

УДК 624.271

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-136-149>

УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В РАСЧЕТАХ СОСТАВНЫХ ПРОГОНОВ ИЗ БРЕВЕН

В.А. Уткин, П.Н. Кобзев, Е.Г. Шатунова
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение опыта проектирования и строительства балочных мостов с составными бревенчатыми прогонами указывает на возможность увеличения несущей способности этих конструкций и дальнейшего использования их в строительстве мостов на автомобильных дорогах IV и V категорий под нагрузки А-11 и Н-11. Цель данной работы – на реальном примере расчета составного прогона оценить влияние учета продольных сил и изгибающих моментов на величину и распределение сдвигающих усилий в связях сдвига с учетом их допустимой податливости закрепления в древесине и на характер изменения напряженного состояния в стержнях составного прогона.

Материалы и методы. Конструкция составного прогона представлена в виде трех рядов, объединенных посредством стяжных болтов и прокладок четырехъярусных однорядных составных прогонов из окантованных бревен.

В основу предлагаемого метода исследования напряженно-деформированного состояния составного прогона с дискретным размещением в швах сосредоточенных связей сдвига принят классический метод сил для стержневых систем, учитывающий взаимодействие продольных сил и изгибающих моментов, возникающих в составляющих прогон стержнях от неизвестных усилий в связях сдвига.

Результаты. Определение единичных перемещений при совместном учете деформаций изгиба и растяжения-сжатия оказывает существенное влияние на перераспределение сдвигающих усилий в сторону увеличения их в приопорных зонах и уменьшения в середине пролета, а следовательно, и на конструкцию соединительных элементов. Характер распределения нормальных напряжений с учетом деформаций растяжения-сжатия свидетельствует о работе стержней прогона на участках между связями сдвига по законам внецентренного сжатия (растяжения).

Заключение. Предлагаемые решения позволяют наиболее точно оценить работу составных прогонов в конструкциях пролетных строений деревянных мостов и возможность их применения в современных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: составные прогоны из бревен, гребенчатые нагельные соединения, смятие нагельного гнезда, несущая способность нагеля, податливость цилиндрических нагелей.

Поступила 06.06.2019, принята к публикации 21.02.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Уткин В.А., Кобзев П.Н., Шатунова Е.Г. Учет взаимодействия продольных сил и изгибающих моментов в расчетах составных прогонов из бревен. Вестник СибАДИ. 2020;17(1):136-149. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-136-149>

© Уткин В.А., Кобзев П.Н., Шатунова Е.Г.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-136-149>

COMPOUND RUNS OF LOGS CALCULATION: ACCOUNTING OF LONGITUDINAL FORCES' AND BENDING MOMENTS' INTERACTION

Vladimir A. Utkin, Pavel N. Kobzev, Elena G. Shatunova
Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Studying the designing and constructing experience of beam bridges with composite log girders indicates the possibility of the load bearing capacity rising of the structures and their further usage in the IV and V categories bridges' construction under A-11 and H-11 loads. The purpose of the research is to evaluate the effect on the magnitude and distribution of shear forces in shear bonds, considering the permissible pliability of fixation in wood and on the nature of the stress state change in the rods of the composite girders.

Materials and methods. The authors presented the construction of the composite girder in the form of three rows united by means of tie bolts and gaskets of four-tier single-row composite girders and made of edged logs.

The proposed studying method of a composite girder stress-strain state with discrete placement of concentrated shear bonds in the joints based on the classical method of forces for rod systems, taking into account the interaction of longitudinal forces and bending moments arising in the rods composing the girder of unknown forces in the shear bonds.

Results. The determination of single displacements with joint account of bending and stretching-compression deformations has a significant impact on the redistribution of shear forces in the direction of increasing them in the support zones and reducing them in the middle of the span, and, consequently, on the design of the connecting elements. The character of distribution of normal stresses on the stretching-compression indicated the rods' girders between relationships under the eccentric compression (stretching).

Discussion and conclusions. The proposed solutions demonstrate the most accurate assessment of the composite girders in the structures of spans wooden bridges and present the application possibility in modern conditions.

KEYWORDS: composite girders of logs, combed nipples, crushing of the jack socket, load bearing capacity, yielding of the cylindrical pins.

Submitted 06.06.2019, revised 21.02.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Utkin Vladimir A., Kobzev Pavel N., Shatunova Elena G. Compound runs of logs calculation: accounting of longitudinal forces' and bending moments' interaction. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(1):136-149. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-136-149>

© Utkin V. A., Kobzev P. N., Shatunova E. G.



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

ВВЕДЕНИЕ

Во все времена основой обеспечения жилья населения нашей страны было деревянное домостроение. Об этом свидетельствуют образовавшиеся на протяжении веков и ныне действующие поселения в виде деревень, сел, малых и больших городов. Люди умели строить из бревен добротные дома и вместе с ними другие сложные сооружения^{1, 2}.

Широкое распространение получили деревянные мосты, основным материалом которых был круглый лес, наиболее доступный в виде бревен диаметром от 18 до 32 мм и длиной до 8,5 м². Достаточно отметить, что к середине прошлого столетия около 90% общего количества мостов на автомобильных дорогах страны были бревенчатыми. При этом большинство из них уже тогда не соответствовали возрастающим автомобильным нагрузкам, требовали или совершенствования, или замены.

На смену мостам из обычного пиломатериала и бревен в то время стали проектировать и строить мосты с использованием клееной древесины и железобетона [1]. Первый мост с клееными балками в нашей стране был сооружен в 1964 году, в последующие 10–15 лет было построено немногим более сотни таких мостов³ [1]. В дальнейшем применение клееной древесины в мостостроении было свернуто, а деревянные мосты на дорогах, как не отвечающие предъявляемым к капитальным мостам требованиям, стали повсеместно заменяться железобетонными. Исключение составили лишь мосты на лесных и сельских дорогах, где применялись устаревшие конструкции и решения. К сожалению, такое положение сохраняется до наших дней.

За бортом развития современного мостостроения оказался опыт массового применения древесины. Материал, который постоянно воспроизводится природой и который столетиями обеспечивал потребности населения нашей страны в транспортных сооружениях, стал мало востребованным или востребованным только в дорогом исполнении на основе зарубежных технологий [1, 2].

Изучение опыта проектирования и строительства балочных мостов с составными бревенчатыми прогонами указывает на возможность увеличения несущей способности этих конструкций и дальнейшего использования их в строительстве мостов на автомобильных дорогах IV и V категорий под нагрузки А-11 и Н-11 [3, 4, 5, 6].

В работе [7] рассмотрена конструкция пролетного строения моста с составными прогонами из бревен, разработана методика расчета составного прогона пролетом 15 м с сосредоточенными связями сдвига и определения усилий сдвига без учета продольных сил в стержнях основной системы (рисунок 1). Оценке влияния взаимодействия продольных сил и изгибающих моментов в расчетах составных прогонов из бревен посвящена настоящая статья.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции [Свидетельство на полезную модель № 29938. Пролетное строение с составными прогонами из бревен /Патентообладатель: ООО «Проектно-исследовательская фирма ПИК» – 10.06.2003] является соединение составляющих стержней (бревен) по высоте посредством сосредоточенных связей в форме гребенчатых нагельных соединений [7].

Конструкция составного прогона (см. рисунок 1) представлена в виде трех рядов, объединенных посредством стяжных болтов и прокладок четырехъярусных однорядных составных прогонов из окантованных бревен.

Работа гребенчатых нагельных соединений в составном прогоне рассмотрена в соответствии с работой цилиндрических нагелей в деревожелезобетонных балках пролетных строений^{4, 5} [8, 9, 10]. Результаты испытаний финских исследователей нагельных соединений, предназначенных для объединения железобетонной плиты и клееных балок [11, 12, 13], это решение также подтверждают. При этом оценка влияния защемления глухих нагелей в железобетонной плите сопоставимо с оценкой защемления их в стальной пластине [14, 15].

¹ Иванов В.Ф. Деревянные конструкции. М.: Стройиздат, 1956. 317 с.

² Гибшман Е.Е. Проектирование деревянных мостов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1976. 272 с.

³ Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты на автомобильных дорогах. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск, 2009. 453 с.

⁴ Кулиш В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой. М.: Транспорт, 1979. 160 с.

⁵ Донченко В.Г. Нагельные соединения в автодорожных мостах. М., Дориздат, 1952. 56 с.

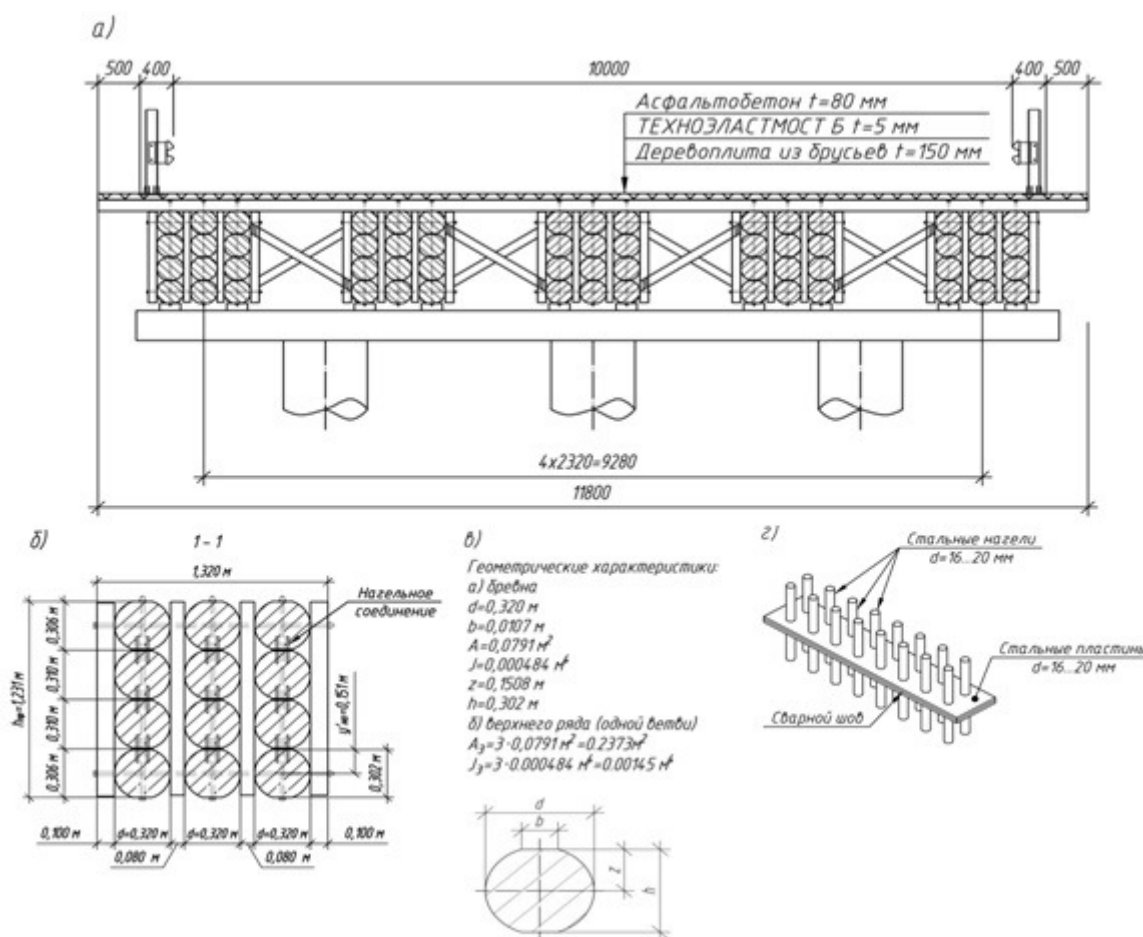


Рисунок 1 – Конструкция пролетного строения с составными прогонами из бревен:
а – поперечное сечение пролетного строения; б – поперечное сечение составного прогона;
в – геометрические характеристики бревна и верхнего ряда составного прогона;
г – конструкция гребенчато-нагельного соединения

Figure 1 – Design of the superstructure with composite runs of logs: а – cross section of the superstructure;
b – cross-sectional composite shoulder strap; c – geometrical characteristics of the log and the top row of the composite shoulder straps; d – design comb – arcery connection

Отличающиеся мощностью, размещением по длине прогона сосредоточенные связи сдвига содержат определенное количество жестко закрепленных в стальных пластинах глухих цилиндрических нагелей, установленных в отверстиях сопрягаемых бревен. При этом существенное увеличение несущей способности, как доказано в работе⁶, обеспечивает применение вклеенных нагелей.

После сборки и объединения состава бревен стяжными болтами кромки зеркально совмещенных пластин объединяются свар-

кой. Несмотря на жесткое соединение связей сдвига между собой посредством сварки кромок стальных пластин необходимо учитывать также влияние податливости цилиндрических нагелей, защемленных в древесине гнезда нагеля.

Впервые в отечественной литературе встречаются предпосылки учета податливости соединений в статье Г.В. Никитина [16]. Особое внимание заслуживают работы П.А. Дмитриева, посвященные вопросам совершенствования клееных деревянных конструкций

⁶ Кормаков Л.И., Валентиновичус А.Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций. Киев: Будивельник, 1983. 152 с.

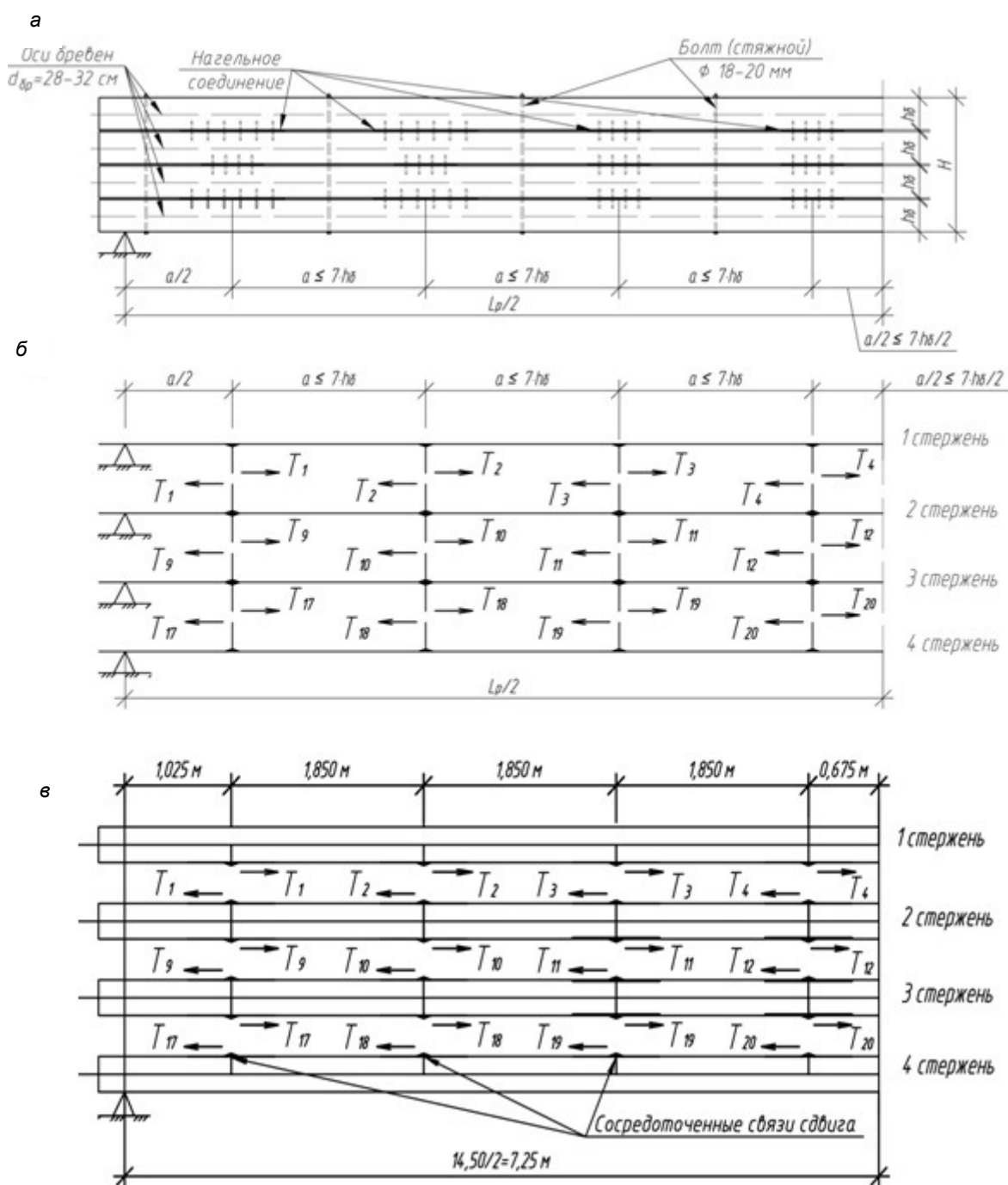


Рисунок 2 – Расчетная схема и основная система составного прогона

Figure 2 – Design scheme and the main system of the composite run

Здесь

$$A = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix}, \bar{T} = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_n \end{bmatrix}, \bar{\Delta}_F = \begin{bmatrix} \Delta_{1F} \\ \Delta_{2F} \\ \dots \\ \Delta_{nF} \end{bmatrix}, \bar{\Delta}_F = 0,1$$

где A – матрица коэффициентов канонических уравнений, \bar{T} – вектор неизвестных усилий сдвига, Δ_F – вектор грузовых перемещений, Δ_F – вектор одинаковых перемещений (податливость глухих нагелей в гнездах древесины, принятая равной 0,1 см)¹⁰ [5, 6].

Коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений (1) с учетом деформаций растяжения (сжатия), сдвига и изгиба определяются по известным формулам Мора (3, 4):

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot \bar{N}_j}{EA} ds + \int \frac{\bar{Q}_i \cdot \bar{Q}_j}{GA/k} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_j}{EI} ds, \quad (3)$$

$$\Delta_{iF} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot N_F}{EA} ds + \int \frac{\bar{Q}_i \cdot Q_F}{GA/k} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot M_F}{EI} ds. \quad (4)$$

Вместе с тем при рассмотрении систем определенных типов систем некоторые слагаемые перемещений могут быть опущены. Так, например, в работах^{11, 12, 13} показано, что при определении единичных и грузовых перемещений в рамах и балках можно пренебрегать деформациями растяжения-сжатия и поперечного сдвига. В расчетах шарнирных ферм допускается пренебрегать деформациями изгиба и сдвига и не рекомендуется пренебрегать деформациями растяжения-сжатия.

В случае расчета составных прогонов из бревен необходим учет влияния на напряженно деформированное состояние составляющих прогон стержней и изгибающих моментов, а также продольных сил. При этом деформации поперечного сдвига, влияние которых не превышает 1%, могут быть опущены.

Определение искомых перемещений δ_{ij} и

Δ_{iF} может быть выполнено по методу А.К. Верещагина. С этой целью необходимо построить комплект единичных \bar{M}_i и \bar{N}_i и грузовых эпюр M_{iF} для основной системы составного прогона. Общий вид единичных эпюр от парных неизвестных \bar{T}_i и грузовых M_{iF} представлен на рисунке 3. При этом значения расчетных моментов в сечениях составного прогона от действующих нагрузок распределены между отдельными стержнями основной системы прогона поровну. В результате выполнения расчетных операций может быть сформирована матрица коэффициентов при неизвестных усилиях сдвига T_i и вектор грузовых перемещений $\bar{\Delta}_F$.

Цель данной работы – на реальном примере расчета составного прогона оценить влияние учета продольных сил и изгибающих моментов на величину и распределение сдвигающих усилий в связях сдвига с учетом их допустимой податливости закрепления в древесине прогонов и на характер изменения напряженного состояния в стержнях составного прогона.

В качестве примера был рассмотрен составной прогон на рисунках 1 и 2 в составе пролетного строения длиной 15 м на действие автомобильной нагрузки А-11.

Особенностью конструкции составного прогона из бревен на рисунке 1 является такое размещение в швах сосредоточенных связей сдвига, при котором расстояние между связями из условий устойчивости ветвей внецентренно сжатых элементов не должны превышать семикратной высоты одиночного стержня [СП 35.13330.2011 Мосты и трубы (Актуализированная редакция СНиП 2.05.03.84) М.: 2011 п.10.31].

¹⁰ Кулиш В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой. М.: Транспорт, 1979. 160 с.

¹¹ Донченко В.Г. Нагельные соединения в автодорожных мостах. М., Дориздат, 1952. 56 с.

¹² Кормаков Л.И., Валентинавичус А.Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций. Киев: Будивельник, 1983. 152 с.

¹³ Кулиш В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой. Там же.

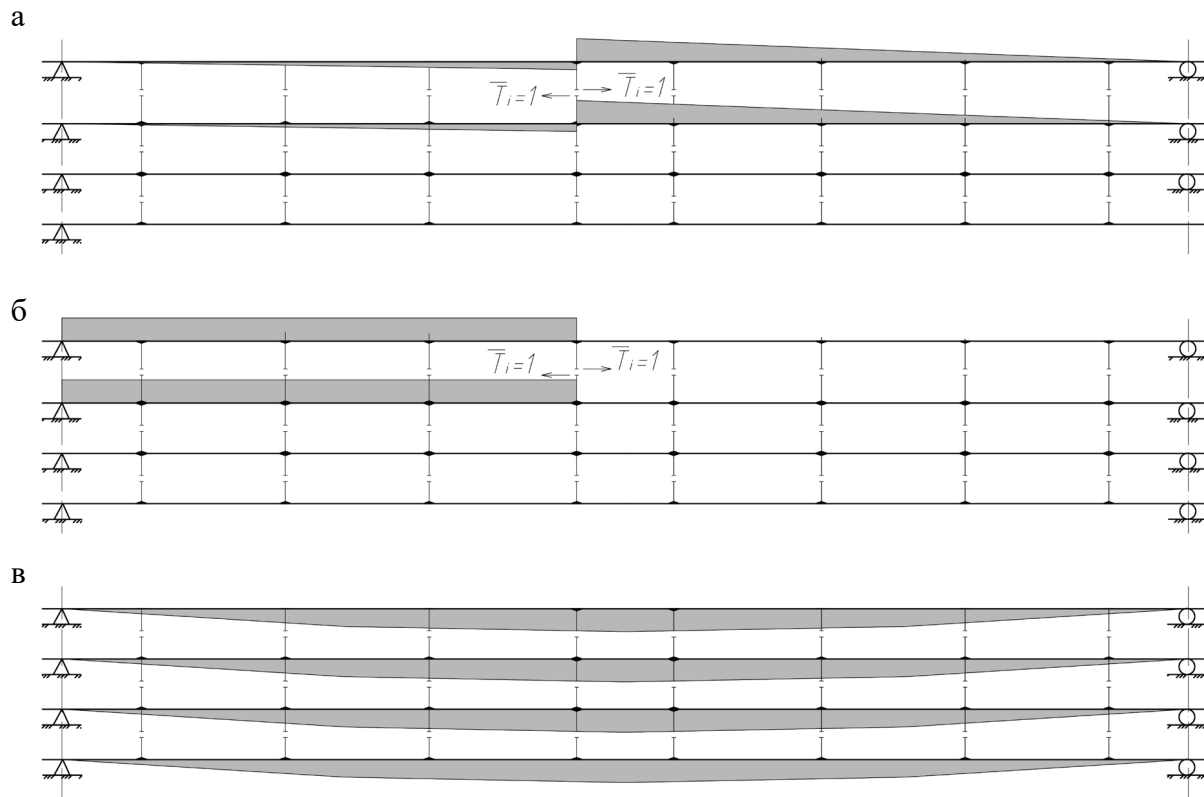


Рисунок 3 – Общий вид единичных эпюр \bar{M}_i и \bar{N}_i и эпюр M_0 в основной системе:

а – единичные эпюры \bar{M}_i ;

б – единичные эпюры \bar{N}_i ; в – эпюры грузовых моментов

Figure 3 – General view of single diagrams \bar{M}_i and \bar{N}_i and diagrams M_0 in the main system:

а – single epure \bar{M}_i s;

б – single epures \bar{N}_i ; с – load moment diagrams

Следуя сказанному, рассмотрены две системы канонических уравнений типа (1,2):

- с учетом деформаций от изгиба стержней

$$A^* \bar{T} + \bar{\Delta}_F + \bar{\Delta}_\Delta = 0, \quad (5)$$

с учетом растяжения (сжатия) и изгиба стержней

$$A^{**} \bar{T} + \bar{\Delta}_F + \bar{\Delta}_\Delta = 0, \quad (6)$$

где численные значения единичных коэффициентов матрицы A^* вычислены с учетом только деформаций изгиба, а численные значения единичных коэффициентов матрицы A^{**} – с учетом деформаций изгиба и сжатия (растяжения).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате решения систем уравнений (5) и (6) получены значения усилий сдвига T_p , вычисленные для системы с матрицей A^* и матрицей A^{**} (таблица).

Сравнение полученных значений усилий сдвига для систем уравнений 5 и 6 указывает на серьезное перераспределение, особенно концевых усилий в швах, напрямую связанных с мощностью, конструкцией и размещением концевых гребенчатых соединений между отдельными бревнами составного прогона.

Несомненный интерес представляет также характер распределения нормальных напряжений в сечениях отдельных стержней составной конструкции и особенно в области сосредоточенных связей сдвига.

Таблица
Численные значения усилий сдвига, вычисленные для систем уравнений (5) и (6)

№ п/п.	Обозначения симметричных групп усилий T_i с равными значениями	Численные значения усилий T_i в кН	
		при A^*	при A^{**}
1	$T_1=T_8=T_{17}=T_{24}$	785	974
2	$T_2=T_7=T_{18}=T_{23}$	619	573
3	$T_3=T_6=T_{19}=T_{22}$	565	146
4	$T_4=T_5=T_{20}=T_{21}$	54	-126
5	$T_9=T_{16}$	13	0
6	$T_{10}=T_{15}$	4	-1
7	$T_{11}=T_{14}$	-34	2
8	$T_{12}=T_{13}$	4	4

После определения усилий в связях сдвига в основной системе без связей могут быть определены во всех сечениях составляющих стержней продольные силы и изгибающие моменты.

В итоге к изгибающему моменту отдельного стержня основной системы необходимо добавить сумму моментов от усилий сдвига, приложенных к данному стержню

$$M_i = M_i^0 + \sum_{j=1}^n M_{ij}^T, \quad (7)$$

а при определении продольных сил следует учесть только сумму продольных сил от усилий сдвига

$$N_i = \sum_{j=1}^N N_{ij}^T. \quad (8)$$

Полученные в результате расчета изгибающие моменты и продольные силы представлены в виде расчетных эпюр M и N на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, полученные графики изменения изгибающих моментов и продольных сил при вычислении перемещений по формуле Мора (3) отличаются только значениями усилий.

Скачкообразный характер изменения усилий связан с условно принятой расчетной схемой, в которой сдвиги передаются в виде сосредоточенных сил по центру соединительных элементов между отдельными стержнями. На самом деле принятые гребенчатые соединения растянуты по длине. Переход эпюры моментов, например из зоны с положительными

моментами в зону с отрицательными моментами, происходит плавно, без резких скачков. Очевидно, плавный переход от левых продольных сил к правым через посредство соединительных элементов и наоборот отличает реальную картину распределения их от скачкообразного на рисунке 4. В данном случае значения усилий слева и справа от условных заделок в основной системе характеризуют напряженное состояние стержней составного прогона с некоторым запасом.

Согласно рисунку 4 наиболее напряженными сечениями являются сечения, расположенные слева и справа от центров приложения сосредоточенных усилий сдвига T_i в месте перехода сосредоточенных моментов из растянутой зоны в сжатую зону. Срединные сечения ветвей, как правило, менее напряженные.

Проверка прочности и устойчивости сжато-изогнутых ветвей составной конструкции прогона при расчетной длине, не превышающей семикратную высоту элемента ветви [3], производится по формуле

$$\frac{N_d}{A_{nt}} + \frac{M_d}{\xi W_{nt}} \cdot \frac{R_{dt}}{R_{db}} \leq R_{ds}. \quad (9)$$

Распределение нормальных напряжений в характерных сечениях стержней составной конструкции рассматриваемого прогона показано на рисунке 5. При этом в обоих случаях максимальные значения нормальных напряжений во всех расчетных сечениях не превышают расчетных сопротивлений $[R_{ds} = 15,7 \text{ МПа}]$.

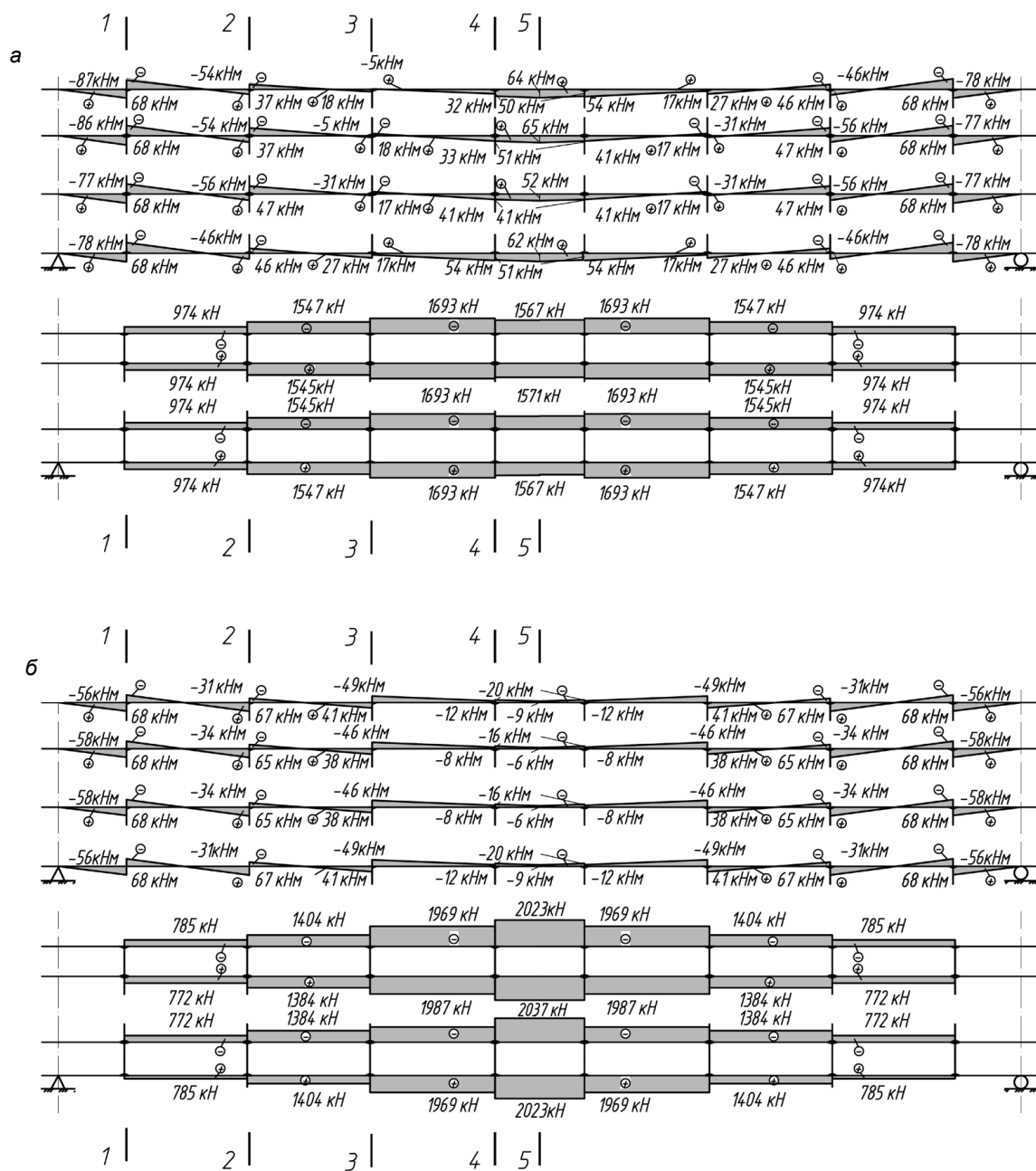


Рисунок 4 – Итоговые расчетные эпюры изгибающих моментов и продольных сил:

а – с учетом только деформаций изгиба стержней;

б – с совместным учетом деформаций растяжения (сжатия) и изгиба стержней

Figure 4 – Final calculated diagrams of bending moments and longitudinal forces:

a – taking into account only bending deformations;

b – taking into account tension (compression) and bending deformations

Другими словами, представленная конструкция не исчерпала своей несущей способности и может иметь более эффективные параметры сечений.

Вместе с тем точное определение единичных перемещений при совместном учете де-

формаций изгиба и растяжения-сжатия оказывает существенное влияние на значения сдвигающих усилий в приопорных зонах составного стержня (согласно таблицы разница между T_1^* и T_1^{**} составляет более 20%) и на конструкцию соединительных элементов.

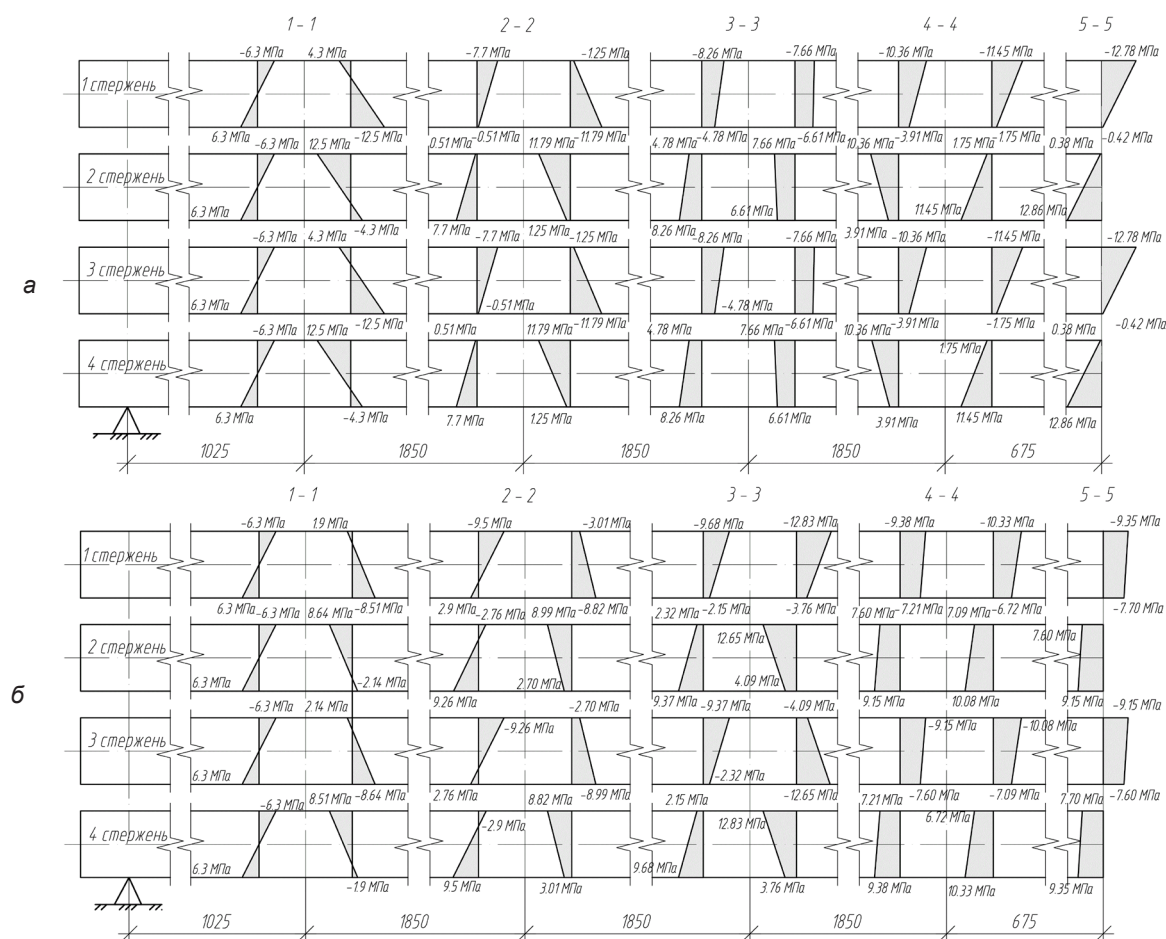


Рисунок 5 – Распределение нормальных напряжений в характерных сечениях стержней составной конструкции рассматриваемого прогона:
а – с учетом только деформаций от изгиба стержней;
б – с учетом деформаций растяжения (сжатия) и изгиба стержней

Figure 5 – Distribution of normal stresses in the characteristic sections of the composite structure of the girder:
a – taking into account only the bending deformations;
b – taking into account tension (compression) and bending deformations

О необходимости учета в расчетах составных прогонов деформаций изгиба и растяжения-сжатия свидетельствуют эпюры нормальных напряжений (рисунок 5, а), показывающие включение четырех независимо работающих на изгиб стержней (бревен) в сечении 1-1 в совместную работу на изгиб в сечении 5-5 попарно. Характер распределения нормальных напряжений без учета в расчетах влияния деформаций растяжения-сжатия не отражает совместную работу стержней на изгиб (рисунок 5, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основой повышения несущей способности конструкций из бревен является обеспечение совместной работы составляющих конструкцию составного прогона бревен.

Применение бревенчатых прогонов в современных балочных мостах с пролетами более 7 м требует разработки специальных соединительных устройств. При этом соединение бревен по длине может быть выполнено посредством болтов и стальных накладок.

В качестве соединительных элементов для

совместной работы бревен по высоте предложены гребенчатые соединения в виде системы глухих цилиндрических нагелей, защемленных в стальных пластинах.

Предложенный метод соединений позволяет перекрывать пролеты длиной 12–15 м из древесины вместо железобетонных конструкций.

В настоящей статье доказана необходимость обязательного учета в расчетах составных прогонов из бревен продольных деформаций, существенно влияющих на мощность и распределение соединительных элементов на сдвиг, а последних – на обеспечение совместной работы бревен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты: состояние, теория, исследования, проектирование: монография. Министерство образования и науки Российской Федерации «Северный (Арктический) федеральный ун-т им. М.В. Ломоносова», 2014. 315 с.
2. Уткин В.А., Кобзев П.Н. Автодорожные деревянные мосты нового поколения: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. 56 с.
3. Уткин В.А., Пузиков В.И., Шишова Т.А. О применении древесины для строительства мостов нового поколения в Омской области // Строительные материалы. 2006. №1. С.28-30.
4. Уткин В.А., Пузиков В.И., Кобзев П.Н. Опыт внедрения новых дощато-гвоздевых пролетных строений в дорожном строительстве Омской области // Дороги и мосты: сборник. ФГГУП, «РосдорНИИ». М., 2008. Вып. 19/1. С.162-171.
5. Уткин В.А., Пузиков В.И., Казанцев Б.В., Каретников М.Ю. О применении древесины для строительства мостов // Сборник «Дороги и мосты». 2014. Выпуск 32/2. С. 127–142.
6. Уткин В.А., Синиговская Н.В. Исследование несущей способности составных прогонов с соединениями на глухих цилиндрических нагелях, защемленных в стальных пластинах // Вестник СибАДИ. Омск, СибАДИ. 2016. 5 (51). С. 134–145.
7. Уткин В.А., Кобзев П.Н., Шатунова Е.Г. Разработка и совершенствование балочных пролетных строений на основе составных прогонов из бревен // Вестник СибАДИ. 2018. Том 15, № 5. С. 760–773.
8. Рожко П.П., Кулиш В.И. Исследование несущей способности стальных нагелей в деревобетонных мостах // Труды ХабПИ. 1966. Выпуск 3. С. 21–26.
9. Кулиш В.И. Исследование работы и расчет на прочность деревожелезобетонных балок // В сб. «Строительство железных дорог и эксплуатация пути». Хабаровск, ХабИИЖТ, 1967. С. 120–127.
10. Шумахер А.В. Экспериментальное исследование жесткости нагельных связей, объединенных деревобетонных балок под действием многократно-повторной нагрузки // Сборник научных

трудов. Омск, Западно-сибирское издательство. 1970. № 2. С. 30–43.

11. Haakana P., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, survey of source document. Excerpt of the Finnish Report Survey of background information. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1993. no. 2. p. 46.

12. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbaka J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concret composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1994. no. 7. p. 14.

13. Makipuro R., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, experimental studies of wood-concret shear connections. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1994. no. 11. p. 26.

14. Смирнов П.Н. Сравнение методик расчета нагельных соединений деревянных конструкций. Отечественный и зарубежный опыт // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №6. С. 68–72.

15. Смирнов П.Н. Особенности работы нагельных соединений со стальными накладками и прокладками. Методика расчета // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. №2. С. 19–25.

16. Никитин Г.В. К вопросу о влиянии жесткости узлов в пространственных стержневых системах // Сб. научн. тр. Ленингр. Ин-т инженеров коммуна. хоз-ва. Л., 1936. Вып. 3. С.58-62.

17. Дмитриев П.А. Исследование прочности древесины на смятие в отверстиях при кратковременном и длительном действии нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1965. № 12. С. 165–173.

18. Лабудин Б.В. Совершенствование клееных деревянных конструкций с пространственно - регулярной структурой: монография. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 276 с.

19. Лабудин Б.В. Расчет пространственных конструкций с учетом деформативной податливости связей (развитие идей П.А. Дмитриева, В.М. Коченова, В.А. Лебедева, Г.В. Никитина и др.) // Известия вузов Строительство. №11-12/2013. С. 1-12.

20. Ржаницин А.Р. Работа связей в составных стержнях // Текст. Научн. тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1938, №2. С. 29-32.

REFERENCES

1. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnyye balochnyye mosty: sostojanie, teorija, issledovaniya, proektirovanie: monografija* [Wood concrete beam bridges: condition, theory, research, design: monograph]. 2014: 315. (in Russian)
2. Utkin V.A., Kobzev P.N. *Avtodorozhnyye derevjannyye mosty novogo pokolenija: monografija*. [Road wooden bridges of the new generation: monograph.]. Омск: Izd-vo SibADI, 2004: 56. (in Russian)
3. Utkin V.A., Puzikov V.I., Shishova T.A. O primenении drevesiny dlja stroitel'stva mostov novogo

pokolenija v Omskoj oblasti [On the Use of Wood for the Construction of New Generation Bridges in the Omsk Region]. *Stroitel'nye materialy*. 2006; 1: 28-30. (in Russian)

4. Utkin V.A., Puzikov V. I., Kobzev P.N. Opyt vnedrenija novyh doschato-gvozdevykh proletnykh stroenij v dorozhnom stroitel'stve Omskoj oblasti [Experience of introduction of new additional-nail overflights in road construction of Omsk region]. *Dorogi i mosty: sbornik*. 2008; 19/1: 162-171. (in Russian)

5. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazantsev B.V., Karetnikov M.Ju. O primenenii drevesiny dlja stroitel'stva mostov [On the use of wood for bridge construction]. *Dorogi i mosty*. 2014; 32/2: 127-142. (in Russian)

6. Utkin V.A., Sinigovskaja N.V. Issledovanie nesuschej sposobnosti sostavnykh progonov s soedinenijami na gluhih tsilindricheskikh nageljah, zaschemlennykh v stal'nykh plastinah [Research of bearing capacity of composite girders with connections to the deaf cylindrical pins, clamped in steel plates]. *Vestnik SibADI*. 2016; 5(51): 134-145. (in Russian)

7. Utkin V.A., Kobzev P.N., Shatunova E.G. Development and improvement of beam structures on the basis of composite logs' girders. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018;15(5):760-773. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-760-773>

8. Rozhko P.P., Kulish V.I. Issledovanie nesuschej sposobnosti stal'nykh nagelej v derevobetonnykh mostah [Study of the bearing capacity of the steel pins in bridges]. *Trudy HabPI*. 1966; 3: 21-26. (in Russian)

9. Kulish V.I. Issledovanie raboty i raschet na prochnost' derevozhelezobetonnykh balok [Study of work and strength calculation of wood-concrete beams]. *Stroitel'stvo zheleznykh dorog i 'ekspluatatsija puti*. Habarovsk, HablIZhT, 1967: 120-127. (in Russian)

10. Shumacher A.V. 'Eksperimental'noe issledovanie zhestkosti nagel'nykh svyazej, ob'edinennykh derevobetonnykh balok pod dejstviem mnogokratno-povtornoj nagruzki [Experimental study of the stiffness of the bolted connections of the combined wood-concrete beams under the influence of a multiple-repeated load]. *Sbornik nauchnykh trudov*. Omsk, Zapadno-sibirskoe izdatel'stvo. 1970; 2: 30-43. (in Russian)

11. Haakana P., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, survey of source document. Excerpt of the Finnish Report Survey of background information. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1993; 2: 46.

12. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbake J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concrete composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1994; 7: 14.

13. Makipuro R., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, experimental studies of wood-concrete shear connections. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering. 1994; 11: 26.

14. Smirnov P.N. Sravnenie metodik rascheta nagel'nykh soedinenij derevjannykh konstruksij. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt [Comparison of methods of calculation of dowel joints of wooden structures. Domestic and foreign experience]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 2013; 6: 68-72. (in Russian)

15. Smirnov P.N. Osobennosti raboty nagel'nykh soedinenij so stal'nymi nakladkami i prokladkami. Metodika rascheta [Features the work of pin joints with steel plates and gaskets. Method of calculation]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 2015; 2: 19-25. (in Russian)

16. Nikitin G.V. K voprosu o vlijanii zhestkosti uzlov v prostranstvennykh sterzhnevnykh sistemah [To the question of the influence of the stiffness of nodes in spatial rod systems]. *Sbornik nauchnykh trudov*. 1936; 3: 58-62. (in Russian)

17. Dmitriev P.A. Issledovanie prochnosti drevesiny na smjatie v otverstii pri kratkovremennom i dlitel'nom dejstvii nagruzki [Study of the strength of the wood to crumple in the hole at short-term and long-term load]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1965;12:165-173. (in Russian)

18. Labudin B.V. Sovershenstvovanie kleenyykh derevjannykh konstruksij s prostranstvenno-reguljarnoj strukturoj [Improvement of glued wooden structures with spatial and regulatory structure: monograph.]. Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2007: 276. (in Russian)

19. Labudin B.V. Raschet prostranstvennykh konstruksij s uchedom deformativnoj podatlivosti svyazej (razvitie idej P.A. Dmitrieva, V.M. Kochenova, V.A. Lebedeva, G.V. Nikitina i dr.) [Calculation of spatial structures taking into account the deformative compliance of Svyaz-zei (development of ideas of P.A. Dmitry, V.M. Kochenova, V.A. Lebedev, G.V. Nikitin, etc.)]. *Izvestija vuzov Stroitel'stvo*. 2013; 11-12/2013:1-12. (in Russian)

20. Rzhantsin A.R. Rabota svyazej v sostavnykh sterzhnjah [Link work in composite rods]. *Tekst. Nauchn. tr. MISI im. V.V. Kujbysheva*. 1938; 2: 29-32. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Уткин Владимир Александрович – Формулирование цели, метод исследования, алгоритм расчета.

Кобзев Павел Николаевич – Анализ источников, редактирование статьи.

Шатунова Елена Геннадьевна – Расчет составных прогонов длиной 15 м. Оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Vladimir A. Utkin – aim formulation; research method; calculation algorithm.

Pavel N. Kobzev – source analysis; manuscript editing.

Elena G. Shatunova – calculation of composite girder with a length of 15 m; manuscript structure.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Шатунова Елена Геннадьевна –магистрант, ИМА, СМ17-МА8 ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID ID 0000-0001-9129-7898 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: lena.25.95@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Utkin – Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru*).

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

Elena G. Shatunova – Master, IMA, SM17-MA8, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0001- 9129-7898 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: lena.25.95@mail.ru).