

Для цитирования: Инжухтов И.С., Мезенцев В.В., Назиров Р.А., Рожков А.Ф., Хованский М.Е. Влияние влажностного состояния древесины на прочностные свойства гвоздевых соединений. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (4):151-160. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-151-160

For citation: Inzhutov I.S., Mezentssev V.V., Nazirov R.A., Rozhkov A.F., Hovanskiy M.E. The influence of the moisture content of wood on the strength properties of nailed connections. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (4):151-160. (In Russ.) DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-4-151-160

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 694.142.5

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-151-160

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГВОЗДЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Инжухтов И.С.¹, Мезенцев В.В.², Назиров Р.А.³, Рожков А.Ф.⁴, Хованский М.Е.⁵

¹⁻⁵ Сибирский Федеральный университет,

¹⁻⁵ 660000, г. Красноярск, Свободный проспект, 79, Россия,

¹ e-mail: i.s.i.sfu@mail.ru ² e-mail: Vladslav.Mezentssev@yandex.ru,

³ e-mail: nazirovra@gmail.com, ⁴ e-mail: 89994433191@yandex.ru,

⁵ e-mail: maximko222@mail.ru

Резюме. Цель. Влажностное состояние древесины оказывает значительное влияние на прочность соединений элементов деревянных конструкций. Однако исследований в данном направлении проведено крайне мало, поэтому требуется более детальное изучение существующей конкретной зависимости между влажностью древесины и прочностью соединений деревянных элементов. **Целью** исследования является определение влияния капиллярной (свободной) и связанной (гигроскопической) влажности древесины на прочность гвоздевых соединений, работающих на выдергивание. **Метод.** Проведение экспериментальных исследований. **Результат.** Произведено испытание трех серий образцов, у каждого образца было найдено максимальное усилие выдергивания гвоздя и рассчитано предельное сопротивление выдергиванию по формуле СП. Образцы первой серии испытывались при сухом состоянии древесины. Образцы второй серии перед испытанием были увлажнены. В течение суток они были погружены в воду для достижения в них капиллярной влажности. Образцы третьей серии перед испытанием были увлажнены путем набора гигроскопической влажности. Образцы длительное время находились в эксикаторе над водой без прямого контакта. **Вывод.** В ходе исследования было установлено, что капиллярная и гигроскопическая влажность существенным образом влияют на прочность гвоздевых соединений, причем влияние на максимальное выдергивающее усилие оказывает не тип влажности, а её значение. Образцы первой серии показали наибольшее сопротивление выдергиванию гвоздя. Образцы второй серии имели сопротивление выдергиванию на 48% меньше. У образцов третьей серии прочность гвоздевого соединения была снижена на 31% относительно сухой древесины. Результаты исследования подтверждают необходимость учета влажности при проектировании и эксплуатации гвоздевых соединений.

Ключевые слова: гвоздь, выдергивание, предельное сопротивление выдергиванию гвоздей, древесина

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

THE INFLUENCE OF THE MOISTURE CONTENT OF WOOD ON THE STRENGTH
PROPERTIES OF NAILED CONNECTIONS

*Ivan S. Inzhutov¹, Vladislav V. Mezentsev², Rashit A. Nazirov³,
Alexander F. Rozhkov⁴, Maxim E. Khovansky⁵*

¹⁻⁵Siberian Federal University,

¹⁻⁵79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia,

¹e-mail: i.s.i.sfu@mail.ru ²e-mail: vladslav.Mezentsev@yandex.ru,

³e-mail: nazirovra@gmail.com, ⁴e-mail: 89994433191@yandex.ru,

⁵e-mail: maximko222@mail.ru

Abstract. Objectives It is known that the moisture content of wood has a significant effect on the joint strength of elements of wooden structures. However, there has been little research in establishing a specific relationship between the moisture content of wood and the nailed joint strength of wooden elements. The aim of the study is to determine the influence of capillary (free) and bound (hygroscopic) wood moisture on the strength of nailed connections during pull-out. **Methods** Conducting experimental studies. **Results** Three series of samples were tested. For each sample the maximum nail pulling force was determined, with the ultimate pulling resistance calculated according to the formula supplied by the appropriate Rules and Regulations. The samples of the first series were tested with wood having low moisture content. The samples of the second series were moistened prior to the test by being immersed in water for 24 hours to gain capillary moisture. The samples of the third series were moistened prior to the test hygroscopic moisture absorption by being placed in a desiccator above water for a long time without direct contact. **Conclusion** In the course of the study, it was found that both capillary and hygroscopic moisture significantly affects the strength of nailed connections, and that the effect on the maximum pulling force is not determined by the type of moisture, but by its value. The samples of the first series indicated the greatest nail pulling resistance. The samples of the second series had nail pulling resistance less by 48%. In the third series, the strength of the nailed connection was reduced by 31% as compared to the dry wood. The results of the study confirm the necessity of taking into account the humidity during the design and operation of nailed connections.

Keywords: nail, pulling, ultimate nail pulling resistance, wood

Введение. Древесина является гигроскопичным материалом, она постоянно обменивается влагой с окружающей средой. При длительном нахождении в неизменяемых условиях окружающей среды, т.е. при определенной температуре и влажности окружающего воздуха, древесина приходит к равновесной влажности.

Для определения равновесной влажности пользуются диаграммой профессора П.С. Сергеевского [1]. Данная диаграмма построена в координатах температура – степень насыщения воздуха (по вертикали относительная влажность воздуха, по горизонтали его температура). Пересечение этих показателей дает наклонную линию, которая показывает влажность древесины в процентах. Диаграмма представлена на рис. 1.

Однако климатические условия часто меняются, древесина редко бывает в состоянии равновесной влажности. К примеру, утром воздушная среда нагревается от солнечных лучей, при этом нагревается и система металл-древесина.

Ввиду разницы в структурах материалов древесины и металла, влекущим за собой большую разницу в их теплофизических характеристиках, прогрев слоев древесины происходит значительно медленнее нагрева металла.

Затем температура окружающей среды достигает максимума и начинается процесс

охлаждения воздуха. При этом вследствие теплообмена будет понижаться и температура металла.

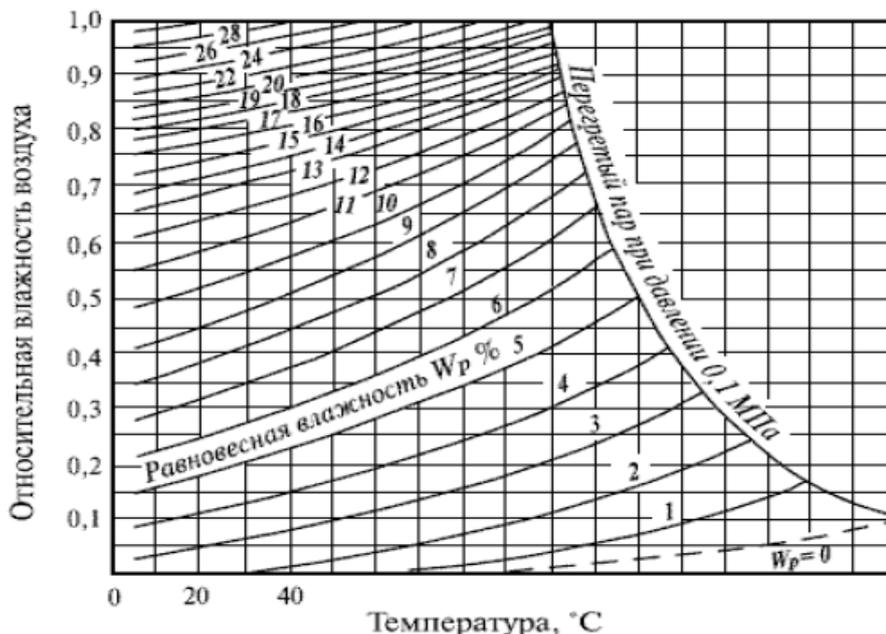


Рис.1. Диаграмма профессора Серговского П.С. [1].
Fig.1. Diagram of Professor P.S Sergovsky

Для древесины этот процесс будет происходить менее интенсивно и неравномерно из-за её анизотропии [5-10]. В определенный момент времени температура воздушной среды вокруг металла станет равна температуре точки росы, поэтому дальнейшее охлаждение будет сопровождаться выпадением влаги в виде росы и инея.

Причиной конденсации является наличие в воздухе достаточного количества водяных паров и происходящий процесс перепада температур. При соприкосновении металла с древесиной происходит их взаимодействие, в результате чего древесина увлажняется [2-3]. Описанный выше процесс имеет циклический характер.

В большинстве трудов по теоретическим и экспериментальным исследованиям деревянных конструкций отмечается негативное влияние повышенной температуры и влажности среды эксплуатации нагельных соединения, как на саму древесину, так и на соединение деревянных элементов [12-20].

При постоянном воздействии влаги происходит гниение, в нагельном соединении начинается разбалтывание и со временем конструкция начинает провисать.

Значительный прогиб конструкции характеризует наступление предельного состояния второй группы, при котором дальнейшая эксплуатация становится опасной.

Влажность древесины влияет на основные механические, физические и технические свойства древесины и древесных материалов.

Так, например, изменение влажности влияет на размеры древесины и древесных материалов, прочность и деформативность.

Древесина, будучи гигроскопическим материалом, поглощает (или отдает) водяные пары из окружающего воздуха стенками клеток, а свободную или капиллярную влагу набирает в межклеточное пространство.

В связи с этим различаются две категории влажности [4]:

1) гигроскопическая (связанная или сорбционная) влажность ниже точки насыщения волокон, которая наблюдается примерно до 28%; в этой области влажность древесины зависит от относительной влажности и температуры окружающего воздуха;

2) капиллярная (свободная) влажность выше точки насыщения волокон; при насыщении стенок клеток полости клеток заполняются водой.

Капиллярная (свободная) влажность наблюдается у только что срубленной древесины и у древесины, которая целиком или частично соприкасается с водой.

Гвозди применяются главным образом в узловых сопряжениях при сплачивании дощатых конструкций и в прокладках сжатых элементов. При забивке гвоздя в дерево последнее оказывает известное сопротивление – волокна древесины перерезаются, частично раздвигаются, и древесина, прилегающая к поверхности гвоздя, уплотняется.

Возможность прочного внедрения постороннего тела в древесину – «гвоздимность древесины» – является одним из весьма важных положительных качеств дерева как строительного материала.

В деревянных конструкциях гвозди работают на сдвиг и на выдергивание.

Соединения с изгибаемыми гвоздями применяются в стыках и узлах дощатых конструкций, препятствуя взаимным смещениям соединяемых элементов. Соединения с изгибаемыми гвоздями работают и рассчитываются аналогично соединениям с изгибаемыми болтами — гвозди работают на изгиб, а окружающая древесина — на смятие с некоторыми особенностями.

Соединения с выдергиваемыми гвоздями относятся к классу соединений с растянутыми связями. Они применяются для крепления досок, подшивок потолков, щитов перекрытий, опалубки, стропильных систем кровельных покрытий.

Несущую способность гвоздя диаметром d на выдергивание T_2 определяют по формуле (1) как произведение сопротивления выдергиванию $R_{в.г.}$ на площадь поверхности трения.

При этом рабочую длину гвоздя l_1 находят по длине заземленной цилиндрической части гвоздя без учета длины (острия), равной $1,5d$ [6].

Формула имеет вид:

$$T_Г = R_{в.г.} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \quad (1)$$

Следует отметить, что существенную роль на сопротивление выдергиванию гвоздя оказывает направление вбиваемого гвоздя по отношению к волокнам, а также порода древесины.

В статье [11] представлены результаты испытаний на выдергивающую силу гвоздя для пяти различных пород древесины (бук, ольха, каштан, ель и сосна).

Испытания проводились в соответствии со стандартами TS 6094 и ASTM-D 143 и ASTM-D 1761.

Использовался гвоздь размером 2.5 мм в диаметре и 50 мм в длине. В результате самое большое значение выдергивающего усилия было получено в буке, а наименьшее – в сосне и ели.

В [9] были опубликованы результаты зависимости выдергивающего усилия гвоздя от тангенциального, радиального и продольного направления волокон вбиваемого гвоздя.

Было установлено, что необходимо наибольшее усилие для выдергивания гвоздя, вбитого в радиальном направлении волокон древесины, а наименьшее усилие – в продольном направлении.

Влажностное состояние древесины оказывает значительное влияние на прочность соединений элементов деревянных конструкций [2]. Однако проведенных исследований в данном направлении крайне мало, именно поэтому требуется более детальное изучение конкретной зависимости между влажностью древесины и прочностью соединений деревянных элементов.

Постановка задачи. Целью данного исследования является определение влияния капиллярной (свободной) и связанной (гигроскопической) влажности древесины на прочность гвоздевых соединений, работающих на выдергивание.

Методы исследования. Для определения влияния влажностного состояния древесины на выдергивание в гвоздевых соединениях авторами был произведен эксперимент.

Определение влажности древесины проводилось весовым методом в соответствии с ГОСТ 16483.7-71* «Древесина. Методы определения влажности».

Были использованы следующие материалы и приборы:

1. Древесина. Исследования проводились на образцах из сосны 1-го сорта.

Физико-механические и технические свойства древесной породы соответствуют СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Размеры сторон образцов составляли (50 ± 1) мм.

2. Гвозди ГОСТ 4028-63 «Гвозди строительные. Конструкция и размеры» диаметром 2,0 мм, длиной 50 мм.
3. Штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм.
4. Сушильный шкаф СНОЛ 3,5.
5. Нагрузочная рама INSTRON 3369.
6. Эксикатор для создания необходимых условий окружающей среды.
7. Весы с погрешностью 0,01 г.

Для определения массы сухой древесины, образцы высушивались в сушильном шкафу СНОЛ 3,5 при температуре $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ до постоянной массы [8].

Содержание влаги в древесине определялось по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (2)$$

где W – влажность, %;

m_1 – масса образца перед испытанием, г;

m_2 – масса образца после высушивания, г.

После высушивания в образцы были вбиты гвозди в радиальном направлении, расчетные длины гвоздей представлены в табл.1.

Предварительно гвозди были обработаны спиртовым раствором с целью обезжиривания поверхности.

Образцы с гвоздями помещали в нагрузочную раму INSTRON 3369 со специальной насадкой. Затем гвозди выдергивали при непрерывном перемещении насадки испытательной машины с постоянной скоростью 15 мм/мин [7]. Схема и общий вид испытания представлены на рис. 2 и 3.

Были проведены испытания 3 серий образцов по 3 образца в каждой.

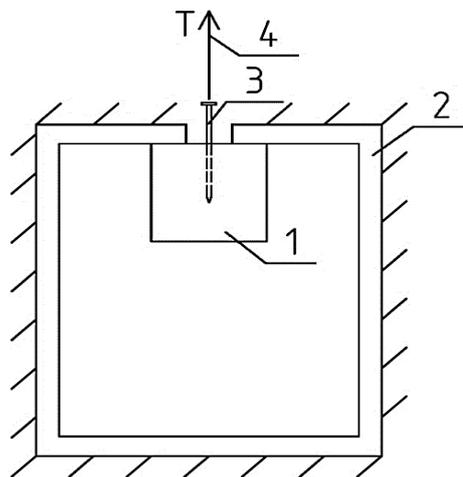


Рис.2.Схема испытания

1 – деревянный образец; 2 – упорная установка; 3 – гвоздь; 4 – нагрузка, создаваемая рамой INSTRON

Fig. 2. Test scheme

1 - wooden sample; 2 - fixed installation; 3 - nail; 4 - the load created by the frame INSTRON

Образцы 1 серии (№1-3) были испытаны в сухом состоянии древесины. После высушивания они были помещены в эксикатор с хлоридом кальция, чтобы при остывании до комнатной температуры, образцы не впитали в себя влагу.

Образцы 2 серии (№4-6) перед испытанием были увлажнены. В течение суток они были погружены в воду. Таким образом, достигалась капиллярная влажность образцов.

Образцы 3 серии (№7-9) перед испытанием были увлажнены путем набора гигроскопической влажности. Образцы длительное время находились в эксикаторе над водой без прямого контакта.

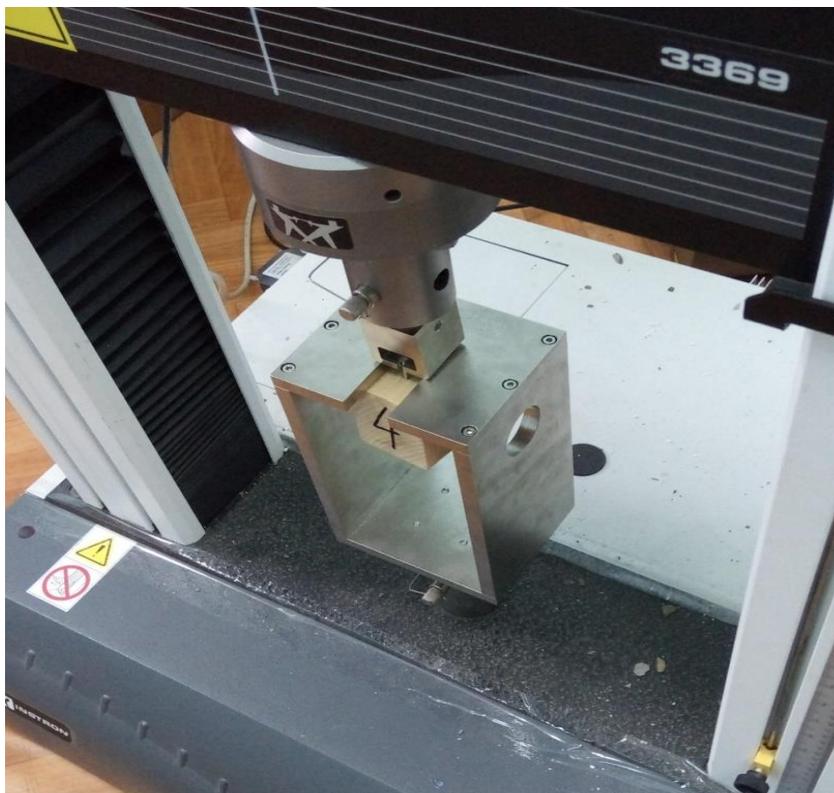


Рис.3.Общий вид испытания образца №4
Fig. 3.General view of the test sample No. 4

После проведения испытания было получено максимальное усилие, необходимое для выдергивания гвоздя из образца.

Зная максимальное усилие T_z и расчетную длину гвоздя l_1 , было найдено предельное сопротивление выдергиванию гвоздя $R_{в.г.}$ по формуле (3):

$$R_{в.г.} = \frac{T_{в.г.}}{\pi \cdot d \cdot l_1} \quad (3)$$

Обсуждение результатов. На рис.4 представлены усредненные графики, показывающие характер работы гвоздя на выдергивания для каждой серии образцов.

Из графиков на рис. 4 характер работы гвоздя на выдергивание выглядит следующим образом: в начале испытания кривая идет почти вертикально вверх и при достижении критической точки внезапно падает.

Это падение объясняется сменой силы трения покоя на силу трения скольжения.

Далее кривая падает, постепенно приближаясь к оси абсцисс.

Площадь под графиком – это энергия, необходимая для полного выдергивания гвоздя из древесины.

Несмотря на то, что максимальное усилие выдергивания у образцов с гигроскопической влажностью выше, чем у образцов с капиллярной влажностью, но энергии, требуемой для полного выдергивания гвоздя расходуется меньше.

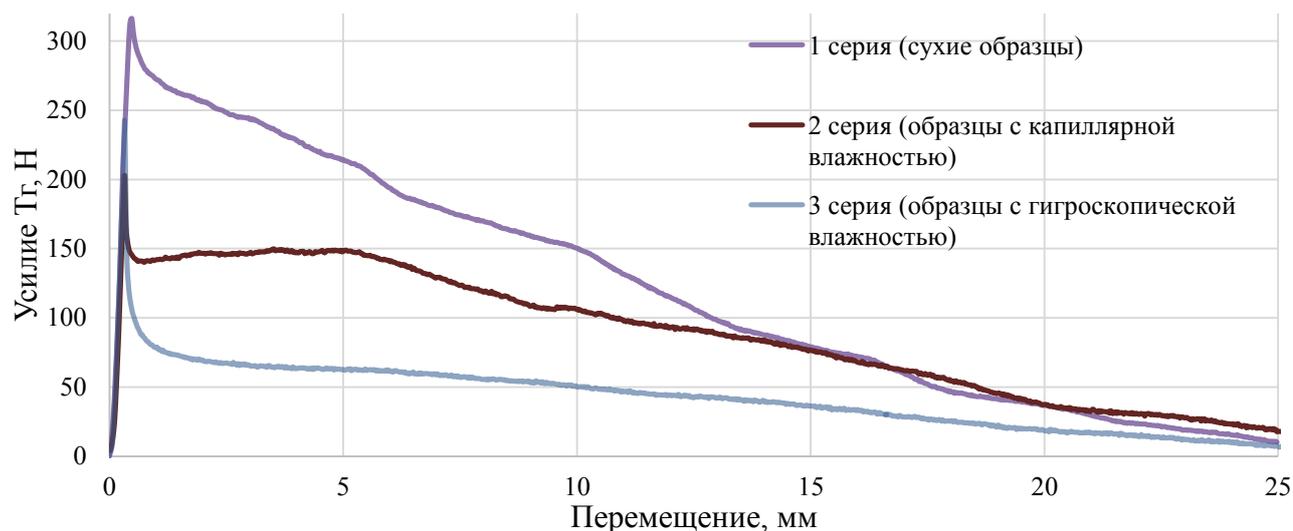


Рис. 4. Усредненные графики выдергивания гвоздя для каждой серии образцов
Fig. 4. Average nail pull out graphs for each series of samples

В табл. 1 приведены результаты и анализ экспериментальных данных.

Таблица 1. Результаты и анализ эксперимента
Table 1. Results and analysis of the experiment

| № серии | № образца | Влажность древесины во время испыт., % | | Расчетная длина забиваемого гвоздя (без учета заострения), мм | Макс. усилие, Н | Предел. сопр., МПа | Сред. предел. сопр., МПа | Коеф. вариации, % |
|---------|-----------|--|---------|---|-----------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| | | ед. | среднее | | | | | |
| 1 | 1 | сухое состояние | | 25,8 | 312,08 | 1,93 | 1,94 ± 0,046 | 2,37 |
| | 2 | | | 30 | 375,95 | 1,99 | | |
| | 3 | | | 27,1 | 322,8 | 1,9 | | |
| 2 | 4 | 28,32 | 30,5 | 30,5 | 202,57 | 1,06 | 1,02 ± 0,035 | 3,4 |
| | 5 | 32,01 | | 29,6 | 186,25 | 1 | | |
| | 6 | 31,18 | | 30,2 | 188,87 | 1 | | |
| 3 | 7 | 20,3 | 20,5 | 29 | 237,67 | 1,31 | 1,35 ± 0,035 | 2,61 |
| | 8 | 20,9 | | 28,5 | 241,7 | 1,35 | | |
| | 9 | 20,1 | | 29,2 | 247,63 | 1,38 | | |

В своде правил (СП) «Деревянные конструкции» для расчета соединений на гвоздях, работающих на выдергивание, используется расчетное сопротивление выдергиванию $R_{в.г}$, которое принимается для воздушно-сухой древесины равное 0,3 МПа, а для сырой, высыхающей в конструкции, – 0,1 МПа.

В ходе испытания были получены средние значения для сухой древесины 1,94 МПа, а для увлажнённой древесины 1,02 МПа.

Значения, используемые в СП 64.13330.2017 значительно меньше, чем значения, полу-

ченные в результате испытаний, так как экспериментальным путем было получено предельное сопротивление, а не расчетное.

В СП временное сопротивление на выдергивание не приводится и отсутствует методика по переходу от временного сопротивления выдергивания к нормативному и расчетному.

Вывод. В ходе исследования было установлено, что капиллярная и гигроскопическая влажность существенным образом влияет на прочность гвоздевых соединений, причем влияние на максимальное выдергивающее усилие оказывает не тип влажности, а её значение.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Образцы при сухом состоянии древесины (образцы серии №1) показали наибольшее сопротивление выдергиванию.

При насыщении образцов древесины водой (образцы серии №2) наблюдается снижение прочности гвоздевых соединений до 48% по сравнению с сухой древесиной.

При относительной влажности окружающей среды, приближающейся к насыщению (образцы серии №3), прочность гвоздевого соединения уменьшается на 31% относительно сухой древесины.

Несмотря на то, что при 30% капиллярной влажности древесины было получено наименьшее предельное сопротивление выдергиванию, энергии для полного выдергивания гвоздя требуется больше по сравнению с 20% гигроскопической влажностью древесины.

Исследование подтверждает необходимость учета влажности при проектировании и эксплуатации гвоздевых соединений.

Библиографический список:

1. Серговский, П.С. Вопросы статики процесса сушки и увлажнения древесины. / П.С. Серговский // Науч. тр. М.: МЛТИ, 1955. № 4. С. 98-123.
2. Бочков, М.В. Процессы тепломассопереноса в нагельных соединениях элементов деревянных стропильных конструкций при циклических режимах эксплуатации / М.В. Бочков// Дисс. канд. техн. наук. - М.: 2017. - 151 с.
3. Леонтьев Н. Л. Влияние влажности на физико-механические свойства древесины. -М.: Гослесбумиздат, 1962. - 114 с.
4. Миронов В. Г., Цапаев В. А., Авдеев А. В. Влияние влажности древесины на ползучесть соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах // Деревообраб. пром-сть. -2000. -№ 1. - С. 26-28.
5. Ермолаев, В.В. Влияние влажности древесины на длительную прочность и ползучесть соединений строительных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Дисс. канд. техн. наук. – Нижний Новгород. – 2009. – 153 с.
6. СП 64.13330.2017 (актуализированная редакция СНиП II-25-80) «Деревянные конструкции» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минрегион России) от 27 февраля 2017 г. № 129/пр) // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, АО НИЦ «Строительство», 28.08.2017.
7. ГОСТ 16483.33-77. Древесина. Методы определения удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов. Введ. 1978.01.01. М.: ИПК издательство стандартов, 1999. 5 с.
8. ГОСТ 16483.7-71*. Древесина. Методы определения влажности. М.: Изд-во стандартов, 1986. 4 с.
9. Akyildiz M.H. Screw-nail withdrawal and bonding strength of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. // Journal of Wood Science – Japan, 2014.
10. Larsen, N. J. "Design of bolted joints", in: Proceedings, CIB-W18 Meeting 1979, Bordeaux, France 1979, Paper 12-7-2.
11. Akyildiz M.H, Malkocoglu A (2001) Nail withdrawal characteristics of some tree species growing in Eastern Blacksea region. Gazi University Kastamonu Educational Journal 9(2): 469–482.
12. Javier Estévez. Timber spatial trusses using hollow bars // InternationalesHolzbau-Forum 11 –Germany, 2011.
13. Peter R. Smith The behaviour of traditional timber roof framing in domestic buildings // Architectural Science Review – Australia, 2011.
14. Milan Šmak, Jan Barnat. Dowelled joints in timber structures. Experiment–design–realization // Wood Research – Slovakia, 2016.
15. D.N. Kaziolas, I. Zygomas, G.E. Stavroulakis & C.C. Baniotopoulos. LCA of timber and steel buildings with fuzzy variables uncertainty quantification // European Journal of Environmental and Civil Engineering – UK, 2016.
16. Saulius Kavaliauskas, Audronis Kazimieras Kvedaras & Kestutis Gurkšnyš. Evaluation of long-term behaviour of

composite timber- concrete structures according to EC // UkioTechnologinisirEkonominisVystymas – Lithuania, 2010.

17. Huifeng Yang, Dongdong Ju, Weiqing Liu, Weidong Lu, Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars // Construction and Building Materials, 2016
18. Ryuya Takanashi, Kei Sawata, Yoshihisa Sasaki, Akio Koizumi. Withdrawal strength of nailed joints with decay degradation of wood and nail corrosion // Journal of Wood Science – Japan, 2016.
19. Barcik S., Gasparik, M., Horejs. P. Influence of Thermal Modification on Nail Withdrawal Strength of Spruce Wood // Bioresources – USA, 2014.
20. Smith Tobias. Post-tensioned Timber Frames with Supplemental Damping Devices // University of Canterbury – New Zealand, 2014.

References:

1. Sergovskii P.S. Voprosy statiki protsessa sushki i uvlazhneniya drevesiny. Nauch. tr. M.: MLTI. 1955;4:98-123. [Sergovskii P.S. Questions on the statics of the process of drying and moistening wood. Scientific works. Moscow: MLTI. 1955;4:98-123. (in Russ.)]
2. Bochkov M.V. Protsessy teplomassoperenosa v nagel'nykhsoedineniyakh elementov derevyannykh stropil'nykh konstruksii pri tsiklicheskikh rezhimakh ekspluatatsii. Diss. kand. tekhn. nauk. M.: 2017. 151 s. [Bochkov M.V. Processes of heat and mass transfer in dowel connections of elements of wooden rafter structures at cyclic operating modes. Published Candidate of technical sciences thesis. Moscow: 2017. 151 p. (in Russ.)]
3. Leont'ev N. L. Vliyanie vlazhnosti na fiziko-mekhanicheskie svoistva drevesiny. M.: Goslesbumizdat; 1962. 114 s. [Leont'ev N. L. The influence of moisture on the physical and mechanical properties of wood. Moscow: Goslesbumizdat; 1962. 114 p. (in Russ.)]
4. Mironov V.G., Tsepaev V.A., Avdeev A.V. Vliyanie vlazhnosti drevesiny na polzuchest' soedinenii derevyannykh elementov n ametallicheskikh zubchatykh plastinakh. Derevoobrabativaushaya promishlennost'. 2000;1:26-28. [Mironov V.G., Tsepaev V.A., Avdeev A.V. Effect of wood moisture on the creep of joints of wooden elements on metal toothed plates. Woodworkingindustry. 2000;1:26-28. (in Russ.)]
5. Ermolaev V.V. Vliyanie vlazhnosti drevesiny na dlitel'nyuyu prochnost' i polzuchest' soedinenii stroitel'nykh konstruksii na metallicheskikh zubchatykh plastinakh. Diss. kand. tekhn. nauk. Nizhnii Novgorod; 2009. 153 s. [Ermolaev V.V. Effect of wood moisture on the long-term strength and creep of joints of building structures on metal toothed plates. Published Candidate of technical sciences thesis. Nizhnii Novgorod; 2009. 153 p. (in Russ.)]
6. SP 64.13330.2017 (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-25-80) «Derevyanye konstruksii» (utverzhdennye prikazom Ministerstva regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 27 fevralya 2017 g. № 129/pr). TsNIISKim. V.A. Kucherenko, OAONITs «Stroitel'stvo», 28.08.2017. [SP 64.13330.2017 (updated version of SNiP II-25-80) «Wooden constructions» (approved by the order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia) on February 27, 2017 No. 129/pr). CNIISK named after V.A. Kucherenko, OAONITs «Stroitel'stvo», 28.08.2017. (in Russ.)]
7. GOST 16483.33-77. Drevesina. Metody opredeleniya udel'nogo soprotivleniya vydergivaniiyu gvozdei i shurupov. Vved. 1978.01.01. M.: IPK izdatel'stvostandartov; 1999. 5 s. [GOST 16483.33-77. Wood. Methods for determining the specific resistance to pulling nails and screws. Put in action 1978.01.01. M.: IPK izdatel'stvostandartov; 1999. 5 p. (in Russ.)]
8. GOST 16483.7-71*. Drevesina. Metody opredeleniya vlazhnosti. M.: Izd-vostandartov; 1986. 4 s. [GOST 16483.7-71*. Wood. Methods for determining moisture. M.: Izd-vostandartov; 1986. 4 p. (in Russ.)]
9. Akyildiz M.H. Screw-nail withdrawal and bonding strength of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. Journal of Wood Science. 2014;60(3):201-206.
10. Larsen N.J. Design of bolted joints. Proceedings of the CIB-W18 Meeting. Bordeaux, France. 1979. Paper 12-7-2.
11. Akyildiz M.H., Malkocoglu A. Nail withdrawal characteristics of some tree species growing in Eastern Blacksea region. Gazi University Kastamonu Educational Journal. 2001;9(2):469-482.
12. Estévez J. Timber spatial trusses using hollow bars. InternationalesHolzbau-Forum 11. Germany. 2011.
13. Smith P.R. The behaviour of traditional timber roof framing in domestic buildings. Architectural Science Review. 1973;16(3):152-154.
14. Šmak M., Barnat J. Dowelled joints in timber structures. Experiment–design–realization. Wood Research. 2016;61(4):651-662.
15. Kaziolas D.N., Zygomalas I., Stavroulakis G.E. & Baniotopoulos C.C. LCA of timber and steel buildings with fuzzy variables uncertainty quantification. European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2017; 21(9):1128-1150.
16. Kavaliauskas S., Kvedaras A.K. & Gurkšnyš K. Evaluation of longterm behaviour of composite timberconcrete structures according to EC. UkioTechnologinisirEkonominisVystymas. 2005; 11(4):292-296.
17. Huifeng Yang, Dongdong Ju, Weiqing Liu, Weidong Lu. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. Construction and Building Materials. 2016; 109:73-83.

18. Takanashi R., Sawata K., Sasaki Y., Koizumi A. Withdrawal strength of nailed joints with decay degradation of wood and nail corrosion. *Journal of Wood Science*. 2017; 63(2):192-198.
19. Barcik S., Gasparik M., Horejs P. Influence of Thermal Modification on Nail Withdrawal Strength of Spruce Wood. *BioResources*. 2014;9(4):5963-5975.
20. Smith T. *Post-tensioned Timber Frames with Supplemental Damping Devices*. Christchurch: University of Canterbury; 2014.

Сведения об авторах:

Инжутов Иван Семенович – доктор технических наук, профессор, кафедра строительных конструкций и управляемых систем.

Мезенцев Владислав Вадимович – магистрант.

Назирова Рашит Анварович – доктор технических наук, профессор, кафедра проектирования зданий и экспертизы недвижимости.

Рожков Александр Федорович – кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и управляемых систем.

Хованский Максим Евгеньевич – магистрант.

Information about the authors:

Ivan S. Inzhutov – Dr. Sci., (Technical) Prof., Department of Building Constructions and Controlled Systems.

Vladislav V. Mezentsev – Master's student.

Rashit A. Nazirov – Dr. Sci., (Technical) Prof., Department of Design of Buildings and Expertise of Real Estate.

Alexander F. Rozhkov – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Constructions and Controlled Systems.

Maxim E. Khovansky – Master's student.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 29.08.2017.

Принята в печать 01.10.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.08.2017.

Accepted for publication 01.10.2017.