

Випробування сталезалізобетонних прогонових будов мосту через р. Сухий Торець в м. Барвінкове

Валерій Шмуклер¹, Роман Каплін², Юрій Круль³

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна;

¹ Valerii.Shmukler@kname.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8670-0731;

² e-mail: cc33cc22@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4895-2321;

³ e-mail: krul.yuriy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0069-4191.

DOI: 10.32347/0475-1132.40.2020.104-111

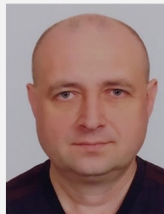
Анотація. У статті розглянуто капітальний ремонт залізобетонного мосту в м. Барвінкове Харківської обл. з повною заміною прогонових будов. Прогонові будови встановлювалися на існуючі опори, відстань між осями яких складає 14,06м (нестандартний прогон). Таким чином, нові балки необхідно виконувати за особливим (індивідуальним) проектом. Також не менш важливим є питання зменшення власної ваги конструкції, що позитивно впливатиме на існуючі фундаменти, зменшуючи тиск на ґрунт та, за можливості, розвантажуватиме фундаментну частину споруди. В якості нової прогонової будови представлено ефективну конструкцію сталезалізобетонної прогонової будови, з використанням перфорованих металевих елементів коробчастого перерізу та ефективної залізобетонної плити проїзної частини.

При проектуванні металевих блоків використовувався прямий метод формування параметрів конструктиву, заснований на енергетичних критеріях, а саме: мінімізація потенційної енергії деформації та рівномірне розподілення щільності потенційної енергії деформації. В якості параметрів приймалися розміри отворів в перфорованих елементах при постійному їх кроці та кути нахилу похилих ліній різь балок. Таким чином, була отримана раціональна конструкція блоків, що відповідала найменшому значенню потенційної енергії, яка, в свою чергу, відповідає найменшій витраті матеріалу, та більш рівномірному розподіленню щільності потенційної енергії зі зменшенням концентрації напружень в кутах отворів.



Валерій Шмуклер

д.т.н., проф.
завідувач кафедри
будівельних конструкцій ХНУМГ
ім. О.М. Бекетова



Роман Каплін

завідувач сектору лабораторії
будівельно-технічних досліджень
ННЦ «Інститут судових експертиз
ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса»,
здобувач кафедри будівельних
конструкцій ХНУМГ ім.
О.М. Бекетова



Юрій Круль

к.т.н., старший викладач кафедри
будівельних конструкцій ХНУМГ
ім. О.М. Бекетова

По завершенню виконання всіх робіт були проведені наукові та приймальні випробування споруди. Програмою випробувань передбачено проведення статичних і динамічних випробувань мосту. Метою дослідження була оцінка напружено-деформованого стану металевих блоків сталезалізобетонної прогонової будови. В ході випробування були отримані прогини конструкції, виявлено дійсний розподіл деформацій і напружень, отримані частоти, періоди та амплітуди власних та вимушених коливань споруди.

Була побудована теоретична модель прогонової будови, на базі якої отримані

компоненти напружено-деформованого стану (НДС) та виконано їх порівняння з отриманими в ході випробування результатами.

Ключові слова: сталезалізобетон, прогонова будова, перфорована балка, дискретно-континуальні зв'язки, незнімна опалубка.

ВСТУП

Міст через р. Сухий Торець розташований в м. Барвінкове по вул. Леніна, маршрут «центр – з/д вокзал». Будівництво моста виконано в 1955р. Міст запроєктований як 4-х прогонова балкова, розрізна залізобетонна споруда з прольотами 14,10м між осями опор. Повна довжина мосту – 56,4м. Розмір мосту – 6,65м. Тротуари – 1,5м. Головні балки прогонових будов – типові, зі звичайного залізобетону. Опори мосту – масивні, бетонні. Проектне навантаження – Н-13, НГ-60. Загальний вигляд мосту показаний на рис. 1.

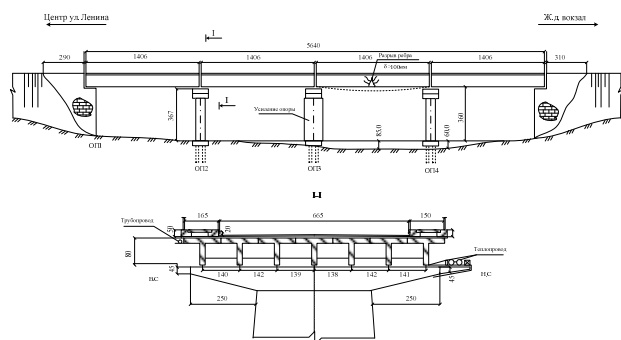


Рис.1. Загальний вид споруди
Fig.1. General view of the building

За 60 років експлуатації споруда застаріла і не відповідає вимогам нині діючих нормативних документів, як за габаритами, так і за вантажопідйомністю. Також, в результаті руху по мосту важкої військової техніки, на головних балках прольотної будови з'явилися тріщини з шириною розкриття більше 10мм. Конструкція дала прогин до 15 см, але не зруйнувалася. У зв'язку з цим споруду було віднесено до 5-го експлуатаційного стану, який оцінює міст як непрацездатний і для подальшої його експлуатації необхідний капітальний ремонт з заміною всіх балок прогонових будов. Так як відстань між

осями існуючих опор являє собою нестандартний прогон, балки необхідно виконувати за особливим (індивідуальним) проектом. Також не менш важливим є питання зменшення власної ваги конструкції, що позитивно впливатиме на існуючі фундаменти, зменшуючи тиск на ґрунт та, по можливості, розвантажуючи фундаментну частину споруди. В якості нової прогонової будови представлено ефективну конструкцію сталезалізобетонної прогонової будови, з використанням перфорованих металевих елементів коробчастого перерізу та ефективної залізобетонної плити проїзної частини.

У зв'язку з вищесказаним в якості нової конструкції було запропоновано використовувати сталезалізобетонну прогонову будову, виконання якої можливо за індивідуальними розмірами без додаткових вкладень і працевитрат. Конструкція представлена у вигляді двохкомпонентної системи, що складається з металевих перфорованих блоків коробчастого перетину і залізобетонної плити проїзної частини [1, 2]. На відміну від прототипу в поперечному перерізі прогону було встановлено чотири блоки з кроком 2,4 м.

Робочий проект конструкції був розроблений кафедрою «Будівельних конструкцій» Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова під керівництвом д.наук з держ. упр., проф. Бабаєва В.М. Головний архітектор проекту Гетта Н.А. Головний інженер проекту Хайсон Ю.А. Всі будівельні роботи виконувалися ТОВ «Стальконструкція».

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ

Статична схема – 4-х прогонова балкова, розрізна сталезалізобетонна споруда з прольотами 14,10м між осями опор. Повна довжина мосту – 56,4м. Ширина мосту – 7м. Тротуари – 1,5м. Головні балки прогонових будов – металеві перфоровані блоки коробчастого перетину. Опори існуючі.

Проектне навантаження – АК-15, НК-100. Схема мосту представлена на рис. 2.

Мостове полотно включає в себе дві смуги проїзної частини, два тротуари, поручневу огорожу, бортове огородження (рис. 3). Розмір проїзної частини між внутрішніми гранями бортового огородження – 7м.

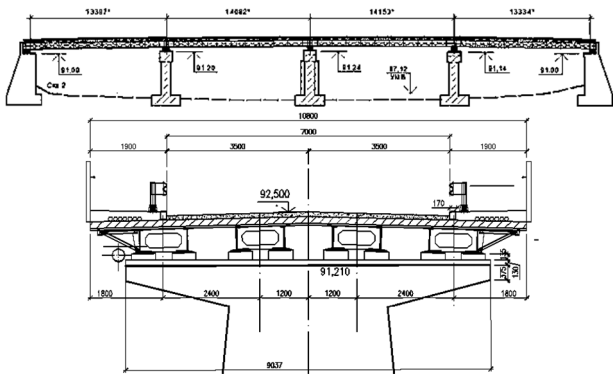


Рис.2. Загальний вид запропонованої конструкції

Fig.2. General view of the proposed design

Верхній шар проїзної частини – асфальтобетон. Загальна товщина дорожнього одягу – 31,5см. Водовідвід зовнішній, передбачений за рахунок ухилів і системи водовідвідних трубок. Бар'єрна огорожа – металева. Перильні огорожі – лита металева решітка. Тротуари складаються з монолітних поперечних консолей і поздовжніх балок, на яких розташовані монолітні плити.

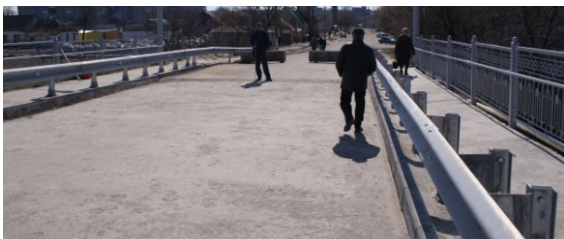


Рис.3. Загальний вигляд проїзної частини і тротуарів (вид зверху).

Fig.3. General view of the carriageway and sidewalks (top view)

Головні балки прогонових будов – металеві перфоровані блоки коробчастого перетину з діафрагмами (рис. 4). Стінки блоку виконані з металевого листа товщиною 10мм. Нижня полиця з

металевого листа товщиною 30мм. Діафрагми і верхні полиці – 12мм. Крок діафрагм 1м. Об'єднання блоків виконано по залізобетонній плиті проїзної частини. Товщина залізобетонної плити іздового полотна – 200мм. Для забезпечення спільної роботи металевих блоків і залізобетонної плити проїзної частини по верхньому поясу блоку приварені упори, виконані з відрізків прямокутної труби і похилих арматурних стрижнів. Об'єднання всіх елементів в готовий блок виконувалося в заводських умовах. Перед бетонуванням на верхні полиці блоку укладався профільований сталевий лист, який виконував роль незнімної опалубки (рис. 5).

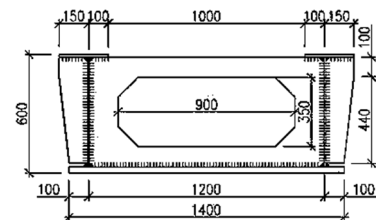


Рис.4. Поперечний переріз металевих блоку

Fig.4. Cross section of a metal block



Рис.5. Загальний вигляд прогонової будови (вид знизу).

Fig.5. General view of the girder structure (bottom view).

При проектуванні металевих блоків використовувався прямий метод формування параметрів конструктиву, оснований на енергетичних принципах, а саме: мінімізація потенційної енергії деформації та рівномірне розподілення щільності потенційної енергії деформації [8, 9]. В якості параметрів приймалися розміри отворів в перфорованих елементах при постійному кроці отворів та кути нахилу похилих ліній різки балок. Таким чином, була отримана раціональна конструкція блоків, що відповідала найменшому значенню

потенційної енергії та більш рівномірному розподіленню щільності потенційної енергії зі зменшенням концентрації напружень в кутах отворів.

Берегові опори – масивні, бетонні зі зворотними стінками довжиною 2,9м (лівобережна) та 3,1м (правобережна). Проміжні опори: масивні, з монолітного бетону, виконані відповідно до типового проекту вип. 72 Союздорпроект. Тип фундаментів опор – пальовий. Опорні частини – тангенціальні.

Підходи прямолінійні виконані з насипом до $h = 5\text{м}$. Русло річки нерівномірне, покрите чагарниками очерету.

ВИПРОБУВАННЯ МОСТУ

Силами кафедри Будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова були проведені наукові та приймальні випробування. Програмою випробувань передбачено проведення статичних і динамічних випробувань мосту.

Метою дослідження була оцінка напружено-деформованого стану металевого блоку сталезалізобетонної прогонової будови. Для дослідження було обрано крайній блок першого прольоту. Для досягнення поставлених цілей вирішувалися наступні завдання:

1. Визначення величини фактичних прогинів в досліджуваних перетинах блоку;
2. Виявлення дійсного розподілу деформацій і напружень в досліджуваних перетинах блоку;
3. Порівняння фактичних і теоретичних значень компонентів НДС в досліджуваних перетинах блоку;
4. Замір спектрів частот власних і вимушених коливань в досліджуваних перетинах блоку.

Перед проведенням випробувань були виконані теоретичні розрахунки споруди на тимчасове навантаження. Розрахунок просторової моделі прогонової будови виконаний в програмному комплексі SCAD-Office. Сформована скінченно-елемента модель показана на рис. 6.

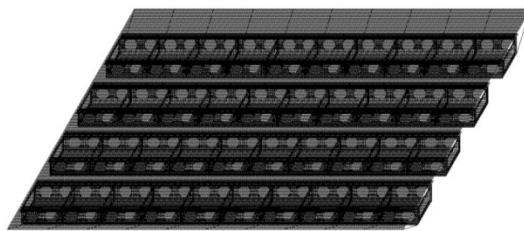


Рис.6. Розрахункова модель запропонованої конструкції

Fig.6. Estimated model of the proposed design

Система навантаження. В якості навантаження були прийняті 2 автосамоскиди КАМАЗ-6520, з нормативною масою одного автомобіля $Q = 19,2\text{т}$. Було передбачено 4 схеми розташування автомобілів:

схема 1 - установка одного автомобіля КАМАЗ-6520 задньою віссю в середині прольоту біля правого бар'єрного огородження;

схема 2 - установка двох автомобілів задніми бортами один до одного, біля правого бар'єрного огородження;

схема 3 - установка двох автомобілів задніми бортами один до одного, по осі моста;

схема 4 - розташування двох автомобілів, встановлених задніми бортами один до одного біля лівого бар'єрного огородження.

Демонстрація позначених процедур випробувань реалізована на рис. 7.



Рис.7. Установка автомобілів за схемами 1-4

Fig.7. Installation of cars according to schemes 1-4

При динамічному дослідженні для визначення частот і форм власних коливань, на проїзну частину, з висоти 1м, скидався

залізобетонний фундаментний блок розміром 85x48x55см масою 600кг. Для визначення характеристик вимушених коливань на мосту проводяться такі заходи:

- рух колони з двох автомобілів КАМАЗ-6520 з інтервалом 2сек. зі швидкістю 30 км/год;

- рух одиночного автомобіля КАМАЗ-6520 по покриттю з перешкодою (дерев'яний брус шириною 20 см, товщиною 4 см і довжиною 3,5 м), встановленим в середині прольоту;

- рух одиночного автомобіля КАМАЗ-6520 зі швидкістю 30 км/год і різке гальмування в середині прольоту.

Під час випробування, за всіма схемами завантаження фіксувалося стан мосту для встановлення змін, які відбувалися без навантаження, з навантаженням і подальшим розвантаженням. Останні заміри знімалися для визначення залишкових деформацій. Крім того, при розстановці автомобілів, учасники випробувань суворо стежили за показаннями приладів, щоб в разі необхідності (екстремальний випадок) зупинити завантаження.

Система вимірювань. Фіксація вертикальних переміщень (прогинів) конструкції здійснювалася за допомогою 8 механічних прогиномірів Максимова (ПМ). Прилади кріпилися до конструкції за допомогою з'єднувальних ланцюгів, зібраних з вантажів і ниток. Для виключення впливу на значення прогинів зовнішніх показників, таких як вітер, з'єднувальні ланцюги підтримувалися в постійному натягу і перевірялися перед кожним зняттям відліків. Датчики встановлювалися по два в чвертях і середині прольоту і по одному в опорних частинах, за допомогою штативів та струбцин, на заздалегідь підготовлених майданчиках. Схема розташування та загальний вигляд датчиків представлені на рис. 8.

Для фіксації деформацій і виявлення напружень навколо отворів блоку було встановлено 8 механічних тензометрів. Прилади були встановлені в опорній частині

і в середині прольоту. Схема розташування тензометрів показана на рис. 9

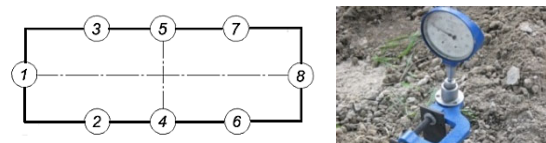


Рис.8. Схема розташування та загальний вигляд датчиків

Fig.8. Location scheme and general view of sensors

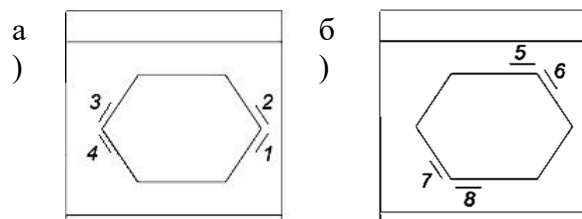


Рис.9. Схема розташування тензометрів: а) в опорній частині, б) в прогоні

Fig.9. The layout of strain gauges: a) in the support part, b) in the span

Для визначення частот і форм власних і вимушених коливань елементів прогонової будови в вертикальному напрямку в середині прольоту встановлювався вібровимірний прилад «Агат-М».

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ

Результати статичних випробувань.

За даними обробки значень вимірів прогиномірів побудовані лінії прогинів крайнього металевго блоку в прольоті №1, в середині і чвертях прольоту по всім 4-м схемами завантаження (рис. 10-13). Максимальний прогин крайнього металевго блоку прольоту №1 отриманий за 2-ою схемою навантаження і склав 2,9мм. Теоретичний прогин крайнього блоку прольоті №1 склав 2,94мм. При зіставленні теоретичних і експериментальних значень похибка склала 1,3%. Залишкові деформації після кожного розвантаження на кожному етапі навантаження не перевищили 10%. За даними обробки значень вимірів деформацій, отриманих з механічних тензометрів, і лабораторних випробувань по визначенню механічних характеристик сталі були обчислені значення фактичних

напружень, що виникають по периметру отворів в стінках металевих балок. Максимальні значення відносних деформацій склали $15 \cdot 10^{-6}$ мм, що, в свою чергу, відповідає значенням напруження – 25 МПа.

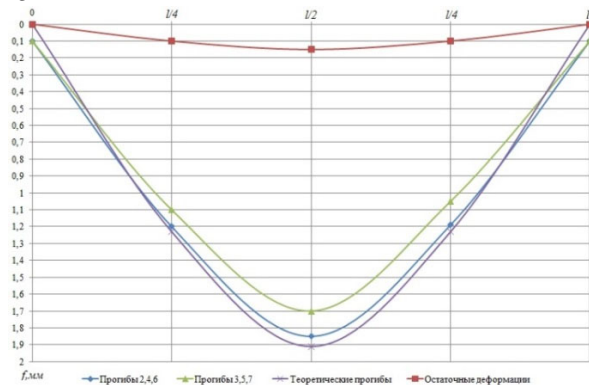


Рис.10. Прогини балок за першою схемою статичних випробувань

Fig.10. Deflections of beams according to the first scheme of static tests

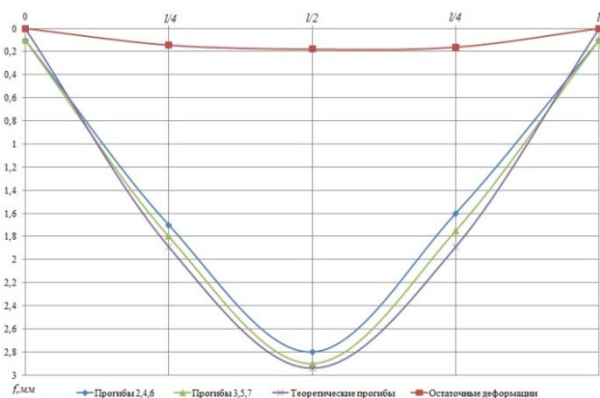


Рис.11. Прогини балок за другою схемою статичних випробувань

Fig.11. Deflections of beams according to the second scheme of static tests

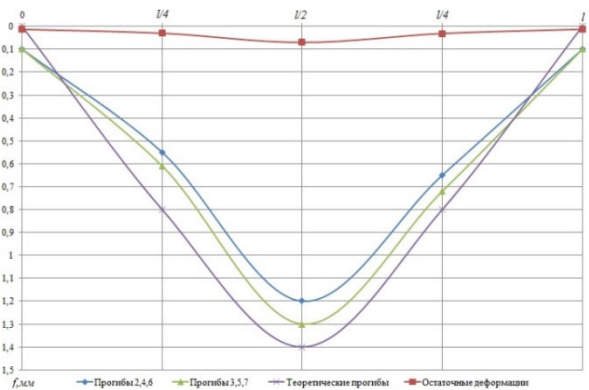


Рис.12. Прогини балок за третьою схемою статичних випробувань

Fig.12. Deflections of beams according to the third scheme of static tests

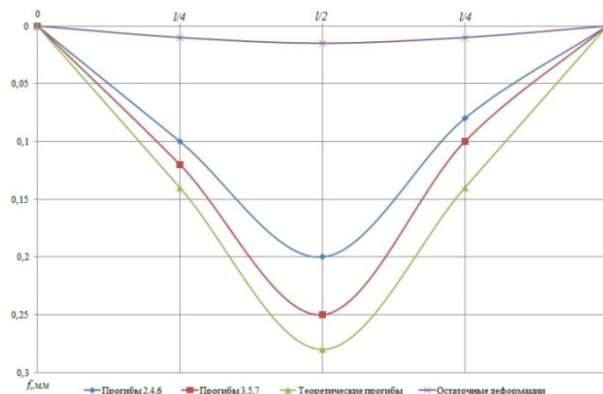


Рис.13. Прогини балок за четвертою схемою статичних випробувань

Fig.13. Deflections of beams according to the fourth scheme of static tests

Результати динамічних випробувань.

За даними обробки показань приладу при динамічних випробуваннях отримані частоти, періоди та амплітуда власних і вимушених коливань. Частота власних коливань (середнє за 3-ма вимірами) дорівнює 8Гц, при амплітуді 190мкм. Також проявляється друга власна частота рівна 14Гц, при амплітуді 225мкм. Частота вимушених коливань при русі колони з двох автомобілів склала 12,5Гц при амплітуді 66мкм. Частота вимушених коливань при русі автомобіля по покритті з перешкодою склала 5Гц при амплітуді 78мкм. Частота вимушених коливань при різкому гальмуванні автомобіля в середині прольоту склала 8Гц при амплітуді 49мкм.

ВИСНОВКИ

1. Визначено величини фактичних прогинів конструкції сталезалізобетонної прогонової будови в чвертях і середині випробовуваного прольоту. Максимальний прогин крайнього металевого блоку прольоту №1 отриманий при 2-ій схемі навантаження і склав 2,9мм. Залишкові деформації після кожної розвантаження на кожному етапі навантаження не перевищили 10%.

2. Виявлено дійсний розподіл деформацій і напружень в заданих перетинах конструкції сталезалізобетонної прогонової будови. За даними обробки значень вимірів деформацій, отриманих з

механічних тензометрів, і лабораторних випробувань по визначенню механічних характеристик сталі були обчислені значення фактичних напружень, що виникають по периметру отворів в стінках металевих балок. Максимальні значення відносних деформацій склали $15 \cdot 10^{-6}$ мм, що, в свою чергу, відповідає значенням напруг – 25 МПа.

3. Виконано зіставлення фактичних і теоретичних значень компонентів НДС в досліджуваних перетинах конструкції сталезалізобетонних прогонової будови. Теоретичний прогин крайнього блоку прольоту №1 склав 2,94мм. При зіставленні теоретичних і експериментальних значень похибка склала 1,3%

4. Максимальні частоти власних коливань склали 8Гц і 14Гц, при амплітуді 190мкм і 225мкм. Тоді як частоти вимушених коливань склали 8Гц і 12,5Гц при амплітуді коливань 49мкм і 66мкм відповідно. Частота порушуваних коливань при другій схемі динамічного навантаження склала 5Гц, амплітуда коливань – 78мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 74599 Україна, МПК (2012.01) E01D 1/00. Прогонових будова мосту / Шмуклер В.С., Шуткін М.Б., Шуткін Б.М., Круль Ю.М.; заявник и патентовласник Шмуклер В.С.; - № 201201611; заявл. 14.02.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21.
2. Круль Ю.Н. Про формування раціональної конструкції пролітної будови автомобільно-шляхового мосту / Ю.М. Круль // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник / Вып. 101, 2011. - с.31-40.
3. Метали. Методи випробувань на розтяг: ГОСТ 1497-84. (ISO 6892-84, СТ РЕВ 471-88). - [Дата введення 1986-01-01]. - М.: ИПК Видавництво стандартів, 1984. - 36с.
4. Метали. Методи випробувань на розтяг тонких листів і стрічок: ГОСТ 11701-84.- [Дата введення 1986-01-01]. - М.: «Знак Пошани» Видавництво Стандартів, 1984. - 18с.
5. ДБН В2.3-6-2002. Мости та труби. Обстеження и випробування. - К.: Держбуд України, 2002. - 29с.
6. ДБН В.2.3-14-2006. Мости та труби. Правила проектування. - К.: Міністерство буд-ва, архітектури и житлового комунального гос-ва, 2006. - 329с.
7. ВБН В3.1.-218-174-2002. Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються.-К.: Держслужба а / д України, 2002 27с.
8. Шмуклер В.С. Каркасні системи полегшеного типу / В.С. Шмуклер, Ю.А. Клімов, Н.П. Бурак - Харків: Золоті сторінки, 2008. - 336с.
9. Rational Design of Structural Building Systems. V. Babaev, I. Ievzerov, S. Evel, A. Lantoukh-Liashchenko, V. Shevetovsky, O. Shimanovskyi, V. Shmukler M. Sukhonos / ISBN 978-3-86922-733-7./ 2019 by DOM publishers, Berlin/Germany. www.dom-publishers.com. 384 p.

REFERENCES

1. Pat. 74599 Ukraine, MPK (2012.01) E01D 1/00. Progonovih budova mostu. [patent. Girders structure of the bridge] SHmukler V.S., SHutkin M.B., SHutkin B.M., Krul' YU.M.; zayavnik i patentovlasnik SHmukler V.S.; №201201611; zayavl. 14.02.2012; opubl. 12.11.2012, Byul. №21. (in Ukrainian).
2. Krul' YU.N. (2011) Pro formuvannya racional'noї konstrukcii prolitnoї budovi avtomobil'no-shlyahovogo mostu [About formation of a rational design of a span structure of a road bridge]. YU.M. Krul'. *Kommunal'noe hozyajstvo gorodov: Naukovo-tehnichnij zbirnik*. Vip. 101., 31-40. (in Ukrainian).
3. Metali. Metodi viprobuvan' na roztyag: GOST 1497-84. (ISO 6892-84, ST REV 471-88). (1984). [Data vvedennya 1986-01-01]. - M.: IPK Vidavnictvo standartiv., 36. (in Ukrainian).
4. Metali. Metodi viprobuvan' na roztyag tonkih listiv i strichok: GOST 11701-84. (1984). [Data vvedennya 1986-01-01]. M.: «Znak Poshani» Vidavnictvo Standartiv. 18. (in Ukrainian).
5. DBN V2.3-6-2002. Mosti ta trubi. Obstezhennya i viprobuvannya. (2002). K.: Derzhbud Ukraїni. 29. (in Ukrainian).
6. DBN V.2.3-14-2006. Mosti ta trubi. Pravila proektuvannya. (2006). K.: Ministerstvo bud-va, arhitekturi i zhitlovogo komunal'nogo gos-va. 329. (in Ukrainian).
7. VBN V3.1.-218-174-2002. Mosti ta trubi. Ocinka tekhnichnogo stanu avtodorozhnih mostiv, chto ekspluatuyut'sya. (2002). K.: Derzhsluzhba a / d Ukraїni, 27. (in Ukrainian).

8. SHmukler V.S. (2008). Karkasni sistemi polegshenogo tipu [Lightweight frame systems]. V.S.SHmukler, YU.A.Klimov, N.P.Burak. Harkiv: Zoloti storinki. 336. (in Ukrainian).
9. Rational Design of Structural Building Systems. V.Babaev, I.Ievzerov, S.Evel, A.Lantoukh-Liashchenko, V.Shevetovsky, O.Shimanovskiy, V. Shmukler M. Sukhonos. ISBN 978-3-86922-733-7. 2019 by DOM publishers, Berlin. Germany. www.dom-publishers.com. 384.

Tests of reinforced concrete flight structure of the bridge through the r.Suhoy Torec in Barvenkovo

*Valerii Shmukler,
Roman Kaplin,
Yurii Krul*

Summary. The article considers the overhaul of the reinforced concrete bridge in Barvinkove with the complete replacement of the girder structures. Beam structures were installed on existing supports, the distance between the axes of which is 14.06 m (non-standard beam). Thus, new beams must be performed on a special (individual) project. Equally important is the issue of reducing the weight of the structure, which will have a positive effect on existing foundations, reducing the pressure on the ground and, if possible, unloading the foundation of the structure. As a new girder structure, an effective construction of a reinforced concrete girder structure is presented, using perforated metal elements of box section and an effective reinforced concrete slab of the carriageway.

When designing metal blocks, a direct method of forming the parameters of the structure based on energy principles was used, namely: minimization of potential deformation energy and density distribution of potential deformation energy.

The parameters of the holes in the perforated elements at a constant pitch and the angles of inclination of the inclined lines of the beams were taken as parameters. Thus, a rational design of the blocks was obtained, which corresponded to the lowest value of potential energy, which, in turn, corresponds to the lowest material consumption, and a more uniform distribution of potential energy density with decreasing stress concentration in the corners of the holes.

Upon completion of all works, scientific and acceptance tests of the building were carried out. The test program provides for static and dynamic tests of the bridge. The aim of the study was to

assess the stress-strain state metal block of reinforced concrete girder structure. During the test, the deflections of the structure were obtained, the actual distribution of deformations and stresses was revealed, the frequencies, periods and amplitudes of the natural and forced oscillations of the structure were obtained.

A theoretical model of the girder structure was built, on the basis of which the VAT components were obtained and compared with the results obtained during the test.

Key words. Reinforced concrete, girder structure, perforated beam, discrete-continuous connections, fixed formwork.