

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ ПЛИТНО-РЕБРИСТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В.А. Уткин*, П.Н. Кобзев,
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия
*kpn_omsk@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена сборным цельноклееным плитно-ребристым пролетным строениям, содержащим клееные балки (ребра) и многослойную деревоплиту из горизонтальных перекрестных слоев досок-заготовок, уложенных последовательно на клееные балки и друг на друга и соединенных между собой клеевыми швами.

Материалы и методы. В развитие конструктивно-технологических форм рассматриваемых пролетных строений предложена конструкция, составленная из плитно-ребристых цельноперевозимых секций заводского изготовления шириной 3–3,5 м. Совместная работа отдельных секций обеспечена за счет узлов объединения по примыкающим ребрам секций без сложного обжатия всех элементов пролетного строения, включая балки, плиты и диафрагмы.

Результаты. Анализ напряженно-деформированного исследуемого пролетного строения двумя методами свидетельствует о том, что оба метода определяют с достаточной степенью точности характер распределения напряжений и деформаций в сечениях конструкции. Полученные величины максимальных прогибов и напряжений не превышают установленных нормами предельных значений и соответствующих величин в аналогичной конструкции пролетного строения со сплошной деревоплитой.

Заключение. Предлагаемая конструкция членения цельноклееного многоребристого пролетного строения на отдельные сборные, изготавливаемые в заводских условиях, секции позволит существенно расширить область применения клееной древесины в мостостроении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цельноклееное пролетное строение, поперечное обжатие, многослойная деревоплита из перекрестных досок, плитно-ребристая конструкция заводского изготовления.

© В.А. Уткин, П.Н. Кобзев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ON PERFECTION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL FORMS OF PLATE AND RIBBED TRANSFER STRUCTURES FROM GLUED TIMBER

V.A. Utkin*, P.N. Kobzev,
Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russian
*kpn_omsk@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. *The paper presents the prefabricated whole-glued slab-ribbed superstructures, containing glued beams (fins) and a multi-layered wood-panel from horizontal cross-layers of blank boards, laid successively on glued beams and each other and interconnected by glue seams.*

Materials and methods. *Because of the development of the constructive and technological forms of the considered superstructures, the authors propose the structure composed of plate and ribbed integrally transported prefabricated sections with the width of 3-3.5 m. The authors highlight that the combined action of the detached sections is provided through the nodes of combination on the adjacent ribs of the sections without the complicated compression of all the elements of the superstructure including beams, plates, and diaphragms.*

Results. *The analysis of the stress-deformed span by two methods indicates that both methods determine, with a sufficient degree of accuracy, the nature of the distribution of stresses and strains in sections of the structure. Moreover, the obtained values of the maximum deflections and stresses do not exceed the limit values established by the norms and the corresponding values in a similar construction of the structure with a solid timber slab.*

Conclusions. *The paper shows that the proposed construction with the division of the whole-glued multi-ribbed span structure into separate prefabricated, factory-made sections would significantly expand the usage of laminated wood in bridge construction.*

KEYWORDS: *full-glued span structure, lateral reduction, multi-layer timber with cross-planks, slab-ribbed construction of factory production.*

© V.A. Utkin, P.N. Kobzev



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В конце прошлого и начале нашего столетия за рубежом нашли применение деревянные мосты с пролетными строениями из клееной древесины [1,2,3,4,5,6]. При этом наибольшее распространение получили плитные, плитно-ребристые и коробчатые системы. Характерной особенностью этих конструкций является устройство горизонтальных плит (блоков) из продольных досок «на ребро» посредством склеивания и поперечного обжатия усилиями напрягаемых арматурных стержней [7,8,9,10,11,12]. По данным США, срок службы мостов из клееной древесины за счет обработки консервирующими составами равен 50 годам, а при применении защитных конструк-

тивных мероприятий может быть увеличен до 100 лет [13].

Вместе с указанными положительными качествами пролетные строения с обжимаемой поперек древесины нуждаются в течение срока эксплуатации в периодическом контроле за усилиями натяжения в стержнях и в доведении их до проектных. В итоге это приводит к увеличению эксплуатационных затрат на содержание таких мостов.

На кафедре «Мосты и тоннели» СибАДИ разработаны дощато-клееные пролетные строения, отличающиеся от зарубежных конструкций деревоплиты способом объединения ее с балками [патент № 2204644 С2. Дощато-клееное пролётное строение. – 20.05.2003;

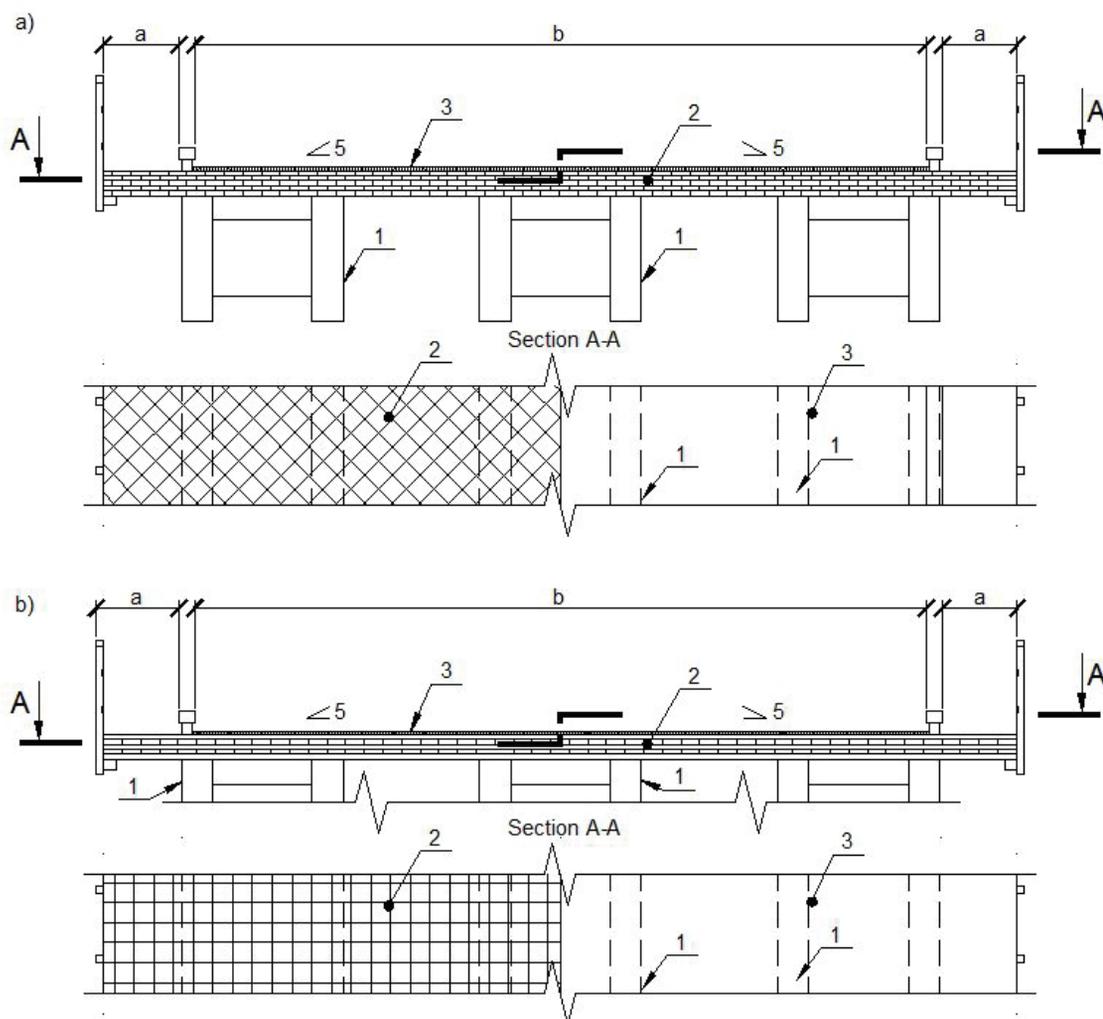


Рисунок 1 – Конструкция пролетного строения с деревоплитой из перекрестных досок (ламелей):
1 – клееные балки; 2 – деревоплита; 3 – проезжая часть

Figure 1 – Span timber structure with cross boards (lamellae):
1 – glued beams; 2 – timber plate; 3 – carriageway

патент № 2258110 С1. Дощато-клееное пролетное. – 08.2005]. Применение специальных конструктивных решений позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить долговечность мостов из клееной древесины.

Конструктивные особенности предложенных решений рассмотрены на рисунке 1. Ортогональные слои деревоплиты из досок (ламель) на рисунке 1,а размещены под углом 45° к продольной оси пролета, на рисунке 1,б – под углом 90° для нечетных слоев и 0° для четных.

Положительные стороны проекта: 1) деревоплита с горизонтальными ламелями может быть устроена без подуклонки; 2) количество вертикальных швов между ламелями в плите в несколько раз меньше, чем в плите из вертикальных досок, и все они перекрыты; 3) улучшенные защитные свойства деревоплиты; 4) более длительный срок службы всей конструкции.

С целью изучения совместной работы многослойных деревоплит с балками были проведены теоретические и экспериментальные исследования деревоплит, определены значения упругих характеристик деревоплит с нечетным числом слоев (от 5 до 11) при ориентации их по заданным направлениям.

В соответствии с рекомендациями С.Г. Лехницкого [14] и С.А. Амбарцумяна [15] многослойные плиты могут быть представлены однослойными ортотропными пластинками с приведенными упругими характеристиками. Это предположение было положено в основу разработки методики расчета рассматриваемых плитно-ребристых систем из композитной клееной древесины.

Пространственная работа данных многоребристых систем была исследована с использованием метода перемещений Александрова А.В. [16] и метода конечных элементов на основе МК COSMOS/M [17].

Расчет 8-ребристого пролетного строения с ребрами 20×120×1500 см и пятислойной деревоплитой 16,5×1040×1500 см показал:

1. Совпадающий характер распределения нормальных напряжений в ребрах.
2. Численные значения нормальных напряжений, вычисленных двумя методами, незначительно отличаются между собой.
3. Несущая способность плитно-ребристой конструкции с продольно-поперечными слоями деревоплиты на 20% выше конструкции с направлением слоев плиты под углом 45°.

Таким образом, многослойная клееная деревоплита с ориентацией слоев по главным

направлениям может быть рекомендована для преимущественного применения как в плитных, так и плитно-ребристых пролетных строениях мостов. Для плитно-ребристых систем с пролетами 15 – 24 метров разработаны следующие параметры конструкции:

- расстояние между ребрами при толщине 20 см – 1,2...1,6 м;

- высота балок при пятислойной деревоплите из досок толщиной 32 мм – 1/12 длины пролета;

- высота балок при семислойной деревоплите из досок толщиной 32 мм – 1/10 длины пролета.

Предполагается, что клееные балки и доски-заготовки для многослойной плиты изготовлены на современных предприятиях по производству клееной древесины удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к заготовкам, доставлены на место строительства в защищенном от увлажнения виде. Выполнение операций склеивания на месте строительства предусматривает строгое соблюдение всех требований, предъявляемых к материалам, условиям выполнения работ, режимам, технологиям, рекомендациям, наработанным практикой и исследованиями специалистов.

Согласно [18] и независимо от способа запрессовки по всей площади склеивания и высоте пакета должно быть обеспечено приложение равномерного давления интенсивностью 0,5–1,0 МПа.

Предложенная авторами технология изготовления многослойной деревоплиты на месте строительства предусматривает последовательное обжатие клеевых швов методом «гвоздевого прижима» [19].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Изучение отечественного и зарубежного опыта изготовления клееных конструкций [20] показывает, что изготовление предлагаемой деревоплиты в полевых условиях будет осложнено выполнением технологии склеивания, особенно в условиях с характерными для нашей страны климатическими чередованиями зимы и лета. В то же время изготовление пролетных строений в условиях специализированных производственных предприятий в целом виде не представляется возможным из-за условий транспортирования их к месту строительства.

Требования заводского изготовления ДКК и транспортирования их к месту строительства могут быть выполнены при продольном членении пролетного строения на цельно перевозимые

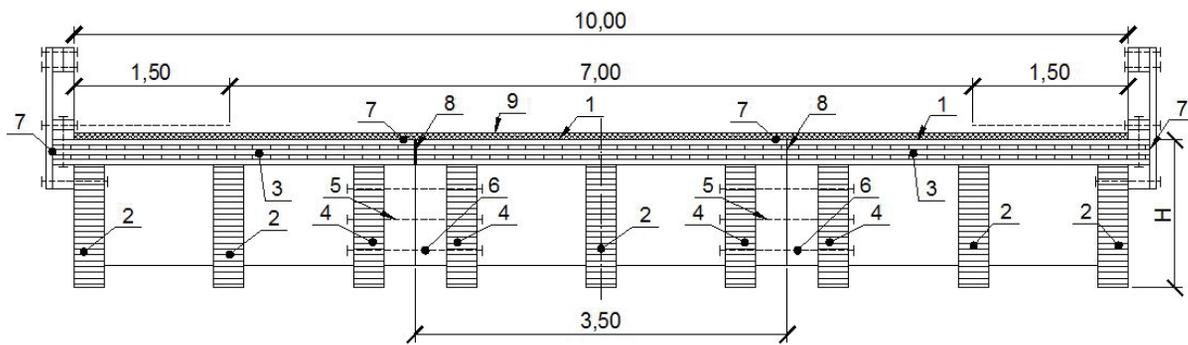


Рисунок 2 – Поперечное сечение пролетного строения для Г–10,0

Figure 2 – Cross section structure for-10.0

мые секции (блоки) с последующим объединением в единое целое на монтаже.

Авторами статьи разработана конструкция сборного многоребристого цельноклееного пролетного строения, состоящего из секций заводского изготовления [патент на полезную модель № 106258. Дощато-клееное пролетное строение моста заводского изготовления // Патентообладатель Сибирская автомобильно-дорожная академия. – 10.07.2011].

Объединяющими элементами конструкции являются смежные продольные ребра (балки) секций (рисунок 2).

Объединение секций производится обжатием клеевых швов между внешними ребрами жесткости продольных ребер посредством напрягаемых стальных стержней. Совместная работа отдельных секций обеспечивается за

счет узлов объединения смежных продольных ребер в одно сдвоенное. Между примыкающими деревянными секциями устраиваются продольные деформационные швы.

Пролетное строение (см. рисунок 2) составлено из целно перевозимых секций 1, содержащих клееные балки 2 и многослойную клееную деревянную плиту 3, объединяемых на монтаже по смежным ребрам (балкам) 4 посредством склеивания и обжатия вертикальных ребер жесткости 6 высокопрочными стальными стержнями 5. Верхняя поверхность деревянной плиты 3, включая кромки 7, покрыта гидроизоляцией, а продольные швы 8 заполнены мастикой. Пролетное строение после объединения работает как стержневая система из тонкостенных секций с открытым контуром сечения.

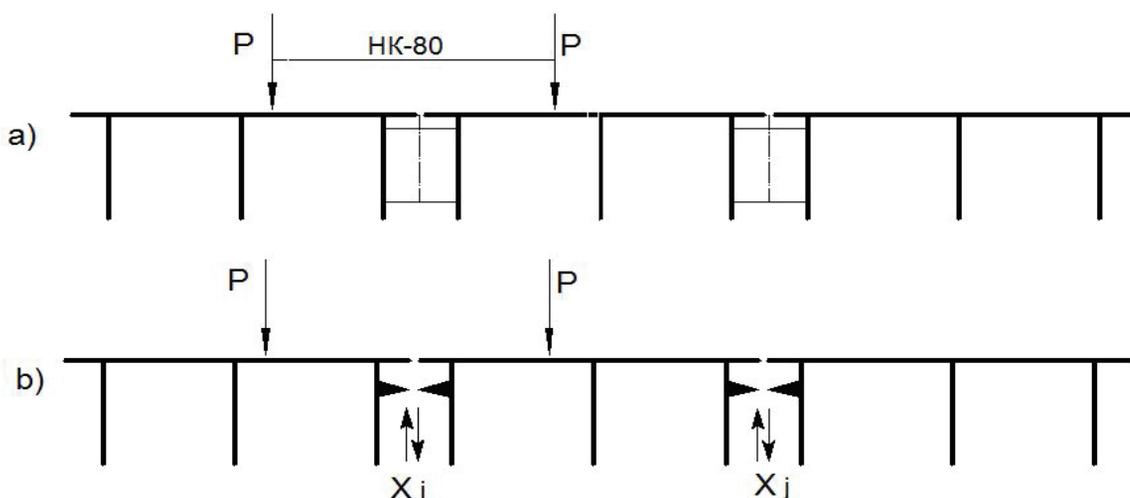


Рисунок 3 – Расчетная схема поперечного сечения пролетного строения (а) и основная система (б)

Figure 3 – Calculation scheme of cross section structure (a) and main system (b)

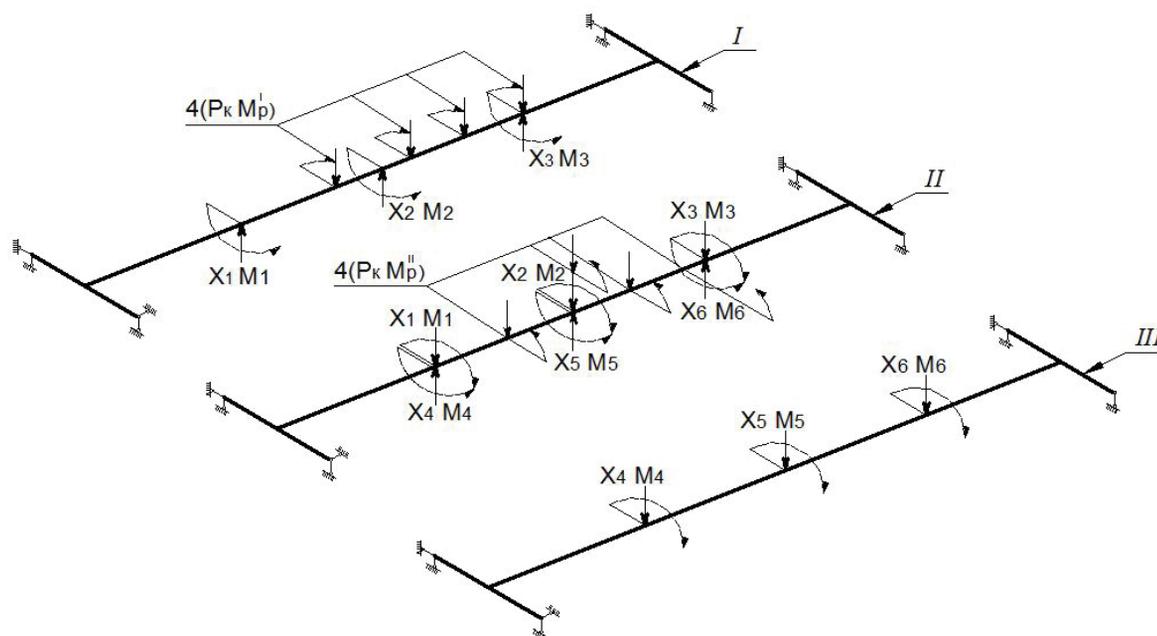


Рисунок 4 – Пространственная расчётная схема пролётного строения из цельно перевозимых секций (I, II, III)

Figure 4 – Spatial calculation scheme of span structure from seamlessly carried sections (I, II, III)

В основу исследований были положены допущения о приведении тонкой плиты из упругих анизотропных слоев к однородной пластинке с ортотропными свойствами [14,15], что позволило применить для расчета известные методы строительной механики и сопоставить результаты расчета с результатами метода конечных элементов. Сопоставимые по точности результаты были получены также при применении метода расчета по двум расчетным схемам [17].

На рисунке 3 представлены расчетная схема и основная система в разрезе при установке колесной нагрузки Н11 в крайнем положении.

Основная система (рисунок 3,б) образована путем введения в разрез по клеевому шву абсолютно жестких консолей, отбрасыванием лишних связей и замены их неизвестными поперечными силами X_i и X_j . Другие значения неизвестных (моменты и продольные силы) из-за их малого влияния не учтены. Ввиду эксцентричного приложения неизвестных и расчетной нагрузки к элементам основной системы возникает необходимость в учете как изгибающих, так и крутящих воздействий. При этом каждая секция основной системы может быть представлена с некоторым приближением в виде жесткого недеформируемого бруса [20]. Пространственная основная система рассматриваемого пролётного строения приведена на рисунке 4.

Условие совместности деформаций основной и заданной систем представлено в виде канонических уравнений метода сил в матричной форме

$$A\vec{X} + \vec{\Delta}_p = 0. \quad (1)$$

Здесь

$$A = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix}, \vec{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix}, \vec{\Delta}_p = \begin{bmatrix} \Delta_{1p} \\ \Delta_{2p} \\ \dots \\ \Delta_{np} \end{bmatrix},$$

где \vec{X} – вектор неизвестных; $\vec{\Delta}_p$ – вектор грузовых перемещений; A – матрица коэффициентов канонических уравнений.

Определение коэффициентов δ_{ij} и свободных членов δ_{ij} с учетом кручения $\theta_{ij}^t, \theta_{iP}$ производится на основании следующих выражений:

$$\delta_{ij} = \delta_{ij}^f \pm \theta_{ij}^t \times \frac{B}{2}; \Delta_{iP} = \Delta_{iP}^f \pm \theta_{iP} \times \frac{B}{2}. \quad (2)$$

В этих выражениях осевые перемещения от изгиба отдельной секции основной системы, представленной жестким брусом, определяются по формуле Мора

$$\delta_{ij}^f = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EI} ds; \Delta_{iP} = \sum \int \frac{\bar{M}_i M_P}{EI} ds.$$

B – расстояние между крайними ребрами секции, углы закручивания в сечениях отдельной секции определяются по формулам теории кручения тонкостенных стержней [21].

Например, для двухопорного тонкостенного стержня пролетом l при загрузении сосредоточенным крутящим моментом M^{kp} угол закручивания определяется формулами:

для левого участка a :

$$\theta = \frac{M^{kp}}{k^3 EI_\omega} \left(\frac{kb}{l} z - \frac{shkb}{shkl} shkz \right), \quad (3)$$

для правого участка b :

$$\theta = \frac{M^{kp}}{k^3 EI_\omega} \left(\frac{ka}{l} (l-z) - \frac{shka}{shkl} shk(l-z) \right). \quad (4)$$

Напряженно-деформированные состояния заданной статически неопределимой системы и основной системы с учетом найденных значений неизвестных совпадают. В этом случае внутренние усилия и перемещения в этих двух системах будут одинаковыми и могут быть найдены на основе принципа независимости действия сил суммированием результатов всех воздействий X_i и P .

$$S_k = \bar{S}_{k1} X_1 + \bar{S}_{k2} X_2 + \dots + \bar{S}_{kn} X_n + S_{kP}. \quad (5)$$

Нормальные и касательные напряжения в сечениях элементов основной системы могут быть определены по известным формулам

$$\sigma_k = \frac{M_k y}{I} \pm \frac{B_{\omega k} \omega}{I_{\omega}}; \tau_k = \frac{Q_k S}{I b} \pm \frac{M_{\omega k} S_{\omega}}{I_{\omega} t} + \frac{M_{dk} t}{I_d}$$

где $M_k, M_{\omega k}, M_{dk}$ – моменты в сечении k (изгибающий, стесненного кручения и чистого кручения); $B_{\omega k}, Q_k$ – бимомент и поперечная сила в сечении k ; $S, S_{\omega}, I, I_{\omega}, I_d, y, \omega, t$ – геометрические характеристики сечения.

В качестве примера для расчета предложенным методом рассмотрено пролетное строение полной длиной 15,0 м, составленное (см. рисунок 5) из трех секций заводского изготовления, объединенных посредством обжатия (склеивания) ребер жесткости сопрягаемых продольных ребер (балок) секций [22]. Основные размеры поперечного сечения отдельной готовой секции приведены на рисунке 5. Расчетная нагрузка принята от тележки Н11.

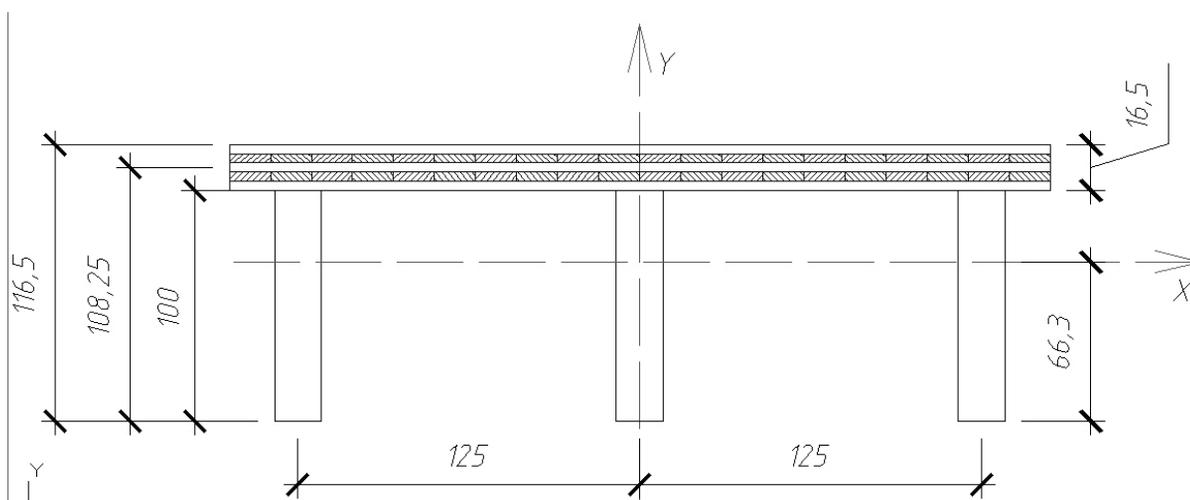


Рисунок 5 – Поперечное сечение отдельной секции пролетного строения

Figure 5 – Cross section of the separate structure section

Для сравнения и оценки достоверности полученного в результате решения принятой математической модели напряженно-деформированного состояния рассматриваемой конструкции был выполнен расчет ее методом конечных элементов. В качестве конечного элемента был принят многослойный четырехугольный элемент оболочки с возможностью учета мембранных и изгибающих сил.

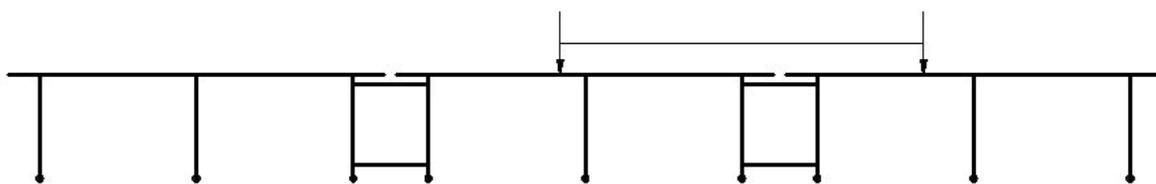
РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты сравнения прогибов (рисунок 6) в нижних узлах ребер пролетного строения для середины и в трех четвертых длины пролета, полученные двумя способами, приведены в таблице 1.

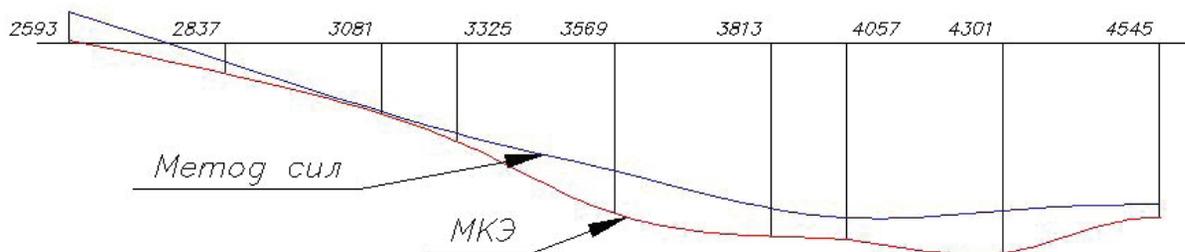
**РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

ТАБЛИЦА 1
Значения прогибов в середине и трёх четвертях пролёта, см
TABLE 1
Values of deflections in the middle and three quarters of flight, cm

Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2593	2837	3081	3325	3569	3813	4057	4301	4545
L/2	Метод сил	0,5	-0,3	-1,1	-1,45	-2,05	-2,65	-2,8	-2,68	-2,57
	МКЭ	0,05	-0,49	-1,14	-1,58	-2,73	-3,1	-3,15	-3,37	-2,8
Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2608	2852	3096	3340	3584	3828	4072	4316	4560
3L/4	Метод сил	0,35	-0,2	-0,75	-0,93	-1,41	-1,85	-1,99	-1,9	-1,82
	МКЭ	0,05	-0,33	-0,79	-1,1	-1,87	-2,18	-2,2	-2,3	-1,97



Эпюра прогибов в L/2



Эпюра прогибов в 3L/4

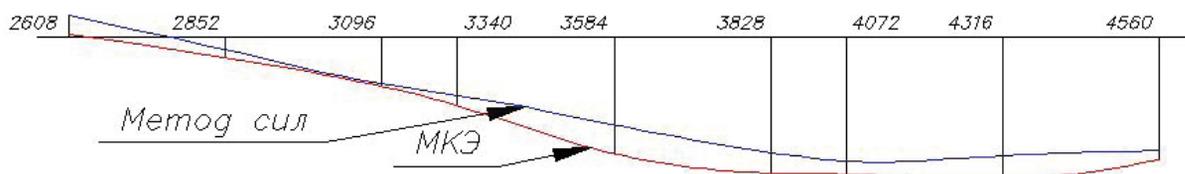


Рисунок 6 – Эпюры распределения прогибов в узлах нижнего пояса рёбер

Figure 6 – Diagrams of the deflection distribution in the nodes of the lower rib belt

Характер пространственного распределения прогибов и нормальных напряжений σ_x объединенной системы пролетного строения представлен на диаграммах а и б (рисунок 7). Напряженное состояние нижних волокон ребер в 1/2 и 3/4 пролетного строения приведено в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2
Нормальные напряжения в нижней фибре ребер в середине и трёх четвертях пролёта, МПа
TABLE 2
Normal tension of the lower edges in the middle and three quarters of flight, MPa

Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2593	2837	3081	3325	3569	3813	4057	4301	4545
L/2	Метод сил	0,23	2,57	4,9	4,28	8,13	11	11,2	10,3	9,4
	МКЭ	-0,19	1,13	1,8	2,07	8,1	5,84	5,86	10,39	7,85
Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2608	2852	3096	3340	3584	3828	4072	4316	4560
3L/4	Метод сил	0,5	1,5	2,5	3,2	5,59	7,9	7,2	6,96	6,67
МКЭ		-0,33	0,66	2,58	2,78	4,46	5,88	5,87	5,8	5,08

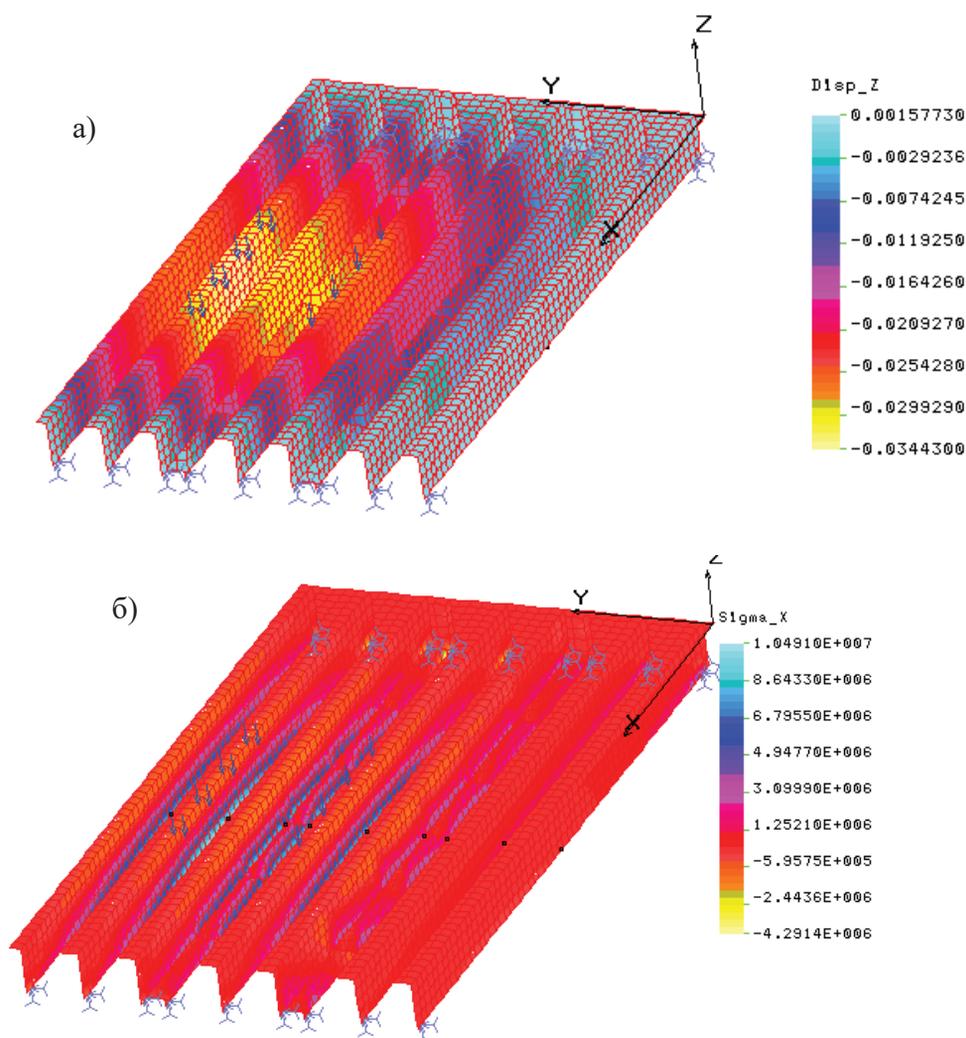


Рисунок 7 – Диаграммы пространственного распределения прогибов (а) и нормальных напряжений σ_x (б)

Figure 7 – Diagrams of spatial deflection distribution (a) and normal σ_x stresses (b)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ напряженно-деформированного исследуемого пролетного строения двумя методами свидетельствуют о том, что оба метода определяют с достаточной степенью точности характер распределения напряжений и деформаций в сечениях конструкции.

При этом полученные величины максимальных прогибов и напряжений не превышают установленных нормами предельных значений и соответствующих величин в аналогичной конструкции пролетного строения со сплошной деревоплитой.

Таким образом, предлагаемая конструкция членения цельноклееного многоребристого пролетного строения на отдельные сборные, изготавливаемые в заводских условиях, секции позволит существенно расширить область применения клееной древесины в мостостроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин В.А., Кобзев П.Н. Автодорожные деревянные мосты нового поколения. Научное издание. Омск, 2004: Изд-во СибАДИ. 50 с.
2. Cesaro G. and Piva F. (2003): Timber Bridges – Design and durability. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2003.
3. Agnieszka Gilun, Julia Meronk: Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2006. 125p.
4. Jobstl, R.A.; et. al. A Contribution to the Design and System Effects of Cross Laminated Timber (CLT), Paper 39-12-4, Proceedings of CIB-W18, Florence, Italy, 2006.
5. Schickhofer, G.; Moosbrugger, T; (Ed.) Brettsperrholz – Ein Blick auf Forschung und Praxis. Proceedings, Graz University of Technology, Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Graz, Austria, 2006 (in Germany).
6. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures. HANDBOOK 1 Timber Structures. - September 2008. Pp. 63-100, 209-227.

7. Sheila R. Duwadi; Michael A.: Ritter Timber bridges in the United States. Pp 32-40 in Public roads Winter 1997, Vol 60, No.3.

8. Michael A. Ritter; Thomas G. Williamson; Russell C. Moody: Innovation in glulam timber bridge design. Pp 1298-1303 in Baker, N.C.; Goodno, B.J. (Ed.) Structures Congress 12: Proceedings of Structures Congress '94; 24-28 April 1994; Atlanta, GA. New York: American Society of Civil Engineers; 1994, Vol.2.

9. Keith Crews; Stephen Bakoss: Fundamental structural behavior of "Built-up" stress-laminated timber bridge decks. Pp 39-48 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23-25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

10. James A. Kainz; James P. Wacker; Michael A. Ritter; Stan Bishop: Field performance of timber bridges: 21. Humphrey stress-laminated T-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-597. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 16 p.

11. James P. Wacker; Michael A. Ritter; Kim Stanfill-McMillan; Nikki T. Broun; Jonathon R. Becker: Field performance of timber bridges: 11. Spearfish Creek stress-laminated box-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-556. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 17 p.

12. Otto Kleppe; Eric Aasheim: Timber bridges in Nordic countries. Pp 10-16 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23-25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

13. Tormod Dyken: Tynset Bridge. Nordic Road & Transport Research No.1. 2002.

14. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. М.: Гостехиздат, 1957. 464 с.

15. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. Прочность, устойчивость и колебания. М.: Издательство «Наука». 1967. 268 с.

16. Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ в 2-х частях. М.: Стройиздат, 1976. Ч.1. 248 с. Ч.2. 237 с.

17. Уткин В.А., Кадисов Г.М. О методах пространственного расчета балочных пролетных строений деревянных мостов с многослойной проезжей частью из клееной древесины // Известия вузов. Строительство. 2007. № 6. Новосибирск. С. 98–104.

18. Кувшинов А.П. Выбор внешнего давления при склеивании деревянных клееных конструкций. Реф. инф. Серия IV «Строительная индустрия», 1976. Вып. 12. С. 12 – 14.

19. Уткин В.А. Технология изготовления пролетных строений из клееной древесины с многослойной плитой проезжей части // Строительные материалы. 2007. №5. С.31–34.

20. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. Изд. третье, переработанное и дополненное. М.: РИФ «Стройматериалы», 2005. 336 с.

21. Поливанов Н.И. Железобетонные мосты на автомобильных дорогах. М.: Научно-техническое издательство автотранспортной литературы, 1956. С.288–297.

22. Уткин В.А. Проектирование и строительство балочного пролетного строения из клееной древесины // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте. Сборник докладов IX Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. СПб, 2015. С. 206–215.

REFERENCES

1. Utkin V.A., Kobzev P.N. *Avtodorozhnye derevjannye mosty novogo pokolenija* [Road wooden bridges of new generation]. Nauchnoe izdanie. Omsk, 2004: Izd-vo SibADI. 50 p. (in Russian)

2. Cesaro G. and Piva F. (2003): Timber Bridges – Design and durability. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2003.

3. Agnieszka Gilun, Julia Meronk: Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2006. 125 p.

4. Jobstl, R.A.; et. al. A Contribution to the Dising and System Effects of Cross Laminated Timber (CLT), Paper 39-12-4, Proceedings of CIB-W18, Florence, Italy, 2006.

5. Schickhofer, G.; Moosbrugger, T; (Ed.) Brettsperrholz – Ein Blick auf Forschung und Praxis. Proceedings, Gras Univerversity of Technology, Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Gras. Austria, 2006 (in Germany).

6. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures. HANDBOOK 1 Timber Structures. September 2008. P. 63–100, 209–227.

7. Sheila R. Duwadi; Michael A.: Ritter Timber bridges in the United States. P. 32–40 in Public roads Winter 1997, Vol 60, No.3.

8. Michael A. Ritter; Thomas G. Williamson; Russell C. Moody: Innovation in glulam timber bridge design. Pp 1298-1303 in Baker, N.C.; Goodno, B.J. (Ed.) Structures Congress 12: Proceedings of Structures Congress '94; 24-28 April 1994; Atlanta, GA. New York: American Society of Civil Engineers; 1994, Vol.2.

9. Keith Crews; Stephen Bakoss: Fundamental structural behavior of "Built-up" stress-laminated timber bridge decks. P. 39–48 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23–25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

10. James A. Kainz; James P. Wacker; Michael A. Ritter; Stan Bishop: Field performance of timber bridges: 21. Humphrey stress-laminated T-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-597. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 16 p.

11. James P. Wacker; Michael A. Ritter; Kim Stanfill-McMillan; Nikki T. Broun; Jonathon R. Becker: Field performance of timber bridges: 11. Spearfish Creek stress-laminated box-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-556. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 17 p.

12. Otto Kleppe; Eric Aasheim: Timber bridges in Nordic countries. Pp 10-16 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23–25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

13. Tormod Dyken: Tynset Bridge. Nordic Road & Transport Research No.1. 2002.

14. Lehnitskij S.G. *Anizotropnye plastinki* [Anisotropic plates]. Moscow, Gostehizdat, 1957. 464 p. (in Russian)

15. Ambartsumjan S.A. *Teorija anizotropnyh plastin. Prochnost' ustojchivost' i kolebanija* [Theory of anisotropic plates. Durability stability and fluctuations]. Moscow, Izdatel'stvo «Nauka». 1967. 268 p. (in Russian)

16. Aleksandrov A.V., Laschenikov B.Ja., Shaposhnikov N.N., Smirnov V.A. *Metody rascheta sterzhnevyyh sistem, plastin i oboloček s ispol'zovaniem `EVM v 2-h chastjah*. [Methods

of the rod systems calculation, plates and covers with the computer, in 2 parts]. Moscow, Strojizdat, 1976. Ch.1. 248 p. Ch.2. 237 p. (in Russian)

17. Utkin V.A., Kadisov G.M. О методах пространственного расчёта балочных пролетных строений деревянных мостов с многослойной проеэзжей част'ю из клееной древесины [On methods of spatial calculation of frame flying structures of wooden bridges with the multilayered glued wood]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2007, no 6, g. Novosibirsk, P.98–104. (in Russian)

18. Kuvshinov A.P. Vybór vneshnego davlenija pri skleivanii derevjannyh kleenych konstruksij. [Choice of external pressure when pasting wooden glued designs] *Ref. inf. Serija IV Stroitel'naja industrija*, 1976. Выр. 12, P. 12–14. (in Russian)

19. Utkin V.A. Tehnologija izgotovlenija proletnyh stroenij iz kleenoy drevesiny s mnogoslójnoy plitój proeэzжей chaste [Manufacturing techniques of structures from glued wood with a multilayered plate of the carriageway]. *Stroitel'nye materialy*, 2007, no 5, P. 31–34. (in Russian)

20. Koval'chuk L.M. *Proizvodstvo derevjannyh kleenych konstruksij. Izd. tret'e pererabotannoe i dopolnennoe* [Production of wooden glued designs]. Moscow, RIF «Strojmaterialy», 2005. 336 p. (in Russian)

21. Polivanov N.I. *Zhelezobetonnye mosty na avtomobil'nyh dorogah* [Reinforced concrete bridges on highways]. Moscow, Nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo avtotransportnoj literatury, 1956. P. 288–297. (in Russian)

22. Utkin V.A. Proektirovanie i stroitel'stvo balochnogo proletnogo stroenija iz kleenoy drevesiny [Design and construction of the frame structures from glued wood]. *Problemy prochnosti materialov i sooruzhenij na transporte. Sbornik dokladov IX Mezhdunarodnoj konferentsii po problemam prochnosti materialov i sooruzhenij na transporte*. Sankt-Petersburg, 2015. P. 206–215. (in Russian)

Поступила 25.12.2018, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Уткин Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Кобзев Павел Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0003-0947-6227 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Utkin Vladimir Alexandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Kobzev Pavel Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0003-0947-6227 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия в теоретические и экспериментальные разделы статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

The authors have equal contribution to theoretical and experimental sections of the paper.