

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 674.047

Сергій Бойко, Андрій Єрошенко

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Сергей Бойко, Андрей Ерошенко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Sergiy Boyko, Andriy Yeroshenko

MODELING OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED WOOD BY FINITE ELEMENTS

Запропоновано модель фізико-механічних властивостей деревини при скінчено-елементному аналізі. Запропоновано методику розрахунку на міцність зразків деревини різних порід методом скінчених елементів з урахуванням анізотропних властивостей деревини. Проведені чисельні дослідження зразка деревини на розтяг з метою встановлення межі міцності різних порід.

Ключові слова: фізико-механічні властивості, границя міцності, модуль пружності, метод скінчених елементів.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 7.

Предложена модель физико-механических свойств древесины при конечно-элементном анализе. Предложена методика расчета на прочность образцов древесины различных пород методом конечных элементов с учетом анизотропных свойств древесины. Выполнены численные исследования образца древесины на растяжение с целью определения предела прочности различных пород.

Ключевые слова: физико-механические свойства, предел прочности, модуль упругости, метод конечных элементов.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 7.

A model of the physical and mechanical properties of wood with the finite element analysis is offered. The method is based on the strength of wood samples of different species using finite element method, taking into account the anisotropic properties of the wood is offered. The numerical study of the wood sample in tension in order to determine the tensile strength of various breeds was carried out.

Key words: physical and mechanical properties, ultimate tensile strength, modulus of elasticity, finite element method.

Fig.: 5. Tabl.: 1. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Дерево є одним з основних конструкційних матеріалів і залежно від галузі його застосувань особливий інтерес представляють саме механічні властивості деревини. Деревина є анізотропним матеріалом, що значно ускладнює конструкційний аналіз і прогнозування поведінки виробів з деревини у процесі підготовки виробництва на стадіях розробки виробів [1; 2; 3; 4]. Анізотропія – неоднакові властивості матеріалу в різних напрямках. Властивості деревини значно відрізняються уздовж і поперек волокон, наприклад, міцність уздовж волокон у 25–30 разів вище ніж поперек. Також різняться властивості пізньої і ранньої деревини, так, міцність пізньої в 3–4 рази вище. Розрахунковою моделлю дерева є ортотропний матеріал, з трьома площинами структурної симетрії (рис. 1).

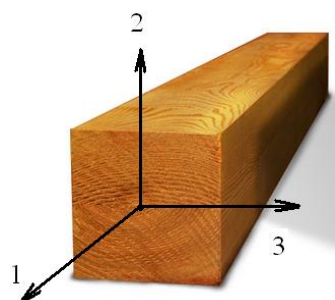


Рис. 1. Основні напрямки для визначення механічних властивостей деревини

Механічні властивості дерева в зазначеній точці характеризуються в поздовжньому, радіальному і тангенціальному напрямку. Поздовжня вісь 1 є паралельною напрямку текстури (волокон); радіальна вісь 2 є перпендикулярна кільцям зростання; і тангенціальна вісь 3 є дотичною до кілець зростання [3; 4].

Зміна показників міцності внаслідок неоднорідності деревини призводить до складності при отриманні розрахунково-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вих характеристик дерева. Як наслідок, збільшення витрат у процесі підготовки виробництва на стадіях розроблення виробів з деревини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині поряд з традиційними методами оцінки міцності виробів все частіше використовуються підходи, засновані на чисельних методах. Це пов'язано з впровадженням систем автоматизованого проектування, ускладненням геометрії і структури конструкцій з жорсткими вимогами до їх міцності, а також скороченням термінів, відведених на підготовку виробництва продукції.

Існує кілька математичних методів реалізації уявлення геометрії в системах аналізу [1; 2], заснованих на чисельних методах, це:

- метод скінченних різниць (МСР);
- метод скінченних елементів (МСЕ);
- метод граничних елементів (МГЕ).

МГЕ є вельми перспективним, але поки ще не знайшов практичного застосування.

За допомогою МСР реалізовані багато систем аналізу лінійного програмування. Це викликано простотою застосування цього методу, хоча він має суттєвий недолік, що полягає у спотворенні геометрії при її ступінчастому представленні (наприклад, периметр кола, представленого МКР, дорівнює периметру описаного навколо нього квадрата). МСЕ дозволяє описати геометрію з будь-яким ступенем точності, тому його застосування є більш виправданим. Отже, для підвищення точності моделювання слід вибирати систему, засновану на МСЕ. У більшості сучасних програмних комплексів (наприклад, ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, SOLIDWORKS) чисельний аналіз реалізований за допомогою МСЕ [1].

Використання систем скінчено-елементного аналізу дозволяє виконати дослідження об'єктів без виготовлення їх матеріального прототипу, завдяки створенню і розв'язанню адекватної математичної моделі. Це дозволяє в кілька разів скоротити період конструкторсько-технологічної підготовки виробництва продукції, матеріальні витрати й оптимізувати конструкцію за певними критеріями.

Однак застосування методу скінченних елементів під час аналізу столярних конструкцій вимагає великих знань про сам метод, досвіду роботи і наявності прикладних методик розрахунку, що враховують особливості деревного матеріалу і дійсної роботи конструкцій.

Мета статті. Мета проведеного дослідження – підвищення ефективності конструкційного аналізу виробів з деревини на основі чисельних методів розрахунку напружено-деформованого стану в процесі підготовки виробництва на стадіях розробки і проектування виробів з деревини.

Відповідно до зазначеної мети сформульовано основні завдання дослідження:

- 1) визначити модель фізико-механічних властивостей деревини при скінчено-елементному аналізі;
- 2) запропонувати методіку розрахунку на міцність зразків деревини різних порід методом скінчених елементів з урахуванням анізотропних властивостей деревини;
- 3) провести чисельні дослідження зразка деревини на розтяг з метою встановлення межі міцності різних порід.

Виклад основного матеріалу. У процесі моделювання властивостей деревини й аналізу конструкцій необхідно прийняти деякі припущення:

- у деревини залежність між напруженнями і деформаціями при короткочасних навантаженнях близька до лінійної. Тому можна з деяким наближенням вважати, що деревина підкоряється закону Гука. Структурні особливості деревини визначають явно виражені відмінності пружних властивостей у різних напрямках, тобто пружну анізотропію. Отже, стосовно до деревини зв'язок між напруженнями і деформаціями здійснюється на базі теорії пружності анізотропного тіла [1; 5; 6].

Основне співвідношення між напругою і деформацією для пружних анізотропних матеріалів, у тому числі і деревини, в матричній формі має вигляд:

$$\{\varepsilon\} = [D] \cdot \{\sigma\} + \{\varepsilon_0\} \quad (1)$$

де $\{\varepsilon\}$ – вектор деформацій; $[D]$ – матриця податливості; $\{\sigma\}$ – вектор напружень; $\{\varepsilon_0\}$ – вектор початкових деформацій, у цій моделі пропонується розглядати як вектор деформацій викликаних зміною вологості модифікованої деревини.

Матриця податливості для анізотропних матеріалів, розміром 6×6 , має вигляд:

$$[D] = \begin{bmatrix} 1/E_r & -\mu_{tr}/E_r & -\mu_{ar}/E_r & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_{rt}/E_t & 1/E_t & -\mu_{at}/E_t & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_{ra}/E_a & -\mu_{ta}/E_a & 1/E_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{rt} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{ta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{ra} \end{bmatrix} \quad (2)$$

де E – модуль пружності, G – модуль зсуву, μ – коефіцієнт поперечної деформації.

Значення модуля пружності задається у трьох напрямках: аксіальному, радіальному, тангенціальному і залежить від породи деревини.

Постановка задачі:

Досліджувалися принципи моделювання виробів з деревини як ортотропного матеріалу в програмі скінчено-елементного аналізу SolidWorks Simulation [7]. Для досліджень на міцність при розтягу використовувався спеціальний зразок (рис. 2), закріпленний з одного кінця по всіх ступенях свободи, і навантажений з іншого тиском. Значення тиску $P = 1000$ Н.

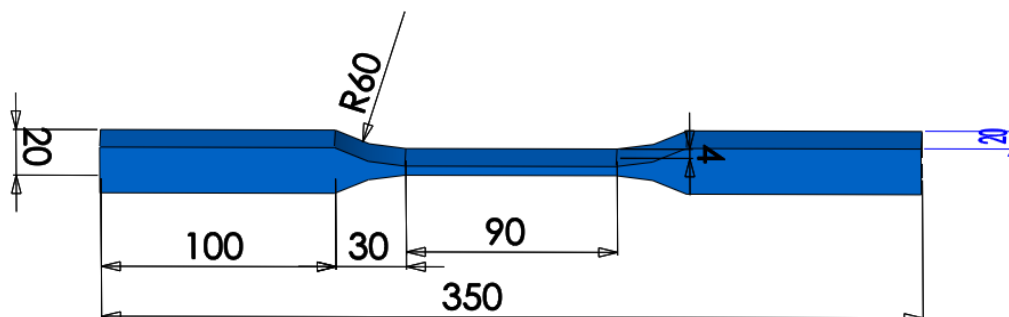


Рис. 2. Зразок деревини для досліджень на міцність при розтягу

Така форма зразків обумовлена прагненням забезпечити руйнування в тонкій робочій частині, а не в місці закріплення, під впливом саме напруг, що розтягують.

У табл. наведені модуль пружності E і модуль зсуву G різних порід деревини при вологості 15 % і для різних напрямків, враховуючи властивості деревини як ортотропного матеріалу.

Таблиця

Модуль пружності і модуль зсуву

Порода	Модуль пружності при розтягу, 10^3 кг/см ²			Модуль зсуву		
	E_a	E_r	E_t	G_{ra}	G_{tr}	G_{rt}
Сосна	117	5,1	4,3	11,4	7,1	0,5
Дуб	140	11,0	8,3	13,2	9,1	4,4
Береза	181	6,0	4,2	14,5	8,0	2,0

Моделювання проводилося в пакеті скінчено-елементного аналізу SolidWorks Simulation. Моделювання проводилося в системі CI.

Використовувалося 4 моделі для різних порід деревини (розтягнення вздовж волокон). Тип аналізу – нелінійний.

Навантаження прикладалася до площини у вигляді тиску $P = 1000 \text{ Н}$ (рис. 3).

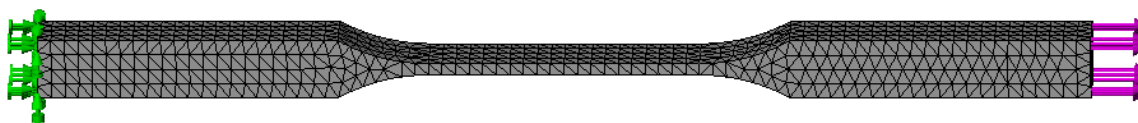


Рис. 3. Розрахункова схема

Результатами моделювання фізико-механічних властивостей різних порід деревини є епюра поля напружень і деформацій дослідного зразка (рис. 4).

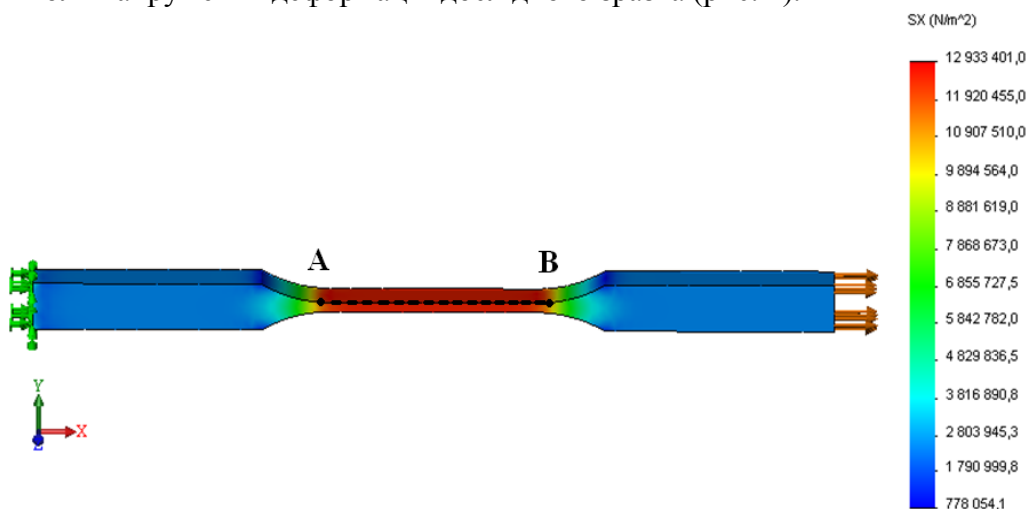


Рис. 4. Епюра напружень при розтягненні вздовж волокон зразка із сосни

Оскільки поле напружень, зображене на рис. 4, дає тільки наочне уявлення про характер розподілу напружень вздовж волокон дослідного зразка, було додатково побудовано графік (рис. 5) розподілу напружень вздовж лінії А-В.

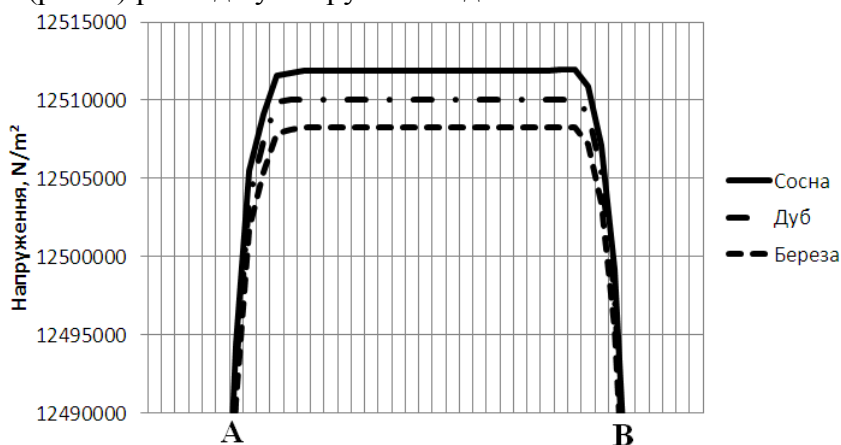


Рис. 5. Розподіл напружень вздовж лінії А-В

Результати досліджень показують, що зміна величини напружень вздовж звуженої частини зразка є нелінійною. Найменші значення напружень мають зразки дуба і берези, які дорівнюють 12510048 Н/м^2 і 12508243 Н/м^2 відповідно.

Проведений аналіз конструкції показує, що використання систем скінчено-елементного аналізу дозволяє виявити недоліки і місця концентрації напружень виробів на концептуальній стадії проекту і виправити їх до початку виготовлення з урахуванням заданих технічних умов.

Висновки і пропозиції.

- Досліджено модель фізико-механічних властивостей різних порід деревини за допомогою скінчено-елементного аналізу на основі анізотропії властивостей матеріалу.
- Проведено чисельне дослідження зразків з різних порід деревини.
- Ця методика може бути застосована для дослідження й оптимізації конструкцій з дерева за умовами міцності і деформативності (наприклад, деталей меблів і їх вузлових з'єднань), у вагонобудуванні (перегородки, панелі, багажні полиці, настил підлог, вбудовані меблі та інші елементи конструкцій), в суднобудівній промисловості (елементи конструкцій підлог, перегородок, дверей, стінних панелей, вбудовані меблі та інші несучі елементи конструкцій), у дерев'яному житловому будівництві, у виробництві столлярно-будівельних виробів та в інших галузях народного господарства.

Список використаних джерел

1. Пардаев А. С. Принципы моделирования и анализа прочности столярных конструкций на основе метода конечных элементов / А. С. Пардаев, С. П. Трофимов // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – Вып. XIII. – С. 162–164.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебник для лесотехнических вузов / Б. Н. Уголев. – 3-е изд. – М. : МГУЛ, 2002. – 340 с.
3. *Thermal and Mechanical Finite Element Modeling of Wood-Floor Assemblies Subjected to Furnace Exposure*. Research Report, Machmoor Tabaddor, PhD – Underwriters Laboratories Inc, USA, 2008. – 115 p.
4. *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material*. Forest Product Laboratory; United States Department of Agriculture Forest Service. – Madison, Wisconsin, USA, 2010. – 509 p.
5. Соколовський Я. І. Математичне моделювання двовимірного в'язкопружного стану деревини у процесі сушіння / Я. І. Соколовський, М. В. Дендюк // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2008. – Вип. 7. – С. 17–26.
6. Соколовський Я. І. Моделювання деформаційно-релаксаційних процесів у висушуваній деревині методом скінчених елементів / Я. І. Соколовський, А. В. Бакалець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2006. – № 565. – С. 51–57.
7. Єрошенко А. М. Особливості сертифікації продукції деревооброблювального виробництва / А. М. Єрошенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Серія: Технічні науки. – 2011. – № 4 (53). – С. 257–261.

References

1. Pardaev, A. S., Trofimov, S. P. (2005). Printsipy modelirovaniia i analiza prochnosti stoliarnykh konstruktssii na osnove metoda konechnykh elementov [Principles of simulation and analysis of construction joinery strength based on the finite element method]. *Trudy BGTU, Ser. II. Lesnaia i derevoobrabatyvaiushchaia promyshlennost – Proceedings BSTU. Part II. Forestry and woodworking industry*, Issue XIII, pp. 162–164 (in Russian).
2. Ugolev, B. N. (2002). *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniia [Forest Products and Wood Science]*. Moscow: Moscow State Forest University, 340 p. (in Russian).
3. Tabaddor, M. (2008). *Thermal and Mechanical Finite Element Modeling of Wood-Floor Assemblies Subjected to Furnace Exposure*. Underwriters Laboratories Inc, USA, 115 p.
4. *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material*. (2010). Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA, 509 p.
5. Sokolovskyi, Ya. I., Dendiuk, M. V. (2008). Matematychnе modeliuvaniia dvovymirnoho v'iazkopruznoho stanu derevyny u protsesi sushinnia [Mathematical modeling of two-dimensional viscoelastic state dere- fault in the drying process]. *Fizyko-matematychnе modeliuvaniia ta informatsiini tekhnolohii. – Physical and mathematical modeling and information technologies*, issue 7, pp. 17–26 [in Ukrainian].
6. Sokolovskyi, Ya. I., Bakalets, A. V. (2006). Modeliuvaniia deformatsiino-relaksatsiinykh protsesiv u vysushuvanii derevyni metodom skinchennykh elementiv [Simulation of deformation and relaxation processes in the drying timber using finite element method]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika». Ser.: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii. – Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Ser.: Computer science and information technology*, no 565, pp. 51–57 [in Ukrainian].
7. Yeroshenko, A. M. (2011). Osoblyvosti sertyfikatsii produktsii derevoobrobliuvalnoho vyrobnytstva [Peculiarities of wood product production certification]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu: Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of Chernihiv National University of Technology: Series: Engineering*, no. 4 (53), pp. 257–261 [in Ukrainian].

Бойко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Бойко Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Boyko Sergiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).
E-mail: svboyko.cstu@gmail.com

Єрошенко Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ерошенко Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yeroshenko Andriy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).
E-mail: yeroshenkoam@gmail.com