

ЗБІРНО-МОНОЛІТНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ДВОБАЛКОВІ НЕРОЗРІЗНІ ПРОГОНОВІ БУДОВИ МОСТІВ ДЛЯ СКЛАДНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА І ЇХ РОЗРАХУНОК

© Гнідець Б. Г., Запоточний Р. М., 2017

Значне збільшення інтенсивності руху автомобільного і міського транспорту вимагає нових підходів до його впорядкування, особливо в місцях з існуючою щільною забудовою. Вирішенням цієї проблеми може бути вдосконалення транспортної мережі шляхом побудови нових шляхопроводів, естакад і транспортних розв'язок. У статті наведено результати дослідження запропонованих авторами конструктивних вирішень двобалкових нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів для складних умов будівництва. Наведено результати експериментальних досліджень конструкції прогонової будови мосту, яка була виконана із прямолінійної і криволінійної частини, випробувана за різних статичних схем і схем навантаження. Проведено порівняння даних із результатами розрахунків за вимогами норм. Також наведено пропозиції до інженерної методики розрахунку двобалкових залізобетонних конструкцій прогонових будов мостів на криволінійних ділянках. Порівняно дані експерименту із результатами розрахунку за запропонованою методикою.

Ключові слова: двобалкова прогонова будова, складні умови будівництва, дослідна конструкція, деформативність, тріщиностійкість.

B. Hnidets, R. Zapotochnyi
 Lviv Polytechnic National University,
 Department of Roads and Bridges

PRECAST-MONOLITHIC CONCRETE DOUBLE-BEAMS WITH A CONTINUOUS SPAN BRIDGE FOR STRUCTURE INTO COMPLEX CONSTRUCTION CONDITIONS AND THEIR CALCULATION

© Hnidets B. G., Zapotochnyi R. M., 2017

A significant increase of the intensity of road and urban transport requires new approaches to its improvement, especially in areas with dense existing buildings. The solution of this problem may be improving by building new bridges, road junctions and estokads The article is devoted to studies of deformation and crack resistance, proposed by the authors, constructive solution with double-beams continuous span bridge for complex construction conditions. There are important experimental results of research of bridge spans, with straight and curved parts with the different schemes and schemes of static load. The comparative calculation of experimental results and existing regulations is concluded. Due to proposed method for determining forces and deflections in double-beamed curvature bridges with continuous spans, the replacement with single-beamed constructions is proposed. The distribution of forces and deflections, in this case, might be determined by factors of distribution as for beams with different length. The factors of distribution are determined as the relation of areas limited by influence lines (in the case of distributed loading). In case of concentrated loading, the factors of distribution are determined as the relation of influence line`s ordinates sum for beams with different length.

Key words: double-beams, complex conditions of construction, research, design, deformation, crack.

Вступ. За останні роки на вулицях міст суттєво зросла кількість автомобільного і міського транспорту. Це потребує нових підходів для вирішення задач, пов'язаних з організацією і впорядкуванням дорожнього руху. Особливо, це стосується районів міст з існуючою щільною забудовою, де інтенсивність руху постійно зростає, а пропускна здатність їх є недостатньою.

Мета та завдання дослідження. Одним із варіантів вирішення таких задач може бути удосконалення транспортної мережі шляхом побудови нових шляхопроводів, естакад і транспортних розв'язок, зокрема багаторівневих. Це вимагає застосування нових нетипових конструктивних і технологічних вирішень задач із застосуванням нетипових проектних рішень у транспортному будівництві, що пов'язана з дослідженням роботи нових і удосконалених конструкцій прогонових будов мостів із можливістю застосування їх у складних умовах будівництва [3].

Конструктивні вирішення і програма досліджень. Автори запропонували і розробили нове конструктивне вирішення прогонової будови, яке можна ефективно застосовувати в складних умовах будівництва – двобалкової багатопрогової нерозрізної збірно-монолітної конструкції, що має низку покращених характеристик порівняно з типовими [4]. Для вивчення її роботи було розроблено спеціальну програму і методику випробувань, а також виготовлено дослідну конструкцію і стенд для проведення експериментів. Конструкцію прогонової будови на стенді для випробувань показано на рис. 1.

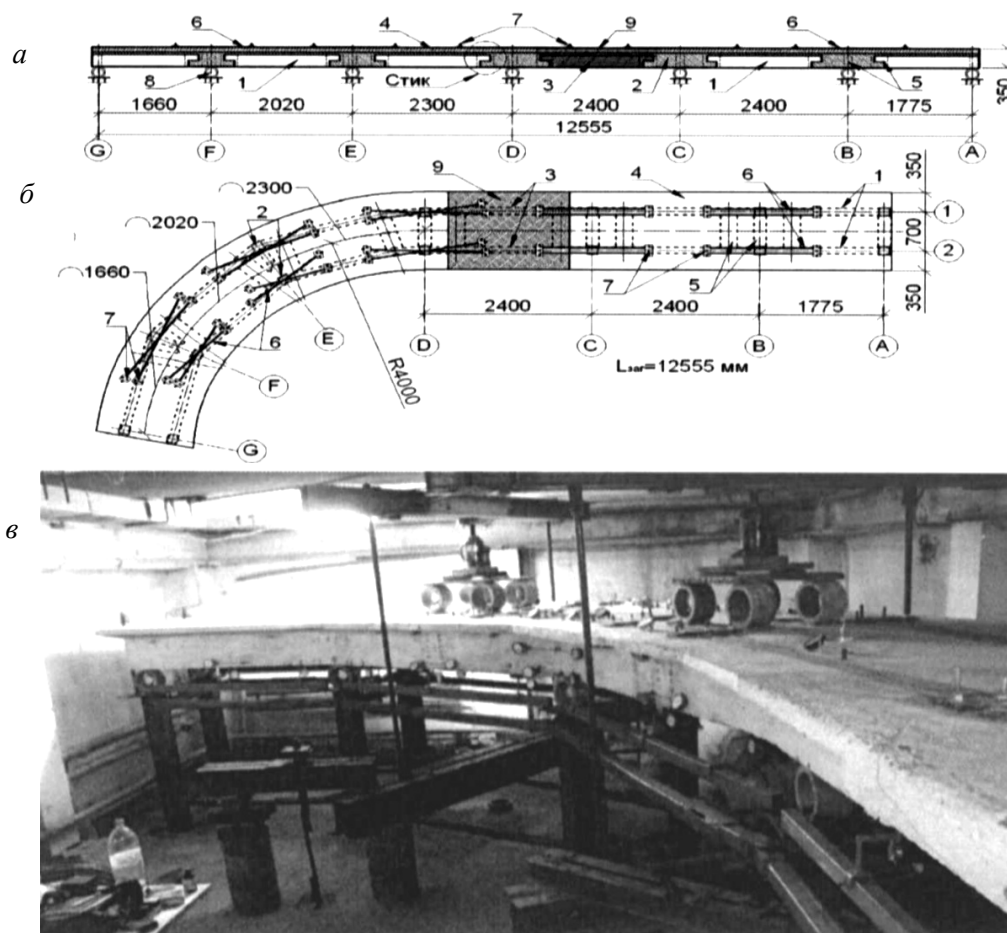


Рис. 1. Дослідна конструкція двобалкової нерозрізної збірно-монолітної прогонової будови моста: а, б – конструкції прогонової будови, в – криволінійна частина дослідної конструкції на випробувальному стенді: 1 – збірні прогонові балки, 2 – надпорні прямолінійні і криволінійні монолітні балки, 3 – збірна балка, що об'єднує криволінійну і прямолінійну частину конструкції, 4 – монолітна частина балок і плит, 5 – поперечні балки, 6 – надпорна неметалева стрічкова арматура, 7 – анкери стрічкової арматури, 8 – опора стенду із кільцевим динамометром; 9 – монолітна плита для об'єднання криволінійної і прямолінійної частин конструкції

Комплексна програма щодо дослідження прямолінійних і криволінійних прогонових будов охоплювала і експериментальні випробування на великогабаритних дослідних конструкціях, та теоретичні – для розроблення і удосконалення інженерних методик по їх розрахунку.

Теоретичні дослідження і порівняння їх з результатами експериментів. Теорію розрахунку криволінійних у плані нерозрізних балок розробив професор Гібшман М. Е., її висвітлено в роботі [1, 2]. Як зазначає автор, переміщення в криволінійних балок визначити досить складно навіть для простих однопрогонових схем. Прогини і кути поворотів цих балок можна представити у вигляді формул, але вони виходять дуже громіздкими і отримати їх дуже складно.

Для визначення зусиль і прогинів двобалкових криволінійних нерозрізних прогонових будов мостів і розрахунку тріщиностійкості автори запропонували замінити їх однобалковою стержневою конструкцією, а розподіл їх виконувати із врахуванням коефіцієнтів розподілу для балок різної довжини, які визначаються з умов (рис. 2).

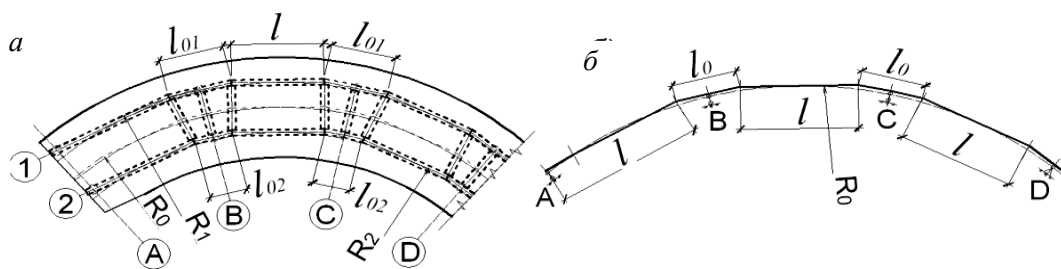


Рис. 2. Схеми до розрахунку криволінійних двобалкових прогонових будов мостів: а) конструкція в плані; б) статична схема для розрахунків: l – довжина прямолінійних збірних балок, l_{01}, l_{02}, l_{03} – довжини надопорних балок, R_1, R_2 та R_0 – радіуси на кривих по осях

Величину l_0 визначаємо, як середнє значення довжин надопорних балок l_{01} і l_{02} на зовнішній і внутрішній кривих з радіусами R_1 і R_2 .

Розрахункову величину прогону між опорами по осі середнього прогону l_c (наприклад, В–С), приймаємо рівною:

$$l_c = l_0 + l \quad (1)$$

Розрахунки можна виконувати поетапно. Розглянемо на прикладі для трипрогової конструкції.

I. Статичний розрахунок слід виконувати спочатку для всієї конструкції по ширині розглядаючи її по осі, як однобалкову прямолінійну стержневу систему рис. 2. Схеми розміщення різних видів навантажень на графіках ліній впливу згинального моменту M_1 в середині крайнього прогону l_1 показано на рис. 3.

Величини згинальних моментів від нормативних навантажень для однобалкової конструкції відповідного перерізу для конструкції загалом визначаються як сумарні від постійного і тимчасового навантажень:

$$M = M_g + M_{AK} \quad (2)$$

$$M = M_g + M_{HK} \quad (3)$$

Нормативні згинальні моменти від постійного (M_g) і тимчасових АК (M_{AK}) і НК (M_{HK}) навантажень визначаються за відомими формулами:

$$M_g = \omega g \quad (4)$$

$$M_{AK} = P_{AK}(y_1 + y_2) + v(\omega_1 + \omega_3) \quad (5)$$

$$M_{HK} = P_{HK}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (6)$$

де ω – сумарна площа Л.в., ω_1 і ω_3 – площа Л.в. для автомобільного смугового навантаження v ; y_1, y_2, y_3, y_4 – ординати Л.в. для колісних тимчасових навантажень АК (P_{AK}) та НК (P_{HK}).

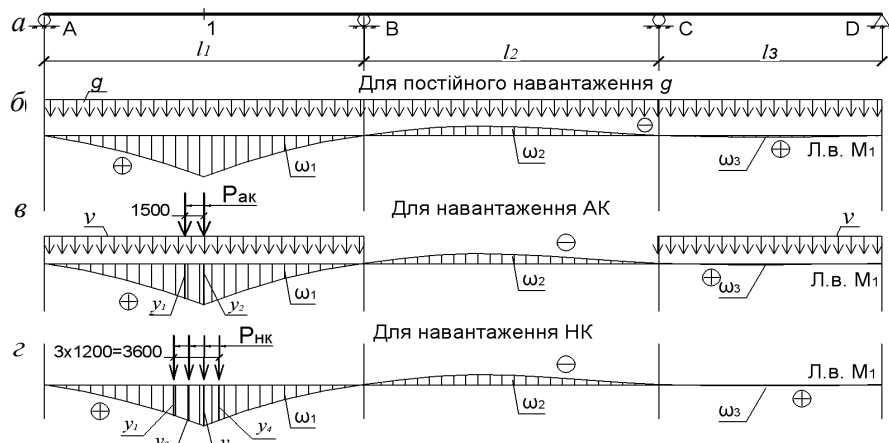


Рис. 3. Схеми для визначення згинальних моментів за лініями впливу: а – розгортка криволінійної прогонової будови по осі; б, в, г – розміщеного постійного і тимчасового навантаження л.в.М₁

II. У визначенні згинальних моментів для криволінійних балок з різними довжинами по осі 1 і 2 пропонується додатково враховувати коефіцієнти розподілу окремо для різних видів навантаження.

Для цього необхідно розглядати конструкцію в прогоні, де розміщене навантаження, а саме: по осі 1, по осі 2 та по осі прогонової будови (рис. 3).

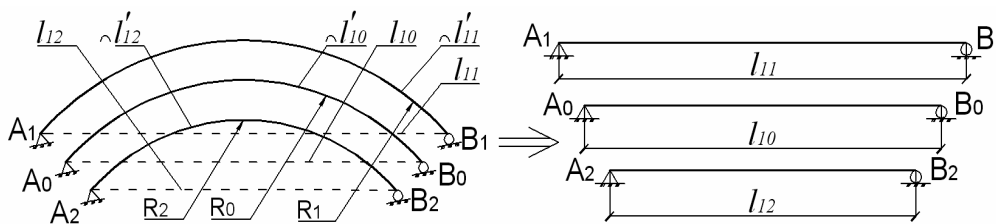


Рис. 3. Схеми для визначення коефіцієнта розподілу навантаження між балками різної довжини

Для спрощення розрахунку пропонується коефіцієнти розподілу визначати за лініями впливу, як для прямолінійних розрізних балок з різними довжинами l_{10}, l_{11}, l_{12} (рис. 4).

Так для балки по осі 1 коефіцієнт розподілу навантаження $K_{кр}$ пропонується визначати (рис. 3, 4):

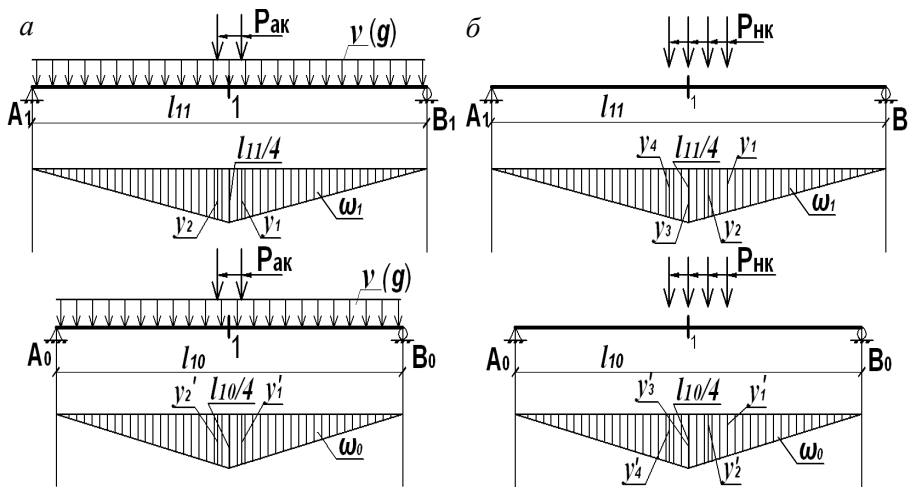


Рис. 4. Схеми для визначення коефіцієнтів розподілу навантаження для балок різної довжини: а – для постійного і тимчасового навантаження АК, б – для тимчасового навантаження НК

- для постійного навантаження як відношення площ Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої:

$$K_{кр1}^g = \frac{\omega_1^g}{\omega_0^g} \quad (7)$$

- для тимчасового навантаження АК:

- для смугового навантаження як відношення площ Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої:

$$K_{кр1}^v = \frac{\omega_1^v}{\omega_0^v} \quad (8)$$

- для тандему як відношення сумарних ординат на Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої під зосередженими силами $R_{ак}$

$$K_{кр1}^p = \frac{y_1 + y_2}{y'_1 + y'_2} \quad (9)$$

- для тимчасового навантаження НК, як відношення сумарних ординат на Л.в. балок зовнішньої і середньої кривої під зосередженими силами $R_{нк}$

$$K_{кр1}^{нк} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{y'_1 + y'_2 + y'_3 + y'_4} \quad (10)$$

де у формулах (7 ... 10) ω_1, ω_0 – площі Л.в. в навантаженому прогоні для балки по осі 1 і умовної балки по осі 0; y, y' – ординати на Л.в. балок по осі 1 і 0 під зосередженими силами навантаження АК і НК.

III. Для розрахунку тріщиностійкості згідно з ДБН за 2-ю групою граничних станів, розроблена методика визначення нормативних моментів у балках різної довжини на криволінійних ділянках від різних видів навантажень. При цьому спочатку визначають моменти в середині прогону балки по осі 1 із врахуванням коефіцієнту розподілу в балках різної довжини рекомендується проводити за формулами:

- за дії постійного навантаження g і тимчасового навантаження АК:

$$M_1 = M_{g1} + M_{ак} \quad (11)$$

- за дії постійного навантаження g і тимчасового навантаження НК:

$$M_1 = M_{g1} + M_{нк} \quad (12)$$

- згинальний момент від постійного навантаження:

$$M_{g1} = K_{кр1}^g \frac{g_n}{2} \omega \quad (13)$$

- згинальний момент від тимчасового нормативного навантаження АК:

$$M_{ак}^1 = K_{пр}^p K_{кр1}^p (1 + \mu) P_{ак} (y_1 + y_2) + v K_{пр}^v K_{кр1}^v (\omega_1 + \omega_3) \quad (14)$$

- згинальний момент від тимчасового нормативного навантаження НК:

$$M_{нк}^1 = K_{пр}^{нк} K_{кр1}^{нк} P_{нк} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (15)$$

де $K_{кр1}^g, K_{кр1}^p, K_{кр1}^v, K_{кр1}^{нк}$ – додаткові коефіцієнти розподілу на кривих ділянках прогонової будови для балки по осі 1 для навантаження g , АК і НК; $K_{пр}^p, K_{пр}^v, K_{пр}^{нк}$ – коефіцієнти поперечного розподілу за нормами для прямолінійної балки по осі 1 при навантаженні АК і НК, $(1 + \mu)$ – динамічний коефіцієнт, g – постійне навантаження, $P_{ак}, v$ – осьове і смугове навантаження АК, $P_{нк}$ – осьове навантаження НК, $\omega, \omega_1, \omega_3, y_1, y_2, y_3, y_4$ – площі л.в. і ординати під навантаженням АК і НК по осі криволінійної конструкції.

Нормативні згинальні моменти M_2 для балки по осі 2 за різних видів навантаження пропонується визначати як різницю між нормативними моментами M і M_1 , визначеними за формулами (4.4)–(4.8) і формулами (4.13)–(4.17):

$$M_2 = M - M_1 \quad (16)$$

Для визначення розрахункових величин згинальних моментів згідно з ДБН В.1.2-15:2009 (Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи) необхідно враховувати коефіцієнти надійності для постійних і тимчасових навантажень.

IV. При розрахунку криволінійної частини двобалкової конструкції за 2-ю групою граничних станів запропонована методика розрахунку прогинів балок по осі 1 і 2.

Запропоновано для визначення прогинів застосувати коефіцієнт розподілу прогинів $K_{рп1}$ між балками різної довжини при дії різних видів навантажень, а саме для балки по осі 1 в першому прогоні l_1 (рис. 3, 4):

- за дії постійного навантаження g :

$$K_{рп1}^g = \frac{f_1^g}{f_0^g} = \frac{\omega_1^g l_{11}^2}{\omega_0^g l_{10}^2} = K_{кр1}^g \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (17)$$

- за дії тимчасового навантаження АК

– для смугового навантаження:

$$K_{рп1}^v = \frac{f_1^v}{f_0^v} = \frac{\omega_1^v l_{11}^2}{\omega_0^v l_{10}^2} = K_{кр1}^v \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (18)$$

– для тандему навантаження АК:

$$K_{рп1}^p = \frac{f_1^p}{f_0^p} = \frac{y_1 + y_2}{y'_1 + y'_2} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^p \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (19)$$

- для тимчасового навантаження НК:

$$K_{рп1}^{нк} = \frac{f_1^{нк}}{f_0^{нк}} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{y'_1 + y'_2 + y'_3 + y'_4} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} = K_{кр1}^{нк} \frac{l_{11}^2}{l_{10}^2} \quad (20)$$

Коефіцієнти розподілу прогинів для криволінійної ділянки згідно з формулами (17)–(20) визначаються помноженням коефіцієнтів розподілу навантаження, знайдених за формулами (7)–(10) на співвідношення квадратів величин прогинів балок по осі 1 і по осі прогонової будови.

Порівняння співвідношень прогинів, отриманих за результатами випробувань криволінійної частини дослідної конструкції за різних схем навантаження до і після об'єднання її з прямолінійною частиною в шестипрогову нерозрізну систему із співвідношеннями прогинів, визначених за запропонованою методикою, наведено в таблиці.

Співвідношення прогинів головних балок криволінійної частини дослідної конструкції

№	Схема навантаження дослідної конструкції	Співвідношення прогинів для балок по осі 1 і 2 дослідної конструкції		Відхилення
		за експериментом f_1^{*exp}/f_2^{*exp}	за розрахунком f_1^{*teo}/f_2^{*teo}	
1		3	4	5
1		У середині прогону D-E (П-3):		
		1.642	1.746	6 %
2		У середині прогону D-E (П-3)		
		1.772	1.746	1.5 %
		У середині прогону E-F (П-6)		
		1.357	1.681	19 %

1	2	3		
4		У середині прогону D-E (П-11)		
		2.2	1.746	20 %
4		У середині прогону E-F (П-14)		
		1.708	1.681	2 %
4		У середині прогону E-F (П-14)		
		1.413	1.681	15 %

Висновки. Виведено нові коефіцієнти, що враховують розподіл навантажень і прогинів у двобалкових криволінійних нерозрізних прогонових будов від різних видів навантажень.

Встановлено, що величини прогинів, визначені згідно з розробленими пропозиціями до методики інженерного розрахунку для окремих схем і видів навантаження до і після об'єднання в шестипрогону нерозрізну конструкцію, відповідають експериментальним даним із відхиленням у середньому від 8 до 20 %. Значні розходження при різних схемах навантаження можна пояснити необхідністю врахування впливу кручення, що буде розглядатися в наведених дослідженнях

1. Гибишман М. Е. Проектирование транспортных сооружений / М. Е. Гибишман, В. И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с. 2. Гибишман М. Е. Теория и расчет мостов сложных пространственных систем // М. Е. Гибишман. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с. 3. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції: проектування, дослідження і впровадження в будівництво // Б. Г. Гнідець. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 260 с. 4. Гнідець Б. Г. Двобалкові збірно-монолітні нерозрізні залізобетонні прогонові будови мостів для складних умов будівництва / Б. Г. Гнідець, Р. М. Запоточний // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2013. – Вип. 78, – Т. 1. – С. 67–75. 5. Запоточний Р. М. Технологія спорудження двобалкових нерозрізних залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов мостів для складних умов будівництва / Р. М. Запоточний // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг. – Харків, 2013. – С 109–113.

References

1. Hibshman M. E. *Projektirovaniye transportnykh sooruzhenii [Designing structures of transport]*. M.: Transport, 1988. 447 p. [In Russian]. 2. Hibshman M. E. *Teoria i rastsot mostov prostranstvennykh system [Theory and calculation of spatial hard bridges]* M.: Transport, 1973. – 200 p. [In Russian]. 3. Hnidets B. G. *Zbirno-monolitni zalizobetonni konsyrukcii: proektuvannia, doslidzhennia i vprovadzhenia v budivnyctvo [Prefabricated monolithic concrete structures: design, research and application in construction]*. – Lviv: NU “LP”, 2014. – 260 p. [In Ukrainian] 4. Hnidets B. G. *Dvobalkovi zbirno-monolitni nerozrizni zalizobetonni progonovi budovy mostiv dlia skladnykh umov budivnyctva [Double-beams prefabricated monolithic structure The beam of continuous-concrete bridges for complex conditions of construction]* Building Constructions: Coll. Science works. – Kyiv. DP NDIBK, 2013. – Vyp. 78, T. 1. – S. 67–75. [In Ukrainian] 5. Zapotochnyi R. M. *Tehnologiiia sporudzhennia dvobalkovykh nerozriznykh zalizobetonnykh zbirno-monolitnykh prohonovykh budov mostiv dlia skladnykh umov budivnyctva. Materialy mizhnarodnoi konferentsii. [Double-beams construction technology of continuous reinforced concrete prefabricated monolithic spans of bridges for complex construction conditions]*. – Kharkiv, 2013. – P. 109–113. [In Ukrainian].