

## МОСТЫ

УДК 624.21

## РАБОТА ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ШИРОКОГО ГОРОДСКОГО МОСТА

**В.П. Кожушко, проф., д.т.н., С.Н. Краснов, ст. преп., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Приведены результаты испытания пролетного строения широкого городского моста. Рассмотрен вопрос о распределительной способности железобетонного разрезного пролетного строения городского моста, выполненного из типовых балок с максимальными расстояниями между ними. Показано, что грузоподъемность пролетного строения недостаточна для пропуска некоторых современных нормативных временных нагрузок.

*Ключевые слова:* городской мост, балки типового проекта, испытания пролетного строения моста, пространственный метод расчета.

## РОБОТА ПРОЛЕТНОЇ БУДОВИ ШИРОКОГО МІСЬКОГО МОСТУ

**В.П. Кожушко, проф., д.т.н., С.М. Краснов, ст. викл., к.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Надані результати випробування пролётної будови широкого міського мосту. Розглянуто питання про розподільну здатність залізобетонної розрізної пролётної будови міського мосту, виконаного з типових балок з максимальними відстанями між ними. Показано, що вантажопідйомність пролётної будови недостатня для пропуску сучасних нормативних навантажень.

*Ключові слова:* міський міст, балки типового проекту, випробування пролётної будови мосту, просторовий метод розрахунку.

## WORK OF THE SPAN STRUCTURE OF A WIDE CITY BRIDGE

**V. Kozhushko, Prof., D. Sc. (Eng.), S. Krasnov, Sr. Lecturer, Ph. D. (Eng.),  
Kharkov National Automobile and Highway University**

*Abstract.* The results of testing the span of a wide city bridge are given. The question of distributive capacity of the reinforced concrete split span structure of the city bridge made of standard girder with maximum distances between them is considered. It is shown that the carrying capacity of the span structure is insufficient to skip some modern standard temporary loads.

*Key words:* city bridge, standard project beam, bridge span test, spatial method of calculation.

## Введение

В настоящее время на дорогах общего пользования Украины эксплуатируется 93 % каменных и железобетонных мостовых сооружений, 6 % – металлических и 1 % – деревянных. Железобетонные мосты делятся на монолитные (около 30 %), сборно-моно-

литные (5 %) и сборные (65 %). В свою очередь сборные железобетонные мосты делятся на плитные, коробчатые и ребристые. Более 43 % железобетонных мостов выполнены из ребристых пролетных строений. Наибольшее применение получили пролетные строения из сборных предварительно напряженных железобетонных балок, выполненных по ти-

повым проектам. Из них примерно 40 % относится к ребристым пролетным строениям, объединенным в совместную работу при помощи диафрагм, а более 60 % – объединенных по плите [1].

Значительное количество мостовых сооружений на дорогах и в городах Украины построены по нормам 1962 г. [2] и на текущий момент не отвечают современным нормативным требованиям [3, 4] как по грузоподъемности, так и по габаритам проезжей части. В связи с этим при эксплуатации искусственных сооружений становится актуальным вопрос расчета основных конструктивных элементов сооружения на современные «нормативные» и реально обращающиеся нагрузки, для чего должны быть использованы современные методы пространственного расчета и программные комплексы.

#### Анализ публикаций

Методам пространственного распределения временной нагрузки между основными элементами (плитой и главными балками) ребристых бездиафрагменных пролетных строений посвящено много работ [7–17]. Значительное количество авторов [7–10, 13] решают вопрос распределения временной нагрузки в поперечном направлении только для ограниченного количества балок (в основном только для семи). Для широких мостов возможно применение методов, предложенных авторами [12, 15, 16]. При этом особый интерес представляет экспериментальное подтверждение рассмотренных методик расчета пролетных строений мостов.

#### Цель и постановка задачи

Целью работы является анализ методов пространственного распределения усилий от временной нагрузки с целью обоснования применимости того или иного метода для расчета широких бездиафрагменных пролет-

ных строений. С этой целью проведено сравнение результатов теоретических расчетов (с использованием различных методов расчета) и экспериментальных данных.

#### Испытание пролетного строения

Обследованию и испытанию был подвержен мост через р. Псел в г. Сумах, имеющий железобетонные, предварительно напряженные пролетные строения, объединенные по плите проезжей части. Пролетные строения выполнены в соответствии с типовым проектом №384/46. Мост построен в 1981 г.

Характеристика моста:

- мост – трехпролетный, балочный, разрезной, выполнен из сборных железобетонных элементов пролетных строений и сборномонолитных опор;
- схема моста –  $3 \times 21,0$  м по балкам пролетных строений;
- габарит –  $2 \times 12,0$  м;
- коробка коммуникации –  $1,55 + 1,7$  м;
- тротуары –  $2 \times 4,3$  м;
- общая длина моста по наружным граням шкафных стенок – 63,87 м;
- проектные нагрузки – Н-30, НК-80 согласно нормам [2].

В связи с однотипностью элементов пролетных строений, для определения фактической несущей способности моста был принят пролет №2 [6]. В качестве испытательной нагрузки использовались три автомобиля КрАЗ-256Б, два автомобиля КамАЗ-5511 и один автомобиль МАЗ-6501С5. Общая масса автомобилей и распределение нагрузки по осям приведены в табл. 1. Вертикальные перемещения (прогибы) балок в середине пролета измерялись при помощи прогибомеров системы Максимова марки ПМ-1. Для замеров прогибов было установлено 8 прогибомеров в середине пролета под каждой нечетной балкой.

Таблица 1 Масса автомобилей и ее распределение по осям

№ автом.	Общая масса	Распределение по осям	
		Передняя ось (т)	Задняя ось (т)
1	23,2 (МАЗ)	5,40	$2 \times 8,90$
2	19,09 (КамАЗ)	4,43	$2 \times 7,33$
3	21,6 (КрАЗ)	4,20	$2 \times 8,70$
4	22,2 (КрАЗ)	4,3	$2 \times 8,95$
5	21,69 (КрАЗ)	4,21	$2 \times 8,74$
6	21,69 (КамАЗ)	5,03	$2 \times 8,33$

Схема установки приборов приведена на рис. 1. Загружение испытательной нагрузкой осуществлялось по двум схемам:

1-я схема – шесть автомобилей были установлены в середине пролета на трех полосах движения (на половине ширины проезжей части). Автомобили устанавливались попарно задними бортами друг к другу (рис. 2);

2-я схема – шесть автомобилей были установлены в середине пролета по всей ширине моста (на каждой полосе движения, рис. 3). Результаты показаний прогибомеров приведены в табл. 2.

Результаты обработки данных испытаний приведены в табл. 3.

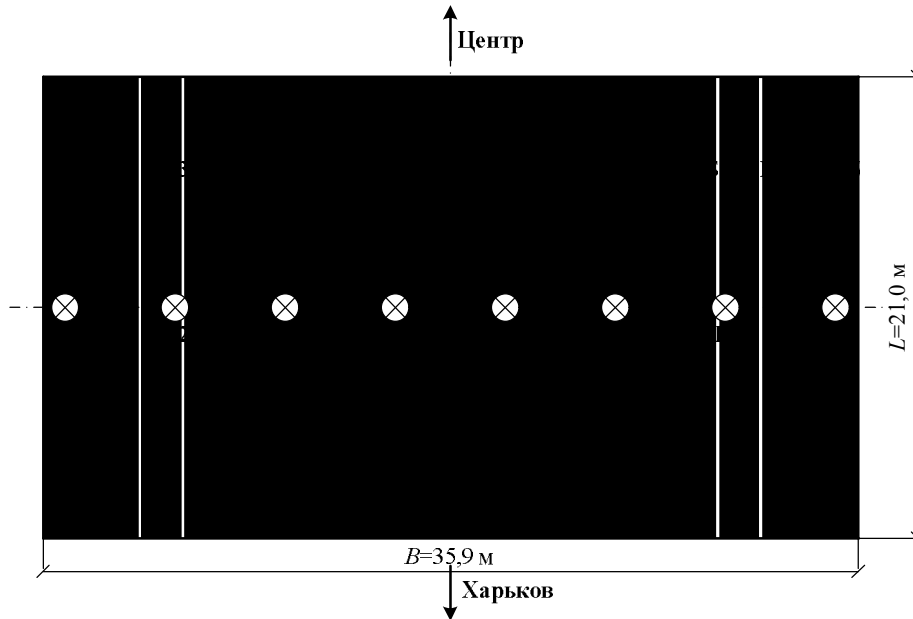


Рис. 1. Схема установки прогибомеров

Таблица 2 Результаты показаний прогибомеров ПМ

Балка	Прибор	Угол наклона проволоки	Показания прогибомеров			
			без нагрузки	под нагрузкой		без нагрузки
				Сх. 1	Сх. 2	
1	1	0	3550	3545	3540	3550
3	2	4,1	5705	5700	5840	5710
5	3	3,5	1935	1940	2370	1945
7	4	3,5	2040	2210	2520	2050
9	5	3,9	3255	3860	3680	3280
11	6	2,2	2410	3120	2820	2440
13	7	12	1970	2240	2130	1980
15	8	13,5	1620	1560	1565	1660



Рис. 2. Установка испытательной нагрузки по схеме 1



Рис. 3. Установка испытательной нагрузки по схеме 2

Таблица 3 Результаты обработки данных испытаний

№ балки	№ прибора	Прогиб, см		Угол наклона проволоки $\alpha$	Упругий прогиб с учетом угла наклона $\alpha$	Остаточная деформация	Остаточная деформация с учетом $\alpha$
		полный	упругий				
Схема 1							
1	1	-0,005	-0,005	0	-0,005	0,000	0,000
3	2	-0,005	-0,010	4,1	-0,010	0,005	0,005
5	3	0,005	-0,005	3,5	-0,005	0,010	0,010
7	4	0,170	0,160	3,5	0,160	0,010	0,010
9	5	0,605	0,580	3,9	0,580	0,025	0,025
11	6	0,710	0,680	2,2	0,680	0,030	0,030
13	7	0,270	0,260	12	0,260	0,010	0,010
15	8	-0,060	-0,100	13,5	-0,100	0,040	0,040
Схема 2							
1	1	-0,010	-0,010	0	-0,010	0,000	0,000
3	2	0,135	0,130	4,1	0,130	0,005	0,005
5	3	0,435	0,425	3,5	0,425	0,010	0,010
7	4	0,480	0,470	3,5	0,470	0,010	0,010
9	5	0,425	0,400	3,9	0,400	0,025	0,025
11	6	0,410	0,380	2,2	0,380	0,030	0,030
13	7	0,160	0,150	12	0,150	0,010	0,010
15	8	-0,055	-0,095	13,5	-0,095	0,040	0,040

Для выбора теоретического метода расчета пролетного строения моста были рассмотрены:

- 1) энергетический метод профессора Н.П. Лукина [12];
- 2) метод профессора В.П. Кожушко [15, 16];
- 3) метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ПК «Лира» [17].

Армирование главных балок пролетного строения длиной 21 м выполнено семью пучками из высокопрочной проволоки диаметром 5 мм, по 24 проволоки в пучке (рис. 4).

Для подсчета геометрических характеристик было рассмотрено приведенное поперечное сечение балки (рис. 5).

Для реализации рассмотренных методов расчета использовались одинаковые геометрические характеристики:

- расчетный пролет  $l_p=2040$  см;
- свес консоли плиты крайней балки  $d_1=105$  см;
- расстояние между главными балками в поперечном направлении пролетного строения  $d_2=248$  см;
- количество балок в поперечном сечении  $n=15$ ;
- приведенный момент инерции поперечного сечения балки относительно горизонтальной оси, проходящей через ее центр тяжести,  $J_{пр}=11435959$  см<sup>4</sup>;
- момент инерции поперечного сечения приведенного сечения балки при кручении  $J_{кр}=708074$  см<sup>4</sup>;

- момент инерции поперечного сечения плиты толщиной 15 см и шириной 1 м  $J_{пл}=28125 \text{ см}^4$ ;
- коэффициент Пуассона бетона  $\nu=0,2$ ;
- модуль упругости бетона  $E_b=362000 \text{ кг/см}^2$  ( $E_b=36200 \text{ МПа}$ );
- коэффициент  $\alpha$

$$\alpha = 12,8 \frac{E_b \cdot J_{пл}}{E_b \cdot J_{пл}} \cdot \frac{d^3}{l^4} =$$

$$= 12,8 \frac{3,62 \cdot 11435959}{3,62 \cdot 28125} \cdot \frac{2,48^3}{20,4^4} = 0,458;$$

- соотношение свеса консоли плиты и расстояния между осями балок:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{105}{248} = 0,423.$$

После загрузки построенных линий влияний усилий, передаваемых на главные балки, испытательными нагрузками были получены теоретические значения прогибов балок в середине пролета.

Анализ результатов экспериментальных и теоретических и экспериментальных данных (рис. 6, 7) позволяет сделать вывод о том, что наибольшая их сходимость получена при использовании метода профессора В.П. Кожушко и метода конечных элементов ПК «Лира».

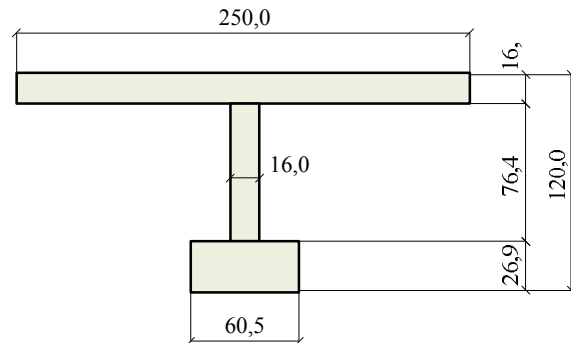
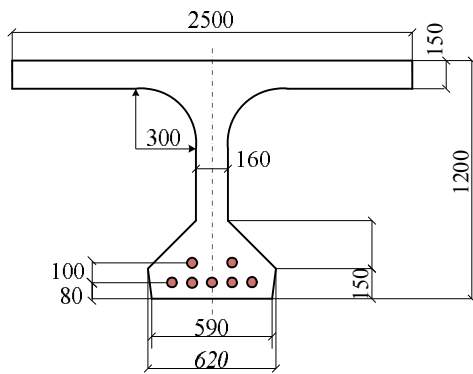


Рис. 4. Фактическое поперечное сечение балки

Рис. 5. Приведенное поперечное сечение балки

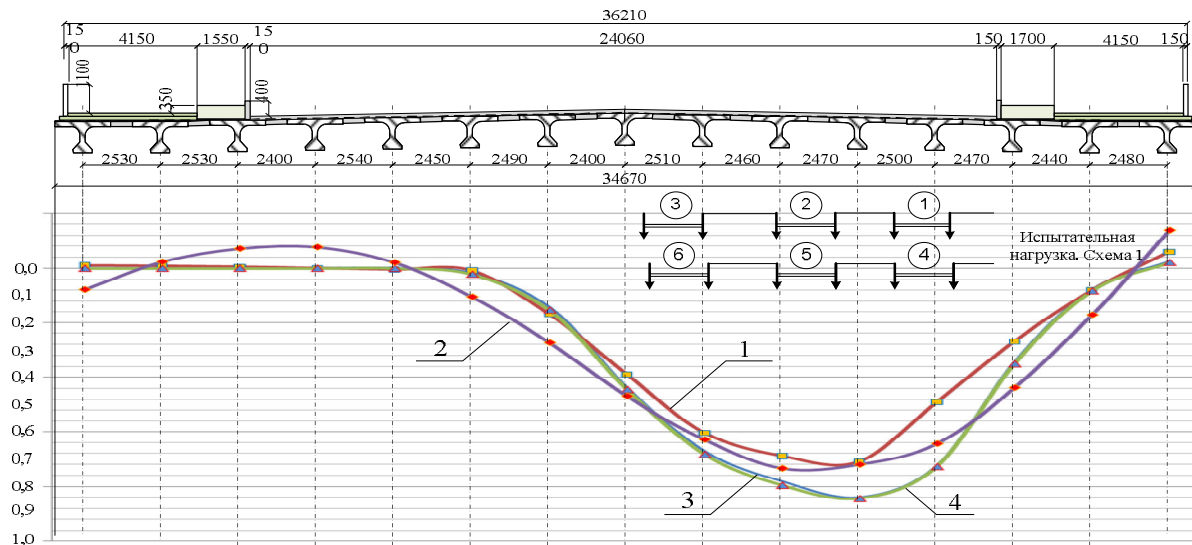


Рис. 6. Прогибы главных балок в середине пролета от испытательной нагрузки по схеме 1: 1 – экспериментальный прогиб; 2 – теоретический прогиб по методу профессора Н.П. Лукина; 3 – теоретический прогиб по методу профессора В.П. Кожушко; 4 – теоретический прогиб, полученный при использовании ПК «ЛИРА»

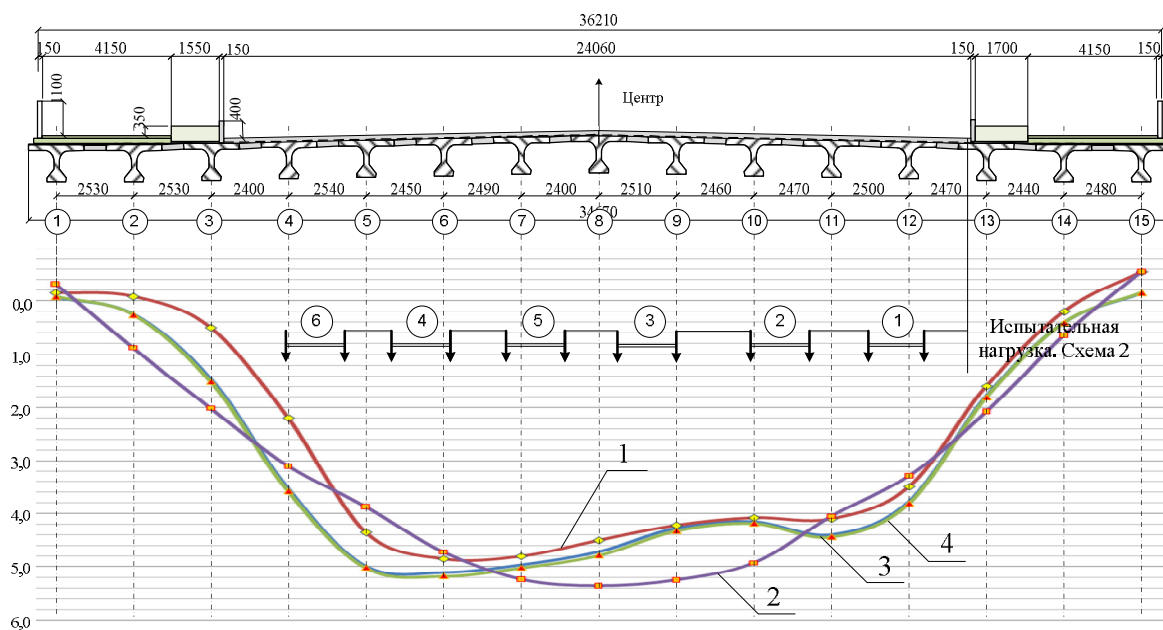


Рис. 7. Прогибы главных балок в середине пролета от испытательной нагрузки по схеме 2: 1 – экспериментальный прогиб; 2 – теоретический прогиб по методу профессора Н.П. Лукина; 3 – теоретический прогиб по методу профессора В.П. Кожушко; 4 – теоретический прогиб, полученный при использовании ПК «ЛПА»

Однако для определения грузоподъемности пролетных строений моста рационально использование метода профессора В.П. Кожушко, как менее трудоемкого по сравнению с расчетами ПК «Лира».

Суммарные значения изгибающих моментов в середине пролета от постоянных и временных нагрузок, а также значение предельного изгибающего момента главных балок приве-

дены в табл. 4. Анализ результатов расчета пролетных строений свидетельствуют о том, что грузоподъемность пролетного строения достаточна для движения по мосту шести колонн нагрузки Н-30, одиночной нагрузки НК-80, четырех колонн нагрузки А11 и автомобилей типа КраЗ с интервалом 4 м. Движение по мосту нагрузок НК-100 и А15 запрещается.

Таблица 4 Максимальные значения изгибающих моментов в середине пролета главных балок, кН·м

Н-30 +толпа +пост	НК-80 +пост	А 11 +толпа +пост	А 15 +толпа +пост	НК-100 пост	КраЗ +толпа +пост	Испытательная		Несущая способность $M_{пред}$
						Сх 1	Сх 2	
3401,1	3152,6	4094,4	4908,1	3476,6	3737,7	2899,5	2535,5	3424,6

Следует обратить внимание на тот факт, что при увеличении расстояния между главными балками до максимально предусмотренного типовым проектом (250 см) снижается количество балок участвующих в восприятии нагрузки и увеличивается доля нагрузки, приходящаяся на одну балку.

### Выводы

Для обеспечения пропуска современных нормативных нагрузок по пролетным строе-

ниям строящихся мостов, не меняя при этом конструкции сборных (заводских) элементов балок, необходимо:

- 1) принимать минимально допустимые расстояния между главными балками пролетных строений;
- 2) одновременно следует предусмотреть увеличение жесткости конструкции в поперечном направлении путем увеличения толщины плиты проезжей части.

## Литература

1. Експлуатація і реконструкція мостів / Н.Є. Страхова, В.О. Голубев, П.М. Ковальов та ін.; за ред. А.І. Лантуха-Ляценка. – 2-е вид., випр. – К.: Транспортна академія України, 2002. – 408 с.
2. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб: СН 200-62. – Действующие с 1 апреля 1962 г. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 328 с. – (Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства).
3. Строительные нормы и правила. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – Дата введения 1986-01-01. – М.: Госстрой, 1986. – 284 с. – (Государственный комитет СССР по делам строительства).
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3 – 22:2009. – Чинний від 2009-11-11. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2 – 15:2009. – Чинний від 2009-11-11. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 66 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування: ДБН В.2.3 – 6:2009. – Чинний від 2009-11-11. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 63 с. – (Державні будівельні норми України).
7. Улицкий Б.Е. Пространственные расчеты балочных мостов / Б.Е. Улицкий. – М.: Автотрансиздат, 1962. – 180 с.
8. Поливанов Н.И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов: учебное пособие для вузов / Н.И. Поливанов. – М.: Транспорт, 1970. – 516 с.
9. Российский В.А. Примеры проектирования сборных железобетонных мостов: учебное пособие / В.А. Российский, Б.П. Назаренко, Н.А. Словинский; под ред. В.А. Российского. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1970. – 520 с.
10. Назаренко Б.П. Железобетонные мосты: учебник для вузов / Б.П. Назаренко. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высш. шк. 1970. – 432 с.
11. Семенец Л.В. Пространственные расчеты плитных мостов: учеб. пособие для вузов по специальностям «Автомоб. дороги», «Мосты и тоннели» / Л.В. Семенец; под общ. ред. проф. В.А. Российского. – К.: Вища шк., 1976. – 162 с.
12. Лукин Н.П. Пространственный расчет бездиафрагменных мостов энергетическим способом / Н.П. Лукин // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 1968. – Вып. 6. – С. 112–123.
13. Лившиц Я.Д. Примеры расчета железобетонных мостов: учебное пособие для вузов / Я.Д. Лившиц, М.М. Онищенко, А.А. Шкуратовский. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 263 с.
14. Гибшман М.Е. Проектирование транспортных сооружений: учебник для вузов / М.Е. Гибшман, В.И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 478 с.
15. Кожушко В.П. Работа некоторых широких пролетных строений из типовых железобетонных элементов/ В.П. Кожушко, А.В. Бильченко, С.Н. Краснов и др. // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 54. – С. 142–152.
16. Кожушко В.П. Расчет пролетных строений автодорожных мостов с применением программы на ПЭВМ / В.П. Кожушко, И.Н. Лысяков // Науковий вісник будівництва. – 2016. – Вип. 2(84). – С. 223–226.
17. Лантух-Лященко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: учебное пособие / А.И. Лантух-Лященко. – К.-М.: Факт, 2001. – 312 с.
18. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: ДСТУ – Н Б В.2.3-23:2012. – Чинний від 2013-12-01. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 45 с. – (Національний стандарт України).

Рецензент: А.Г. Кислов, профессор, к.т.н., ХНАДУ.