

УДК 624.01

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.19

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (Часть 2)

**В. Г. Котлов, Б. Э. Шарынин**

*Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)*

Данная статья является продолжением работы по созданию модели материала, учитывающей как ортотропные свойства древесины, так и их взаимосвязь с параметрами окружающей среды. В первой части статьи [7] было рассмотрено влияние температуры окружающей среды на несущую способность соединения двух деревянных элементов с использованием металлических зубчатых пластин (МЗП). Было установлено, что при расчёте несущей способности с использованием данных свода правил 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением № 1) теоретическая несущая способность соединения при температурах от 0 до +35 °С остаётся постоянной, а при температурах от +35 до +50 °С происходит её снижение. Таким образом, после оценки влияния температуры на теоретическую несущую способность соединения необходимо оценить влияние влажности.

В данной работе рассматривается влияние влажности окружающей среды на теоретическую несущую способность соединения двух деревянных элементов с использованием металлических зубчатых МЗП при постоянной температуре. Для оценки влияния произведено моделирование древесины в САЕ ANSYS в качестве ортотропного материала. Значения таких физико-механических характеристик, как плотность, модуль упругости при растяжении вдоль волокон, модуль упругости при растяжении поперек волокон, модуль сдвига и коэффициент Пуассона вдоль волокон, коэффициент Пуассона поперек волокон, а также предел прочности древесины при растяжении и сжатии вдоль и поперек волокон определены на основании данных свода правил 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением № 1). Используя метод конечных элементов и программный комплекс АНСИС, авторы определили несущую способность соединения двух деревянных элементов, соединённых при помощи металлических зубчатых пластин. Конфигурация соединения подбиралась исходя из возможности проведения впоследствии натурального эксперимента. Несущая способность определена с учетом влияния влажности при постоянной температуре окружающей среды для второй группы предельных состояний, так как в подобных соединениях величина податливости нормирована и не должна превышать 1,5 мм.

Результаты расчета продемонстрировали снижение несущей способности соединения с ростом влажности древесины.

**Ключевые слова:** древесина; системы инженерного анализа; метод конечных элементов; АНСИС; металлическая зубчатая пластина (МЗП).

**Введение.** Древесина, широко используемая в строительстве с древних времен, является и сегодня одним из наиболее распространённых строительных материалов. Существующие методики расчёта несущей способности деревянных конструкций содержат некоторые упрощения и допущения. Внедрение данных элементов в расчёт было обусловлено эволюционным развитием строительной

науки и отставанием вычислительной техники от потребностей учёных. Исходя из глобального тренда на экономию природных ресурсов, снижение себестоимости строительного производства, а также роста вычислительных мощностей и расширение сфер применения САЕ (computer aided engineering), в настоящее время имеется возможность более глубокой проработки расчётных моделей и использова-

ния преимуществ вариантного проектирования. Очевидно, что в соответствии с [1] и [2] повышение влажности приведет к снижению несущей способности соединения. Для первичной оценки влияния допущений, предусмотренных в [2], необходимо произвести расчёт несущей способности соединения двух деревянных элементов на МЗП при различной относительной влажности воздуха окружающей среды. Определенная с высокой точностью взаимосвязь физико-механических характеристик древесины с параметрами окружающей среды [3] позволит в будущем повысить точность расчётов и добиться снижения затрат всех видов ресурсов.

**Цель работы** – создание модели материала, учитывающей как ортотропные свойства древесины, так и взаимосвязь между пределом прочности при растяжении, модулем упругости, модулем сдвига и влажностью древесины.

Решаемые в ходе исследования **задачи**:

- 1) сбор исходных данных;
- 2) определение граничных условий;
- 3) адаптация исходных данных для использования при создании модели материала в ПК ANSYS;
- 4) анализ результатов расчета.

**Численное моделирование.** Так как данная работа является продолжением исследований влияния параметров окружающей среды на несущую способность соединений деревянных конструкций с использованием МЗП, в статье будет рассмотрена работа соединения двух деревянных элементов посредством МЗП.

Данные о плотности, модуле упругости при растяжении, модуле сдвига и коэффициенте Пуассона, а также пределе прочности древесины при растяжении вдоль волокон для обеспечения единства измерений (расчетов) будут использованы из официального источника [2].

Диапазон расчётных параметров окружающей среды будет состоять из постоянной температуры воздуха (+20 °С) и переменной

относительной влажности воздуха в диапазоне от 0 до 95 %.

**Техника численного эксперимента и методика обработки данных.** Для обеспечения возможности сопоставления результатов численного эксперимента с данными предыдущего исследования, а также с результатами последующих натуральных испытаний, в соответствии с [6] будет произведено определение несущей способности соединения на растяжение (разрыв).

Для удобства обработки результатов один элемент закрепляется неподвижно, ко второму прилагается растягивающее усилие.

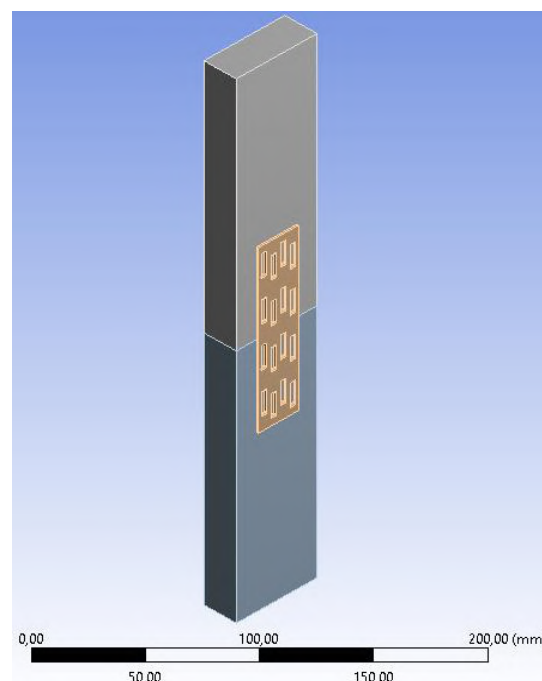


Рис. 1. Схема соединения

При проектировании указанных соединений в соответствии с требованиями руководящих документов потеря несущей способности происходит по второй группе предельных состояний [4, 5]. При проектировании конструкций с соединениями на МЗП предел деформаций при полном использовании несущей способности составляет 1,5 мм.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что для определения влияния влажности окружающей среды на несущую способность соединения необходимо вычислить

усилие, которое требуется приложить для достижения абсолютной деформации в размере 1,5 мм при относительной влажности окружающей среды от 0 до 95 %.

Результаты расчета несущей способности соединения в зависимости от влажности

Влажность, %	Несущая способность, Н	Влажность, %	Несущая способность, Н	Влажность, %	Несущая способность, Н
1	13463,75218	33	13463,75218	65	13463,75218
2	13463,75218	34	13463,75218	66	13445,34021
3	13463,75218	35	13463,75218	67	13427,34546
4	13463,75218	36	13463,75218	68	13409,05847
5	13463,75218	37	13463,75218	69	13391,91884
6	13463,75218	38	13463,75218	70	13372,48904
7	13463,75218	39	13463,75218	71	13353,36007
8	13463,75218	40	13463,75218	72	13334,12246
9	13463,75218	41	13463,75218	73	13314,93496
10	13463,75218	42	13463,75218	74	13294,66742
11	13463,75218	43	13463,75218	75	13274,57318
12	13463,75218	44	13463,75218	76	13264,49606
13	13463,75218	45	13463,75218	77	13252,97939
14	13463,75218	46	13463,75218	78	13241,40914
15	13463,75218	47	13463,75218	79	13230,48752
16	13463,75218	48	13463,75218	80	13219,86343
17	13463,75218	49	13463,75218	81	13209,13323
18	13463,75218	50	13463,75218	82	13198,39331
19	13463,75218	51	13463,75218	83	13187,49475
20	13463,75218	52	13463,75218	84	13176,50273
21	13463,75218	53	13463,75218	85	13165,43012
22	13463,75218	54	13463,75218	86	13143,19055
23	13463,75218	55	13463,75218	87	13120,48462
24	13463,75218	56	13463,75218	88	13097,44663
25	13463,75218	57	13463,75218	89	13073,86383
26	13463,75218	58	13463,75218	90	13049,99377
27	13463,75218	59	13463,75218	91	13025,65728
28	13463,75218	60	13463,75218	92	13000,99428
29	13463,75218	61	13463,75218	93	12975,63174
30	13463,75218	62	13463,75218	94	12949,95218
31	13463,75218	63	13463,75218	95	12923,84051
32	13463,75218	64	13463,75218		

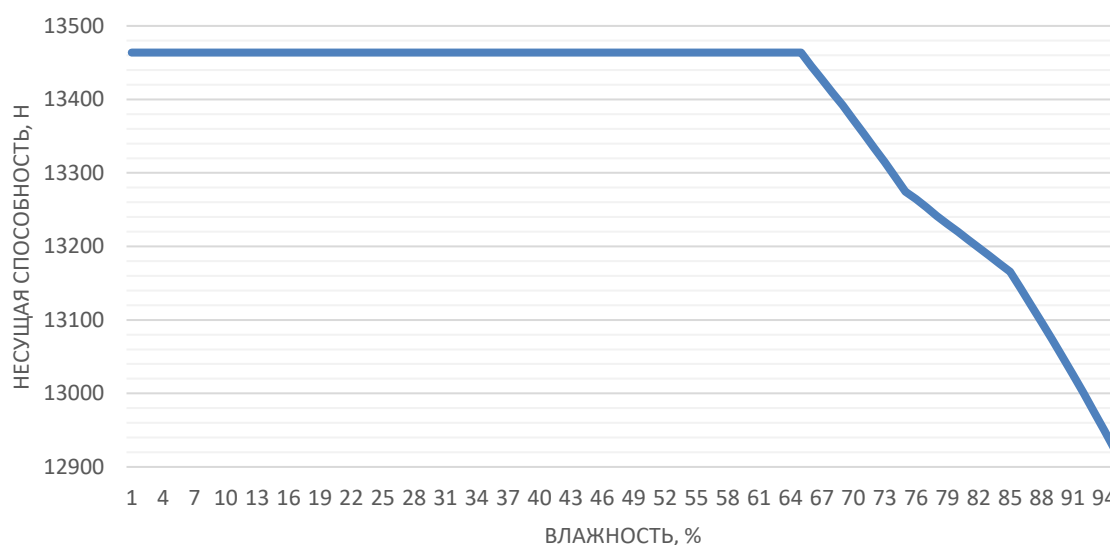


Рис. 2. Диаграмма зависимости несущей способности соединения на МЗП от относительной влажности воздуха

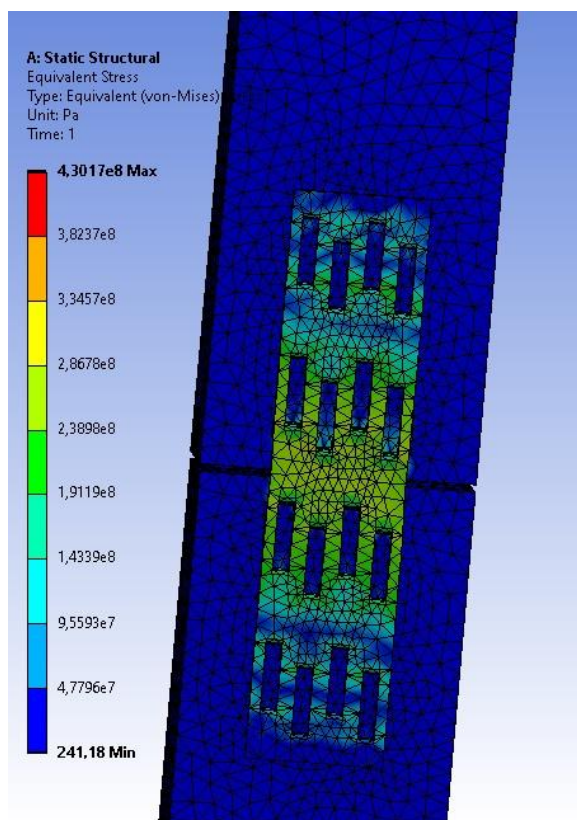


Рис. 3. Графическое распределение эквивалентных напряжений

**Интерпретация результатов и их анализ.** По причине неизменности коэффициента условий работы, учитывающего влажность окружающей среды, в диапазоне влажности от 0 до 65 % расчетная несущая способность оставалась постоянной. Далее, с ростом влажности окружающей среды, наблюдалось снижение несущей способности соединения, причем в отличие от температурного влияния снижение происходит нелинейно.

**Выводы.** В результате численного моделирования соединения деревянных элементов при помощи МЗП с учетом ортотропных свойств древесины получены значения для последующего сопоставления с результатами натурного эксперимента.

Усовершенствована модель материала древесины для ПК «ANSYS».

Следующим этапом работы следует считать учет взаимного влияния температуры и влажности окружающей среды на физико-механические характеристики материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сморгачев А.А., Кереб С.А., Дубраков С.В. Влияние длительной эксплуатации на несущую способность деревянных элементов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6(48), Ч. 2.
2. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением № 1).
3. Глухих В.Н. Упругая деформативность древесины поперек волокон // ИВУЗ. Лесной журнал. 2007. № 5.
4. Вопросы прочности, долговечности и деформативности древесины и конструкционных пластмасс: сб. статей / под ред. Ю. В. Слищкоухова. Москва: МИСИ, 1981. 147 с.
5. Волынский В. Н., Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины: монография. 2-е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 224 с.
6. ГОСТ Р 57161-2016/EN 26891:1991. Соединения механические деревянных конструкций. Основные принципы определения прочностных и деформационных характеристик.
7. Котлов В. Г., Шарынин Б. Э. Разработка модели материала древесины как ортотропного материала для конечно-элементного анализа строительных конструкций (Часть 1) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 2(6). С. 58-63.

#### Информация об авторах

КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – советник РААСН, кандидат технических наук, доцент, директор Института строительства и архитектуры Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – соединения элементов деревянных конструкций, тепломассоперенос в соединениях деревянных конструкций. Количество опубликованных работ: около 130. E-mail: KotlovVG@volgatech.net

ШАРЫНИН Богдан Эдуардович – аспирант кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, генеральный директор ООО «Жигулевская долина», г. Тольятти. Область научных интересов – деревянные конструкции в строительстве. E-mail: bogdan.sharynin@gmail.com

UDC 624.01

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.19

## DEVELOPMENT OF A WOOD MODEL FOR FINITE ELEMENT ANALYSIS OF BUILDING STRUCTURES (Part 2)

**V. G. Kotlov, B. E. Sharynin**

*Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)*

The paper presents the results of continued work on creating a model that takes into account both the orthotropic properties of wood and their relationship with environmental parameters. The first part of the paper provided evaluation of the influence of ambient temperature on the bearing capacity of the connection of two wooden elements using nail-plates. It was revealed that when calculating the bearing capacity using the data of the code of rules 64.13330.2017 Wooden structures. The updated edition of SNiP II-25-80 (as amended in No 1), the theoretical bearing capacity of the compound at temperatures from 0 to + 35 °C remains constant, and at temperatures from +35 to + 50 °C it decreases. Thus, after evaluating the effect of temperature on the theoretical bearing capacity of a compound, it is necessary to evaluate the effect of humidity.

The paper assesses the influence of environmental humidity on the theoretical bearing capacity of the connection of two wooden elements using nail-plates at a constant temperature. In order to assess the impact, wood was modeled in CAE ANSYS as an orthotropic material. The values of such physical and mechanical characteristics as density, tensile modulus of elasticity along fibers, tensile modulus of elasticity across fibers, shear modulus and Poisson's ratio along fibers, Poisson's ratio across fibers, and tensile and compressive strength of wood along and across fibers have been determined based on the code of rules 64.13330.2017 Wooden structures. Updated version of SNiP II-25-80 (as amended in No. 1). Using the finite element method and the ANSYS software package, the load-bearing capacity of the connection of two wooden elements connected by nail-plates has been determined. The configuration of the compound was selected based on the possibility of conducting a subsequent full-scale experiment. The bearing capacity has been determined taking into account the influence of humidity at a constant ambient temperature for the second group of limiting conditions, since in such compounds the compliance value is normalized and should not exceed 1.5 mm.

The calculation results have proved a decrease in the bearing capacity of the compound with the increase of wood moisture.

**Keywords:** wood; CAE; FEM; ANSYS; nail-plate.

### REFERENCES

1. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Dubrakov S.V. Vliyanie dlitel'noj jekspluatacii na nesushhuju sposobnost' derevjannyh jelementov [Influence of long-term operation on the bearing capacity of wooden elements], *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal], 2016, No. 6 (48), Part 2.
2. SP 64.13330.2017 Derevjannye konstrukcii. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-25-80 (s Izmeneniem No. 1 [Wooden structures. The updated edition of SNiP II-25-80 (with Change No. 1)].
3. Gluhih V. N. Uprugaja deformativnost' drevesiny poperek volokon [Elastic deformation of wood across the fibers], *IVUZ. Lesnoj zhurnal* [IVUZ. Forest journal], 2007, No. 5.

4. Voprosy prochnosti, dolgovechnosti i deformativnosti drevesiny i konstrukcionnyh plastmass: sb. statej [Questions of strength, durability and deformability of wood and structural plastics: sat. articles], pod red. Iu. V. Slitskoukhova, Moscow: IISI, 1981, 147 p.

5. Volynsky V. N. Vzaimosvjaz' i izmenchivost' fiziko-mehaničeskikh svojstv drevesiny: monografija [Interrelation and variability of physical and mechanical properties of wood: monograph], 2-nd ed., ispr., Saint Petersburg: LAN Publishing House, 2012, 224 p.

6. GOST R 57161-2016 / EN 26891:1991. Soedinenija mehaničeskie derevjannyh konstrukcij. Osnovnye principy opredelenija prochnostnyh i deformatsionnyh harakteristik [Mechanical connections of wooden structures. Basic principles for determining strength and deformation characteristics].

7. Kotlov V. G., Sharynin B. E. Razrabotka modeli materiala drevesiny dlja konečno-jelementnogo analiza stroitel'nyh konstrukcij (Chast 1) [Development of wood material model for the finite element analysis of building structures (Part 1)] *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologičeskogo universiteta. Ser.: Materialy. Konstrukcii. Tehnologii* [Vestnik povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologičeskogo universiteta. Series: Materials. Constructions. Technologies], 2018, No. 2(6). pp. 58-63.

#### Information about the authors

KOTLOV Vitalii Gennadevich – Advisor of the Russian Academy of Agriculture and Construction Sciences, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Construction and Architecture at Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – timber connectors, heat and mass transfer in wooden constructions. Author of 130 publications. E-mail: isa@volgatech.net, KotlovVG@volgatech.net

SHARYNIN Bogdan Eduardovich – postgraduate student of the Department of Building Constructions and Water Supply at Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Director General of "Zhiguli Valley" (Togliatti). Research interests – wooden construction in buildings. E-mail: bogdan.sharynin@gmail.com

#### Библиографическая ссылка

Котлов В. Г., Шарынин Б. Э. Разработка модели материала древесины для конечно-элементного анализа строительных конструкций (Часть 2) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 19-24. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.19