

МЕХАНИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ В ВИДЕ БЕТОННЫХ ШПОНОК В ДЕРЕВОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

А. И. Гиль¹, Д. Н. Лазовский², А. М. Хаткевич³, Г. О. Ципан³

¹ Доцент кафедры строительных конструкций, к.т.н., доцент, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29 (a.hil@psu.by, +375 29 7192017)

² Профессор кафедры строительных конструкций, д.т.н., профессор, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

³ Заведующий кафедрой строительных конструкций, к.т.н., доцент, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

⁴ Магистрант кафедры строительных конструкций, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

Аннотация.

Предмет исследования: механические соединения древесины и бетона в деревобетонных конструкциях в виде бетонных шпонок, образованных при бетонировании.

Цели: получение предварительной оценки влияния бетонной шпонки прочность соединения древесины и бетона в деревобетонных конструкциях.

Материалы и методы: разработка методика проведения экспериментальных исследований и специального испытательного стенда для определения прочности и деформативности образцов при сдвиге, позволяющего моделировать работу деревобетонного элемента при изгибе. Изготовление и испытание образцов деревобетонных конструкций.

Результаты: исследования показали, что существенное влияние на прочность рассматриваемого вида соединения оказывает прочность бетона и геометрические размеры поперечного сечения бетонных шпонок. Экспериментальные исследования позволяют получить данные по прочности и жесткости деревобетонных образцов

Выводы: проведенные исследования позволили сделать вывод об эффективности применения механического соединения бетона и древесины в виде бетонных шпонок круглого поперечного сечения и необходимости проведения дополнительных экспериментально-теоретических исследований в составных деревобетонных изгибаемых элементов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в строительной отрасли находят применения деревобетонные конструкции с учетом обеспечения их совместной работы, которые соединяют в себе преимущества обоих материалов. Преимуществами деревобетонных конструкций являются: более низкий вес по сравнению с традиционными железобетонными, повышенная жесткость по сравнению с деревянными, высокие звукоизоляционные свойства, технологичность, экологичность.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Исследования совместной работы древесины и бетона направлены на изучение в основном их клеевых соединений [1-6]. Однако, клеевое соединение, в основном, эффективно при усилении существующих зданий, где не рекомендуется

нарушать целостность деревянного настила (например, путем просверливания новых отверстий или установкой специальных стержней либо винтов) [2]. Из недостатков клевого соединения отмечают трудности в определении жесткости соединения ввиду большого разброса результатов экспериментальных исследований [7]. Таким образом, клеевое соединение находит свое применение при производстве сборных элементов, а наиболее эффективным соединением при устройстве деревобетонных конструкций на строительной площадке являются различные виды механических связей [1, 3, 8].

Основными механическими соединениями древесины и бетона являются гибкие связи в виде различных стержней, шпилек, винтов (в том числе наклонных). Жесткими связями применительно к контакту древесины и бетона считаются пазовые соединения, которые создаются путем вырезания участков древесины на некоторую глубину по длине и последующего бетонирования [9, 10]. Одним из решений пазового механического соединения является использование бетонных шпонок, образованных путем высверливания отверстий в деревянном элементе и его последующем бетонировании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработана методика проведения экспериментальных исследований деревобетонных образцов (рисунок 1), которые подвергались сдвигу при изгибе.

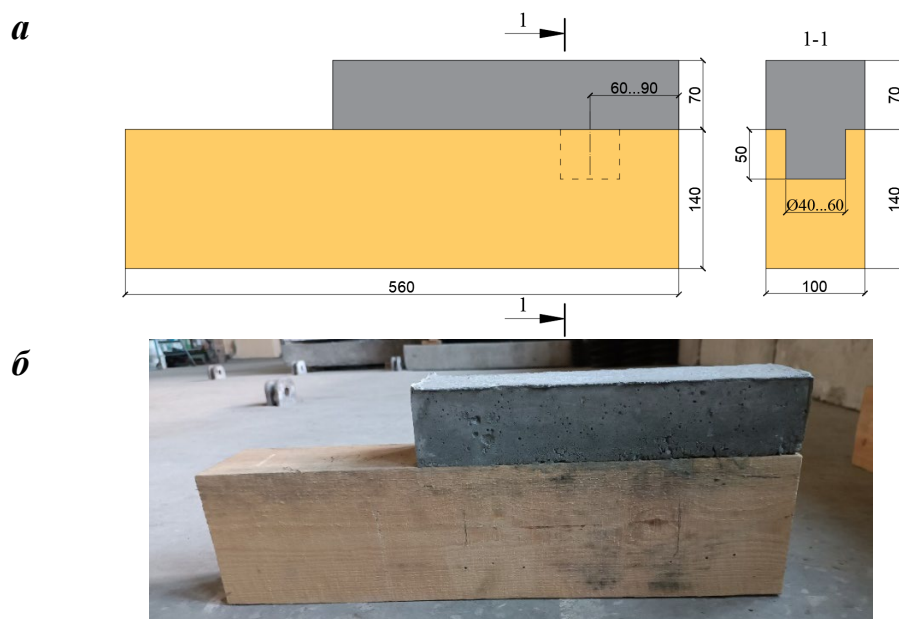


Рис. 1. Схема (а) и общий вид (б) экспериментальных деревобетонных образцов

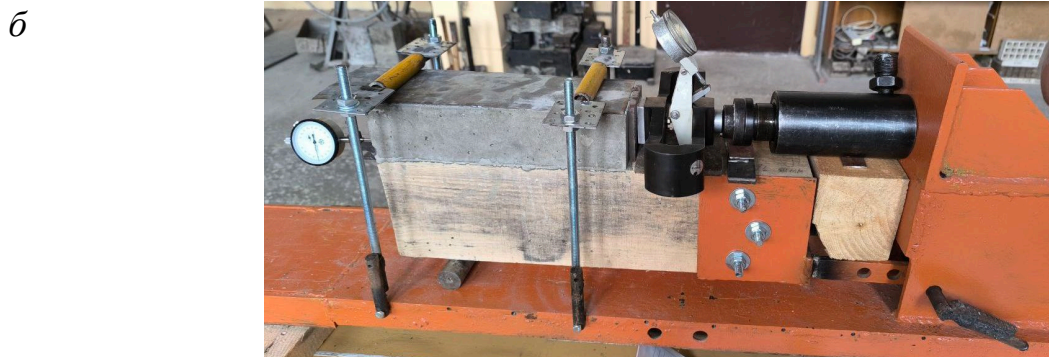
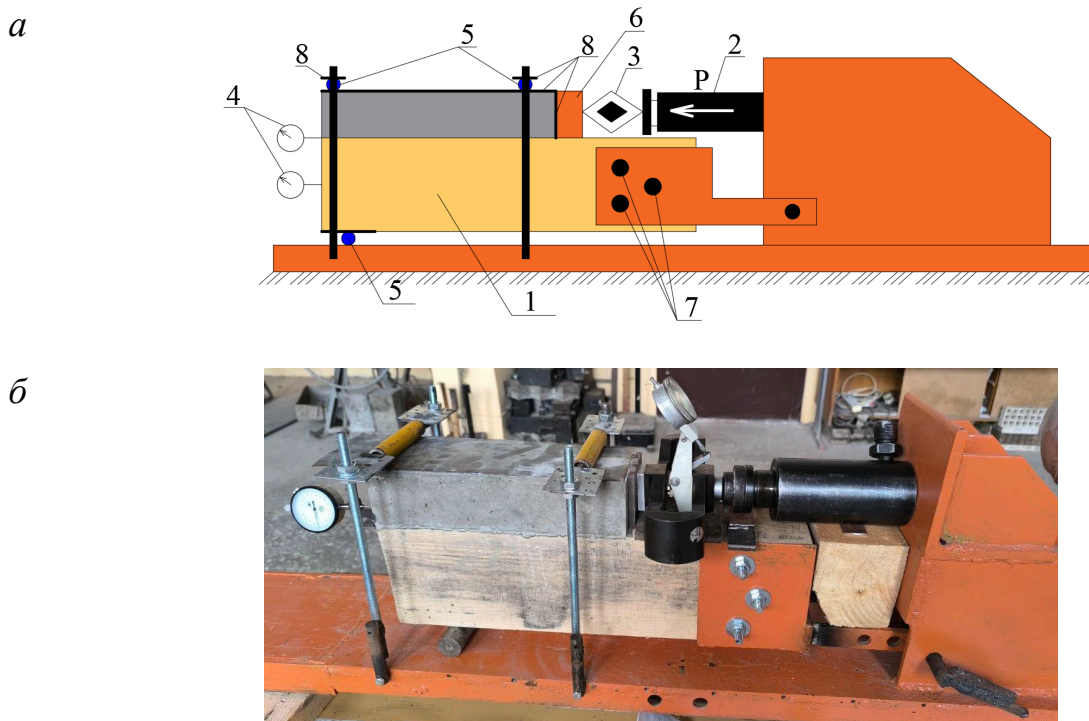
Деревобетонные образцы представляли собой две призмы, соединенные между собой бетонной шпонкой. В деревянной части высверливалось круглое отверстие на глубину 50 мм. Варьируемыми факторами при исследованиях были диаметр отверстия для шпонки и его расстояние от свободного торца образца.

На предварительном этапе исследований было изготовлено 2 опытных деревобетонных образца, параметры представлены в таблице 1.

Табл. 1. Параметры опытных деревобетонных образцов

№ образца	Диаметр шпонки, мм	Расстояние центра шпонки от свободного торца, мм	Древесина		Бетон	
			Прочность при сжатии, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при растяжении, МПа
1	40	60	47,2	55,2	39,4	3,9
2	60	60	47,2	55,2	8,4	0,97

При испытании деревобетонный образец помещался в специальный стенд и к его бетонной части горизонтально прикладывалась нагрузка. Таким образом моделировалась работа изгибаемого элемента, подверженного сдвигу (рисунок 2).



1 – опытный образец; 2 – домкрат; 3 – образцовый динамометр; 4 – индикатор часового типа; 5 – шарнирная опора; 6 – упорная пластина; 7 – болты крепления деревянной части образца к стенду; 8 – упругая пластина.

Рис. 2. Схема (а) и общий вид (б) стенда для испытания образцов на сдвиг

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных экспериментальных исследований получена общая картина совместной работы бетона и древесины. Разрушение образцов (полный сдвиг бетона относительно древесины) происходило по хрупкой схеме из-за среза бетонной шпонки по линии контакта древесины и бетона (образца 1 произошло при сдвигающем усилии равном 25 кН, образца 2 – 7,5 кН). На образцах отмечены следы пластического деформирования древесины в виде местного смятия в области шпонки (рисунок 1).

a



б



Рис 3. – Общий вид образца 1 (а) и 2 (б) после разрушения

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сделать вывод об эффективности применения механического соединения бетона и древесины в виде бетонных шпонок круглого поперечного сечения. Разрушение бетонной шпонки при срезе оказалось определяющим фактором при оценке прочности соединения. Апробированная методика экспериментальных исследований позволит получить данные о прочности и деформативности соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ceccotti A. Composite concrete-timber structures // Prog. Struct. Engng Mater. 2002; 4:264–275. DOI: 10.1002/pse.126
2. Giv A. N. et al. Experimental study and numerical simulation of adhesively bonded timber-concrete composite panels: bending behavior, adhesive shear and peel stress distributions // Engineering Structures. – 2024. – Vol. 307. – P. 117872. DOI: 10.1016/j.engstruct.2024.117872
3. Yeoh D. E. C. Behaviour and design of timber-concrete composite floor system. – 2010. [PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand]
4. Fu Q, Yan L, Ning T, Wang B, Kasal B. Behavior of adhesively bonded engineered wood – wood chip concrete composite decks: Experimental and analytical studies. Constr Build Mater 2020;247:118578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118578>.
5. Fu Q, Yan L, Thielker NA, Kasal B. Effects of concrete type, concrete surface conditions and wood species on interfacial properties of adhesively-bonded timber –

concrete composite joints. *Int J Adhes Adhes* 2021;107:102859. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102859>.

6. Frohnmüller J, Fischer J, Seim W. Full-scale testing of adhesively bonded timberconcrete composite beams. *Mater Struct* 2021;54. <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01766-y>.

7. Fuchslin M., Grönquist P., Stucki S., Mamie T., Kelch S., Burgert I., Andrea Frangi A. Push-out tests of wet-process adhesive-bonded beech timber-concrete and timber-polymer-concrete composite connections. *WCTE*. 2023: 3241–3247. DOI: <https://doi.org/10.52202/069179-0422>.

8. Dias AMPG (2005) Mechanical behaviour of timberconcrete joints. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. 293 pp. EDN: HQBNVB

9. Уткин В.А., Кобзев П.Н., Басич Е.Е., Скиба В.В. О развитии и совершенствовании деревобетонных мостов // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, №. 2 С. 296-318. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-296-318>

10. Hosseini M., Gaff M., Lair J., Hui D., Haitao L., Hosseini A., Ghosh P., Jian B. Design and analysis of timber-concrete-based civil structures and its applications: A brief review. *Advanced Materials Science*. 2023; 62. DOI: <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0321>