

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.02

В. С. ШМУКЛЕР<sup>1</sup>, С. Н. КРАСНОВ<sup>2</sup>, Е. С. КРАСНОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Каф. «Строительные конструкции», Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, ул. Революции, 12, Харьков, Украина, 61002

<sup>2</sup> Каф. «Мосты, конструкции и строительная механика», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Петровского, 25, Харьков, Украина, 61002, тел./факс. (057)7073722, эл. почта Katrine9010@mail.ru

<sup>3</sup> Каф. «Мосты, конструкции и строительная механика», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Петровского, 25, Харьков, Украина, 61002, тел./факс. (057)7073722, эл. почта Katrine9010@mail.ru

### ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ НОВОГО ТИПА

**Цель.** Повышение надежности несущей способности при динамических воздействиях конструкций сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов нового типа, созданных на основе эксплуатации и развития методов рационализации и управления их параметрами. **Методика.** Для достижения поставленной цели созданы новые конструктивные системы пролетных строений пешеходных мостов, построены теоретические модели, имитирующие напряженно-деформированное состояние пролетного строения моста с учетом специфики динамических воздействий и проведены экспериментально-теоретические исследования предлагаемой конструкции. **Результаты.** Анализ проведенных исследований свидетельствует о том, что период собственных колебаний структуры не попадает в запрещенный для пешеходных мостов диапазон (0,45...0,6), и, как следствие, несущая способность рассматриваемой системы достаточна для восприятия расчетных нагрузок. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие принципы и критерии, предопределяющие рациональную топологию пролетного строения пешеходного моста, в виде пространственной стержневой системы с железобетонной плитой верхнего пояса (настил) и усовершенствовано формирование набора и последовательности процедур для конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов, включая учет нелинейности деформирования конструкционных материалов, которые позволили увеличить долю ресурса конструктива, идущего на восприятие полезной нагрузки. **Практическая значимость.** Создана методика проектирования сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов, технико-экономические показатели которых отличаются высокой конкурентоспособностью.

**Ключевые слова:** пешеходный мост; пролетное строение; частота собственных колебаний; испытания; напряженно-деформированное состояние

#### Введение

Учитывая высокий рост интенсивности движения автомобильного транспорта и для обеспечения безопасности движения пешеходов, во многих странах мира все большее внимание уделяется строительству пешеходных переходов. В их число входят, как подземные переходы, так и мостовые. В особых случаях строительство мостовых пешеходных переходов связано с условиями трудной доступности (горные районы) и возведением переходов над уже существующими автомобильными и железными дорогами без остановки движения. Как следствие, это должны быть конструкции с

максимальной заводской готовностью и практически ручной сборки, возводимые из стандартных, легкозаменяемых и наращиваемых элементов.

Вопросу проектирования новых типов сталежелезобетонных конструкций, как в области мостостроения [3, 4, 5], так и в области промышленного и гражданского строительства, уделяется особое внимание [1, 7, 9, 10]. К последним публикациям по данному вопросу относятся работы, проведенные в университетах Delhousie (Canada), Ceylon, Colombo (Sri Lanka), Australia и др. [12, 13, 14, 17].

Большинство авторов рассматривают вопрос объединения в совместную работу метал-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ла пролетных строений с железобетонной плитой при помощи связей сдвига (упоров), расположенных на верхней полке сжатого пояса.

А расположение целой системы сдвиговых связей внутри бетонной части конструкции представляет собой особый интерес для исследований.

При этом применение новых энергетических принципов и методов прямого проектирования при формировании подобных конструкций, предопределяет рациональное размещение используемых материалов в конструкции [2, 10, 15, 16].

Имеющийся опыт позволяет оценить основные достоинства и нерешенные проблемы, возникающие при проектировании и возведении пешеходных мостов из композитных материалов. Здесь, в первую очередь, следует отметить, что данных о конструктивных решениях, исследованиях, натурных экспериментах на данный момент времени явно недостаточно.

### Цель

Повышение надежности несущей способности при динамических воздействиях конструкций сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов нового типа, созданных на основе эксплуатации и развития методов рационализации и управления их параметрами.

### Методика

Для достижения поставленной цели созданы новые конструктивные системы пролетных строений пешеходных мостов, построены теоретические модели, имитирующие напряженно-деформированное состояние пролетного строения моста с учетом специфики динамических воздействий и проведены экспериментально-теоретические исследования предлагаемой конструкции.

### Энергетические аспекты формирования конструкций пролетных строений

При этом зачастую, надлежит подчинить принимаемые решения противоречивым, исключая друг друга требованиям. Сказанное снижает эффективность методов оптимизации в традиционных постановках, присущих, в основном, задачам улучшения характеристик отдельных, пусть даже и сложных, конструкти-

вов. Однако область использования экстремальных энергетических принципов может быть расширена путем сочетания известных подходов и методов управления (регулирования) параметров системы, что является альтернативой традиционному, поверочному проектированию [2, 10, 15].

Пусть рассматриваемая конструкция характеризуется некоторыми внешними и внутренними параметрами [10].

Внешние параметры определяют сопротивляемость системы без изменения общего объема материала.

В свою очередь, внутренние параметры определяют топологию, объем, а также свойства материалов. Общий вид балочной и арочной конструкций пролетного строения представлен на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид предлагаемой балочной конструкции пролетного строения



Рис. 2. Общий вид предлагаемой арочной конструкции пролетного строения

Модель системы представлена в форме метода конечных элементов, а генератором при итерационном уточнении упомянутых параметров является метод адаптивной эволюции.

Используя идеологию конечно-элементного моделирования запишем:

$$[K\{\alpha_i\}] \cdot \{q\} = \{P\}, \quad (1)$$

где  $[K\{\alpha_i\}]$  – матрица жёсткости системы;  $\{q\}$  –  $n$ -мерный вектор обобщённых переме-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

щений;  $\{P\}$  – вектор внешних сил, приложенных по направлению обобщённых координат;  $\{\alpha_i\}$  – вектор варьируемых параметров системы, подлежащий определению наряду с компонентами напряженно-деформированного состояния (НДС);  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Заметим, что элементы матрицы жесткости нелинейно зависят от  $\{\alpha_i\}$ , а общее количество неизвестных в (1) равно  $(m + n)$ .

Для определения искоемых параметров вводится критерий Г. В. Василькова, при котором приближенно считается, что потенциальная энергия деформаций (ПЭД) достигает нижней грани на рациональном сочетании величин геометрических параметров, то есть:

$$U = \inf_{\alpha} U(\alpha^k), \quad k = 1, 2, \dots, \infty, \quad (2)$$

где  $U$  – потенциальная энергия деформации системы;  $k$  – номер варианта сравнения;  $\alpha \in Q$ ,  $Q$  – множество допустимых значений внешних геометрических параметров.

Принимая гипотезу о справедливости теоремы Ферма, к (1) присовокупим необходимое условие существования экстремума функции  $U$ :

$$\begin{cases} [K\{\alpha_i\}] \cdot \{q\} = \{P\} \\ \{q\}^T \cdot \frac{d[K\{\alpha_i\}]}{d\alpha} \cdot \{q\} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Для реализации данной задачи составлена специальная итерационная процедура, эксплуатирующая на каждом шаге итераций метод конечных элементов.

В качестве внешних параметров приняты высота структуры и, как следствие, углы наклонов раскосов конструкции и координаты узлов. Внутренние параметры, в данном случае – это площади сечения поясов и раскосов. При этом, плита (настил) с целью единообразия промоделирована также стержнями общего положения (стержневая аппроксимация).

Реализация построенной методологии позволяет устанавливать связь между потенциальной энергией и управляющими параметрами (рис. 3).

При этом формируемая система является энергетически равнопрочной.

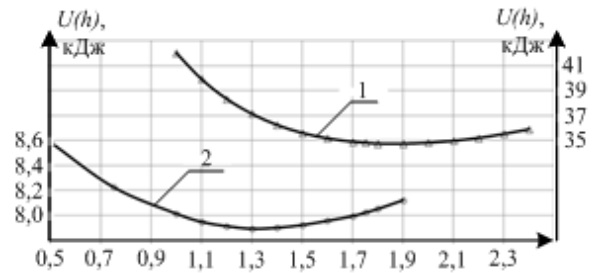


Рис. 3. Связь между потенциальной энергией деформации системы и высотой конструкции (пролет 24,0 м):

1 – балочное пролетное строение; 2 – арочное пролетное строение

В частности, на графиках (см. рис. 3) видно, что при строительной высоте  $h = 1,9$  м для балочного и  $h = 1,3$  м для арочного пролетных строений, функция  $U(h)$  имеет экстремум типа аналитический минимум, что подтверждает справедливость второго условия в (3).

На основе построенного подхода были установлены рациональные строительные высоты и соответствующие им сечения элементов для балочных и арочных пролетных строений пешеходных мостов, длиной от 6 м до 33 м, при их ширине 3 м [15].

### Конструктивная реализация

Далее на базе полученных теоретических результатов формируются новые конструктивные решения пролетных строений пешеходных мостов, в которых сжатая часть представлена в виде облегченной железобетонной плиты с возможностью использования внутри ее вкладышей-пустотообразователей из легкого, недорогого материала, а растянутая часть – в виде металлической пространственной стержневой системы.

Предлагаемая конструкция пролетного строения пешеходного моста направлена на решение задачи по снижению расхода металла и обеспечению надежной совместной работы железобетонной плиты и верхнего пояса металлической структуры за счет использования арматуры периодического профиля в качестве элементов верхнего пояса, которая, в свою очередь, обладает высоким коэффициентом сцепления с бетоном, и благодаря этому, обеспечивает полное включение железобетонной плиты в совместную работу с элементами верхнего пояса металлической структуры [6].

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Пролетное строение состоит из железобетонной плиты, модульных элементов-ферм, которые соединены между собой в плоскости нижнего пояса при помощи металлических пластин и поперечных связей, а в плоскости верхнего пояса – поперечными арматурными стержнями с резьбой на концах, фиксируемые гайкой (рис. 4).

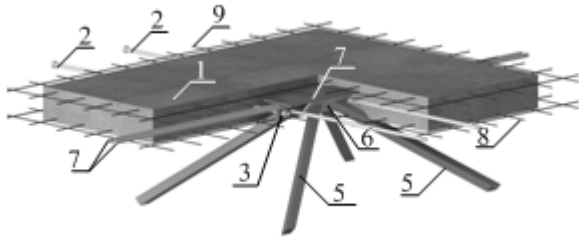


Рис. 4. Общий вид предлагаемой конструкции пролетного строения в аксонометрии:

1 – железобетонная плита; 2 – поперечные арматурные стержни; 3 – гайка; 4 – равнобокие спаренные уголки; 5 – раскосы; 6 – узловые элементы; 7 – продольные непрерывные элементы; 8 – нижняя арматурная сетка; 9 – верхняя арматурная сетка

Конструкция верхнего пояса в узловых соединениях выполнена из равнобоких спаренных уголков, к которым присоединены раскосы модульного элемента-фермы при помощи узловых элементов, а в пролете узловые соединения связаны между собой при помощи продольных непрерывных элементов из арматуры периодического профиля (рис. 5).

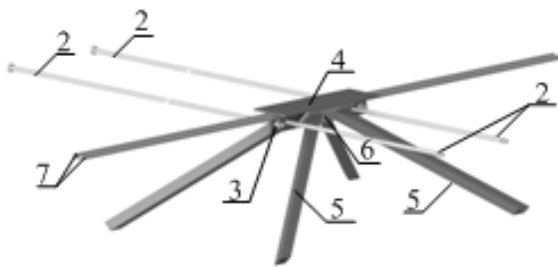


Рис. 5. Металлический каркас предлагаемой конструкции пролетного строения

Нижняя арматурная сетка крепится к нижней грани верхнего пояса металлической структуры, а верхняя арматурная сетка укладывается на продольные непрерывные элементы и отдельные поперечные арматурные стержни, после чего выполняется бетонирование плиты.

Монтаж осуществляется путем объединения между собой модульных элементов-ферм по

нижнему и верхнему поясам, установке поперечных арматурных стержней, проходящих через отверстия в равнобоких спаренных уголках верхнего пояса, а также металлических пластин и поперечных связей нижнего пояса. Завершающим этапом строительства является укладка нижних и верхних арматурных сеток плиты, а также подача бетонной смеси.

### Экспериментальные исследования

Созданная авторами рациональная модульная система пешеходных мостов нового типа в основе которой лежат новые энергетические принципы и методы прямого проектирования, не может быть применена повсеместно без предварительного экспериментального тестирования и комплексной проверки, как предложенных принципов проектирования, так и сформулированных теоретических выводов.

В связи с этим, были обоснованы и проведены испытания отдельного модуля сталежелезобетонного пролетного строения пешеходного моста, нагруженного статической кратковременной малоцикловой и длительной нагрузками [11].

Однако по результатам статических испытаний можно лишь частично оценить несущую способность конструкции моста.

Данное обстоятельство связано с тем, что во время эксплуатации на мост действуют подвижные нагрузки, оказывающие динамическое воздействие, влияние которого можно оценить только при динамических испытаниях.

В связи с чем, определенный интерес представляет исследование частот собственных колебаний рационализированной конструкции пролетного строения.

Кроме того, интегрирование результатов статических и динамических испытаний позволяет построить репрезентативную картину состояния моста.

Объектом исследования является модуль сталежелезобетонного пролетного строения пешеходного моста, длиной 7 м, шириной 2 м, высотой конструкции 0,5 м (рис. 6).

Идеология, фундирующая принципы формирования конструкции пролетного строения, в данном случае, заключается в использовании эффективной железобетонной плиты в сжатой зоне (настил), а металлической пространственной стержневой решетки – в растянутой.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

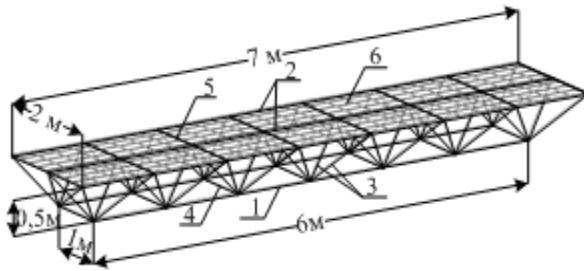


Рис. 6. Схема конструкции пролетного строения пешеходного моста:

- 1 – нижний пояс: 2L 32×3 мм; 2 – верхний пояс: 2L 32×3 мм; 3 – раскосы: L 25×2 мм; 4 – нижняя поперечина: L 25×2 мм; 5 – верхняя поперечина: гладкая арматура Ø10 мм; 6 – железобетонная плита,  $\delta = 10$  см

*Система нагружения.* Учитывая тот факт, что основную характеристику – частоту собственных колебаний пролетного строения – можно получить, вызвав колебания ударным воздействием на конструкцию.

В данном эксперименте, возмущение системы было реализовано путем сброса груза на конструкцию с различной высоты для установления фактических (реальных) частот собственных колебаний.

Рассматриваемые динамические испытания пролетного строения, были осуществлены (проведены) в два этапа:

1-й этап – определение частот собственных колебаний пространственного металлического каркаса, до устройства железобетонной плиты (рис. 7);

2-й этап: – определение частот собственных колебаний полностью обустроенного сталежелезобетонного пролетного строения (рис. 8).



Рис. 7. Динамические испытания на 1-м этапе



Рис. 8. Динамические испытания на 2-м этапе

*Система измерения.* Для измерения величины статических прогибов, возникающих от действия нагрузки, которая, впоследствии, создает динамическое воздействие (падающий груз), были использованы 4 индукционных датчика перемещения (ДПИ), установленные в центральных узлах структуры для фиксации вертикальных перемещений.

Для регистрации виброграмм динамических колебаний моста был применен самопишущий механический прибор системы Гейгера.

Работа механических прогибографов требует связи конструкций моста с землей (неподвижной точкой). Натяжение проволоки, обеспечивающей связь, осуществлялось пружиной, закрепленной ниже прибора, расположенного на земле. Колебания через систему рычагов передавались на рычаг с пером, которое обеспечивает запись информации на мелованную бумажную ленту. Во время записи лента равномерно протягивалась через столик прибора и фиксировалась на прогибограмме. Одновременно функционировал счетчик времени, фиксирующий интервалы времени в 1,0 с.

На 1-м этапе груз, массой 31 кг, устанавливался в центральные узлы и в середине верхнего пояса металлической конструкции (до устройства железобетонной плиты) для определения статических прогибов.

Для определения динамического влияния данный груз сбрасывали с различных высот ( $h_1 = 60$  мм,  $h_2 = 90$  мм,  $h_3 = 120$  мм,  $h_4 = 150$  мм,  $h_5 = 200$  мм,  $h_6 = 250$  мм) в намеченные узлы, обозначенные при статическом нагружении (рис. 9).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

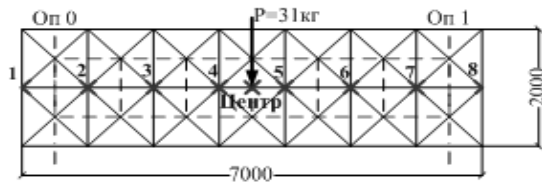


Рис. 9. Схема для динамических испытаний на 1-м и 2-м этапе

На 2-м этапе испытания проводились по аналогичной схеме 1-го этапа, но уже для сталежелезобетонного пролетного строения.

## Результаты

Расчеты собственных частот выполнены в среде ВК «Лира» (версия 9.6).

Результаты расчетов демонстрируются числовыми значениями частот (табл. 1.) для двух рассматриваемых расчетных схем конструкции: для металлической пространственной стержневой решетки, объединенной с железобетонной плитой, и без плиты.

Таблица 1

## Результаты расчета собственных частот колебаний моста

Схема	№ формы	Частоты		Период $T$ , с
		$\omega$ , 1/с	$f$ , Гц	
Структура без плитной части	1	126,74	20,172	0,049
	2	126,74	20,172	0,049
	3	126,79	20,180	0,049
	4	126,83	20,185	0,049
	5	126,86	20,190	0,049
	6	126,88	20,194	0,049
Структура с плитной частью	1	68,24	10,861	0,092
	2	68,26	10,864	0,092
	3	68,27	10,866	0,092
	4	68,28	10,868	0,092
	5	68,29	10,869	0,092
	6	68,30	10,871	0,092

Динамические характеристики для исследуемого пролетного строения пешеходного моста, полученные экспериментально, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Динамические характеристики пролета  $L = 6$  м, полученные экспериментально

Структура без плитной части	Собственная частота колебаний $f = 23$ Гц; Число свободных колебаний $\omega = 144$ с <sup>-1</sup> ; период $T = 0,043$ с
Структура с плитой	Собственная частота колебаний $f = 13$ Гц; Число свободных колебаний $\omega = 81,6$ с <sup>-1</sup> ; период $T = 0,077$ с
Оценка влияния динамических воздействий на конструкцию	Период собственных колебаний для структуры без плиты $T = 0,048$ с и для структуры с плитой $T = 0,077$ с не попадает в запрещенный для пешеходных мостов диапазон 0,45...0,6 [8] Отрицательное влияние на несущую способность не оказывается

Определенный интерес представляет рационализация конструкции в условиях динамического воздействия от пешеходов. Здесь в качестве параметров регулирования приняты приведенная и конструктивная толщины железобетонной плиты, которые изменяются за счет захороняемых внутри плиты вкладышей-пустотообразователей. Данное положение позволяет управлять не только собственным весом и жесткостью конструкции, но и ее собственными частотами колебаний. В данном случае, результаты расчета иллюстрируются на рис. 10 и 11.

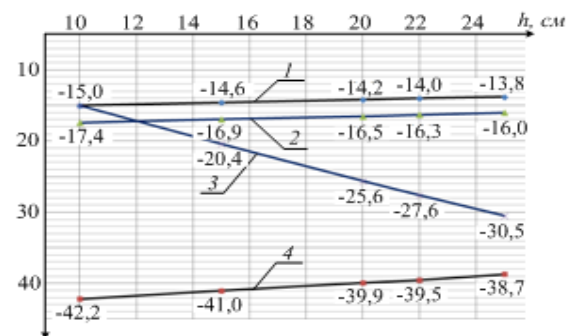


Рис. 10. Максимальные прогибы (центр) пролетного строения:

1 – прогиб от собственного веса; 2 – прогиб от собственного веса и толпы 0,05 кПа; 3 – прогиб от собственного веса без вкладышей; 4 – прогиб от собственного веса и толпы 5,6 кПа

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

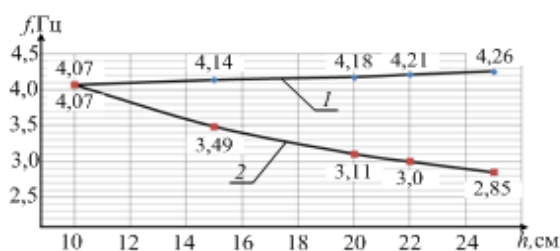


Рис. 11. Залежність частоти власних коливань (основний тон) від товщини залізобетонної плити:

- 1 – залізобетонна плита з вкладишами;  
2 – залізобетонна плита без вкладишей

На рис. 10 отображены изменения прогибов конструкции в зависимости от толщины плиты.

На рис. 11 отображены зависимости частоты собственных колебаний (основной тон) от толщины железобетонной плиты.

Таким образом, можно констатировать факт, что величины частот собственных колебаний, зафиксированные в натурном эксперименте, демонстрируют стабильное превышение над теоретическими. А период собственных колебаний структуры не попадает в запрещенный для пешеходных мостов диапазон 0,45...0,6 [8]; и, как следствие, несущая способность рассматриваемой системы, конструкция которой прошла экспериментальную проверку, достаточна для восприятия расчетных нагрузок.

На основании полученных результатов эксперимента, теоретически проанализирована конструкция наиболее часто применяемых пролетных строений пешеходных мостов, длиной 24 м, с определением минимально-допустимой строительной высоты при учете нормативных значений таких показателей, как: максимальная деформация и период собственных колебаний системы.

Результаты проведенного анализа показаны на рис. 12.

Как видно из рис. 12, минимальная строительная высота конструкции составила 1,05 м.

### Научная новизна и практическая значимость

Получили дальнейшее развитие принципы и критерии, предопределяющие рациональную топологию пролетного строения пешеходного моста, в виде пространственной стержневой системы с железобетонной плитой верхнего пояса (настил) и усовершенствовано формиро-

вание набора и последовательности процедур для конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов, включая учет нелинейности деформирования конструкционных материалов, которые позволили увеличить долю ресурса конструктива, идущего на восприятие полезной нагрузки.

Создана методика проектирования сталежелезобетонных пролетных строений пешеходных мостов, технико-экономические показатели которых отличаются высокой конкурентоспособностью.

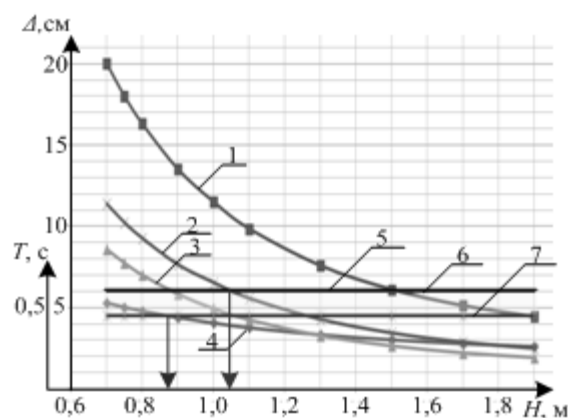


Рис. 12. Залежність періоду власних коливань від будівельної висоти конструкції:

- 1 – деформації від власного ваги і тимчасової навантаження 5,6 кПа; 2 – деформації від тимчасової навантаження 5,6 кПа; 3 – деформації від власного ваги; 4 – період власних коливань; 5 – максимально допустимі деформації; 6 – верхній межу періоду власних коливань; 7 – нижній межу періоду власних коливань

### Выводы

Эксплуатация прямых методов проектирования обеспечивает успешное решение двух основных задач современной теории конструкций (на примере пролетного строения моста):

- получение конструкций с минимальным расходом материалов при заданной несущей способности;
- максимизация несущей способности конструктива при заданном расходе материалов.

Приведенные результаты теоретических и экспериментальных динамических исследований отдельного модуля пролетного строения



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

пешеходного моста свидетельствуют о том, что:

– ожесточение структуры, путем включения железобетонной плиты в совместную работу с верхним поясом, приводит к увеличению жесткости системы, с одной стороны, и значительному увеличению массы, с другой стороны. В свою очередь, рост общей массы конструкции влечет за собой падение частоты собственных колебаний. При этом следует отметить, что увеличение частоты может быть достигнуто за счет устройства предлагаемой нами эффективной железобетонной плиты облегченного типа с захороняемыми внутри вкладышами-пустотообразователями из какого-либо легкого, недорогого материала (например, пенополистирола, пенополиуретана и др.);

– сопоставление динамических характеристик пролетного строения пешеходного моста, полученных экспериментально, с соответствующими теоретическими значениями, определенными на базе построенной модели из конечных элементов стрессной обобщенной оболочки нулевой гауссовой кривизны, также, как и в случае статического нагружения, характеризует расчетную модель как достаточно корректную (разброс теоретических и экспериментальных значений изучаемых параметров не превышал 13...16 %).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Банах, В. А. Моделирование работы строительных конструкций эксплуатируемых зданий при передаче динамических воздействий через грунтовый массив [Текст] / В. А. Банах // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2011. – Вип. 39. – С. 18–22.
2. Васильков, Г. В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма [Текст] / Г. В. Васильков. – Ростов-на-Дону : Инфосервис, 2003.
3. Ефимов, П. П. Проектирование мостов [Текст] / П. П. Ефимов. – Омск : ООО«Дантея», 2006. – 111 с.
4. Кожушко, В. П. Применение профнастила при реконструкции и ремонте малых мостов [Текст] / В. П. Кожушко, С. Н. Краснов, Е. С. Краснова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2011. – Вип. 39. – С. 83-86.
5. Мости: Конструкції та надійність : підручник / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, А. І. Лантух-Лященко та ін. ; за ред. В. В. Панасюка і Й. Й. Лучка. – Львів : Каменяр, 2005. – 989 с.
6. Пат. 82094 Україна, МПК Е 04D 3/24. Металобетонне просторове перекриття [Текст] / Шмуклер В. С., Краснов С. М., Краснова К. С., Карякін І. А. ; заявник і патентовласник Шмуклер В. С. – № u201214441; заява 17.12.12; опубл. 25.07.13, Бюл. № 14.
7. Семко, О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталевих залізобетонних конструкцій [Текст] / О. В. Семко – Полтава, 2004. – 309 с.
8. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Чинні від 2009-11-11. – Київ : Мін регіон буд. України, 2009. – 73 с.
9. Стороженко, Л. І. Створення нових типів сталевих залізобетонних конструкцій [Текст] // Сталеві залізобетонні конструкції : зб. наук. статей. – Кривий Ріг, 2011. – Вип. 9. – С. 175-180.
10. Шмуклер, В. С. Каркасные системы облегченного типа [Текст] / В. С. Шмуклер, Ю. А. Климов, Н. П. Буряк. – Харьков : Золотые страницы, 2008. – 336 с. – ISBN 978-966-400-117-2.
11. Шмуклер, В. С. Экспериментальные исследования пролетного строения пешеходного моста нового типа [Текст] / В. С. Шмуклер, Е. С. Краснова, С. Н. Краснов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков : 2012. – Вип. 58. – С. 70-77.
12. Chris, P. Lightweight Concrete Precast Bridge Deck Panels Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars [Text] / Chris P. Pantelides, Ruifen Liu, Lawrence D. Reaveley // ACI Structural journal. – USA, American Concrete Institute, November-December 2012. – P. 879-888.
13. De Silva, S. Vibration characteristics of concrete-steel composite floor structures [Text] // ACI Structural Journal [De Silva, S., Thambiratham, D.P ] – USA, November-December 2011. – Vol. 108, No. 6.
14. Edalatmanesh, R. Behavior of externally restrained non-composite concrete bridge deck panels [Text] / Edalatmanesh, R., Newhook, J. P. // USA, ACI Structural Journal / March-April 2012/ Vol. 109, No. 2.
15. Shmukler, V. S. Rationalization Criteria of Structure's Parameters [Text] / V. S. Shmukler, Feirusha S. H. Kakshar, Beregna K.V. Ismail Vassim // Zanco Journal for Pure and Applied Sci-



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- ences, No.6, Volume 22. – Salahaddin University – Hawler, Iraqī Kurdistan Region, 2010. – P. 56-64.
16. Shmukler, V. The forming of an efficient construction of a pedestrian bridge [Text] / V. Shmukler, A. Kislov, E. Krasnova, E. Petrova // Proceedings of the 15th Conference for Lithuania Junior Researchers science – future of lithufnia. – Vilnius, Lithuania, 2012. – P. 250-254.
17. Young Hoon Kim. Bond Performance in Self – Consolidating Concrete Pretensioned Bridge Girders [Text] / Young Hoon Kim, David Trejo, Mary Beth D.Hueste. // ACI Structural journal. – USA, American Concrete Institute, November-December 2012. – P. 755-765.

В. С. ШМУКЛЕР<sup>1</sup>, С. М. КРАСНОВ<sup>2</sup>, К. С. КРАСНОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Каф. «Будівельні конструкції», Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, вул. Революції, 12, Харків, Україна, 61002

<sup>2</sup> Каф. «Мости, конструкції та будівельна механіка», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, Харків, Україна, 61002, тел./факс. +38 (057) 707 37 22, ел. пошта Katrine9010@mail.ru

<sup>3\*</sup> Каф. «Мости, конструкції та будівельна механіка», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, Харків, Україна, 61002, тел./факс. +38 (057) 707 37 22, ел. пошта Katrine9010@mail.ru

## ФОРМУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ І ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ ПІШОХІДНИХ МОСТІВ НОВОГО ТИПУ

**Мета.** Підвищення надійності несучої здатності при динамічному впливі конструкцій сталезалізобетонних прольотних будов пішохідних мостів нового типу, створених на основі експлуатації та розвитку методів раціоналізації і управління їх параметрами. **Методика.** Для досягнення поставленої мети створені нові конструктивні системи прольотних будов пішохідних мостів, побудовані теоретичні моделі, що імітують напружено-деформований стан прольотної будови мосту з урахуванням специфіки динамічних впливів та проведені експериментально-теоретичні дослідження запропонованої конструкції. **Результати.** Аналіз проведених досліджень свідчить про те, що період власних коливань структури не попадає в заборонений для пішохідних мостів діапазон 0,45...0,6; і, як наслідок, несуча здатність розглянутої системи достатня для сприйняття розрахункових навантажень. **Наукова новизна.** Здобули подальшого розвитку принципи і критерії, які зумовлюють раціональну топологію прольотної будови пішохідного мосту, у вигляді просторової стрижневої системи із залізобетонною плитою верхнього поясу (настил) та вдосконалено формування набору і послідовності процедур для скінченно-елементного моделювання напружено-деформованого стану сталезалізобетонних прольотних будов пішохідних мостів, включаючи облік нелінійності деформування конструкційних матеріалів, які дозволили підвищити частку ресурсу конструктиву, що йде на сприйняття корисного навантаження. **Практична значимість.** Створена методика проектування сталезалізобетонних прольотних будов пішохідних мостів, техніко-економічні показники яких відрізняються високою конкурентоспроможністю.

*Ключевые слова:* пішохідний міст; прогонова будова; частота власних коливань; випробування; напружено-деформований стан

V. S. SHMUKLER<sup>1</sup>, S. N. KRASNOV<sup>2</sup>, E. S. KRASNOVA<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Building constructions, Kharkiv National University of Municipal name O.N. Beketova, str. Revolution, 12 61002 Kharkiv, Ukraine<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Department of Bridge, constructions and building mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Petrovskogo str., Kharkov, Ukraine, 61002, tel./fax . +38 (057) 707 37 22, e-mail Katrine9010@mail.ru

<sup>3\*</sup> Department of Bridge, constructions and building mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Petrovskogo str., Kharkov, Ukraine, 61002, tel./fax . +38 (057) 707 37 22, e-mail Katrine9010@mail.ru

## FORMATION OF DESIGN SOLUTIONS AND DYNAMIC TESTING SPANS PEDESTRIAN BRIDGE NEW TYPE

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

---

**Purpose.** To improving the reliability of the bearing capacity of structures under dynamic loading steel- reinforced concrete bridge spans a new type of pedestrian bridges that are based on the operation and development of methods to streamline and control their parameters. **Methodology.** To achieve the research was used new design of pedestrian bridges span structures, theoretical models that simulate the stress-strain state of the bridge span specific dynamic effects and conducted experimental and theoretical studies of the proposed design. **Findings.** Analysis of the studies suggests that the natural period of oscillation structure misses the Forbidden for pedestrian bridges range 0,45...0,6, and as a result, load-bearing capacity of the system is sufficient for the perception of the design loads. **Originality.** Further developed principles and criteria that predict rational topology span pedestrian bridge in the form of spatial rod system with a reinforced concrete slab of the upper belt (flooring) and enhanced the formation of a set of sequences and procedures for finite element modeling of the stress -strain state of composite superstructures pedestrian bridges , including accounting for nonlinearity of deformation of structural materials , which have increased the share of resource constructive going on perception payload. **Practical value.** The technique of designing composite superstructures pedestrian bridges, technical and economic indicators which are highly competitive.

*Keywords:* pedestrian bridge; span; frequency of natural oscillations; testing; stress-strain state

*Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. С. Л. Фоминым (Україна), д.т.н., проф. Д. О. Банниковим.*

Надійшла до редколегії 28.06.2014.

Прийнята до друку 02.07.2014.