

DOI: 10.15593/24111678/2017.03.04

УДК 624.011.78

**Е.В. Законова, В.И. Клевико**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **СПОСОБ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ**

В связи с наблюдающейся тенденцией роста числа и плотности городского населения все острее становится проблема обеспечения безопасности движения пешеходов. Для этого необходимо возводить новые пешеходные переходы и модернизировать существующие современными методами, которые ускоряют процесс строительства, при этом не снижают несущую и прочностные характеристики пешеходных мостов. Снизить время строительства можно путем уменьшения веса конструкций, выполнив последние из современных легких и прочных материалов, например композитов. Целью исследовательской работы, промежуточные результаты которой представлены в данной статье, является спроектировать пешеходный переход из стеклопластика, отвечающий как требованиям нормативно-технической литературы, так и условиям г. Перми. Для этого уже были решены некоторые задачи. Изначально проведен патентный поиск изобретений и полезных моделей, чтобы отследить тенденцию деятельности в рассматриваемой области. Одновременно проводился поиск технической литературы, научных публикаций, книг, пособий, чтобы сформировать необходимую расчетную базу. Далее был выбран тип пролетного строения и определены его основные габариты по требованиям нормативно-технической литературы. Затем проводился предварительный расчет экспериментальной стеклопластиковой фермы с подбором необходимых жесткостей стеклопластиковых элементов и их проверка по основным условиям надежности. Результат показал классическое распределение усилий между элементами выбранной конструкции пролетного строения. Кроме того, оказалось, что на выбор параметров сечений больше всего повлияли расчеты на прогиб и гибкость. Для наглядности был рассчитан аналог пролетного строения из стальных элементов и подсчитан вес обеих конструкций. В результате оказалось, что вес стеклопластикового пролетного строения почти в 2 раза легче своего аналога из стали. На следующем этапе планируется провести расчет конструкций ферм различного строения, габаритов с подборкой оптимальной конструкции.

**Ключевые слова:** безопасность движения, пешеходный переход, стеклопластиковая ферма, композитные материалы.

**E.V. Zakonova, V.I. Kleviko**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **METHOD OF MODERNIZATION THE DESIGN OF PEDESTRIAN BRIDGES**

The problem of ensuring of the pedestrian traffic safety is assuming growing urgency in connection with the growing trend of the number and density of the urban population. This requires to build pedestrian crossings and modernize the existing ones by modern methods which accelerate process of building while load-bearing and strength characteristics of pedestrian crossings don't decrease. The time of building can be reduced by weight reduction of constructions made of light-weight and strong modern materials such as composites. The intermediate results of the research work are presented in this article. The aim of the research work is to design a fiberglass pedestrian crossing which

meet requirements of standard technical documents and conditions of Perm. Some tasks have been already accomplished for this purpose. Initially a patent search of inventions and utility models have been conducted to track the trend of activity in that field. At the same time, technical literature, scientific publications, books and manuals were being searched to develop the necessary calculation base. Then the type of the span structure has been chosen and its basic dimensions have been determined on the basis of standard technical documents. After that the preliminary calculation of the experimental fiberglass truss with the selection of the necessary stiffnesses of the glass-fiber plastic elements and their verification according to the basic terms of reliability were conducted. The result showed the classical distribution of effort between elements of the chosen span structure. Additionally, it turned out that bending and flexibility calculations have been mostly influenced the choice of sections parameters. The analog of span structure which made of steel elements and the weight of both constructions have been calculated for clarity. As a result, the weight of fiberglass span structure is almost two times lighter than its steel analog. It is planned to calculate constructions of different trusses and dimensions with selection of the optimal construction in the next phase.

**Keywords:** traffic safety, pedestrian crossing, fiberglass farm, composite materials.

## Введение

В связи с наблюдающейся тенденцией роста числа и плотности городского населения все острее становится проблема обеспечения безопасности движения пешеходов. Наиболее рациональным способом решения является строительство надземных пешеходных переходов. Количество и качество пешеходных переходов г. Перми на данный момент не обеспечивают надлежащую безопасность, о чем свидетельствует число аварий с участием пешеходов [1–4].

При замене или новом строительстве пешеходных мостов необходимо прибегать к перекрытию дорог. В черте города к такому роду вмешательства движение транспорта очень чувствительно. Даже частичное перекрытие интенсивного транспортного потока в конечном итоге приводит к парализации движения, что вызывает большой дискомфорт для жителей. В связи с этим необходимо стремиться путем усовершенствования методов возведения, а также конструкций возводимых сооружений сводить к минимуму конфликтное время. Осуществить это можно путем уменьшения веса посредством применения современных легких, но прочных материалов.

Не так давно внедрившиеся в строительство полимерные композитные материалы (ПКМ) сегодня считаются инновационными.

## 1. Технические характеристики ПКМ

Структура ПКМ напоминает древесную. Она представляет собой композитные нити из стекло-, базальто-, углепластика, омоноличенные полиэфирными, эпоксидными или винилэфирными смолами [5–8].

Именно эти волокна придают полимерным композитным материалам высокие прочностные характеристики, ценящиеся в строительстве (табл. 1). Проводимые опыты [5, 6] показывают, что волокна толщиной 4–5 мкм превосходят по прочности на растяжение-сжатие распространенные стали в 3–4 раза, при этом объемный вес ПКМ составляет  $\frac{1}{4}$  от объемного веса стали (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики волокон композитов

Волокно	Разрывная прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Диаметр волокна, мкм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Углеродное волокно	2500–2800	160–200	7,5–8,5	1730–1750
Стекловолокно	2500–2800	72–80	17	2560

Таблица 2

Физико-механические характеристики композитных материалов

Материал	Содержание волокна, % об.	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, не менее, МПа	Модуль упругости при растяжении, не менее, ГПа	Предел прочности при сжатии, не менее, МПа	Модуль упругости при сжатии, не менее, ГПа	Предел прочности при сдвиге, не менее, МПа
Углепластик	60	1560	1200	105	700	95	60
Стеклопластик	60	2050	1200	48	500	45	60

Исследования также выявили [5–7], что данный материал по сравнению со сталью менее чувствителен к отрицательным температурам (рис. 1, в), следовательно, может свободно использоваться в суровых зимних условиях Урала. Не так значительно снижение прочности полимеров от действия циклических нагрузок (рис. 1, б). Кроме этого, ПКМ обладает низкой тепло- и электропроводностью, абсолютно коррозионно-стойк.

С учетом перечисленных характеристик заявленный расчетный срок безремонтной эксплуатации ПКМ мостов равен 80–100 годам [5–7].

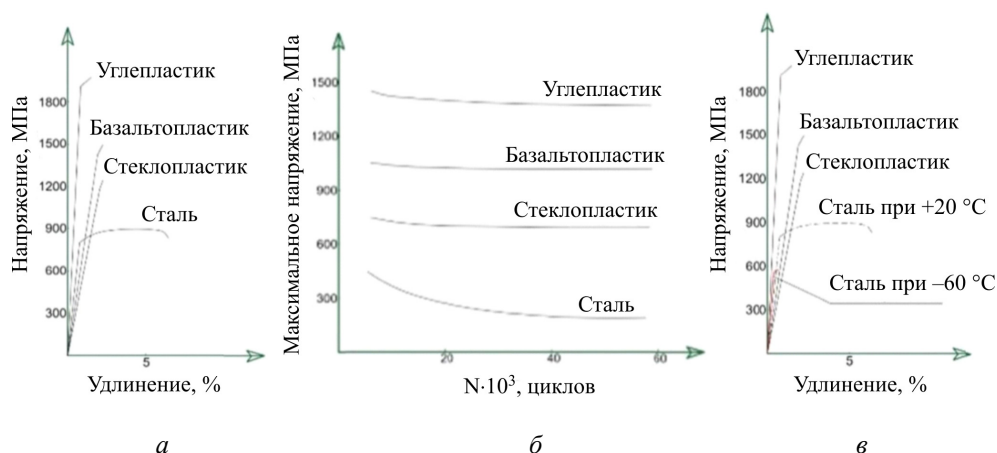


Рис. 1. Диаграмма: *а* – деформации некоторых композитных материалов и стали; *б* – изменения прочности композитов и стали при циклических нагрузках; *в* – деформирования композитных материалов и стали при  $T = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Однако, к сожалению, этот материал обладает недостатками, которые следует принять во внимание: прочность поперек волокон значительно ниже, чем вдоль; хрупкость; чувствительность к ультрафиолетовому излучению [5–8].

## 2. Опыт внедрения композитов в транспортном строительстве

Опыт применения ПКМ в мостостроительстве насчитывает около 40 лет. За это время было построено около 400 мостов, преимущественно пешеходных. Первоначально использовалась сверхпрочная ПКМ-арматура [7–9], которая вводилась в наиболее растянутые участки железобетонных элементов. Далее композитами начали усиливать несущие элементы конструкций при реконструкции: стекло- или углепластиковые ленты и бандажи при помощи эпоксидных клеев прикреплялись к балкам, опорам, стойкам в местах действия значительных напряжений [7–9].

В постоянную практику вошло применение композитных вспомогательных элементов: пандусов, перил, наездов [8]. Часто проектируются гибридные по материалу мосты, в конструкции которых входят некоторые несущие элементы из композитов.

Дальнейшая разработка новых способов производства ПКМ-деталей открывает новые возможности. Перспективными сегодня явля-

ются композитные мостовые настилы. Их производят в виде много-ячеистой либо коробчатой конструкции методами пултрузии (протяжка пропитанных смолами композитных волокон через формы) или намотки (непрерывный армирующий материал, пропитанный смолой, наматывается вокруг барабана необходимой формы) [7–10] либо изготавливают в виде сэндвич-панелей методом инфузии (формирование деталей путем пропитки смолами под вакуумом армирующей матрицы) [5–10].

Пултрузионные профили из ПКМ все чаще включают в конструкцию мобильных мостовых блоков в качестве главных несущих балок, а также стержневых центрально-сжато-растянутых элементов ферм. Такие решения обеспечивает значительное облегчение конструкций, поэтому авторы относят свои изобретения и полезные модели к классу мобильных и сборно-разборных [11–13].

Реже строятся цельнокомпозитные мосты. Они возводятся как экспериментальные модели под небольшую нагрузку от пешеходов, так как поведение ПКМ-конструкций под нагрузкой мало изучено. Преуспевающей в этой области является Голландия. На ее территории уже установлено более 40 цельнокомпозитных мостов. В России мостостроители пока что еще знакомятся с инновационным материалом. Переняв голландский опыт, отечественная компания «Рускомполит» разработала свою конструкцию цельнокомпозитного пролетного строения (рис. 2, а). Она представляет собой сплошную ПКМ-балку типа сэндвич [7, 9].



а



б

Рис. 2. Композитный мост типа сэндвич (а); первый цельнокомпозитный мост в России (б)

Первый же цельнокомпозитный мост построила в России в 2004 г. компания «АпАтЕк». Им стал трехпролетный путепровод через железнодорожные пути в районе поселка Чертаново (рис. 2, б). После этого компания разработала и вывела на рынок другие, более продвинутые конструкции пешеходных мостов, среди которых есть ферменные, арочные и даже вантовые [5–9].

Для каждого проектировщика существует негласное правило – разрабатывать конструкции, подстраиваясь под возможности местного производителя. Оно легло в основу следующей конструкции моста. Запатентованная ООО «Опора» ферма многораскосной системы имеет пролетное строение, главные балки которой составлены из полос прямоугольного сечения. При этом полосы могут быть выполнены как из плоского пултрузионного стеклопластика, так и из ДСП или древесного стеклопластика [13, 14].

### 3. Расчет стеклопластиковой фермы

Исходя из особенностей работы ПКМ, для пешеходного моста была выбрана конструкция в виде фермы с треугольной решеткой (рис. 3). Основные габариты фермы были подобраны в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги», а также с условиями г. Перми (рис. 3). Длина пролетного строения была рассчитана по формуле

$$L_{\phi} = 4n + 2\Pi + 2t,$$

где  $n$  – нормируемая ширина полосы движения,  $n = 3,75$  м;  $\Pi$  – ширина полосы безопасности,  $\Pi = 1,0$  м;  $t$  – минимально допустимое расстояние от края полотна дороги до грани опоры пешеходного моста,  $t = 1,0$  м.

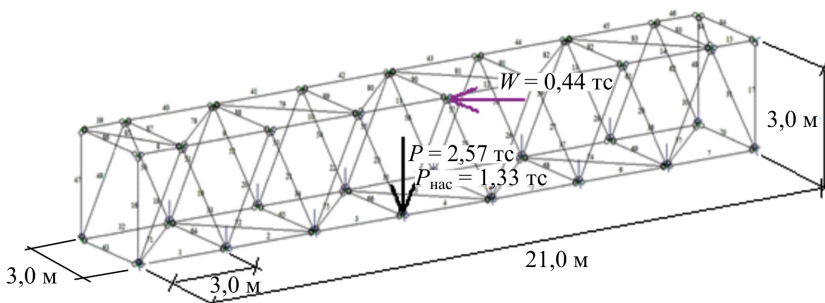


Рис. 3. Расчетная модель фермы пролетного строения пешеходного моста

В результате расчетная длина пролетного строения для средне-статистической дороги г. Перми составила 21,0 м.

Численное моделирование выполнялось методом конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА-САПР 2013». Расчетная модель представлена на рис. 3. Все узлы приняты шарнирными. Значения прочностных характеристик стеклопластика, необходимые для задания свойств материала в модели, были взяты по данным работы [14] (табл. 3).

Таблица 3

Прочностные характеристики стеклопластика

Наименование	Обозначение	Значение
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	$\gamma$	2050
Модуль упругости при растяжении-сжатии вдоль волокон, МПа	$E_1$	28 000
Модуль упругости при растяжении-сжатии поперек волокон, МПа	$E_2$	8500
Модуль сдвига, МПа	$G$	3000

Результаты расчета показали классическую работу фермы с треугольной решеткой, т.е. верхние пояса – сжатые, нижние – растянутые, а распределение усилий между соответствующими стержнями имеет параболическое очертание. При этом в приопорном сечении в поясах устанавливается минимальное значение усилия, в раскосах – максимальное; обратно в середине пролета максимальное – в раскосах, в поясах – минимальное. Похожая картина складывается в горизонтальной ферме продольных связей. Исключение составляют ригели, которые включаются в работу лишь при приложении горизонтальной нагрузки к одному их узлу, где не сходятся раскосы.

Проверочные расчеты производились в следующем порядке:

- расчет на прочность;
- расчет на прогиб;
- расчет на гибкость стержневых элементов;
- расчет на устойчивость сжатых стержней.

Первичный подбор сечений производился по условию обеспечения прочности стержней фермы по формуле

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq R_c m, \quad (1)$$

где  $N$  – продольное усилие, возникающее в рассчитываемом стержне;  $F$  – площадь поперечного сечения элемента;  $R_c$  – расчетное сопротивление стеклопластика растяжению-сжатию,  $R_c = 98,8$  МПа (принято по работе [14]);  $m$  – коэффициент условий работы,  $m = 0,9$  (принят по рекомендациям СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы»).

Исходя из данного условия, были подобраны сечения элементов в виде труб радиусами ( $R_1$  – радиус внутренней поверхности трубы,  $R_2$  – радиус внешней поверхности трубы):

- поясов:  $R_1 = 0,3$  м,  $R_2 = 0,37$  м;
- раскосов ГФ:  $R_1 = 0,2$  м,  $R_2 = 0,25$  м;
- элементы связей:  $R_1 = 0,05$  м,  $R_2 = 0,07$  м.

При этом возникающие в стержнях напряжения составляли не более  $0,75 R_c m$  [см. формулу (1)].

По требованиям СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» максимальные вертикальные прогибы пролетного строения не должны превышать значения, определяющегося по формуле

$$f \leq [f] = \frac{l}{400} = \frac{21}{400} = 52,5 \text{ м}. \quad (2)$$

Для проверки условия (2) стержням расчетной модели были заданы сечения, подобранные расчетом по прочности. В результате прогиб составил 102,1 мм, что недопустимо. В связи с этим радиусы сечений были увеличены до следующих показателей:

- у поясов:  $R_1 = 0,3$  м,  $R_2 = 0,5$  м;
- у раскосов ГФ:  $R_1 = 0,2$  м,  $R_2 = 0,32$  м;
- у элементов связей:  $R_1 = 0,2$  м,  $R_2 = 0,25$  м.

При пересчете максимальный вертикальный прогиб конструкции уменьшился до 16,9 мм, что меньше  $[f]$ .

Далее все элементы были рассчитаны на гибкость, которая не должна превышать значений, приведенных в п. 8.31 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». Гибкость элементов вычислялась по формуле

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \leq \lambda_{\min},$$

где  $l_{ef}$  – расчетная длина элементов;  $i$  – радиус инерции в плоскости изгиба элемента.



Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Расчет на гибкость стержней фермы

Наименование элементов	$R_1$ , см	$R_2$ , см	$J$ , см <sup>3</sup>	$F$ , см <sup>2</sup>	$i$ , см	$l_{ef}$ , м	$\lambda$	$\lambda_{min}$
Элементы поясов ГФ	30	50	2670,4	314,16	8,5	3,0	35,29	100
Раскосы ГФ растянутые (сжатые)	20	32	436,18	113,1	3,9	3,4	88,16	150 (100)
Связи	20	25	113,208	19,64	4,2	4,2	72,85	130

На следующем этапе был проведен расчет на устойчивость стержней, подверженных центральному либо внецентренному сжатию по формуле

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq \varphi R_c m. \quad (3)$$

Здесь задача сводится к отысканию коэффициента продольного изгиба  $\varphi$ . Для этого автор [14] рекомендует воспользоваться методикой, реализованной для ферм из стали, т.е.  $\varphi$  определить по табл. Д.3 и Д.4 СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» в зависимости от максимальной гибкости и приведенного эксцентриситета, которые определяются по формулам

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{R/E}, \quad (4)$$

$$m_{ef} = \eta \cdot m_{rel}, \quad (5)$$

где  $\bar{\lambda}_{ef}$  – приведенная гибкость элементов;  $R$  – расчетное сопротивление на изгиб;  $E$  – модуль упругости на изгиб;  $\eta$  – коэффициент формы сечения;  $m_{rel}$  – относительный эксцентриситет (в нашем случае равен 1,0).

Коэффициент  $\varphi$  для всех элементов изменялся в районе 0,91–0,93. Следовательно, он понижет расчетную прочность на 9–7 % [см. формулу (3)]. Если учесть, что в стержнях с увеличенными сечениями возникают напряжения, не превышающие 10,3 % от  $R_c m$  [см. формулу (2)], то можно считать, что устойчивость стержней обеспечена.

Чтобы нагляднее можно было оценить разницу в весе между пролетным строением из стеклопластика и стальным, той же расчетной модели (см. рис. 3) были заданы жесткости стальных элементов из стали 15ХСНД по ГОСТ 26020–83 (типоразмеры были приняты с фермы моста-аналога). Ферма из стальных профилей была рассчитана по классическому методу, изложенному в работе [15].

В результате был проведен подсчет веса обоих вариантов конструкций (табл. 5).

Таблица 5

## Расчет веса пролетного строения из стеклопластика и стали

Наименование элемента	Сечение ПКМ стержней	Сечение стержней из стали	Длина, м	Кол-во	Вес ед., т		Итого, т	
					ПКМ	15ХСНД	ПКМ	15ХСНД
ГФ								
Пояс	Труба $D = 20$ , $t = 10$	40Ш1	21,0	4	1,3525	2,0178	5,410	8,071
Раскос	Труба $D = 20$ , $t = 6$	26Ш1	3,4	28	0,0778	0,1432	2,177	4,008
Стойки	Труба $D = 20$ , $t = 6$	26Ш1	3,0	4	0,0696	0,1280	0,278	0,512
Связи								
Ригель	Труба $D = 20$ , $t = 2,5$	ПУ (100×100×10)×2	3,0	17	0,0121	0,0906	0,205	1,541
Диагональ	Труба $D = 20$ , $t = 2,5$	ПУ (100×100×10)×2	4,2	13	0,0171	0,1282	0,222	1,666
Диагональ	Труба $D = 20$ , $t = 2,5$	ПУ (100×100×10)×2	3,4	2	0,0135	0,1013	0,027	0,203
Пешеходный настил								
Плита	$t = 4$ см	$t_{cp} = 1,9$ см	21,0	1	5,166	9,3965	5,166	9,3965
Всего							13,486	25,397

Конечные цифры суммарного веса показывают, что конструкция фермы из стали тяжелее почти в два раза фермы той же конструкции, но изготовленной из стеклопластика.

По результатам первичных оценочных расчетов можно сделать следующие выводы:

- 1) вес композитного моста оказался меньше веса стального в 2 раза;
- 2) решающим расчетом для композитной фермы является общий расчет на прогиб;
- 3) в горизонтальной ферме продольных связей желательно исключить ригели по причине незначительной работы последних.

### Список литературы

1. Моисеева О.В., Клевеко В.И. Анализ аварийных случаев с участием пешеходов в г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4. – С. 134–143.

2. Половникова А.Э., Клевеко В.И. Выбор рационального типа пешеходных переходов с учетом безопасности движения пешеходов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 2. – С. 356–361.

3. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2005. – 227 с.

4. Оглы Зейналов Ф.Н. К вопросу обеспечения безопасности дорожного движения пешеходов // Вестник Орл. гос. ун-та. Наука и практика. – 2015. – № 4 (65). – С. 57–60.

5. Применение композиционных материалов для мостовых конструкций / Ю.Г. Кленин, А.В. Панков, Т.Г. Сорина, А.Е. Ушаков // Внедрение опыта прикладных перспективных технологий авиастроения в промышленности и на транспорте: сб. ст. – М.: Изд-во ЦАГИ, 2004. – Вып. 3. – С. 5–12.

6. Мостовые конструкции из композитов / А.Е. Ушаков, Ю.Г. Кленин, Т.Г. Сорина, А.Х. Хайретдинов, А.А. Сафонов // Композиты и наноструктуры. – 2009. – № 3. – С. 25–37.

7. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 3. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Г.В. Чесноков, Е.С. Махалдыкин // Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 5.

8. Тихомиров В. Придет ли углепластик на массовую стройку? [Электронный ресурс] // Строительство.ru: всерос. отрасл. интернет-

журнал. – 2014. – URL: <http://www.rcmm.ru/stroitelnye-materialy/22165-pri-det-li-ugleplastik-na-massovuyu-stroyku.html> (дата обращения: 15.05.2017).

9. Zakonova E.V., Kleveko V.I. Application of polymer composite materials in the construction of footbridges // *SWorldJournal*. – 2016. – Vol. J 1104, № 11 (4). – P. 11–14.

10. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

11. Сборно-разборный мост (варианты): пат. 2419702 С2 Рос. Федерация: МПК E01D15/00 / Кленин Ю.Г. [и др.]; патентообладатель «Комполит Сольюшен». – № 2013140286/03; заявл. 30.08.13, опубл. 20.04.15.

12. Пролетное строение: пат. 2422582 С1 Рос. Федерация: МПК E01D2/00 / Кленин Ю.Г. [и др.]; патентообладатель Научно-технологический испытательный центр «АпАТЭК-Дубна». – № 2010125701/03; заявл. 24.06.2010, опубл. 27.06.2011.

13. Пролетное строение моста с многораскосными главными балками: пат. 2464374 С1 Рос. Федерация: МПК E01D 11/00 / Пыринов Б.В.; патентообладатель «Опора». – № 2011117376/03; заявл. 29.04.11, опубл. 20.10.2012.

14. Иванов А.Н. Совершенствование конструкции и методики расчета пролетных строений мостов с несущими элементами из композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Новосиб. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск, 2015. – 183 с.

15. Проектирование металлических мостов: учебник / А.А. Петропавловский, Н.Н. Богданов, Н.Г. Бондарь [и др.]; под ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1982. – 320 с.

## References

1. Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Analiz avariinykh sluchaev s uchastiem peshekhodov v g. Permi [Analysis of accidents involving pedestrians in Perm]. *PNRPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 4, pp. 134-143.

2. Polovnikova A.E., Kleveko V.I. Vybor ratsional'nogo tipa peshekhodnykh perekhodov s uchetom bezopasnosti dvizheniya peshekhodov. [The choice of rational type of crosswalks taking into account traffic safety of pedestrians]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse*, 2012, vol. 2, pp. 356-361.

3. Ovchinnikov I.I., Diadchenko G.S. Peshekhodnye mosty: konstruktsiia, stroitel'stvo, arkhitektura [Pedestrian bridges: construction, con-

struction, architecture]. Saratov, Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2005, 227 p. ISSN 5-7433-1448-9.

4. Zeinalov F.N.O. K voprosu obespecheniia bezopasnosti dorozhno-go dvizheniia peshekhodov [To the issue of ensuring the road safety of pedestrians]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta.*, 2015, no. 4 (65), pp. 57-60.

5. Klenin Iu.G., Pankov A.V., Sorina T.G., Ushakov A.E. Klenin Iu.G. et al. Primenenie kompozitsionnykh materialov dlia mostovykh konstruksii [Use of composite materials for bridge designs]. *Vnedrenie opyta prikladnykh perspektivnykh tekhnologii aviastroeniia v promyshlennosti i na transporte.* Moscow, TsAGI, 2004, iss. 3, pp. 5-12.

6. Ushakov A.E., Klenin Iu.G., Sorina T.G., Khairtdinov A.Kh., Safo-nov A.A. Mostovye konstruksii iz kompozitov [Bridge designs from composites]. *Kompozity i nanostruktury*, 2009, no 3, pp. 25-37.

7. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Makhaldykin E.S. O probleme rascheta trubobetonnykh konstruksii s obolochkoi iz raznykh materialov. Chast' 3. Opyt primeneniia polimernykh kompozitnykh materialov v mostostroenii [About a calculation problem the trubobetonnykh of designs with a cover from different materials. Part 3. Experience of use of polymeric composite materials in a bridge building]. *Naukovedenie*, 2015, vol. 7, no. 5.

8. Vladislav T. Pridet li ugleplastik na massovuiu stroiku? [Will carbon fiber for mass construction work?]. *Stroitel'stvo.ru*, 2014, available at: <http://www.rcmm.ru/stroitelnye-materialy/22165-videt-li-ugleplastik-na-massovuyu-stroyku.html> (accessed 15 May 2017).

9. Zakonova E.V., Kleveko V.I. Application of polymer composite materials in the construction of footbridges. *SWorldJournal*, 2016, vol. J1104, no. 11 (4), pp. 11-14

10. Kerber M.L. Polimernye kompozitsionnye materialy. Struktura. Svoistva. Tekhnologii [Polymer composite materials. Structure. Properties. Technologies]. Saint Petersburg, Professia, 2008, 560 p.

11. Klenin Iu.G. et al. Sborny-razbornyi most (Varianty) [Collapsible bridge (Variants)]. Patent Rossiiskaia Federatsiia, no. 2013140286/03, 2015.

12. Klenin Iu.G. et al. Proletnoe stroenie [Span]. Patent Rossiiskaia Federatsiia, no. 2010125701/03, 2011.

13. Pyrinov B.V. Proletnoe stroenie mosta s mogoraskosnymi glavnyimi balkami [Span structure of the bridge with the main beam of many braces]. Patent Rossiiskaia Federatsiia, no. 2011117376/03, 2012.

14. Ivanov. A.N. Sovershenstvovanie konstruktssii i metodiki rascheta proletrykh stroenii mostov s nesushchimi elementami iz kompozitsionnykh materialov [Perfection of a design and a technique of calculation of span structures of bridges with bearing elements from composite materials. Yew. cand. tech.sci.]. Ph. D. thesis, Novosibirsk, 2015, 183 p.

15. Pertopavlovskii A.A., Bogdanov N.N., Bondar' N.G. et al. Proektirovanie metallicheskih mostov [Designing of metal elements]. Ed. A.A. Pertopavlovskii. Moskow, Transport, 1982, 320 p.

Получено 28.08.2017

### **Об авторах**

**Законова Екатерина Владимировна** (Пермь, Россия) – магистр кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sakonovaekaterin@mail.ru).

**Клевеко Владимир Иванович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vlivkl@pochta.ru).

### **About the authors**

**Ekaterina V. Zakonova** (Perm, Russian Federation) – Master, Department of Construction Industry and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: sakonovaekaterina@mail.ru).

**Vladimir V. Kleveko** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Industry and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vlivkl@pochta.ru).