

*Овчинников И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния древесины при ее смятии витым крестообразным стержнем // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. – 2019. – №6 (июнь). – АРТ 506-эл. – 0,3 п.л. - URL: <http://akademnova.ru/page/875550>*

**РУБРИКА: АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

**УДК 69.04**

**Овчинников Иван Витальевич**

студент 2 курса магистратуры, архитектурно-строительный факультет  
*Научный руководитель:* Аркаев М.А., к.т.н. старший преподаватель  
ФГБОУВО «Оренбургский государственный университет»  
г. Оренбург, Российская Федерация  
e-mail: [vania.ru5@mail.ru](mailto:vania.ru5@mail.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ЕЕ СМЯТИИ ВИТЫМ  
КРЕСТООБРАЗНЫМ СТЕРЖНЕМ**

*Аннотация:* в работе рассматриваются вопросы моделирования и расчета соединений деревянных конструкций на стальных нагелях в программных комплексах для расчета строительных конструкций. Приведен сравнительный анализ для нагелей различных сечений.

*Ключевые слова:* древесина, смятие вдоль волокон, смятие поперек волокон, программные комплексы, стальные нагели, напряжения, усилия, конечные элементы.

**Ovchinnikov Ivan Vital'evich**

2nd year student of master's degree programme,  
architecture and construction faculty

Supervisor: M. Arkaev, candidate of engineering sciences, senior lecturer  
FGBOVO "Orenburg State University"  
Orenburg, Russian Federation

## **STUDY OF THE STRESS-STRAINED STATE OF WOOD AT ITS MEMBERSHIP BY SWEED CROSS-SHUTTLE**

*Annotation:* the work deals with the issues of modeling and calculating the connections of wooden structures on steel lintels in software systems for calculating building structures. A comparative analysis is given for pins of various sections.

*Keywords:* wood, crushing along fibers, crushing across fibers, software packages, steel pins, stresses, forces, finite elements.

На сегодняшний день в строительстве появляется все больше разнообразных конструкций, типов соединений и материалов для строительства. Но основными столпами при проектировании остаются такие характеристики как прочность, надежность, экономичность. В современных реалиях также остро стоит вопрос об экологичности строительных материалов. Всем этим критериям проектирования отвечает древесина.

Древесина издревле используется в строительстве. Этот материал прочен, надежен, экологичен, а самое главное, возобновляем. Сегодня проводится множество исследований для повышения физико-механических характеристик данного материала, создаются все новые типы соединений. Одной из ветвей исследования является использование стальных нагелей при соединении деревянных конструкций.

Соединение деревянных конструкций на стальных нагелях круглого поперечного сечения достаточно хорошо известно в строительстве, однако новый виток исследований касается изучения напряженно-деформированного состояния древесины при использовании

крестообразных нагелей. Также проводятся исследования по модернизации крестообразных стержней, например использование витых крестообразных нагелей. Была поставлена цель - сравнить напряжения, нагрузки и деформации смятия древесины для стержней цилиндрического, крестообразного с ориентацией ребер 45°, крестообразного с ориентацией ребер 0-90° поперечных сечений с витым крестообразным стержнем для определения наиболее лучшего из рассматриваемых вариантов.

Моделирование производилось в расчетном комплексе АРМ WinMachine Structure 3D в несколько этапов.

Первым этапом было создание трехмерной модели стержня и деревянного элемента. Используя графический редактор Компас 3D были созданы модели древесины размерами 100x100x60 мм, жестких штампов цилиндрической и крестообразной формы с ориентацией ребер 0-90 и 45 градусов, витой крестообразный штамп. На рисунках 1 и 2 представлены полученные модели.

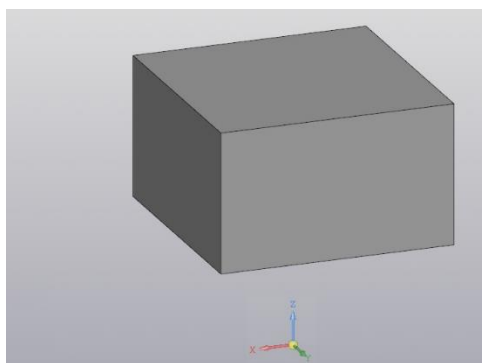
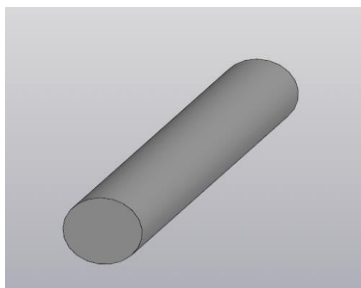
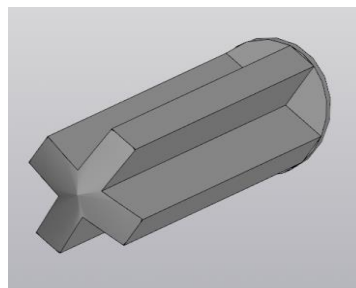


Рисунок 1 – Модель бруса сечением 100x100x60 при испытаниях вдоль и поперек волокон

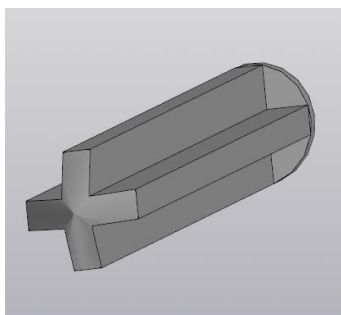
а)



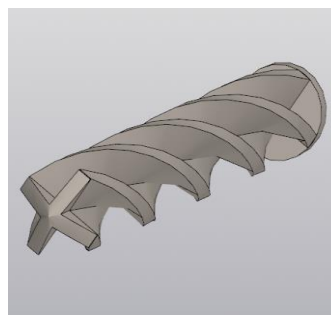
б)



в)



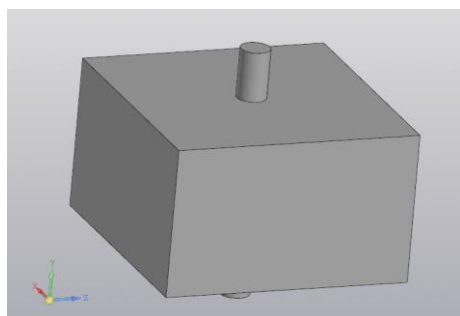
г)



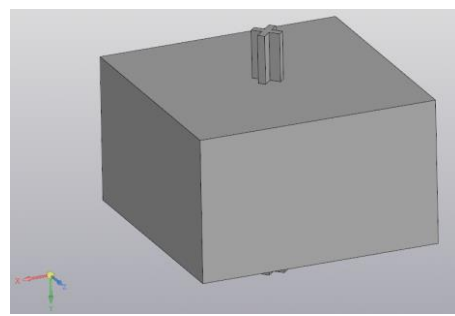
а – цилиндрический; б – крестообразный с ориентацией ребер 45°;  
в – крестообразный с ориентацией ребер 0-90°; г – витой крестообразный  
Рисунок 2 – Модели стержней

Второй этап заключался в сборке отдельных элементов. Сборка производилась в графическом редакторе Компас 3D. Отверстие для штампа производилось путем вычитания в древесине геометрии стержня, затем устанавливался сам стержень. На данном этапе моделирования было необходимо определиться с ориентацией осей, направление вдоль волокон древесины было принято по оси z, поперек волокон – по оси x. Выполненная сборка представлена на рисунке 3.

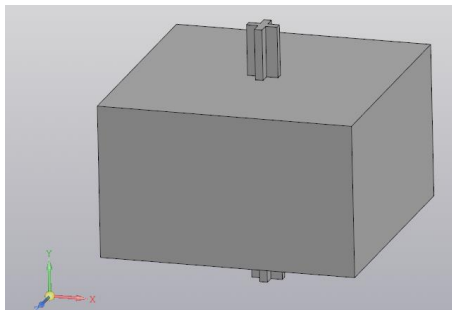
а)



б)



в)



г)

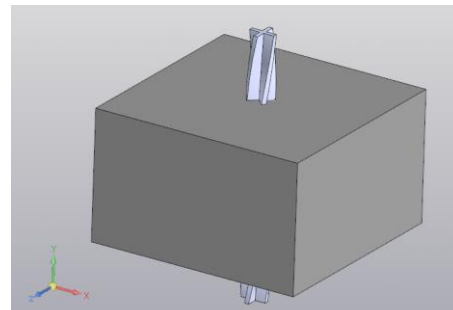


Рисунок 3 – Модели сборок стержней и древесины: а – цилиндрический; б – крестообразный с ориентацией ребер 45°; в – крестообразный с ориентацией ребер 0-90°; г – витой крестообразный

После того как произведена сборка, необходимо выполнить передачу в препроцессор APM Studio для подготовки модели к конечно-элементному анализу. При импортировании модель загружается как твердотельная. Задаются закрепления с грани деревянного элемента древесины по осям вдоль  $z$  и  $x$  для создания моделей с усилиями вдоль и поперек волокон соответственно. Выполняется поиск совпадающих поверхностей в сборке. Тип контакта – скользящий контакт, радиус поиска – 0,1 мм. Разбиение твердотельной модели производилось объемными конечными элементами - 4-х узловыми тетраэдрами. Созданная модель представлена на рисунке 4.

После того, как было выполнено импортирование и разбиение твердотельной модели, элементам присваиваются жесткости. Для анализа не учитывался продольный изгиб стержней, поэтому они задавались бесконечно жесткими. При задании физико-механических характеристик древесины учитывалась анизотропность материала, для чего задавалась матрица податливости, представленная на рисунке 5.

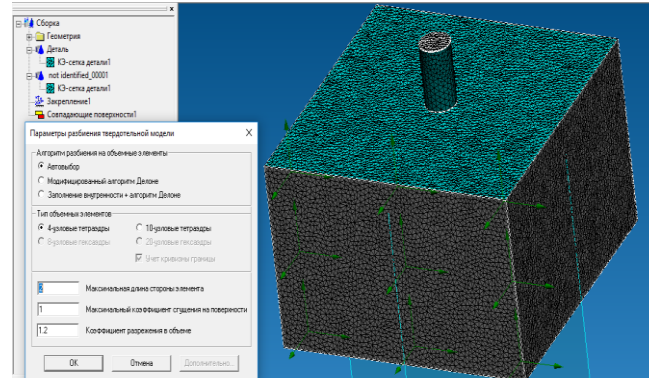


Рисунок 4 – Пример разбиения модели сборки деревянного элемента со стержнем цилиндрической формы для оценки НДС древесины вдоль волокон (закрепление вдоль z)

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 3.12 \cdot 10^{-3} & -1.41 \cdot 10^{-3} & -4.74 \cdot 10^{-5} & 0 & 0 & 0 \\ -3.21 \cdot 10^{-4} & 3.13 \cdot 10^{-3} & -5.63 \cdot 10^{-5} & 0 & 0 & 0 \\ -4.47 \cdot 10^{-5} & -4.55 \cdot 10^{-5} & 1.05 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.69 \cdot 10^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.69 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.69 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

Рисунок 5 – Матрица податливости для древесины

Перед заданием нагрузки определялись значения максимальных напряжений по результатам конечно-элементного анализа сборки. Для определения максимальных напряжений использовались формулы, для определения временного сопротивления древесины при её смятии в отверстия цилиндрическими нагелями вдоль и поперек волокон по формулам 1-2 соответственно.

$$R_{CM}^{BP} = 0.8R_C^{BP} (1.1 - 0.11d) \quad (1)$$

где  $R_C^{BP}$  – временное сопротивление древесины при сжатии вдоль волокон, МПа;

$d$  – диаметр цилиндрического штампа, см.

$$R_{CM90}^{BP} = 0.1R_C^{BP} \left(1 + \frac{2.5}{d^{0.55}}\right) \quad (2)$$

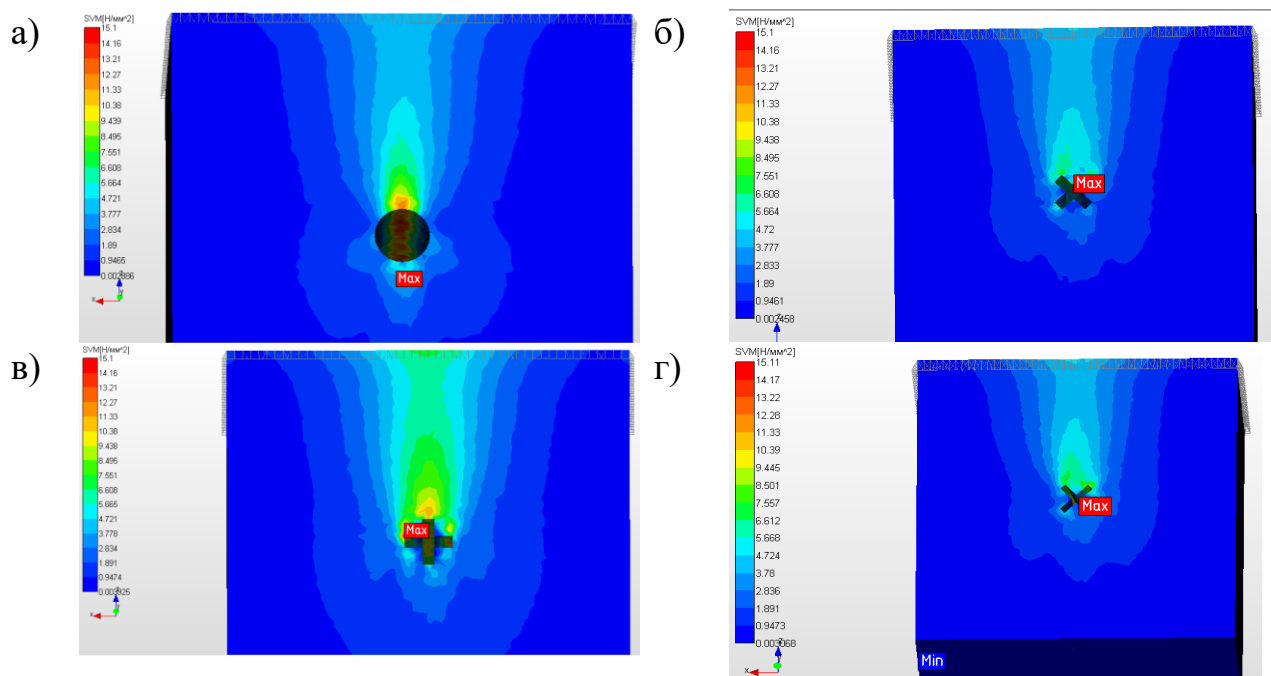
Для цилиндрических нагелей с увеличением диаметра стержня сопротивление древесины при смятии в отверстиях снижается. Такая же зависимость сохраняется и для крестообразных и витых крестообразных стержней с добавлением коэффициента. Максимальные временные напряжения при смятии древесины в отверстиях вдоль волокон

$$R_{CM}^{BP} = 0.8 \cdot 19.5 \cdot (1.1 - 0.11 \cdot 1.2) = 15.1 \text{ МПа}$$

Максимальные временные напряжения при смятии древесины в отверстиях поперек волокон

$$R_{CM90}^{BP} = 0.1 \cdot 19.5 \cdot \left(1 + \frac{2.5}{1.2^{0.55}}\right) = 6.36 \text{ МПа}$$

Значениями напряжений ограничиваются результаты напряжений древесины при её смятии штампами различной формы вдоль и поперек волокон. Нагрузка в модели прикладывается с двух сторон симметрично на штампы в центре сечения вдоль волокон (по оси z) и поперек волокон (по оси x) до достижения требуемых напряжений. Полученные диаграммы распределения усилий в массиве древесины вдоль волокон представлены на рисунке 6.



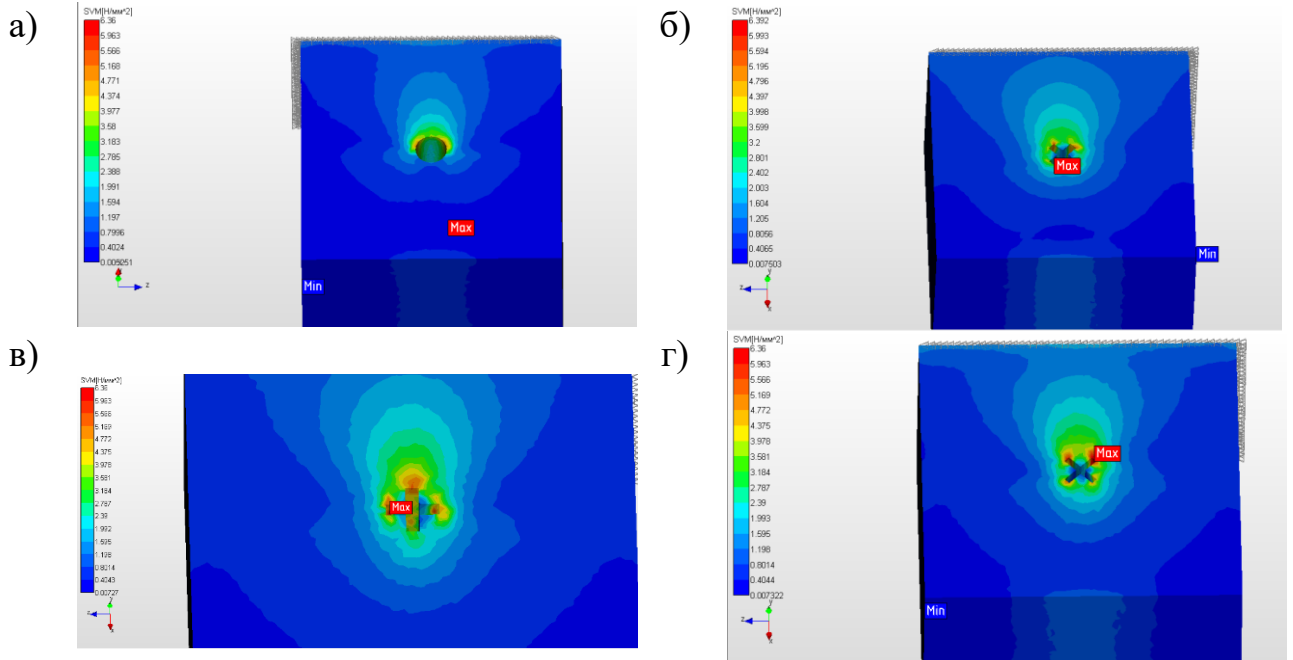
а – цилиндрический нагель; б – крестообразный с ориентацией ребер 45°; в – крестообразный с ориентацией ребер 0-90°; г – витой крестообразный

Рисунок 6 - Диаграммы распределения усилий в массиве древесины вдоль волокон

Полученные диаграммы распределения усилий в массиве древесины поперек волокон представлены на рисунке 7.

После анализа полученных результатов установлена зависимость между продольной нагрузкой и напряжениями для каждого типа соединения деревянных элементов со штампами. Результаты для смятия древесины вдоль волокон представлены на рисунке 8, для смятия древесины поперек волокон - на рисунке 9.





а – цилиндрический нагель; б – крестообразный с ориентацией ребер 45°; в – крестообразный с ориентацией ребер 0-90°; г – витой крестообразный

Рисунок 7 - Диаграммы распределения усилий в массиве древесины поперек волокон

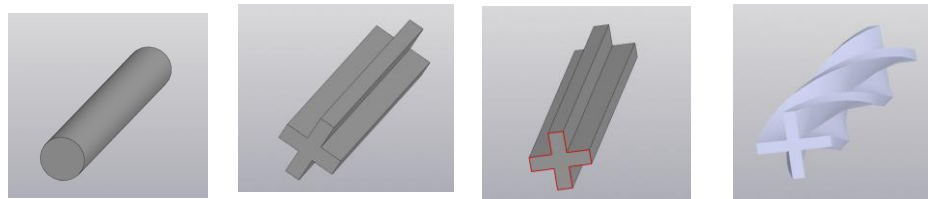
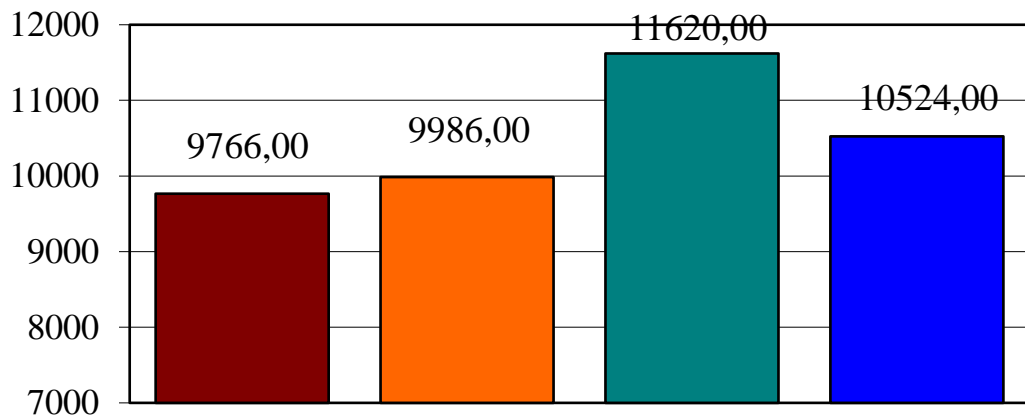


Рисунок 8 – Диаграмма распределения нагрузок (Н) разных типов штампов диаметром 12 мм для достижения напряжений смятия вдоль волокон в 15,1 МПа при толщине деревянного элемента 60 мм

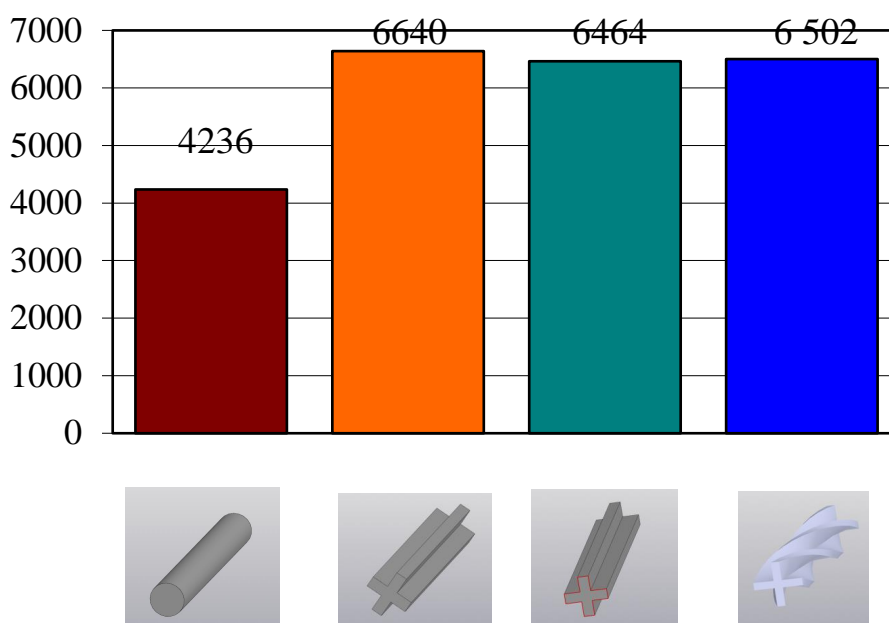


Рисунок 9 – Диаграмма распределения нагрузок в (Н) разных типов штампов диаметром 12 мм для достижения напряжений смятия поперек волокон в 6,36 МПа при толщине деревянного элемента 60 мм

Для сравнительного анализа представим полученные результаты в таблице.

Таблица 1 – Сравнительный анализ полученных результатов

Вид НДС	Результат, кН			
	Цилиндрический нагель	Крестообразный нагель с ориентацией ребер 45°	Крестообразный нагель с ориентацией ребер 0-90°	Витой крестообразный нагель
1	2	3	4	5
Смятие древесины вдоль волокон	9,766	9,986	11,62	10,524

для достижения напряжений в 15,1 МПа				
Расхождение результатов с витым крестообразным нагелем, %	-7,2	-5,11	10,41	0
Смятие древесины поперек волокон для достижения напряжений в 6,36 МПа	4,236	6,64	6,464	6,502
Расхождение результатов с витым крестообразным нагелем, %	-34,85	2,2	-0,58	0

Из полученной таблицы можно сделать следующие выводы:

- при смятии древесины вдоль волокон наибольшее усилие, необходимое для достижения напряжений в 15,1 МПа, у крестообразного нагеля с ориентацией ребер 0-90°, у витого крестообразного нагеля усилие меньше на 10,41 %;

- при смятии древесины поперек волокон наибольшее усилие, необходимое для достижения напряжений в 6,36 МПа, у крестообразного нагеля с ориентацией ребер 45°, у витого крестообразного нагеля усилие меньше на 2,2 %.

При оценке усилий можно сказать, что витой крестообразный нагель мало отличается от других видов нагелей при смятии вдоль волокон, однако при смятии поперек волокон данный стержень намного надежнее цилиндрического нагеля.

**Список использованной литературы:**

1. Аркаев, М.А. Оценка напряженно-деформированного состояния соединений деревянных конструкций на витых стержнях численными методами /М.А. Аркаев, В.И. Жаданов, Г.А. Столповский, С.В. Лисов// Вестник Оренбургского государственного университета. –Оренбург. -2012. –№4. –С. 258-262.
2. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. - М.: Лесная промышленность, 1978. - 224 с.
3. Шведов В.Н. Соединения деревянных элементов на нагелях крестообразного сечения, забитых огнестрельным способом [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (05.23.01) / Шведов Владимир Николаевич; НГАСУ. – Новосибирск, 1999. – 179 с.
4. Жаданов В.И., Дмитриев П.А., Шведов В.Н., Столповский Г.А., Украинченко Д.А. Патент РФ на изобретение № 2353830. Кл. F 16 В 13/00. Соединение деревянных элементов строительных конструкций. Оpubл.2704.09. Бюл. № 12. 6 с.
5. Столповский, Г.А. Соединения деревянных элементов на витых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (05.23.01) // Столповский Георгий Александрович; ОГУ. – Оренбург, 2011. – 186 с.
6. Жаданов В.И., Дмитриев П.А., Михайленко О.А., Столповский Г.А. Патент РФ на изобретение № 2397296. Кл. E 04 В 1/38. Нагельное соединение деревянных элементов строительных конструкций. Оpubл.2008.10. Бюл. №23. 5 с.
7. Столповский Г.А., Жаданов В.И., Руднев И.В. Соединение элементов деревянных конструкций быстровозводимых зданий и сооружений винтовыми крестообразными нагелями // Вестник ОГУ, 2010. №5 (111). С. 150-154.
8. Жаданов В.И., Столповский Г.А. Новый тип узловых соединений деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях // Сборник научных трудов 4.2. Одесса, ООО «Внешрекламсер-вис», 2010. С. 50-55.
9. Дмитриев П.А., Стрижаков Ю.Д. Исследование прочности древесины на смятие в отверстиях поперек волокон при действии кратковременных и длительных нагрузок // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1969. №7. С. 22-28.
10. Дмитриев П.А. Исследование прочности древесины на смятие в отверстиях при кратковременном и длительном действии нагрузок // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1965. № 12. С. 165-173. [17]. Иванов Ю. М. О предельном состоянии деревянных элементов, соединений и конструкций. -М.: Госстройиздат, 1947. 98с.

**Дата поступления в редакцию: 17.06.2019 г.**

**Опубликовано: 18.06.2019 г.**

**© Академия педагогических идей «Новация». Серия «Студенческий научный вестник»,  
электронный журнал, 2019**

**© Овчинников И.В., 2019**