

УДК: 694.14
DOI: 10.52409/20731523_2023_3_110
EDN: NYXRBW



Анализ работы цилиндрических полимеркомпозитных нагелей в деревянных составных изгибаемых элементах

Т.А. Зиннуров¹, Е.В. Новицкий¹, С.В. Пермяков¹, А.М. Сулейманов¹

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Аннотация: *Постановка задачи.* В современном мире остро стоит вопрос доступного строительства зданий и сооружений в отдаленных населенных пунктах, особенно в северных районах. Решением данной проблемы может являться широкое внедрение быстровозводимых конструкций, например, из древесины. Рассматриваемая в данной статье конструкция составной деревянной балки с полимеркомпозитными нагелями (из стеклоровинга) потенциально обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными решениями из дерева, а также по сравнению с такими материалами как сталь и железобетон. Целью исследования является анализ поведения нагелей при работе на срез в деревянной изгибаемой конструкции. Задачами исследования являются: собрать экспериментальную деревянную двухъярусную составную балку из брусьев, объединенных полимеркомпозитными нагелями; провести ряд испытаний образцов и определить значения вертикальных деформаций составной балки и взаимное смещение торцов брусьев при различном количестве нагелей и сравнить полученные экспериментальные данные с аналитическими расчетами.

Результаты: На основе экспериментальной модели образца составной деревянной балки было продемонстрировано успешное включение нагельной системы в общую работу составной конструкции. Получены аналитические зависимости влияния количества нагелей на общий прогиб исследуемого деревянного составного элемента.

Выводы: Для рассматриваемой деревянной составной балки можно утверждать о линейной зависимости вертикальных деформации от количества нагелей, при нагрузках, не превышающих 50% от несущей способности. Полимеркомпозитные нагели не равномерно включаются в работу на сдвиг, о чем свидетельствуют полученные деформации и формы разрушения деревянных составных балок. Можно отметить, что наиболее эффективным количеством нагелей является 6 штук с расположением по краям изгибаемого элемента.

Ключевые слова: деревянная составная балка, усиление, несущая способность, нагельное соединение, прогиб, полимеркомпозитная арматура, срез.

Для цитирования: Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В., Пермяков С.В., Сулейманов А.М. Анализ работы цилиндрических полимеркомпозитных нагелей в деревянных составных изгибаемых элементах // Известия КГАСУ, 2023, № 3(65), с.110-121, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_110, EDN: NYXRBW

Analysis of the operation of cylindrical polymer composite dowels in wooden composite bending elements

T.A. Zinnurov¹, E.V. Novitsky¹, S.V. Permyakov¹, A.M. Sulejmanov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* In the modern world the issue of affordable construction of buildings and structures in remote settlements, especially in the northern regions, is acute. The solution to this problem can be the widespread introduction of prefabricated structures, for example, from wood. The design of a composite wooden beam with polymer composite dowels considered in this article potentially has a number of advantages compared to traditional wood solutions, as well as compared to materials such as steel, reinforced concrete. The purpose of the work is to analyze the shear behavior of pins in a wooden bending structure. The objectives of the study are to create a wooden two-tier composite beam from beams combined with polymer composite dowels and to conduct a series of sample tests, determine the values of vertical deformations of the composite beam and the mutual displacement of the ends of the beams with a different number of dowels, in addition, to compare the experimental data obtained with analytical calculations.

Results: Based on the experimental model of a composite wooden beam, successful integration of a dowel system into the overall performance of the composite structure was demonstrated. Analytical dependencies were derived to examine the influence of the number of dowels on the overall flexure of the investigated wooden composite element.

Conclusions: For the considered wooden composite beam, a linear relationship between vertical deformations and the number of dowels can be affirmed under loads not exceeding 50% of the load-bearing capacity. Polymer composite dowels are not uniformly engaged in shear, as evidenced by the obtained deformations and failure modes of the wooden composite beams. It can be noted that the most effective number of dowels is six, positioned at the edges of the bending element.

Keywords: wooden composite beam, reinforcement, load-bearing capacity, dowel connection, flexure, polymer composite reinforcement, shear.

For citation: Zinnurov T.A., Novitsky E.V., Permyakov S.V., Sulejmanov A.M. Analysis of the operation of cylindrical polymer composite dowels in wooden composite bending elements // News KSUAE, 2023, № 3(65), p.110-121, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_110, EDN: NYXRWB

1. Введение

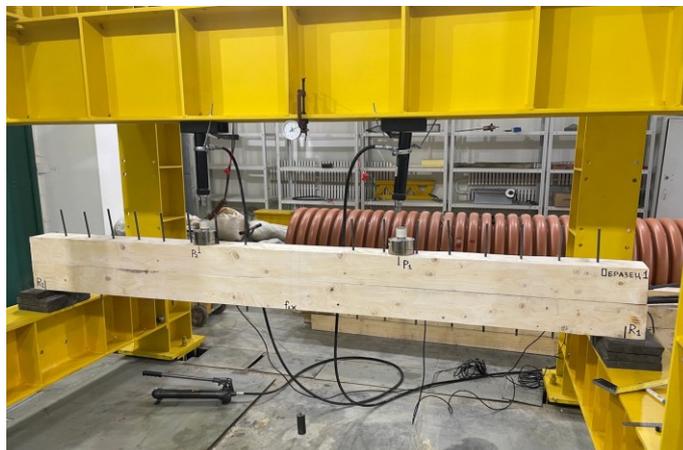
Вопрос о целевом внедрении деревянных конструкций, особенно мостов, на территории Российской Федерации имеет особую актуальность, несмотря на то, что в открытых источниках есть много информации о использовании древесины в строительных конструкциях [1-3]. Главным преимуществом древесины перед другими строительными материалами является ее доступность практически во всех регионах РФ и относительная низкая стоимость. Однако, ограничения в габаритах, предлагаемых на рынке деревоматериалов из пиленной и цельной древесины, требуют дополнительной модификации применяемых конструктивных решений [4-6]. Можно обратиться к традиционным методам объединения или усиления конструкций из дерева, таким как соединения на стальных нагелях и шпонках, клеевые стыки и т.д., но с появлением на рынке современных полимеркомпозитных материалов, которые во многом превосходят аналоги, внедрение их в конструктивные решения становится достаточно перспективной задачей [7-9]. Древесина является возобновляемым материалом, и при правильном подходе к управлению лесными ресурсами, потребности строительства могут быть обеспечены на долгие годы. Такой подход делает «зеленое» строительство важной темой, которой уделяется много внимания за рубежом [10-12]. В России также признают важность использования возобновляемых ресурсов, но помимо этого существует актуальная проблема обеспечения требуемых эксплуатационных параметров деревянных

конструкций в сложных условиях эксплуатации, что особенно отмечается для мостовых и быстровозводимых сооружениях [13,14]. Исходя из современных технических требований, необходимы новые подходы к созданию и модификации конструкции пролетных балок мостов, которые должны удовлетворять требованиям прочности и долговечности. Поэтому целью исследования является анализ работы перспективной конструкции составной деревянной балки, потенциально применимой во многих областях строительства. Задачи исследования: проведение эксперимента составной деревянной балки с полимеркомпозитными нагелями и сравнение полученных данных с аналитическими расчетами для доказательства включения в работу стеклопластиковых стержней.

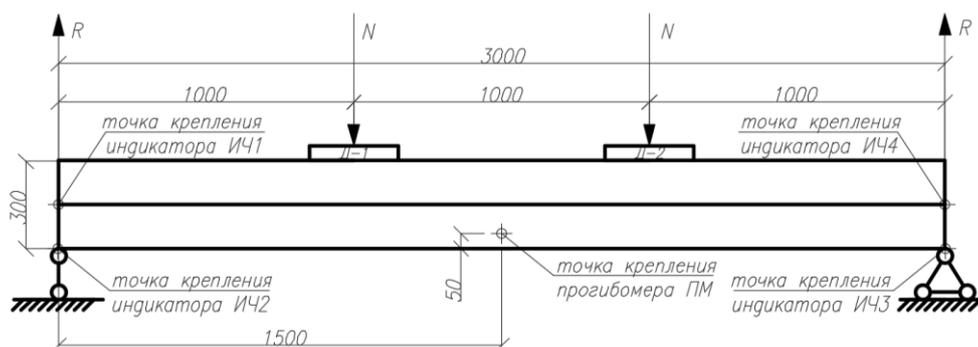
2. Материалы и методы

Авторами статьи предлагается следующее новое конструктивное решение: составная деревянная балка из брусьев, объединенные в общую работу полимеркомпозитными (из стеклоровинга) цилиндрическими нагелями, что является модификацией конструктивного решения балки В.С. Деревягина с пластинчатыми стальными нагелями [15]. Полимеркомпозитные нагели позволяют не только уменьшать деформации прогибов конструкции, путем объединения перемещений брусьев нескольких ярусов, но и повысить долговечность самой конструкции. Совместные деформации брусьев достигается работой полимеркомпозитных нагелей на срез в зоне контакта.

В качестве экспериментального образца была принята следующая конструкция: деревянная балка длиной 3000 мм, состоящая из двух брусьев сечением 150x150 мм и установленных друг на друга в два яруса. В брусья поэтапно вбиваются полимеркомпозитные опесчаненные стержни диаметром 10 мм в один ряд с шагом 120 мм. В дальнейшем деревянная составная балка подвергалась физическим испытаниям по средством нагружения по схеме четырехточечного изгиба (рис. 1 а, б). Программа испытаний включает в себя серию экспериментальных образцов с разным количеством нагелей (2, 4, 6 и 8 шт), а также для сравнения и доказательства включения нагелей в работу, отдельно испытывался образец из двух брусьев с аналогичными габаритами, но не имеющий объединения между собой. Установка нагелей велась от торцов балки к середине. Все испытываемые образцы поэтапно загружались локальной нагрузкой до разрушения с шагом 2,5 кН при помощи гидравлической системы (гидравлический насос WDK-86310 и гидроцилиндры WDK-80210) до полного разрушения. В ходе эксперимента контролировались показания нагрузки с динамометров электронных ДЭП/6-2Д-100С-1 и деформации прогибов с прогибомера типа ПМ и четырех индикаторов типа ИЧ. Индикаторы часового типа были установлены на опорных частях для оценки относительного прогиба, а два остальных на торцах конструкции, которые фиксировали смещение брусьев относительно друг друга (Рис.1. а).



а)



б)

Рис. 1. а) Общий вид испытываемого усиленного деревянного изгибаемого элемента, б) расчетная схема испытываемого усиленного деревянного изгибаемого элемента (иллюстрации авторов)

Fig. 1. a) General view of the tested reinforced wooden bending element, b) design scheme of the tested reinforced wooden bending element (illustrations by the authors)

3. Результаты и обсуждение

По результатам проведенных испытаний экспериментальных образцов полученные значения занесены в таблицы 1 и 2 и отражены на графиках (рис. 2). В таблице 1 и графике (рис. 2.а) представлена зависимость «нагрузка (N, кН) – вертикальные деформаций (прогиб) балки (f, мм)». В таблице 2 и графике рисунок 2.б представлена зависимость «нагрузка (N, кН) – горизонтальные смещения торцов брусьев (Δ , мм)».

Таблица 1

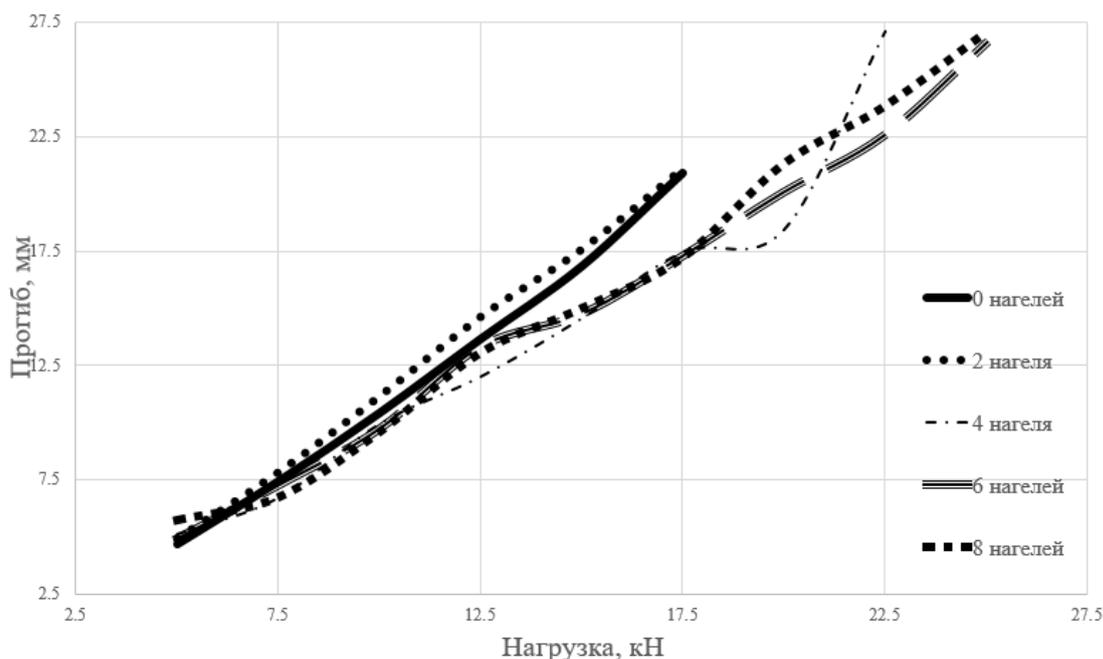
Значения «нагрузка (N, кН) – вертикальные деформаций (прогиб) балки (f, мм)» образцов с разным количеством нагелей

N, кН	f, мм				
	0 нагелей	2 нагеля	4 нагеля	6 нагелей	8 нагелей
5,0	4,67	4,95	5,11	4,94	5,76
7,5	7,42	7,84	6,70	7,27	6,75
10,0	10,41	11,16	9,94	9,73	9,60
12,5	13,65	14,63	12,00	13,32	13,06
15,0	16,83	17,58	14,55	14,75	15,00
17,5	20,92	21,11	17,45	17,28	17,20
20,0	-	-	18,43	20,07	21,30
22,5	-	-	27,10	22,56	23,81
25,0	-	-	-	26,55	27,03

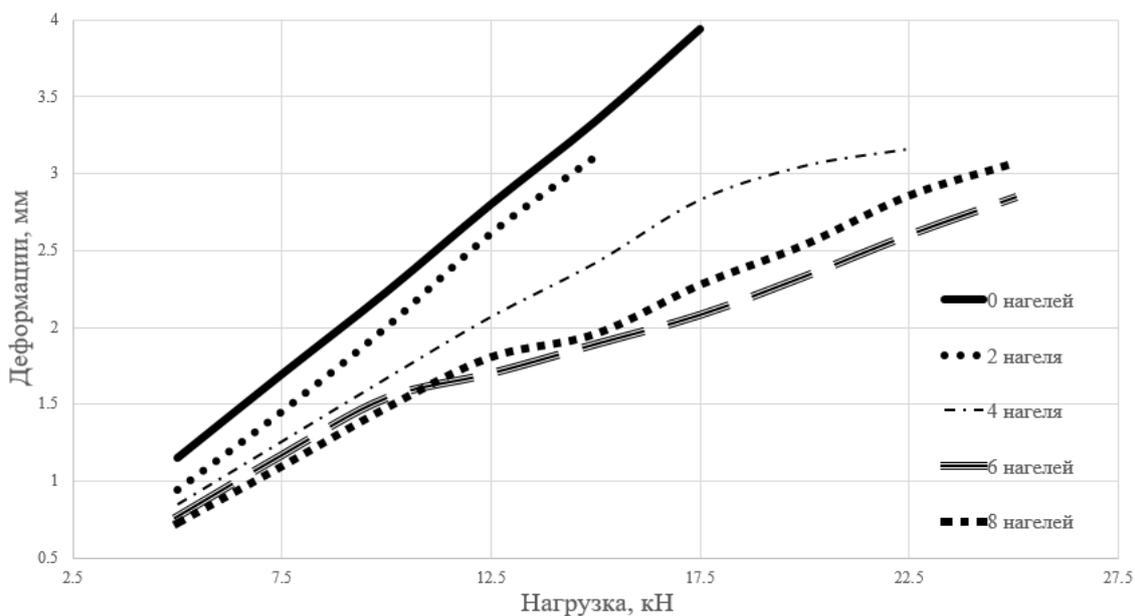
Таблица 2

Значения «нагрузка (N, кН) – горизонтальные смещения торцов брусьев (Δ , мм)» образцов с разным количеством нагелей

N, кН	Δ , мм				
	0 нагелей	2 нагеля	4 нагеля	6 нагелей	8 нагелей
5,0	1,15	0,94	0,85	0,77	0,73
7,5	1,70	1,45	1,26	1,17	1,10
10,0	2,23	2,00	1,67	1,54	1,48
12,5	2,80	2,61	2,07	1,70	1,81
15,0	3,34	3,11	2,42	1,89	1,96
17,5	3,94	3,64	2,83	2,08	2,28
20,0	-	-	3,05	2,33	2,54
22,5	-	-	3,16	2,60	2,86
25,0	-	-	-	2,84	3,07



а)



б)

Рис. 2. а) График зависимости «прогиб – нагрузка» для экспериментальных образцов с разным количеством нагелей, б) график зависимости «продольных деформаций – нагрузка» для экспериментальных образцов с разным количеством нагелей (иллюстрации авторов)
 Fig.2. a) The dependence graph of "flexure-load" for experimental specimens with different numbers of dowels, (b) the dependence graph of "longitudinal deformations-load" for experimental specimens with different numbers of dowels (illustrations by the authors).

Графики «деформации – нагрузка» для всех экспериментальных образцов составной балки (рис. 2 а и б) демонстрируют линейную форму зависимости, но достигая нагрузки в 10 кН, появляется криволинейный участок, который фактически демонстрирует включение нагелей в работу. Позднее включение нагелей в работу

косвенно свидетельствует о значительной роли силы трения в зоне контакта по поверхности брусьев. После преодоления силы трения нагельная система включается в работу, что приводит к уменьшению общих деформаций прогибов конструкции.



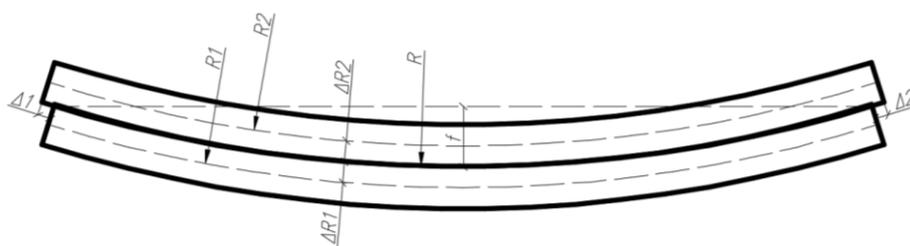
Рис. 3. Пример разрушения экспериментального образца (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Example of the destruction of an experimental sample (illustration by the authors)

Разрушение образцов в большинстве случаев происходит после образования протяженной продольной трещины в нижнем бруске с последующим резким разрывом растянутых волокон, больше напоминающий скалывание древесины (рис. 3). Также в одном из образцов наблюдалось привычное разрушение по нормальному сечению.

Для подтверждения полученных результатов о включении полимеркомпозитных нагелей в составе деревянной балки в работу было проведено сравнение экспериментальных данных с аналитической моделью.

К аналитическим методам отнесем расчет продольных деформаций в зависимости от прогибов, предполагая, что брус под нагрузкой деформируется в виде дуги (рис. 4 а.). С помощью геометрических преобразований и, в частности, расчета радиуса кривизны была выведена формула горизонтальных перемещений изгибаемого элемента следующим образом.

Строится по точкам АВС треугольник (рис. 4 б), вписанный в круговой сектор, ограниченный точками СЕВ, где точка Е является центром сформированной окружности для кривой САВ.



а)

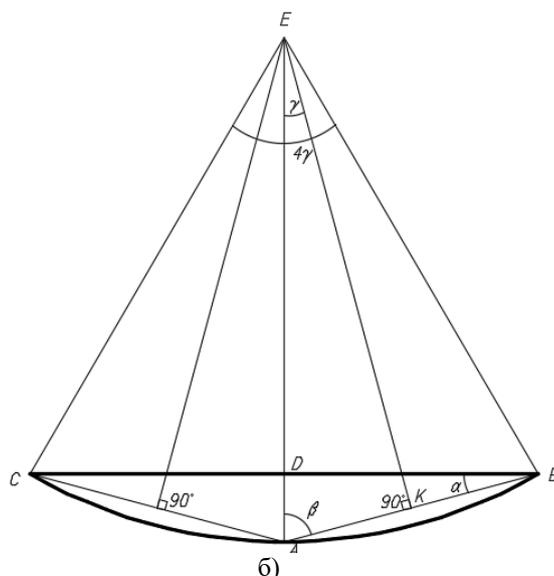


Рис. 4. а) Схема изгибаемого элемента, б) геометрическая схема изгибаемого элемента (иллюстрация авторов)

Fig. 4. a) Diagram of a bending element, b) Geometric diagram of a bending element (illustration by the authors)

В данной модели отрезок BC – длина изгибаемого элемента в начальном положении до приложения нагрузки (L), дуга CAB – форма деформации изгибаемого элемента под нагрузкой, соответственно отрезок DA – величина прогиба.

Для определения горизонтальных перемещений необходимо найти длину дуги l (CAB) – средняя линия составного бруса. Длина дуги l определяется по следующей формуле:

$$l = R4\gamma \quad (1)$$

где R - радиус кривизны средней линии составного бруса; 4γ – центральный угол.

Для нахождения радиуса кривизны AE построим перпендикуляр из середины отрезка CB к центру окружности, частью которой является дуга CAB. Далее построим отрезок BA, и из его середины построим перпендикуляр к центру окружности. Точка пересечения двух перпендикуляров является центром окружности, а угол между ними есть четверть искомого центрального угла (из свойств подобия треугольников).

Треугольники DAB и KAE являются подобными, поскольку имеют угол β , и у каждого из них имеется прямой угол, следовательно, угол γ равен углу α . Можно перейти к рассмотрению угла α , через его тангенс, который вычисляется как отношение DA к DB:

$$\tan \alpha = \frac{DA}{DB} \quad (2)$$

$$\alpha = \operatorname{atan}\left(\frac{DA}{DB}\right) \quad (3)$$

Длина гипотенузы AE в треугольнике KAE определяется как отношение катета AK к синусу вычисленного ранее угла α :

$$EA = \frac{AK}{\sin \alpha} = \frac{\frac{\sqrt{DA^2 + DB^2}}{2}}{\sin \alpha} \quad (4)$$

Центральный угол равен 4γ ввиду подобия треугольников, поэтому длина дуги равна:

$$CAB = \frac{\frac{\sqrt{DA^2 + DB^2}}{2}}{\sin \alpha} 4 \operatorname{atan}\left(\frac{DA}{DB}\right) \quad (5)$$

Как упоминалось выше, DA – прогиб (f), DB – половина длины изгибаемого элемента ($0.5L$), САВ обозначим l_0 , тогда формула примет следующий вид:

$$l_0 = \frac{\sqrt{f^2 + (0.5L)^2}}{2 \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{f}{0.5L}\right)\right)} 4 \operatorname{atan}\left(\frac{f}{0.5L}\right) \quad (6)$$

Важно учитывать, что изгибаемый элемент является составным, поэтому необходимо отдельно найти радиусы кривизны нижнего бруса R_1 и верхнего R_2 , поэтому для верхней балки формула:

$$R_2 = \frac{\sqrt{f^2 + (0,5 \cdot L)^2}}{2 \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{f}{0,5L}\right)\right)} - \Delta R_2 \quad (7)$$

А для нижней:

$$R_1 = \Delta R_1 + \frac{\sqrt{f^2 + (0,5 \cdot L)^2}}{2 \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{f}{0,5L}\right)\right)} \quad (8)$$

где ΔR_i – разница i -го радиуса кривизны и радиуса кривизны средней линии составного бруса, равная половине высоты i -го бруса.

Длины дуг нижнего l_1 и верхнего l_2 можно определить по формуле:

$$l_i = R_i \cdot 4 \operatorname{atan}\left(\frac{f}{0,5L}\right) \quad (9)$$

Идеализируя модель, что длина дуги в пределах бруса остается постоянной, можно принять длину дуги нижнего волокна верхнего бруса равной l_2 , а верхнего волокна нижнего бруса равной l_1 . В таком случае для определения величины взаимного смещения брусьев вычтем одно значение из другого и возьмем среднее арифметическое по ним, поэтому получим конечную формулу:

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{1}{2} \cdot l_2 - l_1 \quad (10)$$

Важно отметить, что полученные результаты по формуле можно сравнивать исключительно для необъединенных деревянных брусьев, поэтому качественным показателем совместной работы двух брусьев будет являться отношение значений графиков друг другу. Если отношение будет увеличиваться и показания составной балки будут смещаться ближе к оси абсцисс, то можно будет сделать вывод о том, что полимеркомпозитные нагели действительно влияют на продольные деформации деревянного изгибаемого элемента в сторону лучшей совместной работы.

Далее, в соответствии с вышеуказанными формулами, были вычислены значения продольных деформаций необъединенной составной балки. В качестве прогибов были взяты значения, полученные по результатам проведенного эксперимента, выведенные данные были сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Значения показателей перемещений и прогибов, найденные разными методами

Нагрузка P, кН	Прогиб балки f, мм	Продольные перемещения между брусьями Δ , мм	
		Аналитический расчет	Экспериментальные данные
5	4,67	0,934	1,15
7,5	7,42	1,484	1,70
10	10,41	2,082	2,23

Окончание таблицы 3

12,5	13,65	2,73	2,80
15	16,83	3,366	3,34
17,5	20,92	4,184	3,94

Рассматривая таблицу 3, можно сделать вывод о том, что полученная формула 9 достаточно точно описывает реальный эксперимент, а коэффициент детерминации составляет 0,9934. Эффект влияния нагелей на совместную работу брусьев замечен при введении коэффициента K , представляющего собой отношение рассчитанных по формуле 10 значений продольных деформации к результатам натурального эксперимента для каждого количества нагелей, который в дальнейшем представлен в таблице 4.

Таблица 4

Значения отношений функций аналитических и реальных перемещений

Количество нагелей	Нет объединения	2 нагеля	4 нагеля	6 нагелей	8 нагелей
Коэффициент K	1,003	1,14	1,21	1,57	1,64
Прирост на один нагель	-	0,070	0,053	0,095	0,080

По показателю K из таблицы 4 заметим, что 6 нагелей, расположенных в крайних зонах ограниченные 1/4 пролета составной балки, является наиболее эффективным количеством. Это можно объяснить тем, что теоретически в зоне 1/4 пролета на краях балки сосредоточены экстремумы срезающих напряжений исследуемой конструкции.

Таким образом, в статье приведены два метода, которые количественно доказывают увеличение несущей способности деревянной балки со стеклопластиковыми нагелями, а корректное размещение нагелей позволяет снизить прогибы и продольные деформации составной балки.

Также похожий эффект включения нагелей в работу составной деревянной балки был описан в работе Стоянова В.В. [16]. В данной статье влияние нагелей было более заметно, что обусловлено наклонным расположением нагелей, большим диаметром использованных стержней и исключением трения между контактирующими поверхностями брусьев.

4. Заключение

1. Проведенные натурные эксперименты и аналитические расчеты свидетельствуют о включении цилиндрических полимеркомпозитных (из стеклоровинга) нагелей в работу конструкции составной балки, что приводит к увеличению изгибной жесткости за счет уменьшения вертикальных и горизонтальных деформаций элементов.

2. В итоге было получено, что наиболее эффективным конструктивным решением для составной деревянной балки является расположение нагелей по краям изгибаемого элемента в зоне 1/4 пролета, где эпюра срезающих напряжений исследуемой конструкции имеет свой максимум.

3. Значения продольных перемещений брусьев в составной деревянной балке, полученные по формуле 10, могут быть использованы на этапе проектирования для предварительной оценки деформативности конструкции и несущей способности при размещении нагельных соединений.

4. По результатам исследования работы цилиндрических полимеркомпозитных нагелей в составе деревянной балки дальнейшей перспективной областью исследований является оптимизация схемы установки нагелей. Будущие натурные эксперименты нацелены на исследование работы нагелей под углом к оси элемента и улучшение условий контакта нагелей с древесиной при помощи клеевых составов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ООО «Производственное Объединение ГСКА».

Список литературы / References

1. Сафронов В.С. Вероятностный анализ надежности разрезного деревянного автодорожного моста // Строительная механика и конструкции. – 2021. – С. 49-60. [Safronov V.S. Probabilistic Analysis of the Reliability Sliding Wooden Road Bridge // Structural mechanics and constructions. – 2021. – P. 49-60.].
2. Уткин В.А., Матвеев С.А. Особенности проектирования деревянных мостов автомобильных лесовозных дорог // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 126–152. <https://doi.org/10/37482/0536-1036-2023-1-126-152>. [Utkin V.A., Matveev S.A. Features of Designing Wooden Bridges of the Forest Complex // News of universities. Lesnoy Zhurnal, 2023. No. 1. P. 126–152. <https://doi.org/10/37482/0536-1036-2023-1-126-152>.].
3. Медведев. И.Н. Перспективы применения конструкционного материала на основе малоценной древесины мягких лиственных пород для мостов на лесовозных автомобильных дорогах // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика. – 2021. – с. 240-244. DOI: 10.34220/ММЕИТСИС2021_240-244. [Medvedev. I.N., Vorotnikov D.A. Prospects for the Use of Structural Material Based on Low-Value Soft Hardwood Wood for Bridges on Harvesting Roads // Modern Machines, Equipment and IT Solutions for the Timber Industry: Theory and Practice. – 2021. – P. 240-244. DOI: 10.34220/ММЕИТСИС2021_240-244.].
4. Jiale Zhou, Chuanxi Li. Experimental Study on Loading Capacity of Glued-Laminated Timber Arches Subjected to Vertical Concentrated Loads. Hindawi. Advances in Civil Engineering Volume 2020, Article ID 7987414, 9 p. <https://doi.org/10.1155/2020/7987414>
5. Зиннуров. Т. А., Нурмухаметов К.А. Исследование совместной работы деревянных составных балок // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 4(08). – С. 20-23. – DOI 10.18454/mca.2017.08.4. [Zinnurov T.A., Nurmuhametov K.A. Study of Joint Operation of Clarke Beams // Modern Construction and Architecture. - 2017. - No. 4 (08). - P. 20-23. – DOI 10.18454/mca.2017.08.4.].
6. M. Rashidi, A.N. Hoshyar, L. Smith, Bijan samali, R. Siddique. Acomprehensive taxonomy for structure and material deficiencies, preventions and remedies of timberbridges, Journal of Building Engineering (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101624>
7. В. С. Сапаев. Совершенствование конструкции деревянных пролетных строений с составными прогонами из бревен (брусьев) // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых. – 2022. – С. 221-225. [V. S. Sapaev. Improving the Design of Wooden Superstructures With Composite Girders Made of Logs (Beams) // Fundamental and Applied Research of Young Scientists. – 2022. – P. 221-225.].
8. Aruova L.B., Ospanova Z.N., Alibekova B.B. Cyclic Tests of Joints of Glued Wooden Structures // IOP Conferences Series Materials and Engineering 829 (2020).
9. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В. Определение прогиба составных деревянных изгибаемых элементов, армированных цилиндрическими полимеркомпозитными нагелями // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 5. С. 697–708. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.697-708. [Zinnurov T.A., Novitsky E.V. Deflection determination of composite wood bending elements reinforced with cylindrical polymer composite dowels. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(5):697-708. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.697-708 (rus.).].
10. Benjamin Kromoser. Design Concept for Green Timber Truss Bridge in City Area. Sustainability (2020), 12, 3218.
11. Ita Minarmi. Innovation of Substitute Material to Conservation Effort of Eusideroxulon Zwageri on Wooden Bridge Maintence Project. Technium Vol.3, Issue 8. P. 103-109 (2021).

12. Jozef Švajlenka, Mária Kozlovská. Construction of Buildings on Solid Wooden Elements. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1203 (2021) 022073/IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1203/2/022073
13. Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Основные требования к быстровозводимым строительным системам // Инженерный вестник Дона, №4 (2017). [Abramyan S.G., Piev A.B. Basic requirements for prefabricated building systems // Engineering Bulletin of the Don, No. 4 (2017).].
14. Авуцевиц А.Х., Егорова А.А., Скоробогатая А.С. Быстровозводимые сборно-разборные мосты многократного применения для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. №1-1(4). С. 25-28. [Avgutsevichs A.Kh., Egorova A.A., Skorobogataya A.S. Prefabricated collapsible bridges of multiple use for liquidation of consequences of emergency situations // Problems of ensuring safety in the liquidation of consequences of emergency situations. 2015. No. 1-1(4). P. 25-28.].
15. Способ изготовления составных балок: пат. 68974 СССР №41721 (305261); заявл. 13.03.1941 г; опубл. 31.07.1947. [Method for the manufacture of composite beams: Pat. 68974 USSR No. 41721 (305261); dec. 03/13/1941; publ. 07/31/1947.].
16. Стоянов, В. В. Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов / В. В. Стоянов, Ш. Жгалли // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2016. – № 1(349). – С. 115-121. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2016.1.115. – EDN VJJZOB. [Stoyanov, V.V. Increasing the load-bearing capacity of wooden bending elements / V.V. Stoyanov, Sh. Zhgalli // News of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal. – 2016. – No. 1(349). – P. 115-121. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2016.1.115. – EDN VJJZOB.]
17. Арипов Д.Н., Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А. Несущая способность листовых фасонки из пултрузионного стеклопластика в решетчатых конструкциях // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 8. С. 1115–1125. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1115-1125. [Aripov D.N., Kuznetsov I.L., Salakhutdinov M.A. Bearing capacity of pultrusion fiberglass gusset sheets in frame structures. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(8):1115-1125. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1115-1125 (rus.).].
18. В.Н.Паймушин, Р.А.Каюмов, С.А.Холмогоров, В.М.Шишкин, Определяющие соотношения в механике перекрестно армированных волокнистых композитов при кратковременном и длительном одноосном нагружении / Известия вузов. Математика.- 2018, №6, с. 85–91, издательство: КФУ, Казань, Россия, Известия высших учебных заведений. Математика, номер: 6, 2018, 85–91 с., 0 п.л. [V.N.Paimushin, R.A.Kayumov, S.A.Kholmogorov, V.M.Shishkin, Constitutive relations in the mechanics of cross-reinforced fibrous composites under short-term and long-term uniaxial loading / Izvestiya vuzov. Mathematics. - 2018, No. 6, P. 85–91.].

Информация об авторах

Зиннуров Тагир Альмирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: leongar@mail.ru

Новицкий Егор Владиславович, лаборант кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: egorka.no@gmail.com

Пермяков Станислав Викторович, лаборант кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация,

Email: theunknown1233210@gmail.com

Сулейманов Альфред Мидхатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: sulejmanov@kgasu.ru

Information about the authors

Tagir A. Zinnurov, Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Department of Highways, Bridges and Tunnels, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: leongar@mail.ru

Egor V. Novitsky, Laboratory assistant of the Department of Highways, Bridges and Tunnels, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: egorka.no@gmail.com

Stanislav V. Permyakov, Laboratory assistant of the Department of Highways, Bridges and Tunnels, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: theunknown1233210@gmail.com

Alfred M. Suleymanov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: sulejmanov@kgasu.ru