УДК 624.02

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ПІШОХІДНОГО МОСТУ НОВОГО ТИПУ

ИСЛЕДОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПЕШЕХОДНОГО МОСТА НОВОГО ТИПА

RESEARCH OF THE MATERIAL'S DESIGN CHARACTERISTICS OF NEW TYPE PEDESTRIAN BRIDGE

Краснов С.М., старший викладач, Краснова К.С., аспірант (Харківський національний автомобільно-дорожній університет), **Борисенко М. А., студент, Роменський В. Ю., студент** (Харківська національна академія міського господарства)

Краснов С.Н., старший преподаватель, Краснова Е.С., аспирант (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет), **Борисенко М. А., студент, Роменский В. Ю., студент** (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

S. Krasnov, senior lecturer, E. Krasnova, postgraduate (Kharkiv National Automobile and Highway University), **M. Borysenko**, **student, V. Romensky, student** (Kharkov national municipal academy**)**

Наводяться результати визначення розрахункових характеристик матеріалів, з яких виготовлена сталезалізобетонна прогонова будова пішохідного мосту нового типу. Виконаний аналіз отриманих результатів, визначений клас арматури та марка сталі. Отримані характеристики матеріалів прийняті для подальших розрахунків.

Приводятся результаты определения расчетных характеристик материалов, из которых изготовлено сталежелезобетонное пролетное строение пешеходного моста нового типа. Выполнен анализ полученных результатов, определен класс арматуры и марка стали. Полученные характеристики материалов приняты для дальнейших расчетов.

The results of determining the design characteristics of the materials of composite span structure of new type pedestrian bridge are presented. The analysis of the obtained results, determination of reinforcement class and steel grade is performed. Received data is adopted for further computation.

Ключові слова:

Пішохідний міст, прогонова будова, випробування.
Пешеходный мост, пролетное строение, испытание.
Pedestrian bridge, span construction, testing.

Стан питання та задачі дослідження. Пропускна здатність багатьох автомобільних доріг в значній мірі визначається наявністю на них регульованих і нерегульованих перехресть та пішохідних переходів. Для вирішення даної проблеми необхідно улаштування на автомагістралях перетину доріг в різних рівнях, в тому числі і побудови пішохідних мостів. У зв'язку з чим, для вирішення питань про будівництво нових пішохідних мостів необхідні інноваційні підходи, які допоможуть забезпечити зведення конструкцій в умовах важкої доступності та над існуючими автомобільними дорогами і залізницями без зупинки руху, в найкоротші терміни при мінімальному обсязі матеріалів.

Конструктивне рішення. Одним з основних вимог, які пред'являються к подібним конструкціям - є пошук раціонального співвідношення ресурсу, необхідного для сприйняття корисного навантаження і для сприйняття власної ваги. Перелiковане, можливо при використанні нових енергетичних принципів і прямих методів проектування, які лежать в основі створення систем пішохідних мостів [1,2]. В даному випадку, технологічна особливість власне прольотної будови мосту, полягає у виконанні стислої частини (покриття) у вигляді залізобетонної плити полегшеного типу з можливістю використання похованих в середині вкладишів – порожнечоутворювачів з якого-небудь легкого, недорогого матеріалу (наприклад, пінополістиролу, пінополіуретану та ін.), а розтягнутої частини - у вигляді металевої просторової стержневої системи. На основі вищесказаного була визначена найбільш раціональна конструкція прогонної будови пішохідного мосту [3,4] (рис.1).

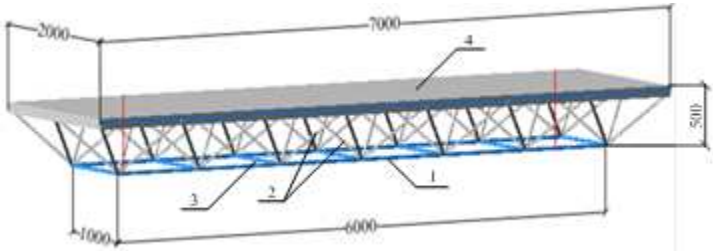


Рис. 1. Схема досліджуваної конструкції прольотної будови пішохідного мосту
1 - нижній пояс: 2 ∟ 32х3 мм; 2 - розкоси: □ 25х2мм мм; 3- нижня поперечина: □ 25х2мм; 4 - залізобетонна плита , δ = 10см.

Експериментальні дослідження. Як відомо, поведінка оптимізованих систем, які були запроектовані на підставі прямих методів, певним чином

відрізняється від традиційних. Складність проблеми тут полягає в необхідності перевірки, як запропонованих принципів проектування, так і теоретичних висновків [1]. У зв'язку з цим, а також враховуючи обмеженість дослідів з розглянутими системами, були проведені експериментальні дослідження сталезалізобетонної прольотної будови пішохідного мосту нового типу, завантаженого малоцикловими короткочасними і тривалими навантаженнями [5].

Сталезалізобетонна прольотна будова пішохідного мосту, довжиною 7м, шириною 2м, висотою конструкції 0,5 м (рис. 2) зводилась з виготовлених на заводі плоских модульних елементів, у вигляді ферм з паралельними поясами. Пояси модульних елементів - ферм виконані з двох куткових профілів 32х3мм, а розкоси з квадратної труби 25х2мм. Плита армована сіткою з арматури ø3. В середині залізобетонної плити також розташована дискретно-континуальна система зв'язків зсуву нового типу у вигляді поздовжніх і поперечних стержнів періодичного профілю Ø8мм [6].

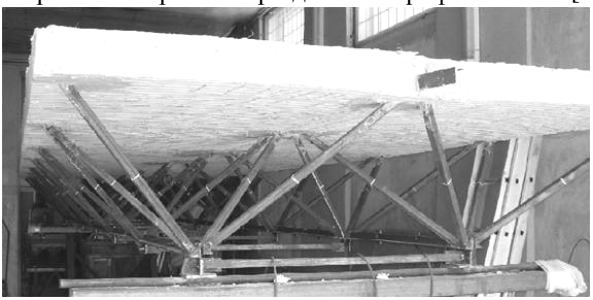


Рис. 2. Загальний вигляд побудованої конструкції прольотної будови

Вимірювальну базу для даного експерименту склали: 78 тензодатчиків, 13 прогиномірів Максимова, 6 механічних тензометрів, 4 індукційних датчика переміщення (ДПІ), 6 індикаторів годинникового типу.

Завантаження конструкції виконувалося втри етапи ступенями від 1кПа до 8кПа, кроком 1кПа, з подальшим розвантаженням кожного ступеня навантаження.

Більш детально об'єкт дослідження, система навантаження, система виміру, послідовність експерименту та аналіз результатів наведено в [5].

Визначення розрахункових характеристик матеріалів. Для отримання повної картини о роботі конструкції запропонованої прогонової будови необхідно експериментально встановити ще й розрахункові характеристики матеріалів, з яких вона виготовлена і в подальшому враховувати їх при обробці даних, отриманих з приборів системи виміру. Найбільш поширеними є випробування сталі на розрив при статичному навантаженні та визначення модуля поздовжньої пружності та коефіцієнта Пуассона сталі.

Відбір зразків. Було досліджено зразки сталі з куткових профілів 32х3мм та квадратної труби 25х2мм, з яких виконано пояси конструкції і розкоси,

відповідно. Також проведені випробування арматурних стержнів ø8, використаних в якості елементів зв'язків зсуву та зразків арматури ø3, з яких виконана арматурна сітка плити.

Згідно з [7] пропорційні плоскі зразки із сталі склали:

а) Для зразків, виготовлених із куткового профілю 32х3 мм (в конструкції з цього профілю виготовлені пояси) (рис.3).

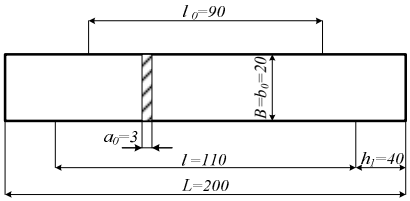


Рис. 3. Схема зразка з профілю 32х3мм

б) Для зразків, виготовлених із квадратної труби 25х2мм (рис.4), (в конструкції з цієї труби виготовлені розкоси і поперечини) , відповідно до [8]:

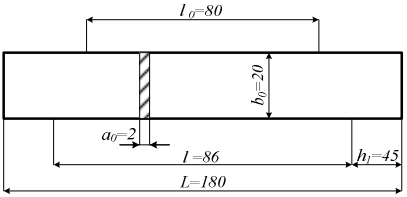


Рис. 4. Схема зразка з квадратної труби 25х2мм

Згідно з [9] зразки із арматурної сталі склали:

а) Для зразків із арматури періодичного профілю ø8 (рис.5):

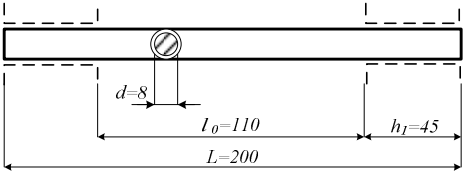


Рис. 5. Схема зразка з арматурного стержня ø8мм

б) Для зразків із арматури періодичного профілю ø3 (рис.6):

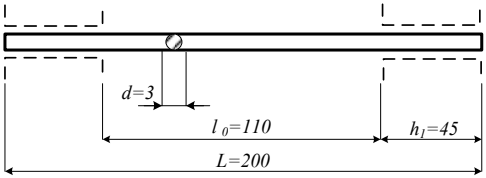


Рис. 6. Схема зразка з арматурного стержня ø3мм

Лабораторне устаткування та прилади. Для розтягання зразків використовували гідравлічну машину УВМ-50 та важільну машину Р-5.

Послідовність проведення дослідів зразків із матеріалів виконано відповідно до вимог, зазначених у [7,8,9]. Ілюстрація виконання випробувань зразків наведена на рис.7,8 та 9.

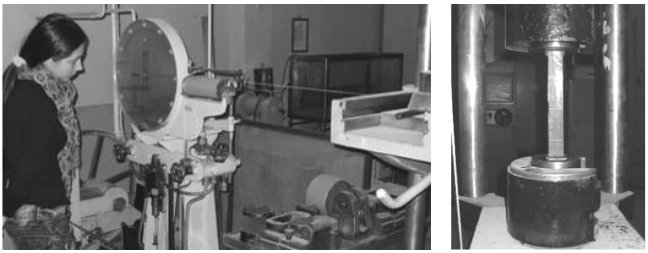


Рис. 7. Випробування плоских зразків на розрив на машині УВМ-50

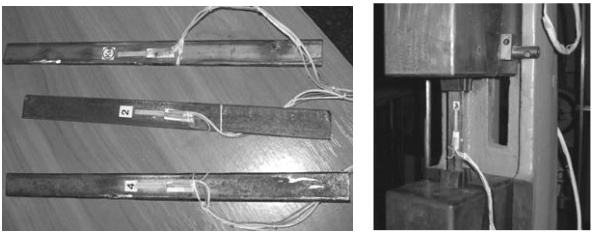


Рис. 8. Визначення модуля пружності для плоских зразків на машині Р-5

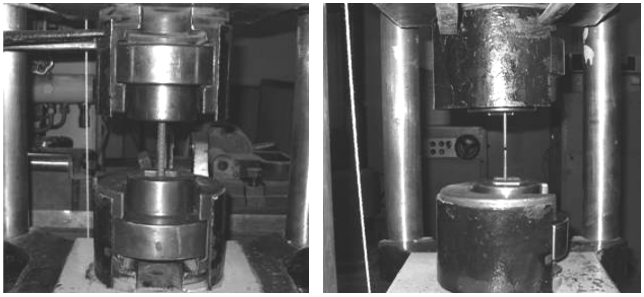
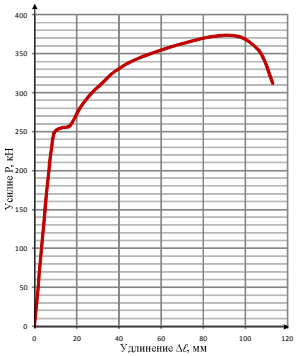


Рис. 9. Випробування арматурних стержнів Ø 8 та Ø 3 на машині УВМ-50

Аналіз результатів. Згідно з [7, 8] було випробувано по три зразки з профілю 32х3 мм і квадратної труби 25х2 мм. А також, згідно з [9] - досліджено по п’ять зразків з арматури Ø8 мм та Ø3мм.

При випробуваннях на розрив були отримані діаграми Р-$\Delta\ell$ та σ-ε для кожного з пропорційних плоских зразків і зразків з арматурної сталі. Діаграми, отримані в результаті випробування плоских зразків наведені на рис.10,11, а також у спеціальних протоколах випробування (табл.1,2).



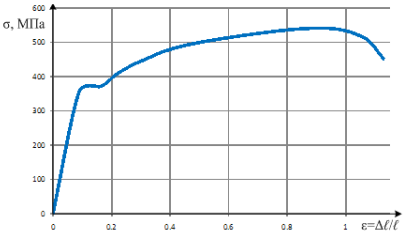
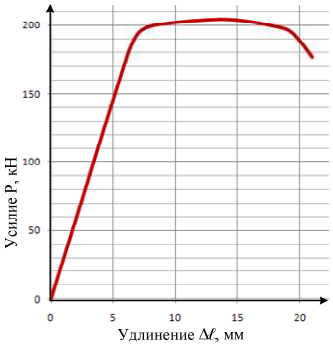


Рис. 10. Діаграма P-Δℓ та σ-ε зразка із профілю 32х3мм

Таблиця 1

Випробування на розтяг плоского зразка з профілю №32х3мм на машині УВМ – 50

Начальна ширина і товщина зразка a_0, b_0, мм	a_0 = 3 мм b_0 = 23,8 мм
Начальна площа поперечного перерізу F_0, мм^2	F_0 = 78,2 мм^2
Кінцева площа поперечного перерізу $F_к$, мм^2	$F_к$ = 36,6мм^2
Начальна розрахункова довжина l_0, мм	l_0 = 90 мм
Кінцева розрахункова довжина $l_к$, мм	$l_к$ = 105,3 мм
Максимальне зусилля P_{max}, кН	P_{max} = 37,2 кН
Зусилля на межі текучості$P_т$, кН	$P_т$ = 25,1 кН
Зусилля на межі пропорційності $P_{пц}$,кН	$P_{пц}$ = 24,8 кН
Тимчасовий опір $\sigma_в$, МПа	$\sigma_в$ = 475,7 МПа
Межа текучості $\sigma_т$, МПа	$\sigma_т$ = 320, 97 МПа
Межа пропорційності $\sigma_{пц}$, кПа/мм^2	$\sigma_{пц}$ = 317,14 МПа
Відносне подовження δ, %	δ = 17%
Примітка	Відповідає марці сталі С235



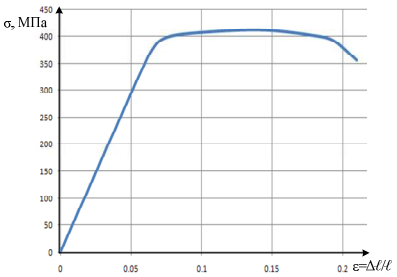


Рис. 11. Діаграма P-Δℓ та σ-ε для зразка з труби 25х2мм

Таблиця 2

Испытаний на растяжение плоских образцов из уголка №25х2 мм
на машине УВМ – 50 (Образец № 2)

Начальна ширина і товщина зразка a_0, b_0, мм	a_0 = 2,0 мм b_0 = 24,8 мм
Начальна площа поперечного перерізу F_0, мм^2	F_0 = 49,6 мм^2
Кінцева площа поперечного перерізу $F_к$, мм^2	$F_к$ = 33,66мм^2
Начальна розрахункова довжина l_0, мм	l_0 = 80 мм
Кінцева розрахункова довжина $l_к$, мм	$l_к$ = 102 мм
Максимальне зусилля P_{max}, кН	P_{max} = 20 кН
Зусилля на межі текучості$P_т$, кН	-
Зусилля на межі пропорційності $P_{пц}$,кН	-
Тимчасовий опір $\sigma_в$, МПа	$\sigma_в$ = 403,2 МПа
Відносне подовження δ, %	δ = 27%
Примітка	Сталь з розрахунковим опіром R_y = 185 МПа

Згідно з [10] модуль пружності Е для зразка з профілю 32х3 мм, дорівнює Е = 2,09·10^5 Н/мм^2, модуль пружності Е для зразка з квадратної труби 25х2 мм, дорівнює Е = 1,806·10^5 Н/мм^2.

Коефіцієнт поздовжньої деформації або коефіцієнт Пуассона для зразка з профілю 32х3 мм дорівнює μ = 0,268.

Отримані значення Е та μ порівняно з відомими значеннями їх для сталі: ст.3 Е= 2·10^5 МПа та μ = 0,25÷0,33 [10].

Діаграми Р-Δℓ та σ-ε для зразків із арматурної сталі Ø 8 мм наведені на рис.12,13, а результати випробувань зведені у таблицях 3,4.

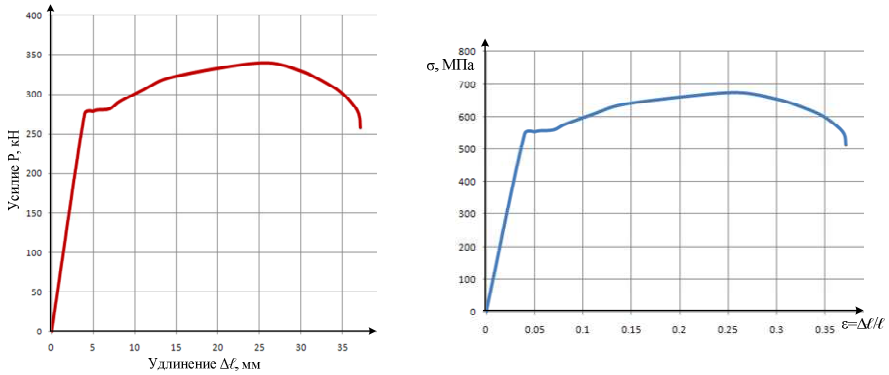
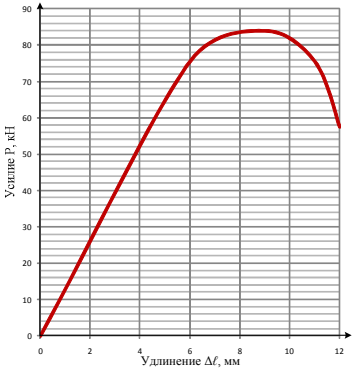


Рис. 12. Діаграма Р-Δℓ та σ-ε для зразка з арматури Ø8мм

Таблиця 3

Испытаний на растяжение цилиндрических образцов из арматурной стали Ø8мм на машине УВМ-50

Начальний діаметр d_0, мм	d_0 = 8 мм
Діаметр після розривуd$_к$, мм	$d_к$ = 5,6 мм
Начальна розрахункова довжина l_0, мм	l_0 = 200 мм
Кінцева розрахункова довжина $l_к$, мм	$l_к$ = 215 мм
Максимальне зусилля P_{max}, кН	P_{max} = 34,1 кН
Зусилля на межі пропорційності $P_{пц}$,кН	$P_{пц}$ = 27,9 кН
Тимчасовий опір $\sigma_в$, МПа	$\sigma_в$ = 678 Мпа
Межа текучості $\sigma_т$, МПа	$\sigma_т$ = 554,7 МПа
Межа пропорційності $\sigma_{пц}$, кПа/мм^2	$\sigma_{пц}$ = 560,6
Відносне подовження δ, %	δ = 15%
Відносне звуження ψ, %	ψ = 51%
Примітка	Відповідає класу арматури А400



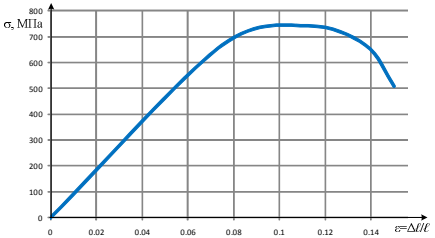


Рис. 13. Діаграма P-Δℓ та σ-ε для зразка з арматури Ø3мм

Таблиця 4

Испытаний на растяжение цилиндрических образцов из арматурной стали Ø3мм на машине УВМ-50

Начальний діаметр d_0, мм	d_0 = 3 мм
Діаметр після розривуd$_к$, мм	$d_к$ = 2 мм
Начальна розрахункова довжина l_0, мм	l_0 = 200 мм
Кінцева розрахункова довжина $l_к$, мм	$l_к$ = 212 мм
Максимальне зусилля P_{max}, кН	P_{max} = 8,5 кН
Зусилля на межі пропорційності $P_{пц}$,кН	-
Тимчасовий опір $\sigma_в$, МПа	$\sigma_в$ = 78,7 Мпа
Межа текучості $\sigma_т$, МПа	-
Межа пропорційності $\sigma_{пц}$, кПа/мм^2	-
Відносне подовження δ, %	δ = 12%
Відносне звуження ψ, %	ψ = 67 %
Примітка	Відповідає класу арматури Вр

Висновок. Відповідно до результатів випробування встановлені розрахункові характеристики матеріалів:

- зразка з профілю 32х3 мм – марка сталі С235, $E = 2{,}09 \cdot 10^5$ Н/мм^2, $\mu = 0{,}268$.
- для зразка з квадратної труби 25х2 мм - сталь з розрахунковим опором $R_y = 185$ МПа і $E = 1{,}806 \cdot 10^5$ Н/мм^2.
- для зразка із арматурної сталі Ø8мм - клас арматури А400.
- для зразка із арматурної сталі Ø3мм - клас арматури Вр.

Отримані характеристики матеріалів прийняті для подальшого аналізу результатів випробування прогонової будови пішохідного мосту нового типу.

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336с. **2.** Васильков Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма. / Васильков Г.В. - Ростов-на-Дону: Инфосервис, 2003. – 180с.**3.** V. Shmukler, A. Kislov, E. Krasnova, E. Petrova. The forming of an efficient construction of a pedestrian bridge // Proceedings of the 15th Conference for Lithuania Junior Researchers SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA. – Vilnius, Lithuania, 2012. – p. 250-254. **4.** В.С. Шмуклер, С.Н. Краснов, Е.С. Краснова. Об одном подходе формирования пролетного строения пешеходного моста // Збірник наукових праць «Будівельні конструкції». - Київ: ДП НДІБК,2012. -Вип.76. - с.580-588. **5.** В.С. Шмуклер, Е.С Краснова, С.Н Краснов. Экспериментальные исследования пролетного строения пешеходного моста нового типа. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.- Харьков, 2012. Вип. 58. – с. 70-77. **6.** С.Н Краснов., Е.С Краснова., Е.А Вихров. Конструктивная система сталежелезобетонных мостов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - Харьков, 2012. Вип. 58. – с. 65-69. **7.** Металлы. Методы испытаний на растяжение: ГОСТ 1497-84. (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 471-88). – [Дата введения 1986-01-01]. М.: ИПК Издательство Стандартов, 1984. – 36с. – (Государственный Стандарт Союза ССР). **8.** Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент: ГОСТ 11701-84.– [Дата введения 1986-01-01]. М.: «Знак Почета» Издательство Стандартов, 1984. – 18с. – (Государственный Стандарт Союза ССР). **9.** Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 12004-81.– [Дата введения 1983-07-01]. М.: ИПК Издательство Стандартов, 1981. – 10с. – (Государственный Стандарт Союза ССР). **10.** Чихладзе Е.Д. Лабораторний практикум з опору матеріалів і будівельної механіки. Навчальний посібник / Е.Д. Чихладзе, О.Г. Кіслов, Ю.П. Кітов. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – 228с.