



УДК 694.14:624.011.1

Т. А. ЗИННУРОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **Е. В. НОВИЦКИЙ**, асс. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **С. В. ПЕРМЯКОВ**, асс. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **А. А. ЮРЬЕВА**, лаб. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ НА СРЕЗ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Тел.: (953) 493-18-84; эл. почта: egorka.no@gmail.com

Ключевые слова: деревянные конструкции, влажность, усиление, несущая способность, нагельное соединение, полимеркомпозитная арматура, срез, изгиб.

В статье описано испытание симметричных трехсоставных нагельных систем при различных влажностных режимах с целью определения зависимости деформаций образцов от нагрузки. Аналогичные испытания определения деформаций образцов были выполнены с помощью численного эксперимента, а также произведено сравнение результатов натурных и численных экспериментов.

Применение деревянных конструкций в России популярно благодаря своим преимуществам: экологичности, экономичности и высокой скорости возведения [1-4]. Быстрота возведения конструкций важна, особенно в транспортной отрасли, когда требуется наладить логистику между населенными пунктами в кратчайшие сроки. Высокая скорость монтажа позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, меняющиеся потребности, эффективно управлять ресурсами и минимизировать затраты [5-9]. Современные технологии и материалы могут ускорить строительство, при этом обеспечить конструкцию необходимой прочностью и долговечностью, например, деревянные конструкции из цельной и клееной древесины нередко усиливают полимеркомпозитными элементами [10-13]. Сочетание древесины с полимеркомпозитными изделиями позволяет создать строительные конструкции с более высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, а, следовательно, увеличить срок межремонтных мероприятий, что подтверждает зарубежный опыт [14-16].

В рамках рассматриваемой проблематики интерес вызывает работа В. П. Бурковой, в которой показано, что предварительно напряженные балки с одним слоем армирующего материала продемонстрировали значительное увеличение прочности на изгиб по сравнению с балками без армирования [17]. Исследования Глухих В. Н. продемонстрировали незначительное повышение несущей способности при усилении деревянных балок стеклопластиком с низким модулем упругости, а усиление строительных балок углепластиков значительно увеличивает их несущую способность при незначительном увеличении массы конструкции [18]. В статье Т. А. Борисовой описаны результаты испытания стеклопластиковых стержней на разрыв: в случае постепенного увеличения



нагрузки при нормальной температуре прочностные и деформативные характеристики изменяются в малых диапазонах [19].

Помимо существующей тенденции применения полимерных композитных материалов в усилении конструкций, нельзя забывать про особенности работы самой древесины, а именно, зависимости прочностных и деформативных параметров от изменения влажности. Были проанализированы работы, в которых исследуется прочность на сжатие древесины с различным влагосодержанием, описание модуля упругости древесины в разных условиях, математическое описание зависимости напряжений от деформаций [20-22]. Важно отметить работу Вареника К. А., где на основе экспериментальных данных и научных работ разработана теория нелинейной ползучести древесины и получены формулы для расчета нелинейной ползучести древесины при различных условиях нагрузки, с учетом старения и изменения влажности материала [23].

Помимо исследований поведения древесины в разных влажностных режимах и описания ее работы, важно отметить, что активно исследуются нагельные деревянные системы, объединенные с помощью стержней из различных материалов. Важной частью при исследовании нагельных систем является их численное моделирование для определения напряженно-деформированного состояния в контактных зонах, что подробно рассматривал Жилкин В. А. при помощи программы *MSC Patran-Marc*. В качестве доказательства он приводит эпюры контактных напряжений и приближенные зависимости для их предсказания [24]. Также важно упомянуть представленные математические модели жестких и нежестких нагелей Гребенюка Г. И., с помощью которых можно определить предельные значения нагрузок на односрезное нагельное соединение с разными шарнирными комбинациями [25]. На основе существующих теоретических и экспериментальных исследований формулируется цель настоящей работы – изучить напряженно-деформированное состояние стеклопластиковых стержней, работающих на срез в древесине, при разной влажности. Задачами исследования являются:

- разработка программы эксперимента и образцов нагельной системы на стеклопластиковых стержнях при разных уровнях влажности;
- проведение испытания образцов с определением зависимости «нагрузка – деформации» для каждого уровня влажности при различных режимах эксплуатации и сборки;
- сборка модели нагельной системы и проведение численного эксперимента;
- сравнение результатов натурного и численного экспериментов.

В качестве экспериментальных образцов для дальнейшего исследования была разработана симметричная нагельная система на стеклопластиковых цилиндрических нагелях, объединяющая между собой деревянные брусья. Прототипом такой системы служит техническое решение, предложенное В. С. Деревягиным, но с использованием пластинчатых нагелей [26].

Опытные образцы собраны из трех брусков сечением 150x100 мм и объединенные по схеме, соответствующей ГОСТ Р 56711-2015. В ходе проведения экспериментальных исследований все образцы были разделены на четыре группы, по три испытуемых образца. Каждая группа образцов имитировала условия технологического монтажа и эксплуатации конструкции при разных режимах влажности материала:

- сухой режим: на объект привозят сухой материал, который используется без повышения уровня влажности (обозначение СС);
- режим постоянной влажности: при возведении сооружения использовали влажный материал, и дальнейшая эксплуатация производится также во влажном состоянии (обозначение ВВ);
- режим увлажнения: на объект доставляют сухое сырье, из которого возводят конструкцию, а дальнейшая эксплуатация происходит с повышением уровня влажности (обозначение СВ);
- режим осушения: при возведении используется влажная древесина, а последующая работа конструкции происходит со снижением уровня влажности при эксплуатации (обозначение ВС).

Этап возведения в данном исследовании интерпретируется как процесс просверливания отверстий для нагелей и забивка стержней, этап эксплуатации – загрузка в соответствии с расчетной схемой (рис. 1).

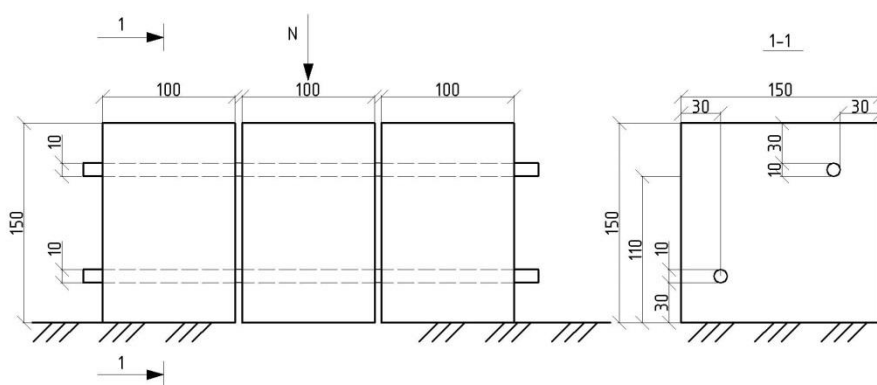


Рис. 1. Вид образца нагельной системы на стеклопластиковых стержнях

Процесс увлажнения древесины испытываемых образцов производился путем погружения в емкость с водой, а затем в вакуумный шкаф ШСВ-45. Для проверки достаточности увлажнения деревянных брусков предварительный образец разрезали пополам после 24 часов гидратации в вакуумном шкафу. Осушение образцов осуществлялось с помощью сушильного шкафа *SNOL 67/350* в течение 24 часов при температуре 105°C. Регистрация процентного содержания влаги производилось с помощью измерителя влажности *ZHT 125 Electronic*. В соответствии с требованиями в СП 35.13330.2011 влажность применяемой древесины для пиломатериалов должна быть не более 20%, а в центре тела бруса наблюдалось 23,3%, на поверхности регистрировались значения, превышающие измерительный диапазон влагомера. Осушенные образцы испытывались с влажностью ниже минимального измерительного диапазона влагомера.

Образцы нагельной системы испытывались на гидравлическом прессе П-125, для достоверности результатов измерения усилие давления штока контролировалось с помощью динамометра электронного ДЭП/6-2Д-100С-1, перемещения – с помощью прогибомера типа ПМ (рис. 2).



Рис. 2. Оборудование для проведения испытания нагельной системы (иллюстрация авторов): 1 – электронный информационный блок динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 2 – индикатор перемещений; 3 – тензодатчик динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 4 – испытываемый образец; 5 – гидравлический пресс П-125

По результатам проведенных натурных экспериментов образцов полученные результаты отображены в графике (рис. 3), в виде зависимости «Нагрузка (кН) – деформация (мм)».

Статистическая обработка результатов эксперимента заключалась в определении аппроксимирующей функции, которая необходима для оценки более четких границ отклонения показателей между режимами и последующим сравнением с численными моделями (табл. 1).

Анализируя аппроксимированные значения для всех режимов влажности, можно выделить тесную корреляцию между логарифмическими функциями за исключением группы при режиме осушения. Это связано с тем, что в осушаемых образцах под нагрузкой наблюдались значительные начальные перемещения, вызванные усушкой древесины, что привело к увеличению размеров отверстий под стержни.

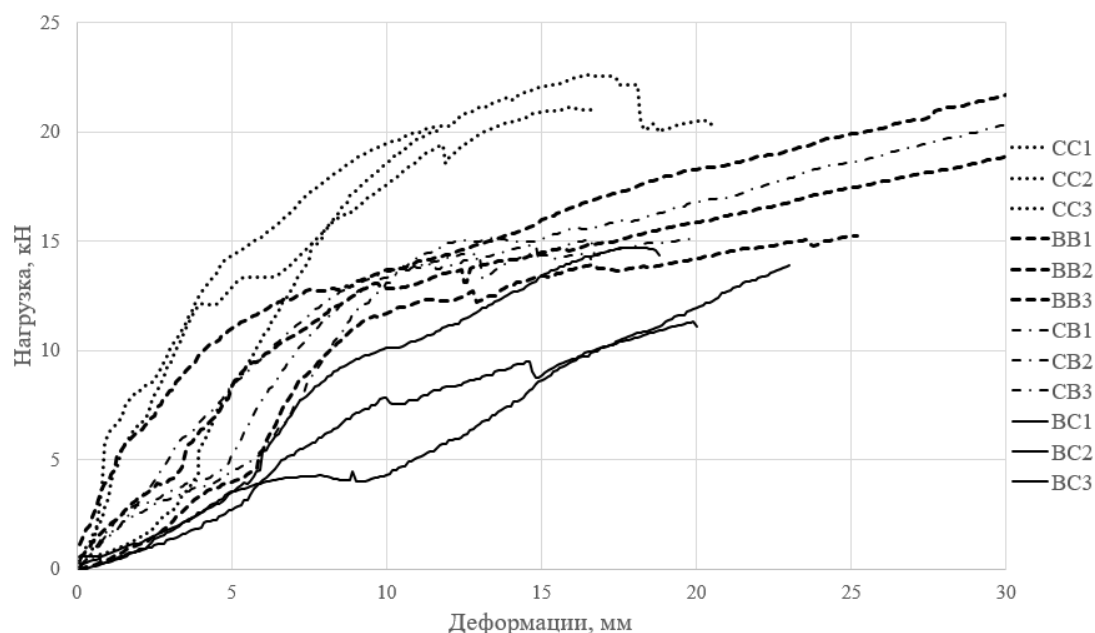


Рис. 3. График «нагрузка (кН) – деформация (мм)» для образцов при разных влажностных режимах (иллюстрация авторов)

Таблица 1

Значения аппроксимирующих функций и показатели их точности

Наименование влажностной группы	Аппроксимирующая функция	Величина достоверности аппроксимации	Среднее значение предельной разрушающей нагрузки, кН
Сухой режим (CC)	$y = 6.2577\ln(x) + 3,0481$	$R^2 = 0,8365$	20,53
Режим постоянной влажности (BB)	$y = 4.6601\ln(x) + 1,8062$	$R^2 = 0,8259$	18,61
Режим увлажнения (CB)	$y = 4.7247\ln(x) + 1,1545$	$R^2 = 0,8206$	16,59
Режим осушения (BC)	$y = 0,6921x + 0,0533$	$R^2 = 0,8260$	13,12

Анализ полученных данных по соотношению «нагрузка – деформация» позволяет сделать вывод о том, что образцы, находившиеся постоянно в сухом состоянии, демонстрируют наилучшую сопротивляемость деформациям. Образцы, испытанные во влажном состоянии, независимо от их состояния на момент сборки, показывают близкие друг к другу значения и отличаются от полностью сухих на 40–45%. Нагельная система, работающая в режиме осушения, демонстрирует наихудшие результаты, а относительные отклонения в деформациях составляют от режима CC – 180–200%, а от режима CB – 120–150%.

Анализируя характер разрушения образцов, следует подчеркнуть, что для сухих образцов характерно расщепление волокон в теле бруса, при этом некоторые волокна полностью раскалывались на две части. В некоторых случаях раскол тела бруса наблюдался и у влажных образцов. Во влажных образцах четкое смещение волокон не наблюдалось, однако отмечалось образование грушевидных форм смятия посадочных отверстий, которые также были зафиксированы и на сухих образцах. Стержни, в свою очередь, разрушались не по

схеме чистого среза, а с заметным U-образным искривлением, что указывает на его изгиб (рис. 4).



Рис. 4. Форма разрушения экспериментального образца сухого режима (иллюстрация авторов)

Для прогнозирования несущей способности нагельной системы в аналогичных конструкциях и анализа работы стеклопластикового стержня в экспериментальном образце, полученные результаты были сопоставлены с численной моделью, созданной в программном комплексе *ANSYS*.

При построении численной модели необходимо было определить ключевые физико-механические параметры, влияющие на снижение несущей способности влажной древесины. Предполагалось, что одним из ключевых факторов является модуль упругости контактной зоны древесины. Для проверки этого предположения, в соответствии с ГОСТ 16483.24-73, были подготовлены образцы-призмы размером 20х20х60 мм, которые затем были испытаны методом сжатия вдоль волокон с использованием гидравлического пресса ПГМ-100МГ4. Испытания проводились при различных уровнях влажности, которые достигались с помощью той же технологии, что и для основных нагельных систем. Согласно нормативной методике, были получены следующие начальные модули упругости для сухой древесины – 11300 МПа, и для влажной древесины – 6500 МПа.

На основе расчетной схемы (рис. 1) в программном комплексе *ANSYS* была создана геометрия численной модели экспериментального образца с дальнейшей вариацией физических параметров (рис. 5).

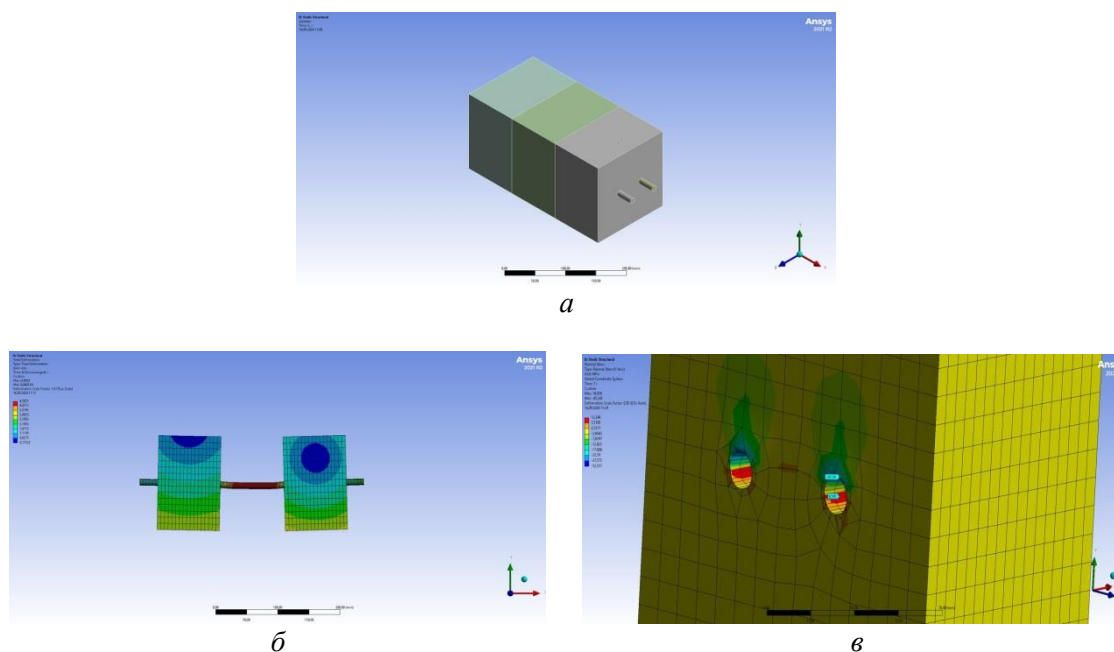


Рис. 5. Численная модель нагельной системы: *а* – общий вид; *б* – НДС нагеля; *в* – эпюра напряжений отверстий в брус

Анализируя напряженно-деформированное состояние численной модели, важно отметить, что заметны схожие виды деформаций, как у натуральных образцов, а именно: U-образное смещение нагеля и грушевидная эпюра деформаций монтируемых отверстий для стержней.

В качестве сравнительного анализа сопоставлялись полученные графики аппроксимации параметров «нагрузка – деформация» для численного эксперимента и натуральных испытаний в сухом и влажном состоянии древесины (рис. 6).

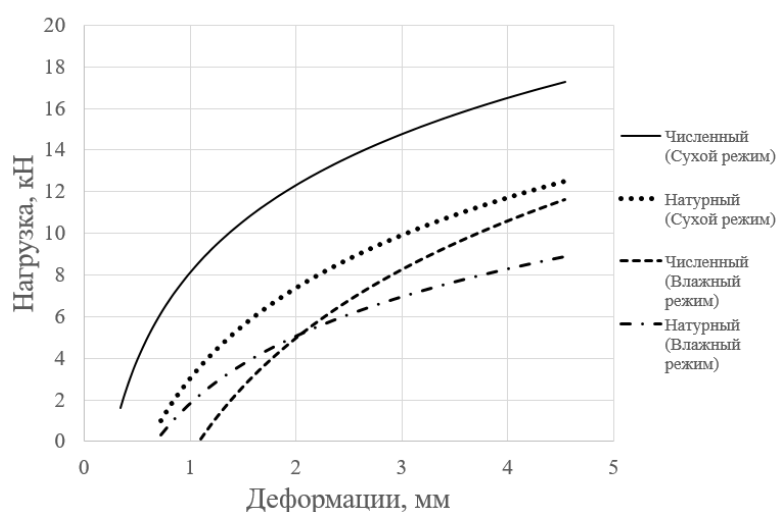


Рис. 6. График «нагрузка – деформация» нагельных систем численного и натурального эксперимента (иллюстрация авторов)



При анализе результатов натурального и численного экспериментов была дана интервальная оценка сопоставления двух графиков при разных режимах увлажнения (табл. 2). Предположительно, разность в результатах численного и натурального экспериментов обусловлена локальными деформациями волокон древесины, требующая уточнения в дальнейших работах.

Таблица 2

Результаты численного и натурального экспериментов

Наименование эксперимента	Аппроксимирующая функция	Интервальная оценка отношения графиков функций, через коэффициент
Численный (Сухой режим)	$y = 6,035\ln(x) + 8,1388$	1,38-1,42
Натурный (Сухой режим)	$y = 6,2577\ln(x) + 3,0481$	
Численный (Влажный режим)	$y = 8,0916\ln(x) - 0,6374$	1,27-1,31
Натурный (Влажный режим)	$y = 4,648\ln(x) + 1,8327$	

Заключение

1. В лабораторных условиях была предложена технология увлажнения и осушения образцов, позволяющая достигать критических значений влажности в теле бруса. В процессе создания образцов нагельных систем возникли трудности при сверлении и забивки стержней в отверстия деревянного бруса во влажном состоянии, поэтому в качестве практической рекомендации оптимальным технологическим режимом для монтажа считается сухое состояние древесины.

2. Анализ экспериментальных данных показывает, что сухие образцы имеют наилучшее сопротивление и минимальные деформации. Влажные образцы демонстрируют средние значения. Системы в режиме осушения показывают худшие результаты из-за усушки древесины и увеличения отверстий для стержней. Все режимы, кроме осушения, имеют тесную корреляцию с логарифмическими функциями, а влажные образцы схожи по значениям.

3. Рассматривая результаты численного эксперимента, можно отметить схожесть деформаций стержня и гнезд-отверстий в деревянном бруссе, а также распределения значений графика «нагрузка – деформация» с натурными испытаниями.

4. Сравнительный анализ графиков численного и натурального экспериментов выявил, что разница между значениями может варьироваться в интервале 1,38-1,42 для сухих образцов и 1,27-1,31 для влажных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы и актуальные тенденции использования деревянных конструкций в устойчивом развитии городов / Т. А. Гасанов, А. У. Б. Пошев, О. А. Казиханов [и др.] // Отходы и ресурсы. – 2022. – Том 9, № 4. – DOI 10.15862/25ECOR422. – Текст : электронный.

2. Стоянов, В. О. Исследования балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями /



В. О. Стоянов, А. А. Погорельцев. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3 (278). – С. 70–74.

3. Михалева, С. А. Деревянные быстровозводимые конструкции : перспективы и вызовы / С. А. Михалева, Д. В. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2023. – № 4. – С. 12–23.

4. Ушаков, В. В. Уточнение требований к нормативным показателям при оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования / В. В. Ушаков. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 1 (5). – С. 101–107.

5. Приказчикова, Н. П. Тенденции в использовании быстровозводимых конструкций при последствиях чрезвычайных ситуаций. – Текст : непосредственный / Н. П. Приказчикова, А. С. Приказчиков // Русский инженер. – 2023. – № 4 (81). – С. 38–40.

6. Численное исследование несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей / М. А. Салахутдинов, Р. А. Каюмов, Д. Н. Арипов, А. Р. Ханеков. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 2 (60). – С. 15–23.

7. Петров, А. С. К вопросу оценки переувлажнения конструкций в местах теплотехнических неоднородностей / А. С. Петров, А. М. Юзмухаметов, А. И. Иванцов. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 3 (61). – С. 45–55.

8. Зиннуров, Т. А. Исследование совместной работы деревянных составных балок / Т. А. Зиннуров, К. А. Нурмухаметов. – Текст : непосредственный // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 4 (08). – С. 20–23.

9. Огурцов, Г. Л. Метод прогнозирования момента трещинообразования пролетного строения моста / Г. Л. Огурцов, Н. А. Ермошин. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 2 (6). – С. 73–83.

10. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй / А. Г. Хантимиров, Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов, В. Г. Хозин. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 3 (61). – С. 75–81.

11. Сулейманов, А. М. Способ оценки долговечности деревянных опор / А. М. Сулейманов, Д. С. Смирнов, К. Р. Белаева. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2021. – № 4 (58). – С. 48–58.

12. Зиннуров, Т. А. Определение сопротивления вырыву гибких связей из различных материалов / Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий, С. В. Пермяков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 2024. – № 6. – С. 18–28.

13. Перспективные технологии утилизации отходов теплоэнергетики при изготовлении теплоизоляционных материалов / Г. А. Медведева, А. А. Юсупова, Э. Р. Сиразева, Д. А. Макеева. – Текст : электронный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 3 (7). – С. 38–46. – EDN: SUXGXX.

14. Embedment behaviour of fully threaded bolts in glued laminated timber / Xu Bo-Han, Lin Ji-Bo, Zhao Yanhua, Bouchair Abdelhamid // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Volume 81. – P. 1–18.

15. Numerical and Experimental Analysis of the Load-Carrying Capacity of a Timber Semi-Rigid Dowel-Type Connection : materials / Johanides Marek, Lokaj Antonin, Dobeš Pavel, Mikolasek David. – 2022. – № 15. – P. 7222. – DOI 10.3390/ma15207222.

16. Birch plywood as gusset plates in glulam frame via mechanical connectors : a combined experimental and numerical study / Wang Yue, Wang Tianxiang, Persson Pontus, Hedlund Patrik, Crocetti Roberto, Wålinder Magnus // Journal of Building Engineering. – 2023. – Volume 65, № 4/15 – P. 105744.

17. Буркова, В. П. Усиление клееных балок из низкосортной древесины волокнистыми пластиковыми лентами / В. П. Буркова. – Текст : электронный // Строительство. Архитектура. Дизайн : материалы Всероссийской научно-практической



конференции молодых ученых, 24 апреля 2020 г. : труды конгресса / Курский государственный университет. – Курск. – 2020. – С. 32–35. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43124383_59782845.pdf.

18. Глухих, В. Н. Усиление элементов конструкций наклейкой композиционных материалов в сжатой и растянутой зоне / В. Н. Глухих, В. М. Петров, Е. В. Худаев. – Текст : непосредственный // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Том 9, № 6. – С. 1273–1281.

19. Борисова, Т. А. Исследование влияния температурного воздействия на работу стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях / Т. А. Борисова, Т. А. Зиннуров, А. Н. Куклин. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 2 (44). – С. 136–144.

20. Оценка изменения прочности древесины в условиях повышенной влажности / В. Т. Ерофеев, О. В. Старцев, В. Д. Антошкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–12. – С. 2630–2638.

21. Мартышкин, Д. О. Влияние влажностного состояния на деформативные характеристики древесины при статическом и динамическом нагружении / Д. О. Мартышкин, И. Ю. Лавров. – Текст : непосредственный // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : материалы XVIII Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной памяти профессора В. И. Калашникова, 25–27 октября 2023 г. / под общей редакцией М. О. Коровкина, Н. А. Ерошкиной. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 2023. – С. 127–133.

22. Дериглазов, О. Ю. Экспериментальное обоснование модуля упругости в численных расчетах конструкций из древесины сосны / О. Ю. Дериглазов. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 3 (16). – С. 155–157.

23. Вареник, К. А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины / К. А. Вареник. – Текст : непосредственный // Вестник Новгородского государственного университета. – 2013. – № 75-1. – С. 60–64.

24. Жилкин, В. А. Численное исследование деформированного состояния нагельного соединения из древесины сосны / В. А. Жилкин. – Текст : непосредственный // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Том 70. – С. 55–60.

25. Расчет предельных нагрузок на односрезные нагельные соединения растянутых деревянных элементов с использованием решений формируемых условно-экстремальных задач / Г. И. Гребенюк, В. В. Пуртов, А. В. Павлик, Н. И. Кулешова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 6 (702). – С. 81–93.

26. Патент № 68974 СССР, Способ изготовления составных балок : № 41721(305261) : заявл. 13.03.1941 : опубл. 01.01.1947 / Деревягин В. С. – 1 с. – Текст : непосредственный.

ZINNUROV Tagir Almirovich, candidate of technical sciences, senior researcher of the chair of highways, bridges and tunnels; NOVITSKY Egor Vladislavovich, assistant of the chair of highways, bridges and tunnels; PERMYAKOV Stanislav Viktorovich, assistant of the chair of highways, bridges and tunnels; YURIEVA Arina Alekseevna, laboratory assistant of the chair of highways, bridges and tunnels

RESEARCH OF THE STRENGTH OF WOODEN DOWEL SYSTEMS CONNECTED BY POLYMER COMPOSITE RODS AT DIFFERENT HUMIDITY



Kazan State University of Architecture and Engineering.

1, Zelenaya St., Kazan, 420043, Russia.

Tel.: +7 (953) 493-18-84; e-mail: egorka.no@gmail.com

Key words: wooden constructions, humidity, reinforcement, bearing capacity, dowel joint, polymer composite reinforcement, shear, bend.

The article describes the testing of symmetrical three-component nagel systems for various humidity combination in order to determine the dependence of deformations on load for each combination, determining deformations using numerical simulation of the experiment, as well as comparing the results of field and simulated tests.

REFERENCES

1. Gasanov T. A., Poshev A. U. B., Kazikhanov O. A. [et al.], Perspektivy i aktualnye tendentsii ispolzovaniia dereviannykh konstruksii v ustoichivom razvitii gorodov [Perspectives and current trends in the use of wooden structures in sustainable urban development]. Otkhody i resursy [Waste and resources.]. 2022, Vol. 9, № 4.
2. Stoyanov V. O., Pogoreltsev A. A. Issledovaniia balki, armirovannoy polimernymi kompozitami na uchastkakh s maksimalnymi normalnymi i kasatelnyimi napriazheniiami [Studies of beams reinforced with polymer composites in areas with maximum normal and tangential stresses] Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [Construction mechanics and calculation of structures]. 2018, № 3 (278), P. 70–74.
3. Mikhaleva S. A., Dmitriev, D. V. Dereviannye bystrovozvodimye konstruksii: perspektivy i vyzovy [Wooden prefabricated structures: prospects and challenges]. Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and Architecture]. 2023, № 4, P. 12–23.
4. Ushakov V. V. Utochnenie trebovaniy k normativnym pokazatelyam pri otsenke transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya avtomobilnykh dorog obshchego polzovaniya [Clarification of the requirements for regulatory indicators in assessing the transport and operational condition of public roads] Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]. 2024, № 1 (5), P. 101–107.
5. Prikazchikova N. P., Prikazchikov A. S. Tendentsii v ispolzovanii bystrovozvodimykh konstruksii pri posledstviyakh chrezvychaynykh situatsii [Trends in the use of prefabricated structures in the aftermath of emergencies] Russkii inzhener [Russian Engineer]. 2023, № 4 (81), P. 38–40.
6. Salakhutdinov M. A., Kayumov R. A., Aripov D. N., Khanekov A. R. Chislennoe issledovanie nesushchey sposobnosti balki sostavnogo dvutavrovogo secheniya iz pultruzionnykh stekloplastikovyykh profiley [Numerical study of the bearing capacity of a composite I-shaped section beam of pultruded fiberglass profiles] Izvestiia KGASU [News KSUAE] 2022. № 2 (60). P.15–23.
7. Petrov A.S., Juzmuhametov A. M., Ivantsov A. I. K voprosu otsenki pereuvlazhneniya konstruksii v mestakh teploekhnicheskikh neodnorodnostei [Assessing overmoistening of structures in places of heat engineering inhomogeneities] Izvestiia KGASU [News KSUAE], 2022, №3 (61), P. 45–55.
8. Zinnurov T. A., Nurmukhametov K. A. Issledovanie sovmestnoy raboty dereviannykh sostavnykh balok [Study of joint operation of clarke beams] Sovremennoe stroitelstvo i arkhitektura [Modern Construction and Architecture]. 2017, № 4 (08), P. 20–23.
9. Ogurtsov G. L., Ermoshin N. A. Metod prognozirovaniya momenta treshchinoobrazovaniya proleznogo stroeniya mosta [A method for predicting the moment of cracking of a bridge superstructure] Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]. 2024, № 2 (6), P. 73–83.
10. Khantimirov A. G., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. K., Khozin V. G. Drevesno-polimernye kompozity na osnove polivinilkhlorida, usilennye bazaltovoi fibroy [Wood-polymer

composites based on polyvinyl chloride reinforced with basalt fiber] *Izvestiia KGASU [News KSUAE]*. 2022, № 3 (61), P. 75–81.

11. Suleymanov A. M., Smirnov D. S., Belaeva K. R. Sposob otsenki dolgovechnosti dereviannykh opor [Durability of wooden structures] *Izvestija KGASU [News KSUAE]*. 2021, 4 (58), P. 48–58.

12. Zinnurov T. A., Novitsky E. V., Permyakov S. V. Opredelenie soprotivleniya vyryvu gibkikh svyazey iz razlichnykh materialov [Determination of the tear resistance of flexible bonds from various materials] *Izvestiia vuzov. Stroitelstvo [News of universities. Construction]*. 2024, № 6, P. 18–28.

13. Medvedeva G. A., Yusupova A. A., Siracheva E. R., Makeeva D. A. Perspektivnye tekhnologii utilizatsii otkhodov teploenergetiki pri izgotovlenii teploizolyatsionnykh materialov [Promising technologies for waste disposal of thermal energy in the manufacture of thermal insulation materials] *Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]*. 2024, № 3 (7), P. 38–46. EDN: SUXGXX.

14. Xu, Bo-Han & Lin, Ji-Bo & Zhao, Yanhua & Bouchair, Abdelhamid. (2022). Embedment behaviour of fully threaded bolts in glued laminated timber. *European Journal of Wood and Wood Products*. 81. 1–18.

15. Johanides, Marek & Lokaj, Antonin & Dobeš, Pavel & Mikolasek, David. (2022). Numerical and Experimental Analysis of the Load-Carrying Capacity of a Timber Semi-Rigid Dowel-Type Connection. *Materials*. 15. 7222.

16. Wang, Yue & Wang, Tianxiang & Persson, Pontus & Hedlund, Patrik & Crocetti, Roberto & Wälinder, Magnus. (2022). Birch plywood as gusset plates in glulam frame via mechanical connectors: A combined experimental and numerical study. *Journal of Building Engineering*. 65. 105744.

17. Burkova V. P. Usilenie kleenyykh balok iz nizkosortnoy drevesiny voloknistymi plastikovymi lentami [Reinforcement of glued beams from low-grade wood with fibrous plastic tapes] *Stroitelstvo. Arkhitektura. Dizain [Construction. Architecture. Design]: materialy Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Kursk, April 24, 2020*, P. 32–35.

18. Glukhikh V. N., Petrov V. M., Khudaev E. V. Usilenie elementov konstruktsii nakleikoy kompozitsionnykh materialov v szhatoi i rastianutoi zone [Reinforcement of structural elements by sticker of composite materials in a compressed and stretched zone] *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2017, Vol. 9, № 6, P. 1273–1281.

19. Borisova T. A., Zinnurov T. A., Kuklin A. N. Issledovanie vliianiya temperaturnogo vozdeistviya na rabotu stekloplastikovoy armatury v betonnykh konstruktsiyakh [Investigation of the influence of temperature impact on the work of fiberglass reinforcement in concrete structure] *Izvestiya KGASU [News KSUAE]* 2018, № 2 (44), P. 136–144.

20. Yerofeev V. T., Startsev O. V., Antoshkin V. D. [et al.] Otsenka izmeneniya prochnosti drevesiny v usloviyakh povyshennoi vlazhnosti [Assessment of changes in the strength of wood in conditions of high humidity] *Fundamentalnye issledovaniia [Fundamental research]*. 2014, №. 9–12, P. 2630–2638.

21. Martyshkin D. O., Lavrov I. Y. Vliianie vlazhnostnogo sostoianiya na deformativnye kharakteristiki drevesiny pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhении [The influence of humidity on the deformative characteristics of wood under static and dynamic loading] *Teoriya i praktika povysheniya ehffektivnosti stroitelnykh materialov [Theory and practice of improving the efficiency of building materials]: Materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posviashchennoi pamiati professora V.I. Kalashnikova. Penza, October 25–27. pod obshchey redaktsii M. O. Korovkina, N. A. Eroshkinoy*. 2023, P. 127–133.

22. Deriglazov O. Yu. Ehksperimentalnoe obosnovanie modulya uprugosti v chislennykh raschetakh konstruktsiy iz drevesiny sosny [Experimental substantiation of the modulus of elasticity in numerical calculations of structures made of pine wood] *Vestnik Tomskogo*



gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Journal of Construction and Architecture]. 2007, № 3 (16), P. 155–157.

23. Varenik K. A. Approksimatsiya diagrammy deformirovaniya drevesiny [Approximation of the wood deformation diagram] Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Novgorod State University]. 2013, №. 75-1, P. 60–64.

24. Zhilkin V. A. Chislennoe issledovanie deformirovannogo sostoianiya nagelnogo soedineniia iz drevesiny sosny [Numerical investigation of the deformed state of a nagel compound made of pine wood] Vestnik Cheliabinskoy gosudarstvennoy agroinzhenernoy akademii [Bulletin of the Chelyabinsk State Agroengineering Academy]. 2014, Vol. 70, P. 55–60.

25. Grebenyuk G. I., Purtov V. V., Pavlik A. V., Kuleshova N. I. Raschet predelnykh nagruzok na odnosreznye nagelnye soedineniya rastianutykh dereviannykh ehlementov s ispolzovaniem resheniy formiruemykh uslovno-ehkstremaalnykh zadach [Calculation of limit loads on single-cut nagel joints of stretched wooden elements using solutions to conditionally extreme problems being formed] Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction.] 2017, № 6 (702), P. 81–93.

26. Patent № 68974 SSSR, Sposob izgotovleniya sostavnykh balok [Method for the manufacture of composite beams]: № 41721(305261) : zayavl. 13.03.1941 : opubl. 01.01.1947 / Derevyagin V. S. – 1 p.

© Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий, С. В. Пермяков, А. А. Юрьева, 2025

Получено: 14.02.2025 г.