

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



Работа древесины на смятие в программном комплексе АРМ

А.В. Ковредов ^{1*}, К.С. Кудрявцев ², А.В. Нечаев ³

¹⁻³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье

научная статья

УДК 624.011.1

doi 10.18720/CUBS.52.1

История

Подана в редакцию 18.11.2016

Ключевые слова

деревянные конструкции;
штампы крестообразного сечения;
смятие;
АРМ;
напряженно-деформированное
состояние;

АННОТАЦИЯ

В статье особое внимание уделено результатам численных исследований напряженно-деформированного состояния деревянных конструкций на смятие жесткими крестообразными штампами. Все расчеты были выполнены в программном комплексе АРМ WinMachine, который позволяет рассчитывать и проектировать различные механизмы, элементы конструкций и т.д. Приведены расчеты при действии нагрузки вдоль и поперек волокон. Результаты, полученные с помощью программного комплекса АРМ WinMachine, сравниваются с результатами опыта, проведенным Шведовым В.Н. В итоге получены довольно качественная сходимость экспериментальных данных и данных полученных в расчетном комплексе.

Содержание

1.	Введение	8
2.	Обзор литературы	8
3.	Постановка цели и задачи	8
4.	Описание исследования	9
5.	Заключение	12

Контакты авторов:

- 1* +7(981)1980230, 1kovredov@mail.ru (Ковредов Александр Викторович, студент)
 2. +7(913)1333130, kskudryavtsev@yandex.ru (Кудрявцев Кирилл Сергеевич, студент)
 3. +7(953)1636244, nechaev118@yandex.ru (Нечаев Александр Васильевич, студент)

1. Введение

Древесина — древний и в то же время самый современный и перспективный строительный материал, единственный, который постоянно воссоздается в природе. Богатейшие лесные ресурсы нашей страны всегда обуславливали технико-экономическую целесообразность применения дерева в качестве одного из основных строительных материалов. Одним из важных качеств дерева как строительного материала является легкое прочностное внедрение постороннего тела в древесину, это могут быть элементы типа гвоздей, винтов, глухарей, нагельных пластин и т.п. Достаточно часто в узлах деревянных конструкций такие соединительные элементы работают на смятие. Различают смятие вдоль волокон и поперек волокон. Прочность древесины на смятие вдоль волокон, например, в стыках сжатых элементов, мало отличается от прочности на сжатие вдоль волокон, и действующие нормы не делают различия между ними. Смятию поперек волокон древесина сопротивляется слабо. При внедрении стержня в массив древесины происходит ее обмятие, волокна деформируются и происходит снижение плотности контакта древесины и стержня. Работа древесины на смятие поперек волокон частично сочетается с работой на скалывание, особенно при изменении угла забивки стержня от 90 до 0 по отношению к направлению волокон.

Значения временных сопротивлений древесины сосны при смятии вдоль и поперек волокон штампами крестообразного сечения в пробитых отверстиях увеличиваются с уменьшением размеров отверстий (габаритных размеров нагелей). Деформации смятия крестообразных гнезд сопоставимы с деформациями сверленных гнезд. Зависимости несущей способности и деформаций соединений вдоль волокон и поперек волокон древесины от ориентации ребра нагеля по отношению к волокнам древесины: 0–90 и 45. Определено, что большую несущую способность и меньшую деформативность имеют соединения, когда ребра нагеля ориентированы под углом 45 к волокнам древесины. Для нормального срока службы соединений величины расчетных сопротивлений при смятии древесины сосны в отверстиях для нагелей с габаритными размерами от 10 мм до 22 мм с учетом ориентации ребра нагеля по отношению к волокнам древесины (0–90 и 45).

Существует достаточно много стандартных вычислительных программ, разработанных на основе метода конечных элементов (МКЭ). В данной работе использован программный комплекс APM WinMachine. Это наукоемкий программный продукт, созданный на базе современных инженерных методик проектирования, численных методов механики, математики и моделирования, гармонично сочетающий опыт поколений конструкторов, инженеров-механиков и других специалистов с возможностями компьютерной техники, и технологии.

2. Обзор литературы

В научных работах Шведова Владимира Николаевича он экспериментально исследовал смятие древесины в отверстиях жесткими штампами крестообразного сечения. [1–6].

В своей работе Столповский Георгий Александрович разработал новый тип соединительного элемента для деревянных конструкций в виде стального витого стержня крестообразного поперечного сечения [7–11].

Дмитриев П.А., Стрижаков Ю.Д. исследовал прочность деревянных конструкции на смятие вдоль и поперек волокон при кратковременном и длительном действии нагрузок [12–16].

Большой вклад в изучение работы древесины под действием статической нагрузки внес Иванов Ю.М. В своих работах он исследовал длительную несущую способность деревянных конструкций и деформацию древесины под действием статической нагрузки [17]. Также работа Жилкина В.А. [18] посвящена изучению деформированного состояния нагельного соединения древесины сосны. Он исследовал напряженное состояние нагельного соединения, которое характеризуется изгибом нагеля, смятием древесины нагельного гнезда, скалыванием древесины между нагельными, раскалыванием древесины.

В статье Пуртова В.В. и Павлика А.В. [19] рассматриваются прочность и деформативность древесины сосны и лиственницы при смятии в сверленных и несверленных отверстиях. Сопоставляются результаты теоретических и экспериментальных исследований.

3. Постановка цели и задачи исследования

Целью работы являлось исследование работы древесины на смятие в отверстиях жесткими штампами крестообразного сечения при помощи программного комплекса APM Winmachine.

При этом основной из задач является создание модели, имитирующей реальную работу древесины при ее смятии жесткими крестообразными штампами.

4. Описание исследования

В программном комплексе создавались модели указанных экспериментов, задавались характеристики древесины, учитывающие ее различные свойства в различных направлениях. В опыте использовалась сосна 2 сорта и металлический стержень, марки 40Х — сталь конструкционная легированная. В процессе моделирования свойств древесины приняты следующие допущения:

1. У древесины близкая к линейной зависимость между напряжением и деформациями наблюдается при кратковременных нагрузках до величины напряжений, соответствующих пределу пропорциональности. При этом можно с некоторым приближением считать, что древесина подчиняется закону Гука. Структурные особенности древесины определяют явно выраженные различия упругих свойств по разным направлениям, т.е. упругую анизотропию. Следовательно, применительно к древесине, связь между напряжениями и деформациями осуществляется через упругие постоянные на базе теории упругости анизотропного тела.

Основное соотношение между напряжением и деформацией для упругих анизотропных материалов, в том числе и древесины, в матричной форме имеет вид:

$$\{\varepsilon\} = [D] \cdot \{\sigma\} \cdot \{\varepsilon_0\}$$

где $\{\varepsilon\}$ — вектор деформаций; $[D]$ — матрица податливости; $\{\sigma\}$ — вектор напряжений; $\{\varepsilon_0\}$ — вектор начальных деформаций.

Например, для сосны, с учетом справочных данных [20], матрица податливости имеет вид, Па:

$$[D] = \begin{bmatrix} 5,75 \cdot 10^{-10} & -3,21 \cdot 10^{-10} & -4,47 \cdot 10^{-11} & 0 & 0 & 0 \\ -3,21 \cdot 10^{-10} & 1,11 \cdot 10^{-9} & -4,55 \cdot 10^{-11} & 0 & 0 & 0 \\ -4,47 \cdot 10^{-11} & -4,55 \cdot 10^{-11} & 8,85 \cdot 10^{-11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,38 \cdot 10^{-9} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,25 \cdot 10^{-9} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8,35 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix}$$

Рисунок 1. Матрица податливости для сосны

2. Все параметры, характеризующие физико-механические свойства древесины, заданы с учетом цилиндрической системы координат.

Далее сравнивались картины напряжений в отверстии полученные экспериментально Шведовым с результатами, полученными в программном комплексе.

В настоящее время при выполнении узлов деревянных конструкций чаще остальных используются соединительные связи нагельного типа. Выполненный анализ существующих нагелей выявил следующие недостатки, среди которых повышенная материалоемкость и трудоемкость. Для устранения некоторых из недостатков в Новосибирске доцентом НГАСУ Шведовым В.Н. был разработан и исследован новый тип соединительных элементов в виде крупноразмерных нагелей крестообразного поперечного сечения прямолинейной формы с возможностью их огнестрельной забивки.

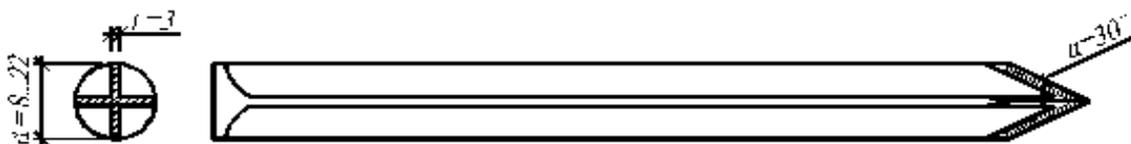


Рисунок 2. Стальной крестообразный стержень, прямолинейной формы

Однако несущая способность на выдергивание вышеуказанного типа нагелей незначительна, что вызывает необходимость замены в таких соединениях от 25% до 100% нагелей стяжными нагельными болтами [21].

В связи с этим аспирантом кафедры «Строительные конструкции» ОГУ (г. Оренбург) Столповским Г.А. был разработан соединительный элемент в виде стального витого стержня крестообразного поперечного сечения (рисунок 3).



Рисунок 3. Стальной крестообразный стержень, витой формы

Следует отметить, что витой стержень был изучен с точки зрения его работы на выдергивание. С целью дальнейшего изучения фактической работы указанного стержня выявлена необходимость изучения соединений, в которых он будет работать как нагель (т.е. на изгиб).

В таких соединениях разрушение может происходить из-за нескольких факторов, из них: разрушение соединения из-за смятия древесины в зоне расположения нагеля, из-за изгиба самого нагеля и пр. В моей исследовательской работе я рассматривал разрушение соединения из-за смятия древесины в зоне расположения нагеля.

Для указанного исследования в программном комплексе “SolidWorks” [22], была создана модель, состоящая из деревянного элемента и внедренного в него стального стержня (рисунок 4).

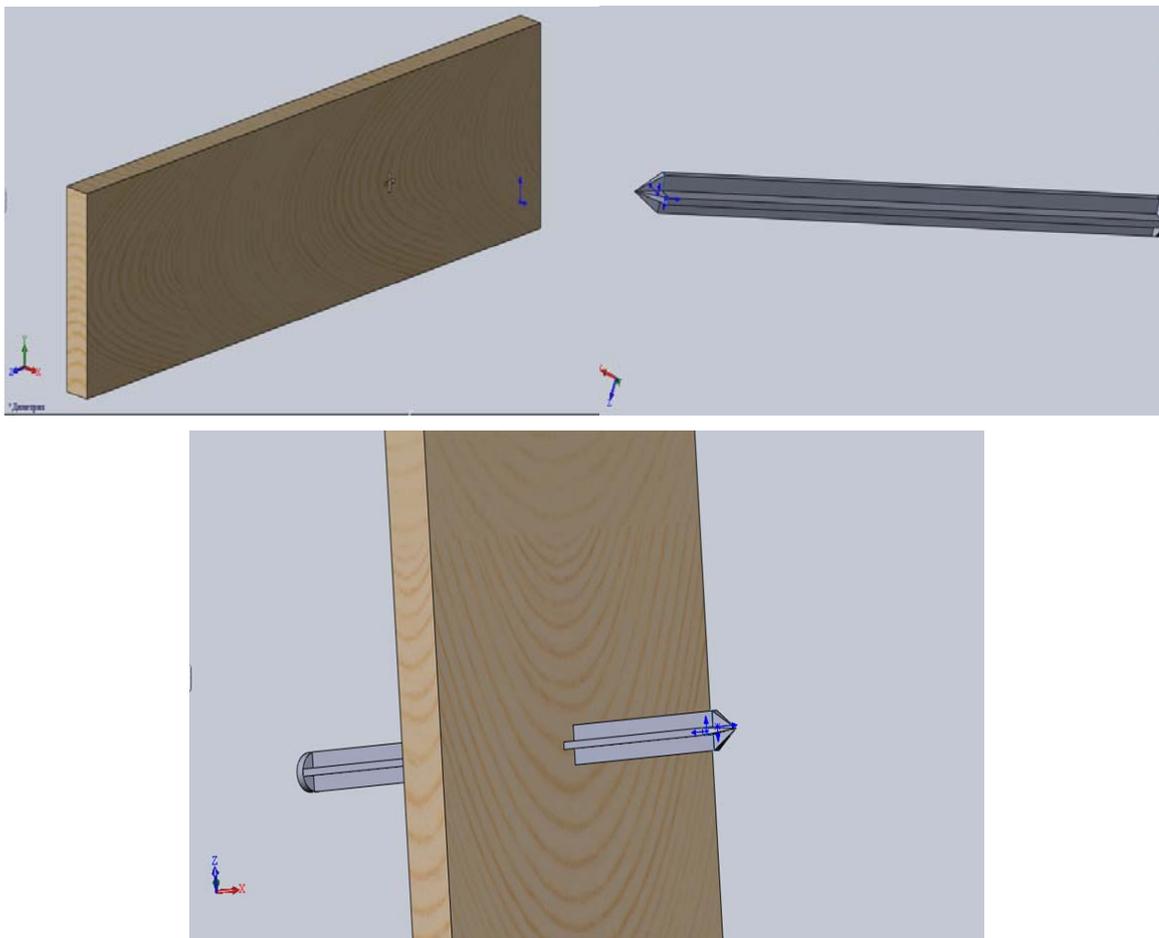


Рисунок 4. Деревянный элемент и прямолинейный стержень

Все расчеты были выполнены в программном комплексе “APM winMachine” [23], который позволяет рассчитывать и проектировать различные механизмы, элементы конструкций и т.д. После построения модели, к стальному стержню с двух сторон прикладывалась нагрузка (Рисунок 5), и изучалось напряженно-деформированное состояние древесины в зоне внедрения стержня.

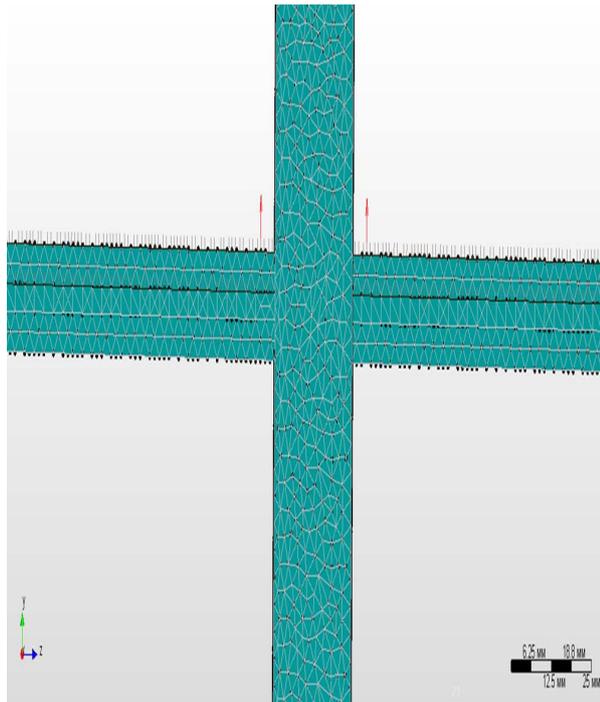


Рисунок 5. Приложение нагрузки к стальному стержню

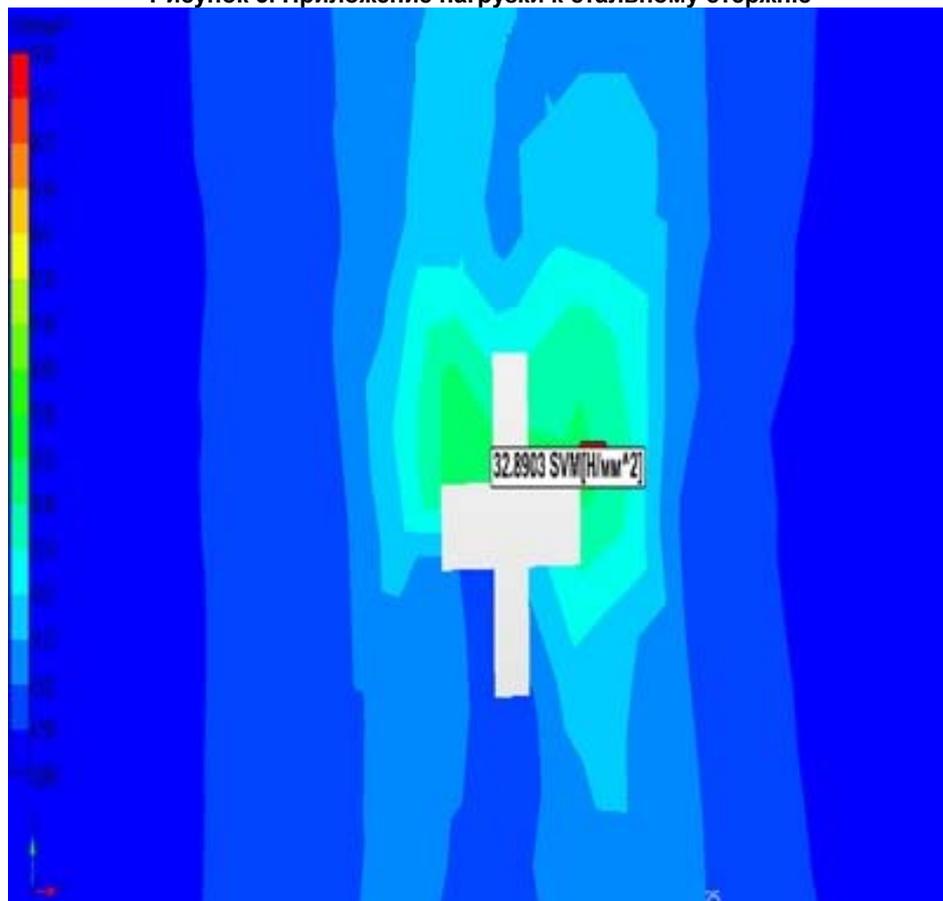


Рисунок 6. Результаты расчета вдоль волокон

Согласно опытам, проведенными Шведовым В.Н. при действии нагрузки вдоль волокон, были получены значения в интервале 30–40 МПа.

По результатам расчета в программном комплексе “APM WinMachine” получены значения в интервале 30,2–32,9 МПа



Рисунок 7. Результаты расчета поперек волокон

Согласно опытам, проведенными Шведовым В.Н. при действии нагрузки поперек волокон, были получены значения в интервале 11,5–20 МПа.

По результатам расчета в программном комплексе “APM WinMachine” получены значения в интервале 14–15 МПа.

5. Заключение

В результате проведенного исследования мы получили довольно качественную сходимость экспериментальных данных и данных полученных в расчетном комплексе АРМ, что свидетельствует о адекватности выполненной модели и правильности учета неоднородности древесины.

На основании полученных результатов можно с уверенностью продолжить дальнейшее исследование работы древесины на смятие в отверстиях витых крестообразных стержней с использованием расчетного комплекса АРМ.

Литература

- [1]. 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.
- [2]. Зиновьев В.Б., Шведов В.Н. О расстановке нагелей крестообразного сечения в соединениях деревянных элементов // Строительные конструкции и расчет сооружений: сб. тез. докл. науч.-техн. конф. Новосибирск, НИСИ, 1993. С. 36-37.
- [3]. Зиновьев В.Б., Шведов В.Н. Исследование напряженного состояния, возникающего в деревянных элементах при забивке в них нагелей огнестрельным способом // Сб. тез. докл. науч.-техн. конф. Новосибирск, НГАС, 1994. С. 30.
- [4]. Шведов В.Н. Сопротивление древесины смятию нагелями крестообразного сечения // Тез. докл. научн. техн. конф. Новосибирск, НИСИ, 1990. 46 с.
- [5]. Шведов В.Н. Соединение деревянных элементов на нагелях крестообразного сечения, забитых огнестрельным способом: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М.: 1999. 25 с.

- [6]. Жаданов В.И., Дмитриев П.А., Шведов В.Н., Столповский Г.А., Украинченко Д.А. Патент РФ на изобретение № 2353830. Кл. F 16 B 13/00. Соединение деревянных элементов строительных конструкций. Оpubл.2704.09. Бюл. № 12. 6 с.
- [7]. 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.
- [8]. 8. Жаданов В.И., Дмитриев П.А., Михайленко О.А., Столповский Г.А. Патент РФ на изобретение № 2397296. Кл. E 04 B 1/38. Нагельное соединение деревянных элементов строительных конструкций. Оpubл.2008.10. Бюл. №23. 5 с.
- [9]. Столповский Г.А., Жаданов В.И., Руднев И.В. Соединение элементов деревянных конструкций быстровозводимых зданий и сооружений винтовыми крестообразными нагельями // Вестник ОГУ, 2010. №5 (111). С. 150-154.
- [10]. Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Столповский Г.А. Соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание // Известия ВУЗов. Строительство. 2010. № 4. С. 133-137.
- [11]. 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.
- [12]. 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.
- [13]. Дмитриев П.А., Стрижаков Ю.Д., Шведов В.Н. Совершенствование несущих деревянных конструкций и их соединений // Отчет по межвузовской научно-технической программе. Архитектура и строительство. Инв. № 01920008783. Новосибирск. 1993. С. 44-52.
- [14]. Дмитриев П.А., Шведов В.Н. Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на стальных нагельях крестообразного сечения // Архитектура и строительные конструкции: тез. докл. науч.-техн. конф. НИСИ. Новосибирск. 1991. 30 с
- [15]. Дмитриев П.А., Шведов В.Н. О соединениях деревянных элементов на дюбелях-гвоздях и нагельях, забитых огнестрельным способом // Изв. вузов. Строительство. Новосибирск. 1992. № 3. С. 20-23.
- [16]. 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.
- [18]. Жилкин В.А. Численное исследование деформированного состояния нагельного соединения из древесины сосны // АПК России. 2014. Т. 70. С. 55-60.
- [19]. Пуртов В.В., Павлик А.В. работа древесины на смятие в отверстиях малых диаметров // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. №5. С. 106-110.
- [20]. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов: ГСССД 69-84. – Введ. 01.01.1985. – Москва: Госстандарт России: Издательство стандартов, 1985. 29 с.
- [21]. М. М. Гаппоев, И. М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, В. И. Линьков, Е. Т. Серова, Б. А. Степанов, Э. В. Филимонов. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник. – М., Изд-во АСВ, 2004. 440 с.
- [22]. Дударева Н.Ю, Загайко С.А SolidWorks 2011 на примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 496 с.
- [23]. Замрин А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D.-М.: Издательство АПМ., 2004. 208 с.

Work of wood on crumpling in a programmatic complex APM

A.V. Kovredov ^{1*}, K.S. Kudryavtsev ², A.V. Nechaev ³

¹⁻³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Article history	Keywords
scientific article	Received 18.11.2016	timber-works; stamps of cruciform section; crumpling; APM; tensely-deformed state;
doi: 10.18720/CUBS.52.1		

ABSTRACT

The objective was to research of work of wood on crumpling by the hard stamps of cruciform section through a programmatic complex APM WinMachine. With the purpose of further study of actual work of this rod it is necessary to study connections where it will work as a pin (i.e. on a bend). At the same time the main task is creation of the model imitating actual work of wood. The results obtained at the action of loading along and across the grain. The results obtained in the program complex APM are compared with the results obtained experimentally by Shvedov V.N. In the issue, we received a fairly high-quality convergence of the experimental data and data got in a calculation complex APM WinMachine. Based on a results of the calculation, we can conclude that in the program complex we were able to create a model simulating real wood work on crumpling.

Contact information:

- ^{1*} +7(981)1980230, 1kovredov@mail.ru (Aleksandr Kovredov, Student)
- ² +7(913)1333130, kskudryavtsev@yandex.ru (Kirill Kudryavtsev, Student)
- ³ +7(953)1636244, nechaev118@yandex.ru (Alexander Nechaev, Student)

References

- [1]. Shvedov V.N. Soyedineniya derevyannykh elementov na nagelyakh krestoobraznogo secheniya, zabitykh ognestrelnym sposobom [Compounds of wooden elements on the cross-shaped section pegs hammered fire way]. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n.: Novosibirsk, 1999. 179 p. (rus)
- [2]. Zinovyev V.B., Shvedov V.N. Structural Construction and Analysis of Constructions. Sb. tez. dokl. nauch.-tekhn. konf. "O rasstanovke nageley krestoobraznogo secheniya v soyedineniyakh derevyannykh elementov" [Report of scientific and technical conference "About arrangement nagely cruciform section in connections of wooden elements"]: Novosibirsk, 1993, pp. 36-37. (rus)
- [3]. Zinovyev V.B., Shvedov V.N. Structural Construction and Analysis of Constructions. Sb. tez. dokl. nauch.-tekhn. konf. "Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya, vznikayushchego v derevyannykh elementakh pri zabivke v nikh nageley ognestrelnym sposobom" [A research of the stressed state arising in wooden elements when clogging in them nagely in the fire way]: Novosibirsk, 1994, pp. 30. (rus)
- [4]. Shvedov V.N. Sb. tez. dokl. nauch.-tekhn. konf. "Soprotivleniye drevesiny smyatiyu nagelyami krestoobraznogo secheniya" [Wood resistance to a bearing strain of a nagelyama of cruciform section]: Novosibirsk, 1990, p. 46. (rus)
- [5]. Shvedov V.N. Soyedineniya derevyannykh elementov na nagelyakh krestoobraznogo secheniya, zabitykh ognestrelnym sposobom Abstract of the thesis. [Compounds of wooden elements on the cross-shaped section pegs hammered fire way]. Novosibirsk, 1999. 25p. (rus)
- [6]. Zhadanov V.I., Dmitriyev P.A., Shvedov V.N., Stolpovskiy G.A., Ukrainchenko D.A. Soyedineniye derevyannykh elementov stroitelnykh konstruksiy [Connection of wooden construction elements]. Patent RF, no. 2353830, 2009. (rus)
- [7]. Stolpovskiy G.A. Soyedineniyaderevyannykhelementov na vitykhkrestoobraznykhsterzhnyakh, rabotayushchikh na vydergivaniye [Connections of wooden elements on the twisted cruciform rod stock working for wrest]. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n.: Orenburg, 2011. 186 p. (rus)
- [8]. Zhadanov V.I., Dmitriyev P.A., Mikhaylenko O.A., Stolpovskiy G.A. Nagelnoye soyedineniye derevyannykh elementov stroitelnykh konstruksiy [Nagelny connection of wooden elements of building constructions]. Patent RF, no. 2397296, 2008. (rus)
- [9]. Stolpovskiy G.A., Zhadanov V.I., Rudnev I.V. Soyedineniye elementov derevyannykh konstruksiy bystrovozvodimykh zdaniy i sooruzheniy vintovymi krestoobraznymi nagelyami [Connection of elements of wooden structures of pre-fabricated buildings and constructions screw cruciform nagelyam]. M.: Vestnik OGU, 2010, pp. 150-154. (rus)
- [10]. Dmitriyev P.A., Zhadanov V.I., Stolpovskiy G.A. Soyedineniya elementov derevyannykh konstruksiy na stalnykh vintovykh krestoobraznykh sterzhnyakh, rabotayushchikh na vydergivaniye [Connections of elements of wooden designs on the steel screw cruciform rod stock working for wrest]. M.: Izvestiya VUZov, 2010, pp. 133-137. (rus)
- [11]. Zhadanov V.I., Stolpovskiy G.A. Novyy tip uzlovykh soyedineniy derevyannykh konstruksiy na stalnykh vintovykh krestoobraznykh sterzhnyakh [New type of nodal connections of wooden designs on steel screw cruciform rod stock] Sbornik nauchnykh trudov 4.2. Odessa, OOO «Vneshreklamser-vis», 2010. pp. 50-55. (rus)
- [12]. Dmitriyev P.A., Strizhakov Yu.D. Issledovaniye prochnosti drevesiny na smyatiye v otverstii poperek volokon pri deystvii kratkovremennykh i dlitelnykh nagruzok [Wood durability research on a bearing strain in an opening across fibers at action of short-term and long-lived loadings]. M.: Izvestiya VUZov, 1969, pp. 22-28. (rus)
- [13]. Dmitriyev P.A., Strizhakov Yu.D., Shvedov V.N. Sovershenstvovaniye nesushchikh derevyannykh konstruksiy i ikh soyedineniy [Perfecting of the bearing wooden designs and their connections]. Otchet po mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy programme. Arkhitektura i stroitelstvo. Novosibirsk, 1993. pp. 44-52. (rus)
- [14]. Dmitriyev P.A., Shvedov V.N. Nesushchaya sposobnost i deformativnost soyedineniy derevyannykh elementov na stalnykh nagelyakh krestoobraznogo secheniya [Carrying capacity and deformativnost of connections of wooden elements on steel the nagelyakh of cruciform section] M.: Arkhitektura i stroitelnyye konstruksii: tez. dokl. nauch.-tekhn. konf. Novosibirsk, 1991. p 30. (rus)
- [15]. Dmitriyev P.A., Shvedov V.N. O soyedineniyakh derevyannykh elementov na dyubelyakh-gvozdyakh i nagelyakh, zabitykh ognestrelnym sposobom [About connections of wooden elements on the expansion bolt shields nails and the nagelyakh hammered in the fire way] Izv. vuzov. Stroitelstvo. Novosibirsk, 1992. pp 20-23. (rus)

- [16]. Dmitriyev P.A. Issledovaniye prochnosti drevesiny na smyatiye v otverstii pri kratkovremennom i dlitelnom deystvii nagruzok [Wood durability research on a bearing strain in an opening at short-term and long-lived action of loadings] // Izv. vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura. Novosibirsk, 1965. pp 165-173. (rus)
- [17]. Ivanov Y. M. O predelnom sostoyanii derevyannykh elementov, soyedineniy i konstruktsiy. [About the limiting condition of wooden elements, connections and designs] M.: Gosstroyizdat, 1947. p 98. (rus)
- [18]. Zhilkin V.A. Chislennoye issledovaniye deformirovannogo sostoyaniya nagelnogo soyedineniya iz drevesiny sosny [numerical study of strain state nagelnogo compounds from pine wood] M.: APK Rossii. 2014. pp. 55-60. (rus)
- [19]. Purtov V.V., Pavlik A.V. rabota drevesiny na smyatiye v otverstiyakh malykh diametrov [work of wood on a bearing strain in openings of small diameters] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2005. pp 106-110. (rus)
- [20]. Drevesina. Pokazateli fiziko-mekhanicheskikh svoystv malykh chistykh obraztsov [Indexes of physicommechanical properties of small clear exemplars] – Moskva: Gosstandart Rossii: Izdatelstvo standartov, 1985. p 29. (rus)
- [21]. M. M. Gappoyev, I. M. Guskov, L.K. Yermolenko, V. I. Linkov, Ye. T. Serova, B. A. Stepanov, E. V. Filimonov. Konstruktsii iz dereva i plastmass.:M., Izd-vo ASV, 2004, - p. 440. (rus)
- [22]. Dudareva N.Yu, Zagayko S.A SolidWorks 2011 na primerakh. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2011. – p. 496. (rus)
- [23]. Zamrin A.A. Proyektirovaniye i raschet metodom konechnykh elementov trekhmernykh konstruktsiy v srede APM Structure 3D.-M.: Izdatelstvo APM., 2004.- p. 208. (rus) Konyukhov A. D. ., Shurtakov A.K., Kharchevnikov V.P., Shelest A.I., Vorobyeva T.N. Mosty iz atmosferostoykoy stali [Bridges of weather-proofing steel]. Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. No 4, 2011, Pp.16-20.

Ковредов А.В., Кудрявцев К.С., Нечаев А.В. Работа древесины на смятие в программном комплексе APM // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С. 7-16.

Kovredov A.V., Kudryavtsev K.S., Nechaev A.V. Work of wood on crumpling in a programmatic complex APM. Construction of Unique Buildings and Structures, 2017, 1 (52), Pp. 7-16. (rus)