

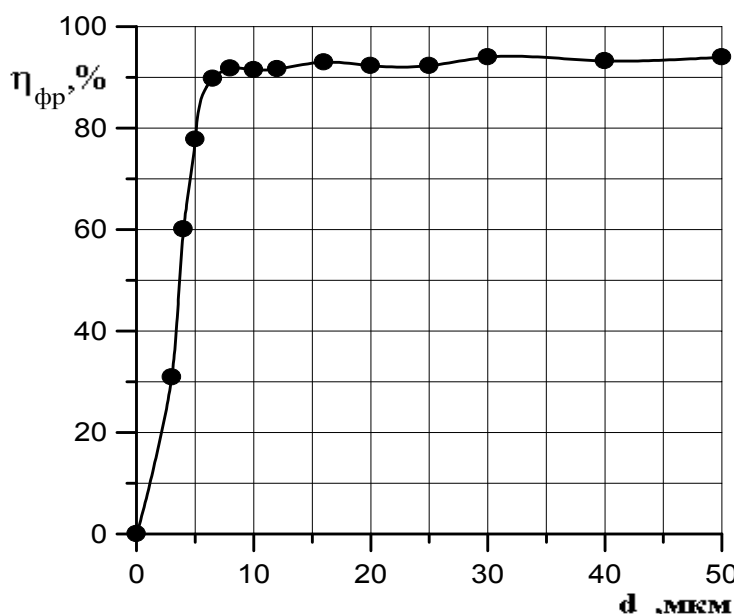


Рис. 2. Залежність коефіцієнта очищення від діаметра частинок для циклона з коаксіальною вставкою

Таким чином, можна зробити висновок, що за залежністю (10) з достатньою точністю можна визначити розмір частинок, що вловлюються циклоном на 50 %.

Література

1. Вальдберг А.Ю., Кирсанова Н.С. Метод расчета эффективности механических пылеуловителей по энергозатратам// ТОХТ. – 1992, т. 26, № 1. – С. 145-147.
2. Дубинін А.І., Ханік Я.М., Майстрок В.В., Гаврилів Р.І. Аналіз роботи прямотечійного циклону з коаксіальною вставкою// Хімічна промисловість України, 2005. – № 3.

УДК 674.047

*Ст. викл. М.В. Дендюк; проф. Я.І. Соколовський,
д-р техн. наук – НЛТУ України*

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН У ПРОЦЕСІ ЇХ СУШІННЯ

Розглянуто вплив геометричних розмірів висушеної деревини на динаміку вологісного і напружено-деформівного стану.

Senior teacher M.V. Dendyuk; prof. Ya.I. Sokolovs'ky – NUFWT of Ukraine

Influence of geometry of saw-timbers on the stress-deformation state in the process of their hydrothermal treatment

Influence of geometrical dimensions of the dried wood out is considered on the dynamics of the moist and stress-deformation state.

Актуальність і аналіз відомих досліджень. Процес конвективного сушіння деревини супроводжується нерівномірним в її об'ємі розподілом вологи, що спричиняє нерівномірне всихання матеріалу і є причиною виникнення внутрішніх напружень, які, своєю чергою, знижують якість та, досягнувши критичних значень, можуть зруйнувати матеріал. Прямих методів вимірювання згаданих вище напружень на сьогодні немає, а їх контроль і, власне, керування ними вимагають сучасні автоматизовані системи управління технологічним процесом. Відомі дослідження напружено-деформівного стану в об'ємі

висушуваної деревини зі врахуванням анізотропії властивостей у рамках теорії пружності, через складність поставленої задачі, зосереджують увагу тільки на напруженнях у центрі та на поверхні матеріалу [1-3], а одновимірні задачі з врахуванням реологічної поведінки деревини [4-6] не дають повної картини складного напруженого стану.

Постановка задачі. У цій роботі на основі розробленої фізико-математичної моделі визначення вологісних і деформаційно-релаксаційних полів висушуваної деревини [7-8] проведено моделювання вологісного і напружено-деформаційного стану пиломатеріалів деревини сосни у випадку плоскої задачі з прямокутним перерізом для різних співвідношень товщини до ширини b/a .

Припустивши, що деревина є суцільним твердим анізотропним гігроскопічним матеріалом, а коефіцієнти вологопровідності та вологообміну є постійними, але різними відносно осей анізотропії, вхідними даними для моделювання напружень деревини сосни будуть:

- розміри перерізу пиломатеріалів $a = b = 25$ мм, $a = 2b = 50$ мм і $2a = b = 50$ мм;
- початкова вологість матеріалу $W_{\Pi} = 30$ %;
- параметри агента сушіння при м'якому режимі [9]. Для сталого технологічного режиму з метою форсування виберемо третю ступінь, для якої $T = 75^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 24^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0,3$, $v = 2$ м/с;
- рівноважну вологість W_p , коефіцієнти вологообміну $\beta_x = \beta_y$ і вологопровідності $\alpha_x \neq \alpha_y$ задамо постійними і визначимо згідно з [9];
- значення модулів пружності та параметрів ядер релаксації $\aleph$ і μ обчислюємо на основі результатів досліджень [10];
- коефіцієнти всихання k_{β} визначаються згідно з [2];
- тривалість технологічного процесу $t = 30$ год. з кроком у часі $\Delta t = 0,1$ год.

При заданих вхідних даних критерій Фур'є F_0 набуде значення 0,1 при $\tau_{F_0} \approx 3$ год. для пиломатеріалів розміром 25×25 мм та 25×50 мм і $\tau_{F_0} \approx 3,3$ год. — для пиломатеріалів розміром 50×25 мм.

Результати досліджень. Отримані числові результати дають змогу оцінити вологісний і напружено-деформівний стан деревини для будь-якої точки перетину пиломатеріалу $b \times a$ у будь-який момент часу ($0 \div t$). На відміну від вологості, яка є скалярною величиною, напруження є тензорною величиною і у випадку плоскої задачі необхідно розглядати такі складові напружень: нормальні тангентальні σ_{xx} , нормальні радіальні σ_{yy} та напруження зсуву σ_{xy} .

Температура поверхневого шару з самого початку процесу сушіння, ще у нерегулярному періоді $t < \tau_{F_0}$, швидко зростає, а в об'ємі матеріалу виникають значні температурні градієнти. Внаслідок термодифузії і фазових перетворень у матеріалі утворюється складний розподіл вологи, який має один або декілька екстремумів [1]. Найбільш швидке видалення вологи відбувається на кутах пиломатеріалу і вже через декілька хвилин гідротермічної обробки наближається до рівноважної вологості. Цей процес зумовлює різке зростання градієнта вологості між кутами і рештою матеріалу як на поверхні, так і всередині, наслідком якого є концентрація вологи приблизно на відстані 10 % від країв. Починаючи від 20 % відстані від поверхні вологість розподілена майже рівномірно (рис. 1 а). З плином часу вологість на поверхні вирів-

нюється та ще у період нерегулярного режиму наближається до рівноважної, а в об'ємі матеріалу (рис. 1 б) набуває виду параболи чи косинусоїди [2-3].

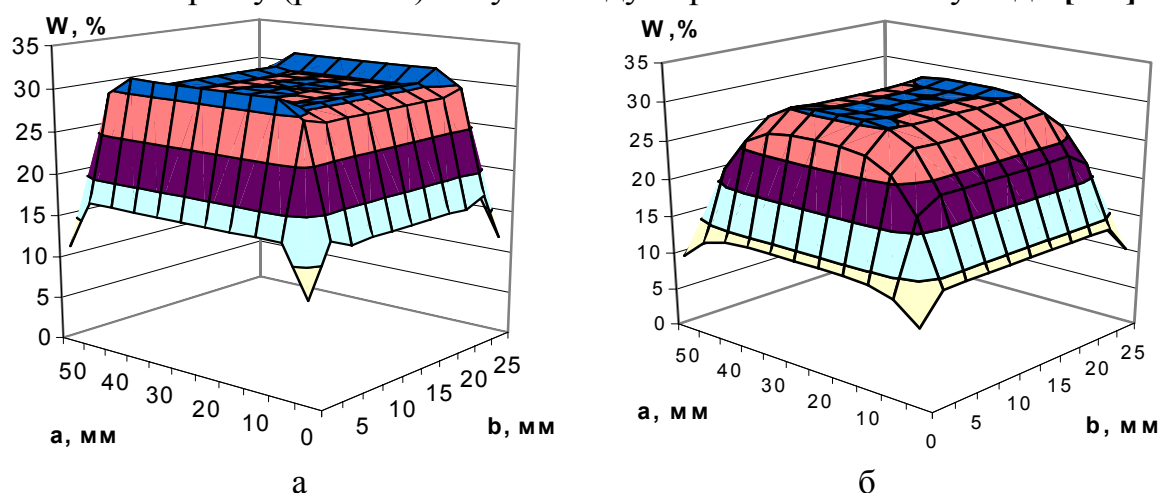


Рис. 1. Розподіл вологості у пиломатеріалі деревини сосни розміром 25×50 мм у процесі сушіння через: а) 0,5 год.; б) 2 год.

Нормальні напруження, які виникають внаслідок швидкого висушування поверхневих шарів, концентрації вологи біля поверхні та практично незмінних внутрішніх шарів, мають складний характер (рис. 2).

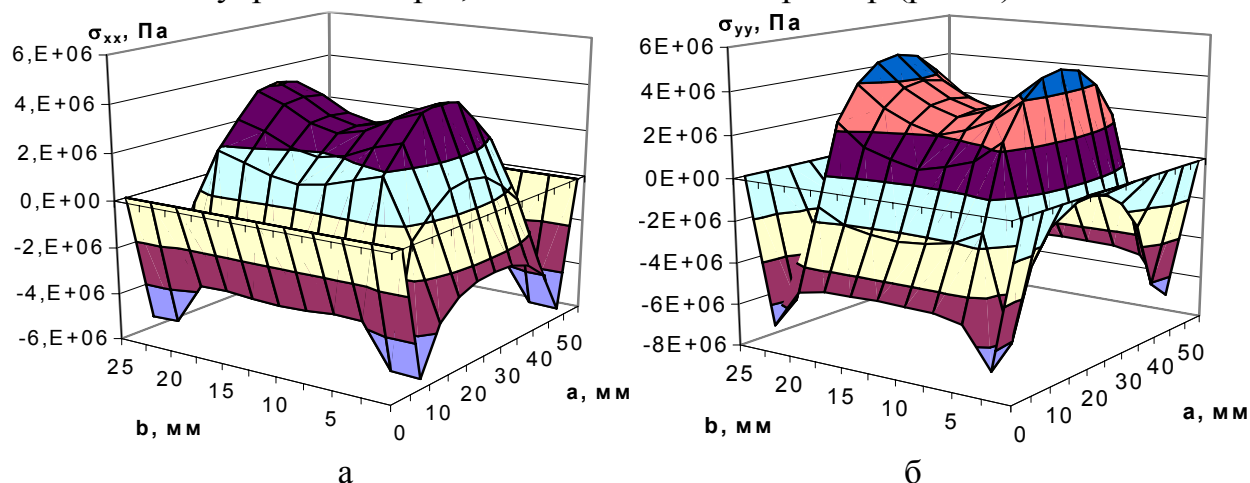


Рис. 2. Розподіл напружень у пиломатеріалі деревини сосни розміром 25×50 мм через 20 год. гідротермічної обробки: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

Ці напруження не будуть швидко вирівнюватись і спостерігаються навіть у кінці процесу сушіння. Це пояснюється реологічною поведінкою деревини, зокрема в'язкою складовою спадкової теорії Больцмана-Вольтерри у фізико-математичній моделі. Напруження зсуву на порядок менші за величиною від нормальних та протилежні за знаком біля поверхні та практично відсутні всередині матеріалу (рис. 3).

У зв'язку з тим, що, як вологісний розподіл, так і напружено-деформівний, симетричні відносно центру пиломатеріалу (рис. 1-3), розглянемо декілька характерних точок (рис. 4) для відображення динаміки напружень у процесі видалення вологи.

У точках на поверхні внаслідок швидкого видалення вологи з поверхневих шарів виникають розтягуючі (від'ємні) напруження σ_{xx} у точках 3, 4 (рис. 4) та σ_{yy} – у точках 6, 7, які ще у нерегулярному періоді починають спа-

дати. Величина напружень σ_{xx} відрізняється від величини σ_{yy} для співвідношення ширини a до товщини b пиломатеріалу $b/a = 1$ тільки за рахунок анізотропії властивостей (рис. 5). З плином часу сушіння ці напруження спадають до мінімального значення, яке відмінне від нуля. Зміни знаку не спостерігається та після завершення процесу сушіння ці напруження хоч і малі, але розтягуючі за характером. Кінцева величина напружень на поверхні безпосередньо зв'язана з геометрією матеріалу. Судячи з рис. 6-7, для розміру 25×50 мм напруження на поверхні σ_{xx} співрозмірні напруженням на поверхні σ_{yy} для розміру 50×25 мм з різницею анізотропії і відповідно σ_{xx} розміру 50×25 мм – σ_{yy} для розміру 25×50 мм з тією ж різницею.

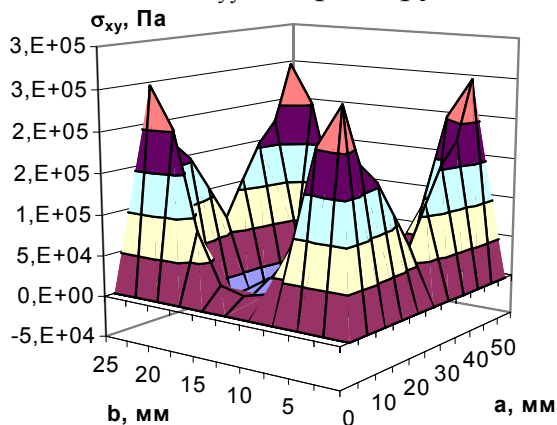


Рис. 3. Розподіл напружень σ_{xy} у пиломатеріалі розміром 25×50 мм через 20 год. гідротермічної обробки

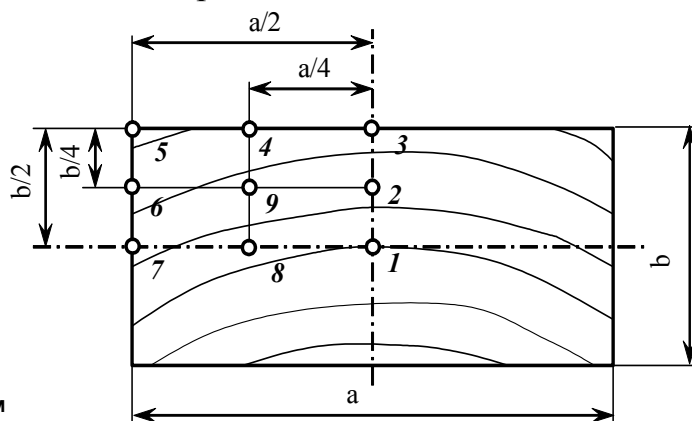


Рис. 4. Місцезнаходження характерних точок у перерізі матеріалу $a \times b$

Зі зменшенням співвідношення b/a від 1 до 0,5 σ_{xx} на поверхні збільшуються приблизно на 20 % від -5 МПа до -6 МПа, а σ_{yy} – зменшуються відповідно на 20 % від -6 МПа до -5 МПа (рис. 6). Зі збільшенням співвідношення b/a від 1 до 2 σ_{xx} на поверхні спадають приблизно на 20 % від -5 МПа до -4 МПа, а σ_{yy} зростають відповідно на 20 % від -6 МПа до -7 МПа (рис. 7). Подальше збільшення співвідношення призведе до виникнення напружень на поверхні, які перевищують відповідні напруження для співвідношення $b/a = 1$. Таким чином, найменші за величиною напруження на поверхні будуть для матеріалів зі співвідношенням ширини до товщини b/a від 0,5 до 1.

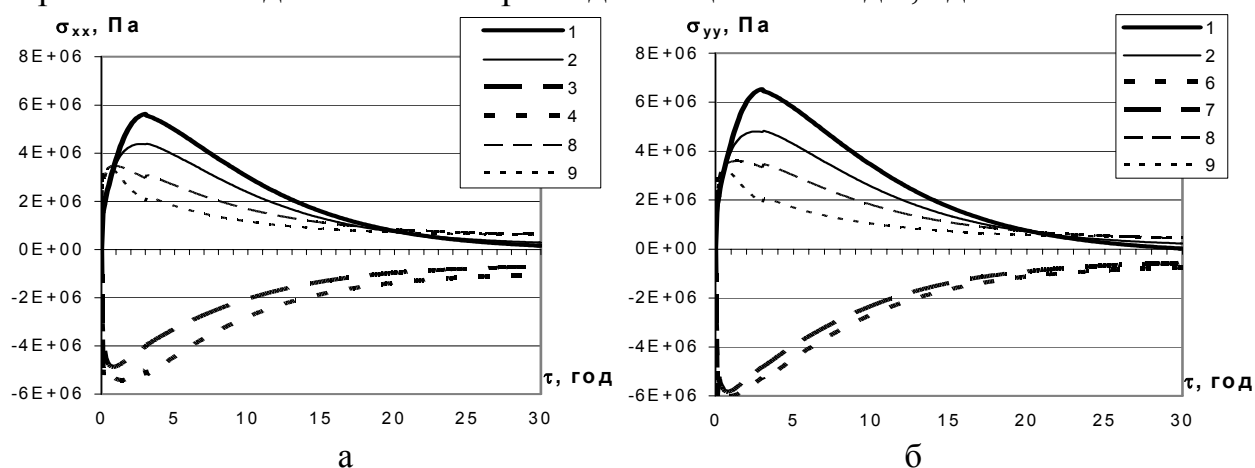


Рис. 5. Динаміка напружень у пиломатеріалі деревини сосни розміром 25×25 мм під час сушіння у характерних точках: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

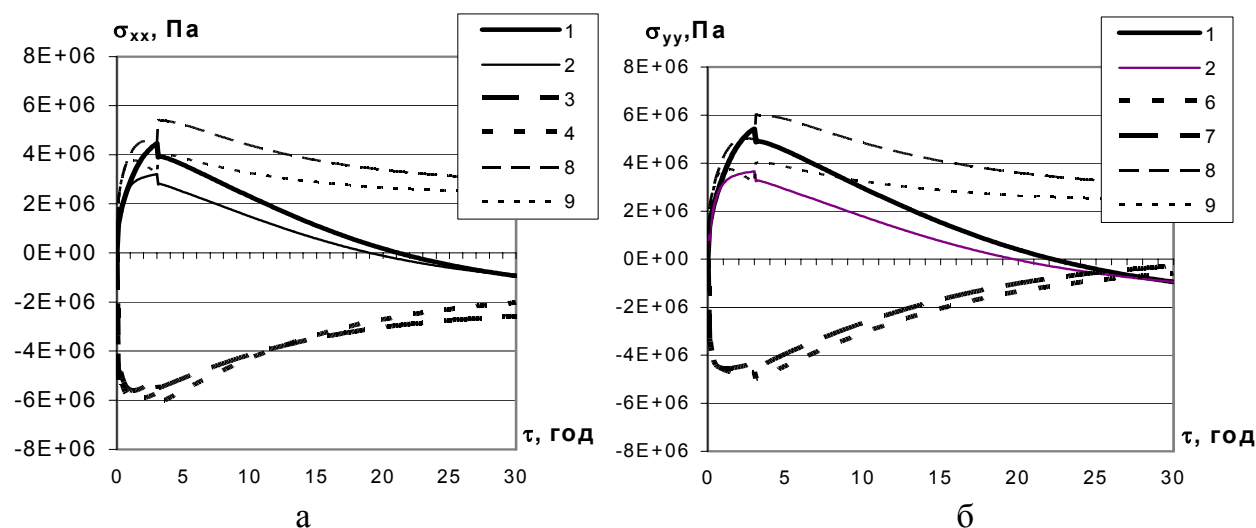


Рис. 6. Динаміка напружень у пиломатеріалі деревини сосни розміром 25×50 мм під час сушіння у характерних точках: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

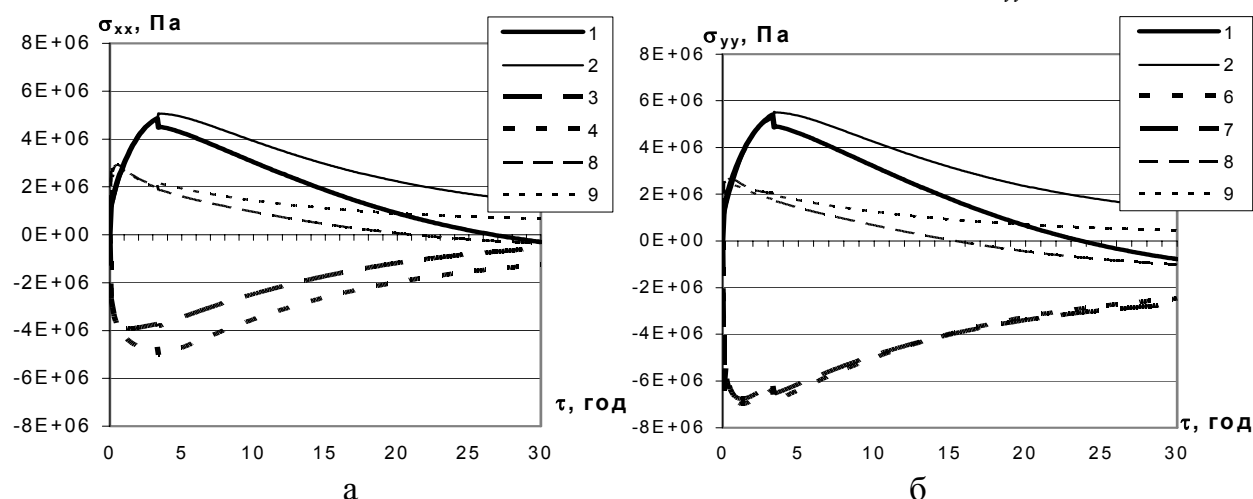


Рис. 7. Динаміка напружень у пиломатеріалі деревини сосни розміром 50×25 мм під час сушіння у характерних точках: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

На відміну від поверхневих шарів, у центральних шарах матеріалу на початку сушіння зменшення вологи зовсім незначне [1, 7], але деформації всихання поверхні та розтягуючі напруження, які при цьому виникають, спричиняють стискаючі напруження всередині. У нерегулярному періоді напруження всередині швидко зростають, хоч і не так швидко, як на поверхні, та досягають максимального значення при $\tau = \tau_{F_0}$ (рис. 5-7) для всіх вибраних співвідношень b/a . З плином часу сушіння вказані вище напруження плавно спадають до мінімального значення та залежно від співвідношення b/a прямують до нуля ($b/a = 1$) або зі стискаючих переходять у розтягуючі ($b/a \neq 1$), тобто міняють знак.

Розглянемо детальніше проблему напружень всередині матеріалу. Розподіл вологи в центрі вздовж ширини (переріз A_1-A_2 , рис. 8) у періоді нерегулярного режиму ($\tau < \tau_{F_0}$) подібний до розподілу вздовж поверхні на початку процесу сушіння, звичайно, відмінний за величиною (рис. 9): на відстані 10 % від країв відбувається концентрація вологи (крива 1). Ця концентрація недовготривала і ще у періоді нерегулярного режиму зникає (крива 2).

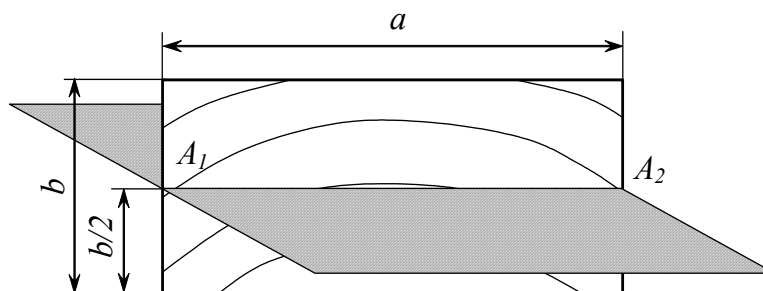


Рис. 8. Переріз A_1-A_2 пиломатеріалу $b \times a$ в центрі вздовж ширини

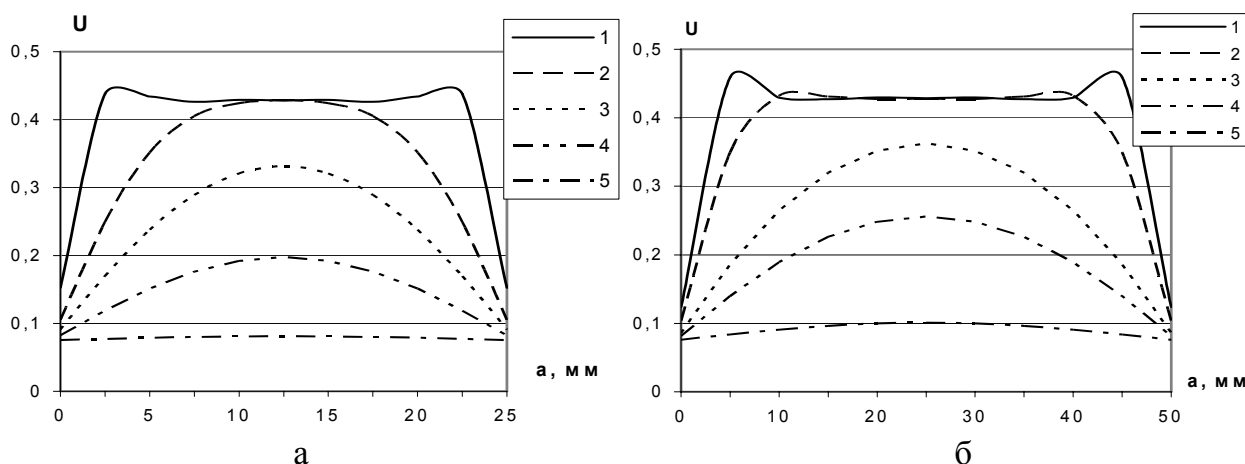


Рис. 9. Розподіл вологовмісту вздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу сосни розмірами 25×25 мм (а) і 25×50 мм (б) в моменти часу: 1 – 0,5 год.; 2 – 2 год.; 3 – 5 год.; 4 – 10 год.; 5 – 30 год.

Під час регулярного періоду розподіл вологи набуває схожої до параболічної залежності (криві 3-4), а у кінці процесу сушіння – вирівнюється по всьому об'єму (крива 5).

Величина розтягуючих напружень вздовж перерізу A_1-A_2 (рис. 10-11) найбільша приблизно на відстані 10 % від поверхні, а на відстані 20 % відбувається зміна знаку напружень. Характерно, що з плином часу сушіння точки зміни знаку напружень не переміщуються. Відмінність за величиною σ_{xx} і σ_{yy} характеризує відмінність властивостей матеріалу в різних напрямках анізотропії.

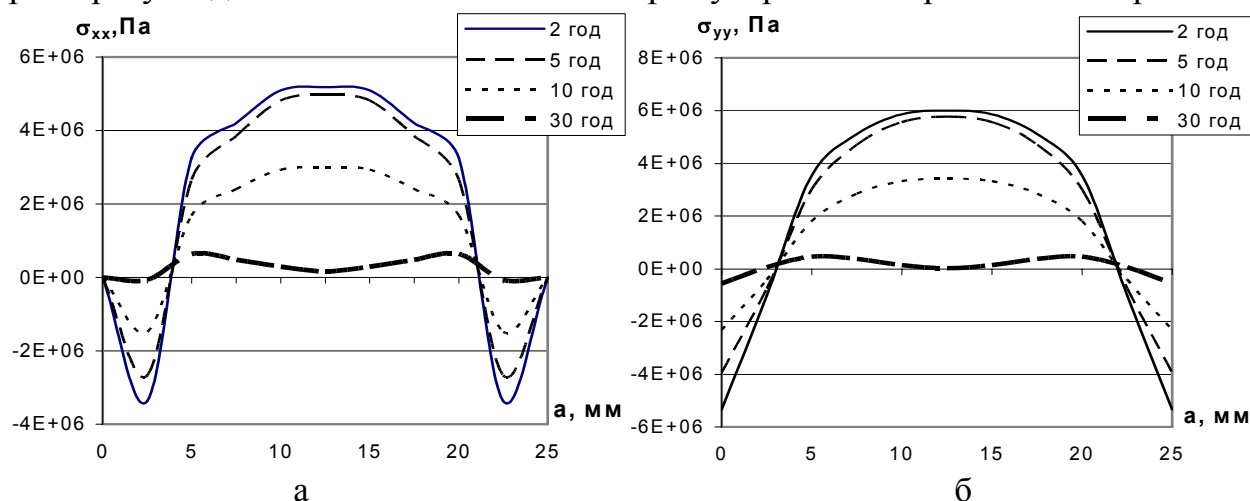


Рис. 10. Розподіл вздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу розміром 25×25 мм у різні моменти часу напружень: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

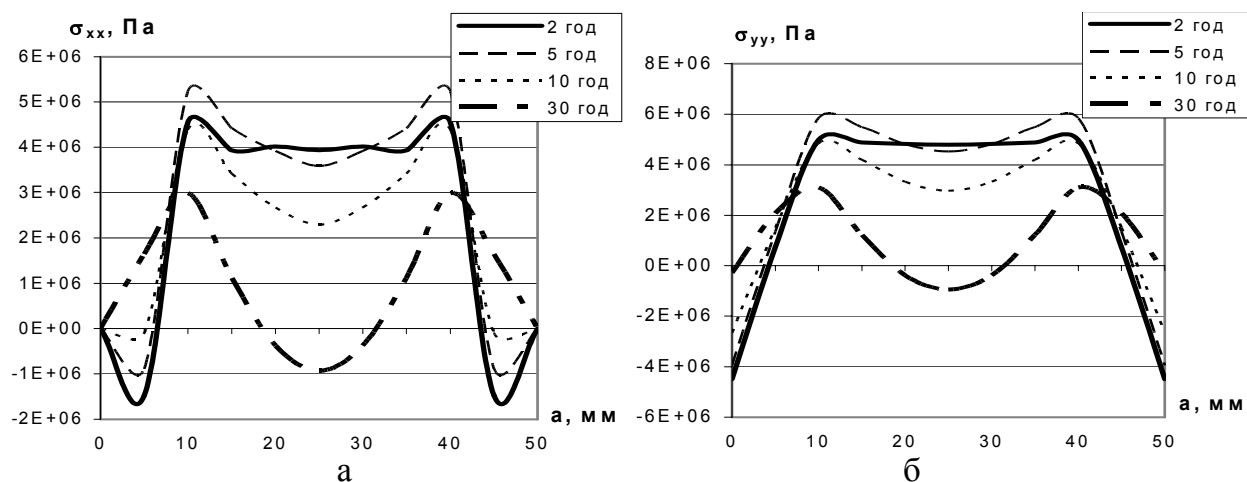


Рис. 11. Розподіл вздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу розміром 25×50 мм у різні моменти часу напружень: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

Найбільші стискаючі напруження як σ_{xx} , так і σ_{yy} вздовж перерізу A_1-A_2 для співвідношення $b/a = 1$ (рис. 10) виникають у центрі матеріалу (точка 1 рис. 4). При зменшенні b/a , зокрема $b/a = 0,5$, розподіл напружень вздовж перерізу A_1-A_2 набуває ще більш складного характеру (рис. 11). Від'ємні розтягуючі поверхневі напруження стрімко переростають у стискаючі вже на відстані 20 % від краю, де вони набувають максимального значення. У точках, достатньо віддалених від країв, напруження на початку сушіння стискаючі та мають рівномірний розподіл, та з плином часу зменшуються аж до розтягуючих. Розтягуючі напруження біля поверхні в цей же час переростають у стискаючі, набуваючи максимального значення приблизно на відстані 20 % від краю пиломатеріалу.

Таким чином, на початку процесу сушіння поверхневі шари вздовж перерізу A_1-A_2 піддаються розтягуючим напруженням, а внутрішні шари – стискаючим. Отримані результати якісно підтверджуються також проведеннями раніше дослідженнями за методом Рітца у пружній постановці задачі для різних значень критерію Фур'є F_0 тангентальних соснових дощок товщиною $b = 20$ мм на етапі регулярного режиму зміни вологи в їх об'ємі [11].

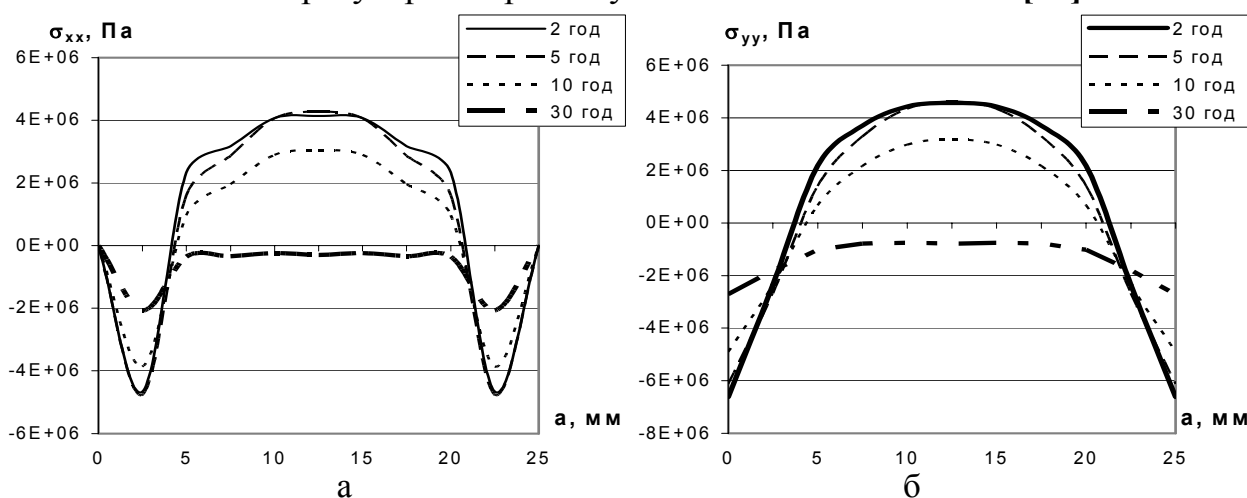


Рис. 12. Розподіл вздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу розміром 50×25 мм у різні моменти часу напружень: а) σ_{xx} ; б) σ_{yy}

Для матеріалів зі співвідношенням товщини до ширини $b/a = 2$ нормальні тангентальні напруження σ_{xx} вздовж перерізу A_1-A_2 – розтягуючі по краях і стискаючі – всередині, з плином часу зменшуються (рис. 12). Після за-

вершення процесу сушіння дані напруження на відстані 10 % від країв внаслідок впливу залишкових залишаються розтягуючими, а на відстані більше 20 % – близькі до нуля та від'ємні за знаком. Нормальні радіальні напруження σ_{yy} вздовж перерізу A_1-A_2 також після завершення процесу сушіння будуть розтягуючими.

Такий характер напружень пов'язаний з розподілом вологи, насамперед, вздовж товщини b посередині ширини $a/2$, як зображено на рис. 13 (переріз B_1-B_2), оскільки в цьому випадку сторона b є більша за сторону a . Напруження σ_{xx} , які відповідно виникають вздовж перерізу B_1-B_2 у пиломатеріалах розміром 50×25 мм, за характером подібні до напружень σ_{yy} вздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу розміром 25×50 мм з різницею в анізотропії властивостей, а напруження σ_{yy} вздовж перерізу B_1-B_2 у пиломатеріалах розміром 50×25 мм відповідно адекватні напруженням σ_{xx} уздовж перерізу A_1-A_2 пиломатеріалу розміром 25×50 мм з тією ж різницею.

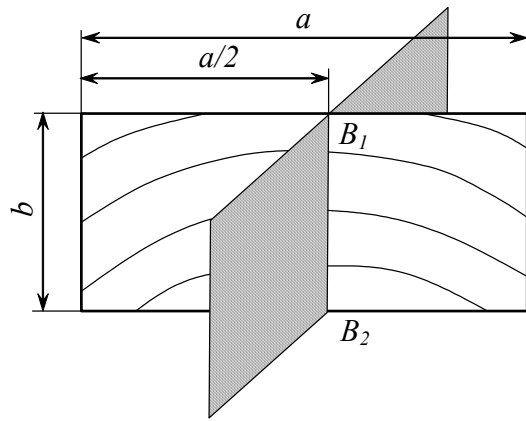


Рис. 13. Переріз B_1-B_2 пиломатеріалу розміром $b \times a$ по центру вздовж товщини

Напруження зсуву σ_{xy} , які виникають в об'ємі матеріалу, на порядок менші за величиною (до 0,1 МПа) від нормальних напружень σ_{xx} та σ_{yy} і сконцентровані біля кутів перерізу пиломатеріалу на початку процесу сушіння. Після завершення процесу сушіння σ_{xy} практично відсутні для $b/a = 1$ і на два порядки менші (до 0,07 МПа) за нормальні σ_{xx} та σ_{yy} для інших співвідношень b/a . Треба зазначити, що концентрація напружень зсуву σ_{xy} спостерігається на відстані також 10 % від поверхні, тобто, як і для нормальних напружень, причиною їх виникнення є різке зростання градієнта вологи саме в цих місцях.

Висновки. Аналіз величини напружень в об'ємі деревини для різних співвідношень товщини до ширини b/a показує, що максимальні напруження у процесі сушіння деревини сосни при зазначеному режимі виникають для $b/a = 1$; відмінність за величиною σ_{xx} і σ_{yy} характеризує відмінність властивостей матеріалу в різних напрямках анізотропії; найменші за величиною напруження на поверхні будуть для матеріалів зі співвідношенням ширини до товщини b/a від 0,5 до 1.

Література

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Серговский П.С. Гидротермическая обработка древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1975. – 400 с.
3. Биллей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород. Изд. второе. – М.: Экология, 2002. – 224 с.
4. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Дослідження вологісних і залишкових напружень деревини у процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8.1. – С. 196-207.
5. Соколовский Я.И., Поберейко Б.П. Расчет нестационарных напряжений в древесине при воздействии влаги// Лесной журнал. – 2000, № 1. – С. 99-105.

6. Соколовський Я.І. Напруження та деформації у деревині в процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 92-102.

7. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В., Кулешнык Я.Ф. Численное моделирование методом конечных элементов полей влажности древесины с учетом анизотропии ее свойств// Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: Сб. научн. трудов. – Брянск: БГИТА. – 2003, вып. 6. – С. 71-75.

8. Соколовський Я.І., Дендюк М.В., Поберейко Б.П. Моделирование деформационно-релаксационных процессов в древесине во время сушки// Известия ВУЗ России "Лесной журнал". – Архангельск, 2005, № 5. – С. 121-128.

9. Серговский П.С., Рассев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.

10. Дендюк М.В. Визначення реологічних параметрів деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.3. – С. 124-129.

11. Дендюк М.В., Поберейко Б.П., Соколовський Я.І. Аналіз напружено-деформованого стану та диференціальної усадки у період регулярного режиму сушіння пиломатеріалів// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.8. – С. 140-147.

УДК 539.3 *Доц. Б.Б. Дівеєв, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";
ст. наук. співроб. П.П. Онуфрик, канд. техн. наук – НЛТУ України*

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦЬ ДЕМФУВАННЯ У ШАРУВАТИХ СТІЛЬНИКОВИХ СТРУКТУРАХ

Розглядаються теоретичні моделі для напружено-деформованого стану та демфування у неоднорідних тонкостінних структурах. Для усталених вібраційних станів визначені демфуючі властивості. Для порівняння з вібраційними дослідженнями отримано континуальні розрахункові моделі.

*Doc. B.B. Diveyev – Mechanical Engineering Institute, NU "L'vivs'ka
Politekhnikha"; senior research worker P.P. Onufryk – NUFWT of Ukraine*

Theoretical and experimental damping bounds predictions for sandwich honeycomb structures

Theoretical models for the stress-strain state and the damping in non-uniform thin-walled structures are discussed. The damping properties by steady-state vibration are established. Continuous system models are obtained for comparison with vibration test.

Introduction

The multifunctional properties of cellular solids have generated great interest for their application in ultra-light structures. The properties that appear most attractive are those that govern the use of cellular solids as cores for panels and shells having lower weight than competing materials, and potentially superior heat dissipation, vibration control and energy dissipation characteristics. Commercially available cellular solids and foams have random microstructures and their properties have been thoroughly documented. In this paper, the dynamic response and the sound radiation of sandwich beams is investigated.

The reduction of vibration responses and the transmission of vibratory energy in layered composite sandwich structures and mechanical systems has been the subject of investigation for many years. Many numerical schemes (NS) have been developed [1-6]. Most of them are based on the Tymoshenko theory. In such studies many factors are neglected, such as the normal strains in the materials, in-