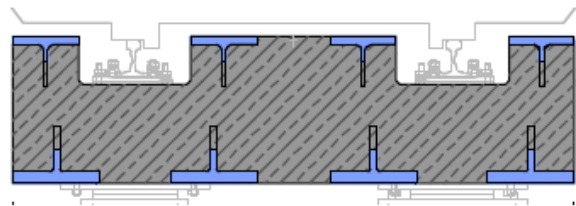


Рис. 4. Конструкція та зовнішній вигляд залізничної прогонової будови з зовнішнім армуванням

### Результати

Враховуючи недоліки, виявлені в конструкції прогонових будов за актуальними нормами [1] в арматурне та опалубне креслення було введено ряд удосконалень, в тому числі таких, що змогли б вирішити проблеми, наведені у [4, 5].

Для опалубного креслення:

- у відповідності до сучасних вимог залізниці щодо товщини баласту на прогонових будовах, обов'язковою умовою до прогонових будов є наявність високого бортика, що було реалізовано;
- висота плити баластного корита, прийнята у попередніх проектах, може вважатись оптимальною, оскільки практика використання більш тонких плит, що відповідають всім умовам міцності та витривалості, показали вкрай низьку надійність та довговічність;
- величина вильоту зовнішньої та внутрішньої консолі плити баластного корита була оптимізована по згинальному моменту;
- слізники для збору атмосферної вологи влаштовані не тільки по краю плит баластного корита, а ще й по краю головних балок як у розрізі, так і по фасаді;
- водовідведення з прогонової будови передбачається через пластикові водовідвідні трубки.

Для арматурного креслення:

- армування плити баластного корита, прийняте у діючому нормативі, не може вважатись оптимальним, що довели проведені розрахунки. Армування робочою арматурою плити баластного корита було зменшено, розподільча арматура залишилась без змін;
- армування головної балки було повністю переглянута, замість робочої арматури використано металеву пластину зовнішнього армування, об'єднану з бетоном прогонової будови гнучкими упорами;
- на пластину зовнішнього армування передбачається нанесення анодного захис-

ту з цинкового покриття методом гарячого цинкування;

- положення строповочних петель прогонових будов відкореговано відносно центру ваги прогонових будов;
- конструкція та форма закладних виробів удосконалена відносно сучасних тенденцій виготовлення закладних виробів.

Запропоноване опалубне креслення наведено на рис. 5.

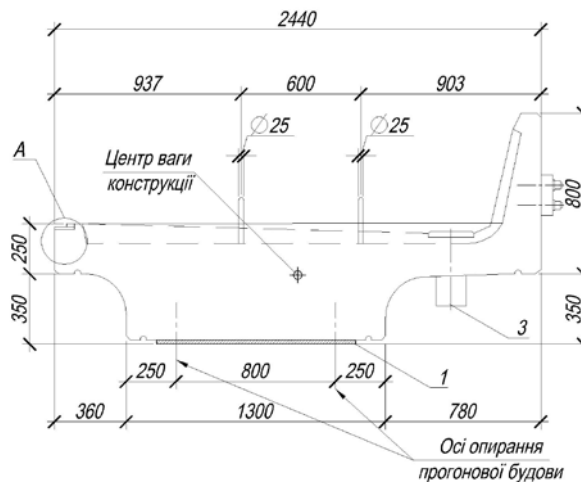


Рис. 5. Опалубне креслення прогонової будови

Запропоноване арматурне креслення наведено на рис. 6, 7.

Для підтвердження коректності запропонованої конструкції проведено розрахунок за граничними станами.

### Наукова новизна та практична значимість

На основі проведених досліджень було розроблено серію залізничних прогонових будов довжиною 4,0; 5,0; 6,0; 7,3; 7,7; та 9,3 м, що була передана на ДП «Старокостянтинівський завод залізобетонних шпал» та у філію проектного інституту «Укрзалізничпроект» для подальшого впровадження на залізницях України.

### Висновки

Розроблені залізобетонні прогонові будови за їх використання сприятимуть зменшенню виробничих та експлуатаційних витрат на залізницях України.

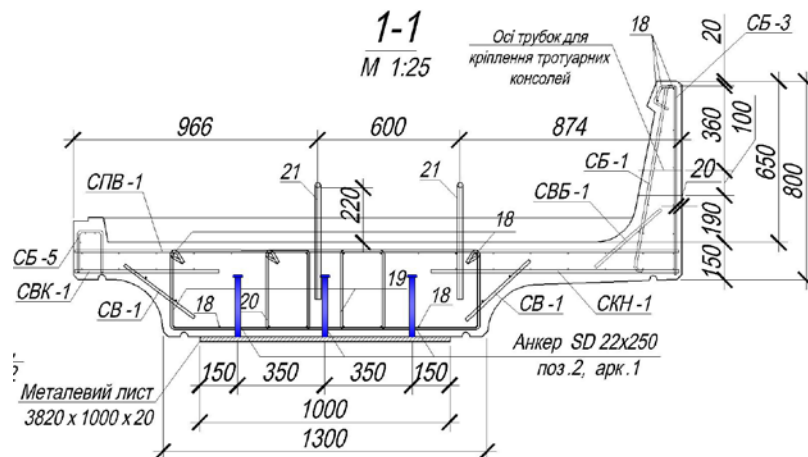


Рис. 6. Арматурне креслення прогонової будови (розріз)

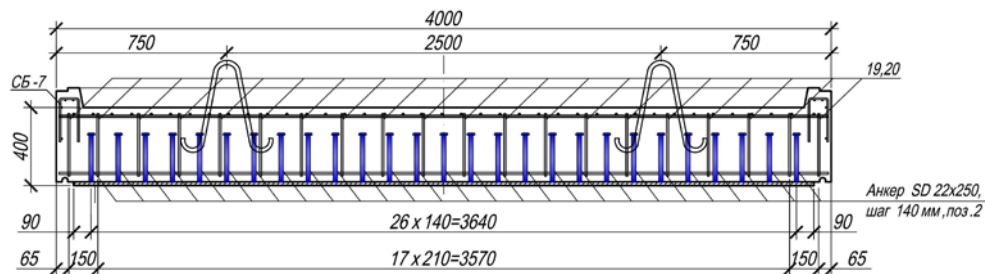


Рис. 7. Арматурне креслення прогонової будови (фасад)

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструкція з проектування збірних залізобетонних прогонових будов для залізничних мостів з балок типу БПС [Текст] / А. Курган, Г. Линник, К. Мойсеенко, О. Чернюк. – Київ : Держ. адмін. зал. транспорту України, 2015. – 182 с.
2. Типовые конструкции, серия 3.501-108. Пролетные строения сборные длиной от 2,95 м до 16,5 м для железнодорожных мостов. Выпуск 1. Альбом 1, Инв №557/11-1. – Ленинград, 1976.
3. Труфанова, О. И. Анализ факторов, влияющих на надежность и технические характеристики железобетонных путепроводов [Текст] / О. И. Труфанова, Л. В. Феськова // Мости и туннели: теория, исследование, практика. – 2015. – Вып. 7. – С. 81-89.
4. Янчук, Л. Л. Аналіз тріщиностійкості залізобетонних елементів мостів як практичний апарат прогнозу ресурсу [Текст] / Л. Л. Янчук // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 6. – С. 132-137.
5. Яцко, Ф. В. Практична інженерна методика оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів в процесі проектування [Текст] / Ф. В. Яцко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 6. – С. 138-146.
6. Bouley, J. Short history of «high-speed» railway in France before the TGV / Jean Bouly // Japan Railway & Transport Review. – 1994. pp. 49-51.
7. Fuchs M., Falk G., Hörnig W. and Seitz P. «Itztalbrücke an der Bundesautobahn A bei Coburg». Münchner Massivbaukolloquium, – 2007.
8. Gawlas U., Osteroth H. H. and Steinkühler M., «Die zweite Strelasundquerung – Planung, Überwachung und Management der Bauausführung», Bauingenieur 6-2007, – 2007. – pp. 245-254.
9. Greiner-Mai, D. «Deutscher Brückenbaupreis 2006 – Verleihung auf dem 16. Dresdner Brückenbausymposium», Bautechnik 83, Helf 4, – 2006. – pp. 303-305.
10. Han Y, Xia H. Dynamic responses of high-speed railway bridges and running safety of vehicles during earthquakes. China Rail Sci. – 2006. 27:136-7.
11. Hanswille, G. «Composite bridges in Germany – State of the Art», Proceedinds of 7th German Japanese Bridge Symposium, Osaka, 2007.
12. Hu N, Dai GL. The introduction of high-speed railway bridges in Wuhan-Guanghou passenger line. In: Proceeding of IABSE symposium 2009 Bangkok. – 2009. – p. 62

13. Ingenieurgesellschaft Bung-Verheyen, «Neue Nibelungenbrücke Worms». – 2006.
14. Maurer R. and Bäätjer G., «Sicherheit von Spannbetonbrücken – Entwicklung von Konstruktions- und Bemessungsgrundsätzen in Deutschland», Bauingenieur, Band 82. – 2007. – pp. 1-13.
15. Niu B. Summary of Chinese high-speed railway bridges. In: 18th Proceedings of china bridges technology collection. – 2014.
16. People's Republic of China Ministry of Railway. Code for design of high speed railway [in Chinese], TB 10621-2009/J 971-2009. China Railway Press. – 2009.
17. Von Wölfel R., «Talbrücke über die Wilde Gera», Beton- und Strahlbetonbau 94, Hefl 12. – 1999. – pp. 546-550.
18. Xin XZ, Zhang YL, Dai FZ. Live load representative figure in railway design. China Rail Sci. – 2006. 27: 31-6.

V. V. МАРОЧКА<sup>1\*</sup>, С. Г. БОБОШКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. почта markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

<sup>2</sup> Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. почта stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

**Цель.** Улучшение конструкции железобетонных пролетных строений для малых и средних железнодорожных мостов. **Методика.** Для достижения поставленной цели рассмотрено современную конструкцию и проанализирован зарубежный опыт конструирования железобетонных пролетных строений. **Результаты.** Проведено исследование актуальных нормативных документов, современного состояния конструкций и технологий в области сооружения и капитального ремонта малых и средних пролетных строений. Разработано усовершенствованную конструкцию железобетонных пролетных строений, которая позволяет избежать основных проблем, которые возникают в ходе эксплуатации пролетных строений существующей конструкции. **Научная новизна.** Предложена новая концепция внешнего армирования железобетонных пролетных строений. Усовершенствованы арматурные и опалубочные чертежи железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. **Практическая значимость.** Предложенные решения позволяют разрешить сразу ряд проблем, связанных с производством и эксплуатацией железобетонных пролетных строений на железнодорожных мостах.

*Ключевые слова:* малые пролетные строения; железобетон; внешнее армирование; расчет; проект

V. V. МАРОЧКА<sup>1\*</sup>, S. H. BOBOSHKO<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Department «Bridges and tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

<sup>2</sup> Department «Bridges and tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

## DEVELOPMENT OF NEW CONCRETE SPAN STRUCTURES FOR SMALL AND MEDIUM RAILWAY BRIDGES

**Purpose.** Improving of construction of reinforced concrete span structures for small and medium railway bridges. **Methodology.** To achieve the aim, modern designs have been considered and international experience of designing of reinforced concrete span structures has been analyzed. **Findings.** The research of actual normative documents, the current state of structures and technologies in the field of construction and major repair of small and medium span structures has been carried out. The improved construction of reinforced concrete span structures, which avoids the main problems that appear during the operation in structures of the existing construction has been developed.

© В. В. Марочка, С. Г. Бобошко, 2018

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

oped. **Originality.** The new concept of external reinforcement of concrete span structures has been proposed. Reinforcement and formwork drawings of reinforced concrete span structures of railway bridges has been improved. **Practical value.** The proposed solutions allow to solve a number of problems that related to the production and exploitation of reinforced concrete span structures of railway bridges.

*Keywords:* small span structures; reinforced concrete; external reinforcement; calculation; project

## REFERENCES

1. Kurhan A., Lynnyk H., Moiseenko K., Cherniuk O. Instruksiiia z proektuvannia zbirnykh zalizobetonnykh prohonovykh budov dlia zaliznychnykh mostiv z balok typu BPS [Instructions for designing of precast concrete span structures for railway bridges with BSS beams type]. Kyjiv, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy [State Administration of Railway Transport of Ukraine], 2015. 182 p.
2. Tipovyie konstruksii, seriya 3.501-108. Proletnyie stroeniya sbornyie dlinoi ot 2,95 m do 16,5 m dlya zheleznodorozhnyih mostov. Vyipusk 1. Albom 1, Inv №557/11-1. [Typical construction, series 3.501-108. Span structures prefabricated lengths from 2.95 m to 16.5 m for railway bridges. Volume 1. Album 1, Inv №557/11-1.]. Leningrad, 1976.
3. Trufanova O. I., Feskova L. V. Analiz faktorov, vliyayuschih na nadezhnost i tehnicheskie harakteristiki zhelezobetonnyih puteprovodov [Analysis and application prospects effective resource saving technologies in concrete] *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2015, issue 7, pp. 81-89.
4. Yanchuk L. L. Analiz trishchynostiikosti zalizobetonnykh elementiv mostiv yak praktychnyi aparat prohnozu resursu [Analysis crack resistance of reinforced concrete blocks as a practical resource projections apparatus] *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 6, pp. 132-137.
5. Yatsko F. V., Praktychna inzhenerna metodyka otsinky resursu zalizobetonnykh elementiv mostiv v protsesi proektuvannia [Practical engineering methodology resource assessment concrete bridge elements in the design process] *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 6, pp. 138-146.
6. Bouley J. Short history of «high-speed» railway in France before the TGV. *Japan Railway & Transport Review*. 1994. pp. 49-51.
7. Fuchs M., Falk G., Hörnig W. and Seitz P. «Itztalbrücke an der Bundesautobahn A bei Coburg». *Münchner Massivbaukolloquium*, 2007.
8. Gawlas U., Osteroth H.H. and Steinkühler M. «Die zweite Strelasundquerung – Planung, Überwachung und Management der Bauausführung», *Bauingenieur* 6-2007. 2007. pp. 245-254.
9. Greiner-Mai D. «Deutscher Brückenbaupreis 2006. Verleihung auf dem 16. Dresdner Brückenbausymposium», *Bautechnik* 83, Hef 4. 2006. pp. 303-305.
10. Han Y, Xia H. Dynamic responses of high-speed railway bridges and running safety of vehicles during earthquakes. *China Rail Sci*. 2006. 27:136-7.
11. Hanswille G., «Composite bridges in Germany – State of the Art», *Proceedings of 7th German Japanese Bridge Symposium*, Osaka. 2007.
12. Hu N, Dai GL. The introduction of high-speed railway bridges in Wuhan-Guangzhou passenger line. In: *Proceeding of IABSE symposium 2009 Bangkok*. 2009. 62 p.
13. Ingenieurgesellschaft Bung-Verheyen, «Neue Nibelungenbrücke Worms». 2006.
14. Maurer R. and Bäättjer G. «Sicherheit von Spannbetonbrücken – Entwicklung von Konstruktions- und Bemessungsgrundsätzen in Deutschland», *Bauingenieur*, Band 82. 2007. pp. 1-13.
15. Niu B. Summary of Chinese high-speed railway bridges. In: *18th Proceedings of china bridges technology collection*. 2014.
16. People's Republic of China Ministry of Railway. Code for design of high speed railway [in Chinese], TB 10621-2009/J 971-2009. China Railway Press. 2009.
17. Von Wölfel R., «Talbrücke über die Wilde Gera», *Beton- und Strahlbetonbau* 94, Hef 12. 1999. pp. 546-550.
18. Xin XZ, Zhang YL, Dai FZ Live load representative figure in railway design. *China Rail Sci*. 2006. 27: 31-6.

Надійшла до редколегії 17.10.2018.

Прийнята до друку 26.11.2018.