

бом, у середньому більший на 2,8...9,4 % (для діаметрів 14...24 см), 3,0...11,9 % (для діаметрів 26...40 см), ніж об'ємний вихід пилопродукції, випиленої на лісопилних рамах за інших однакових умов.

Література

1. **Руководящие** технико-экономические материалы по нормированию расхода сырья и материалов в производстве пиломатериалов/ Захарьин Г.И. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1991. – 219 с.

2. **Европейские** стандарты на круглые лесоматериалы и пиломатериалы. Справочник. – М.: ООО "Лесэксперт", 1999. – 133 с.

3. **Вивчити** та провести обґрунтування ефективних способів розпилювання круглих лісоматеріалів та структури технологічних потоків на базі стрічкопильного обладнання. Звіт з НДР/ НЛТУ України; керівник В.М. Максимів. – Тема № 282 д-04. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005 р. – 102 с.

4. **Розробити** науково-обґрунтовані нормативи витрат деревини у виробництві пиломатеріалів. Звіт з НДР/ НЛТУ України; керівник О.Б. Ференц – Тема № 316 д-05. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005 р. – 73 с.

УДК 674.047

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

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ АГЕНТА СУШІННЯ НА ВОЛОГІСНИЙ І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН ПИЛОМАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ЇХ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Розглянуто вплив температури, відносної вологості й швидкості руху агента сушіння на розвиток вологісних і напружено-деформівних полів пиломатеріалів у процесі їх гідротермічної обробки.

*Senior teacher M.V. Dendyuk; prof. Ya.I. Sokolowsky –
NUFWT of Ukraine, L'viv*

Influence of parameters of agent of drying on the moist and tensely-deformed state of saw-timbers in the process of their hydrothermal treatment

Influence of temperature, relative humidity and rate of movement of agent of drying is considered on development of the moist and tensely-deformed fields of saw-timbers in the process of their hydrothermal treatment.

Актуальність і постановка задачі. Проведені раніше дослідження полів вологовмісту у деревині під час сушіння методом кінцевих елементів [1, 2] отримали подальший розвиток в [3, 4], а створене програмне забезпечення дало змогу виявити вплив геометричних розмірів пиломатеріалів на розвиток як вологісного, так і напружено-деформівного стану [5] при постійних параметрах технологічного процесу. На практиці застосовують багатоступеневі режими [6, 7], а критерієм переходу до наступного ступеня є вологість матеріалу і таким чином раніше запропонований алгоритм визначення напружено-деформівного стану висушеної деревини [4] у цій роботі доповнений блоком контролю середньої вологості, на основі якого відбуватиметься зміна параметрів агента сушіння, тобто перехід до наступного ступеня технологічного процесу.

Для проведення числового експерименту взято пиломатеріали деревини сосни товщиною 25 мм і початковою вологістю $W_0 = 30\%$ при м'якому режимі [6]. При цьому рівноважну вологість W_p , коефіцієнти вологообміну $\beta_x = \beta_y$ і вологопровідності $\alpha_x \neq \alpha_y$ визначимо з [6], а коефіцієнти всихання – з [8]. Значення параметрів ядер релаксації й модулів пружності визначаємо на підставі [9]. З метою виявлення впливу параметрів агента сушіння на розвиток напружено-деформівного стану пиломатеріалів у процесі сушіння змінимо відносно вказаного вище режиму температуру в межах $\pm 10^\circ\text{C}$, відносну вологість – на $\pm 10\%$ і швидкість руху агента сушіння – до 6 м/с.

Результати досліджень. Зміна температури призведе до перерахунку фізико-механічних характеристик матеріалу: коефіцієнтів вологопровідності й вологовіддачі, рівноважної вологості, модулів пружності, параметрів ядер релаксації, тощо і, відповідно, до іншого розвитку вологісного і напружено-деформівного станів.

На початку процесу сушіння зміна температури не впливає на вологісні поля всередині матеріалу (рис. 1, а), а на поверхні відрізняється на величину, пропорційну зміні рівноважної вологості (рис. 1, б). З плином часу сушіння за рахунок зміни коефіцієнтів вологопровідності й вологовіддачі при різних температурних режимах спостерігається збільшення у центрі різниці вологості. При підвищеній температурі (рис. 1, залежність 3) видалення вологи відбувається швидше і, відповідно, швидше досягається значення 20 % вологості матеріалу, при якому відбувається перехід до наступного ступеня технологічного режиму і зміни параметрів агента сушіння. Це знову приводить до зміни фізико-механічних характеристик деревини.

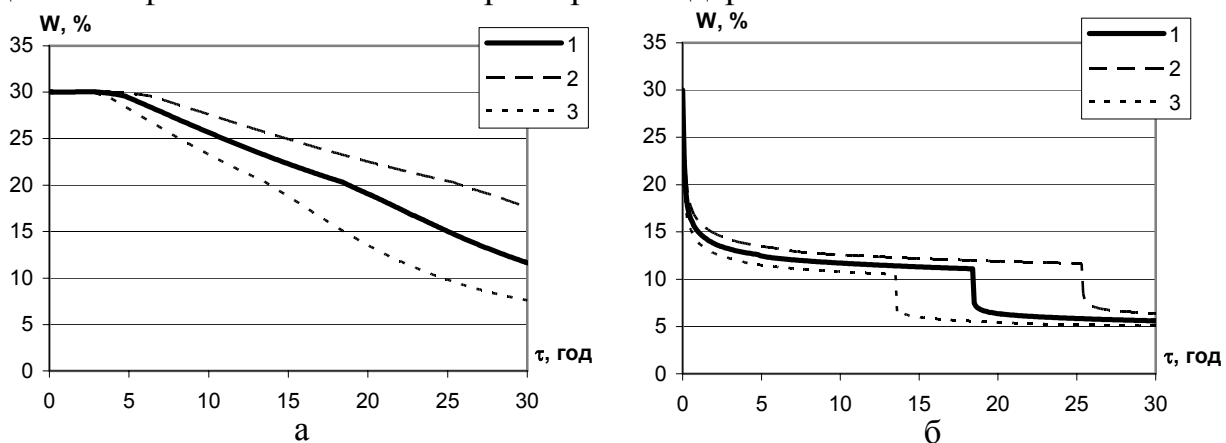


Рис. 1. Вплив температури агента сушіння на динаміку вологи в центрі (а) і на поверхні при $x=b/2$ (б) у пиломатеріалі розміром 25×50 мм деревини сосни, де температура: 1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10°C ; 3 – підвищена на 10°C

Зміна вологісних полів викликає зміну напружено-деформівного стану. На початку процесу сушіння при вказаних вище температурних режимах відмінність буде незначною (рис. 2-3), але не стільки за максимальною величиною напружень, як за швидкістю їх зростання. При ще високій вологості на початку процесу сушіння, підвищення температури агента сушіння на 10°C спричиняє стрімкіше зростання напружень, які можуть перевищити граничні значення. Зменшення температури на 10°C уповільнює крутизну росту

напружень, максимальні значення яких хоч і ненабагато більші за відповідні напруження при інших температурах, але в момент досягнення максимуму вологість в матеріалі є нижчою за вологість при інших режимах і, відповідно, значення максимально допустимих напружень будуть більшими.

У регулярному періоді видалення води, підвищений температурний режим спричиняє як швидше видалення води, так і швидше зменшення напружень (рис. 2-3, залежність 3). Зниження ж температури (рис. 2-3, залежність 2) збільшує час технологічного процесу сушіння. Зміна температури у періоді нерегулярного видалення води найбільш небезпечна як крутизною росту напружень, так і їх максимальними значеннями порівняно з критичними для даного матеріалу відповідної вологості. У регулярному періоді температура агента впливає на тривалість технологічного процесу і її підвищення зменшує час сушіння без збільшення напружень.

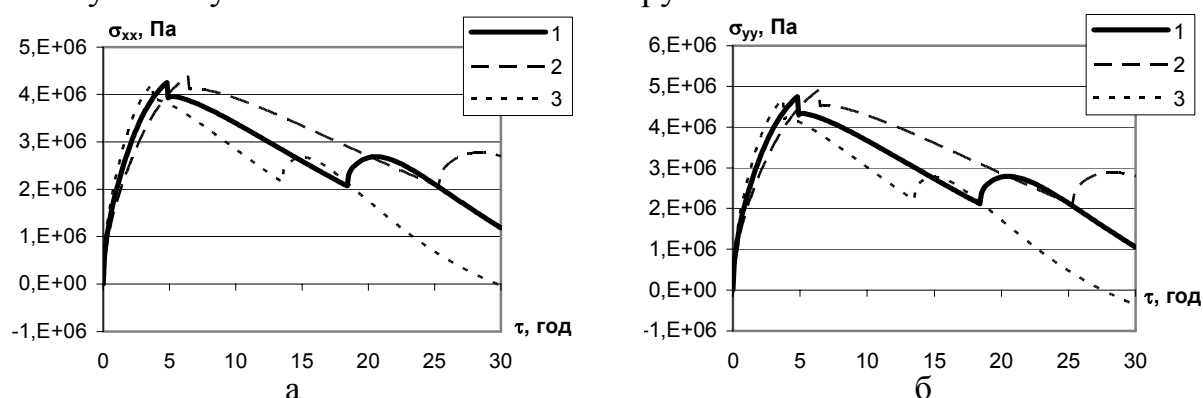


Рис. 2. Вплив температури агента сушіння в центрі пиломатеріалу деревини сосни розміром 25×50 мм на динаміку напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б), де температура: 1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10 °С; 3 – підвищена на 10 °С

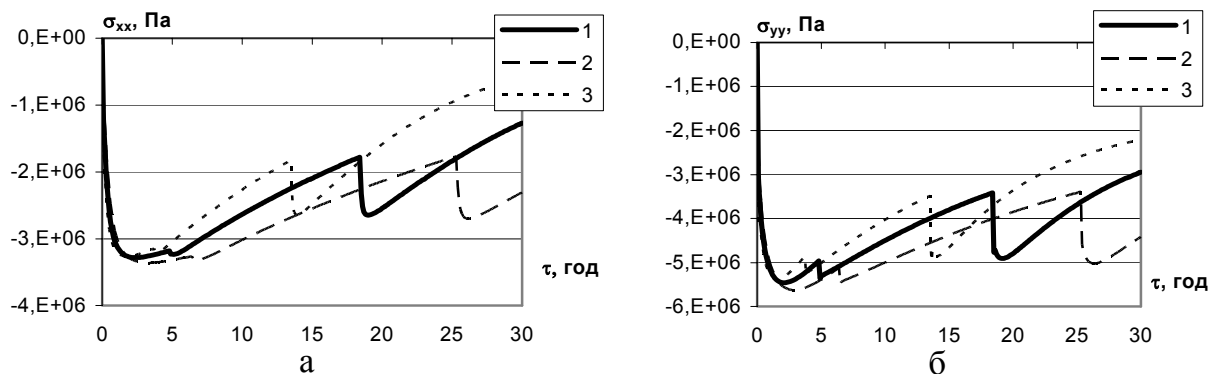


Рис. 3. Вплив температури агента сушіння на динаміку напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) на поверхні пиломатеріалу деревини сосни розміром 25×50 мм, де температура: 1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10 °С; 3 – підвищена на 10 °С

Для дослідження впливу відносної вологості агента сушіння на напружено-деформівний і вологісний стани висушуваної деревини змодельємо вказаний вище технологічний режим сушіння пиломатеріалів, змінивши відносну вологість агента сушіння на $\pm 10\%$ для кожного ступеня та залишивши інші параметри технологічного процесу згідно з нормативними документами.

На початку процесу сушіння зміна відносної вологості агента сушіння не впливає на вологість всередині матеріалу (рис. 4, а), а на поверхні – відрізняється на величину зміни рівноважної вологості (рис. 4, б). З плином часу на

поверхні пиломатеріалу вологість вирівнюється до рівноважної, а в центрі – починає спадати. При пониженій відносній вологості агента сушіння перехід на наступний ступінь технологічного режиму відбуватиметься швидше (рис. 4, залежність 2), як при інших її значеннях для критерію переходу – вологості матеріалу 20 %.

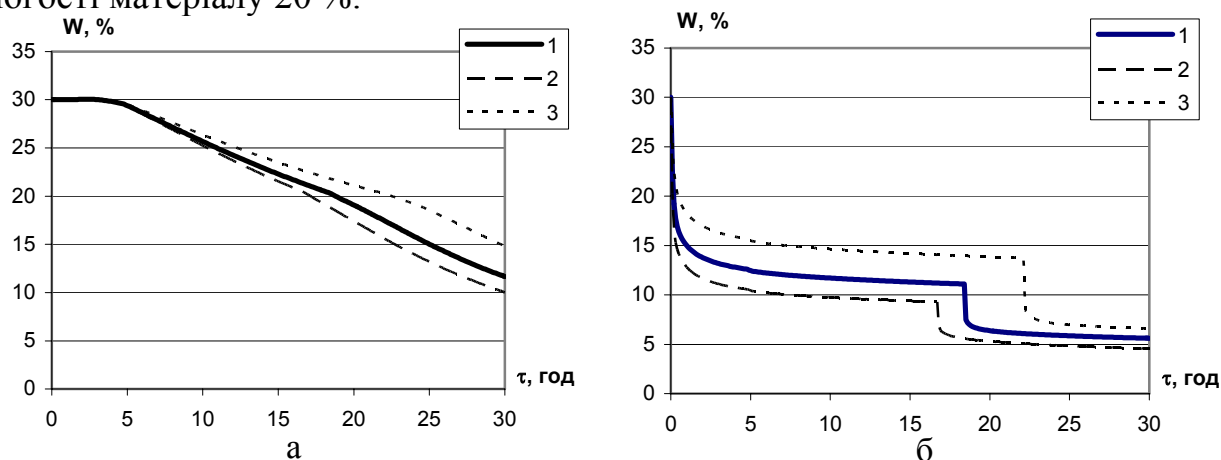


Рис. 4. Вплив відносної вологості агента сушіння на динаміку вологи у пиломатеріалі деревини сосни розміром 25×50 мм у центрі (а) і на поверхні при $x = b/2$ (б), де відносна вологість: 1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10 %; 3 – підвищена на 10 %

Зміна відносної вологості агента сушіння, насамперед, приводить до відносно більшої зміни рівноважної вологості й коефіцієнтів вологообміну порівняно зі зміною температури. Тому динаміка напружень на початку процесу сушіння для різних значень відносної вологості агента сушіння буде відрізнятися за величиною напружень таким чином: при зменшеній відносній вологості до $\varphi = 0,52$ відносно технологічного режиму за нормативними документами для $\varphi = 0,62$, що становить приблизно 19 %, величина максимальних напружень на поверхні σ_{xx} зросте від –3,2 МПа до –3,7 МПа (рис. 5, а), а σ_{yy} – від –5,3 МПа до –6,2 МПа (рис. 5, б), тобто на 16-17 %. У центрі пиломатеріалу при згаданій вище зміні відносної вологості напруження також зростуть: σ_{xx} від 4,2 МПа до 4,8 МПа (рис. 6, а), а σ_{yy} – від 4,7 МПа до 5,3 МПа (рис. 6, б), тобто на 13-14 %.

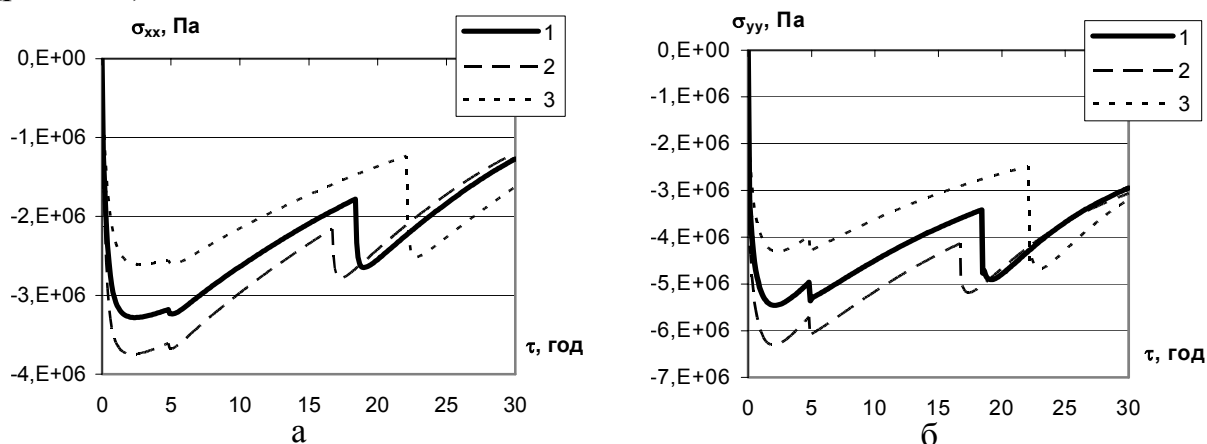


Рис. 5. Вплив відносної вологості агента сушіння на динаміку напружень на поверхні σ_{xx} при $x=a/2$ (а) і σ_{yy} при $y=b/2$ (б) пиломатеріалу деревини сосни розміром 25×50 мм, де відносна вологість: 1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10 %; 3 – підвищена на 10 %

При збільшеній відносній вологості до $\varphi=0,72$ відносно технологічного режиму за нормативними документами для $\varphi=0,62$, що становить приблизно 16 %, на поверхні пиломатеріалу величина максимальних напружень відповідно зменшиться для σ_{xx} від $-3,2$ МПа до $-2,6$ МПа (рис. 5, а), а для σ_{yy} – від $-5,3$ МПа до $-4,2$ МПа (рис. 5, б), тобто на 23-26 %. У центрі пиломатеріалу при згаданій вище зміні відносної вологості напруження також будуть меншими: σ_{xx} – від $4,2$ МПа до $3,4$ МПа (рис. 6, а), а σ_{yy} – від $4,7$ МПа до $3,9$ МПа (рис. 6, б), тобто на 20-23 %.

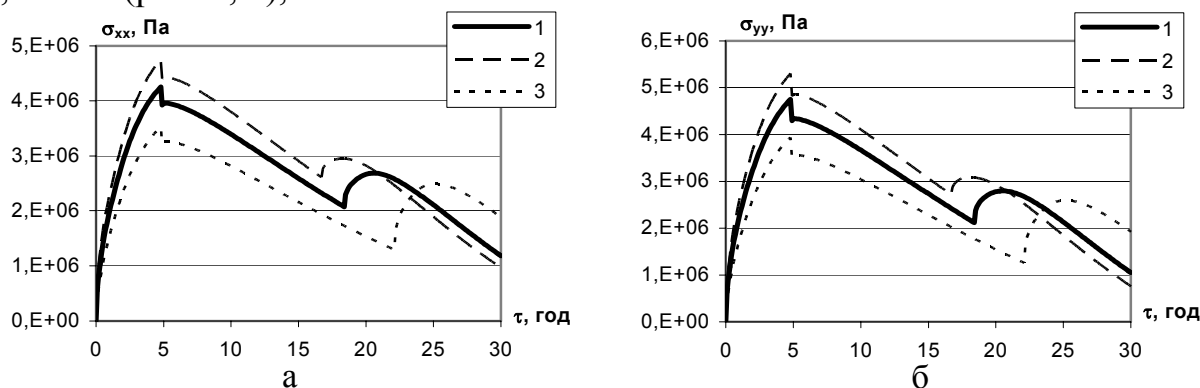


Рис. 6. Вплив відносної вологості агента сушіння на динаміку напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) в центрі матеріалу розміром 25×50 мм, де відносна вологість:
1 – за нормативними документами; 2 – знижена на 10 %; 3 – підвищена на 10 %

З плином часу сушіння при меншій відносній вологості агента на 10 % (рис. 5-6, залежність 2) за відносну вологість згідно з нормативними документами (рис. 5-6, залежність 1), перехід до наступного ступеня технологічного режиму відбуватиметься швидше, при більшій відносній вологості на 10 % (рис. 5-6, залежність 3) – пізніше, а максимальні напруження для вибраних значень відносної вологості відрізнятимуться у межах 10 %. Зміна відносної вологості агента у бік збільшення чи зменшення від значення, рекомендованого в нормативних документах, на початку технологічного процесу сушіння не впливає на вологість у центрі пиломатеріалу, а відповідно зумовлена зміна рівноважної вологості та коефіцієнтів вологообміну значно змінюють величину вологості у поверхневих шарах. Величина перепаду вологи між центром і поверхнею безпосередньо впливає на величину напружень. При зменшенні відносної вологості агента сушіння перепад вологи буде більшим, а отже, і величина напружень у всьому об'ємі матеріалу зростатиме. При збільшенні відносної вологості агента – величина напружень відповідно спадатиме.

Крім того, із отриманих залежностей випливає, що при зменшенні відносної вологості агента сушіння досягається швидше значення вологості матеріалу, при якому відбувається перехід до наступного ступеня технологічного режиму і, навпаки, при збільшенні – до пізнішого переходу. Чим пізніше інтенсифікується технологічний режим, тим зміна напружень при переході до наступного ступеня технологічного режиму буде більшою, а їх максимальна величина все ж таки буде меншою за відповідні напруження при цій же вологості матеріалу для інших значень відносної вологості агента сушіння.

Швидкість руху агента сушіння (v) впливає на коефіцієнти вологообміну, тому видалення вологи при підвищеній циркуляції на поверхні буде швидше, ніж в об'ємі матеріалу, де коефіцієнти вологопровідності не залежать від

в. З плином часу при підвищеній швидкості руху агента до 6 м/с у центрі матеріалу відбувається також прискорене видалення вологи (рис. 7) за рахунок збільшення градієнта вологи між поверхнею і внутрішніми точками пиломатеріалу. Таким чином, збільшення швидкості руху агента зменшує тривалість технологічного процесу, але при цьому величина напружень зростає (рис. 8-9).

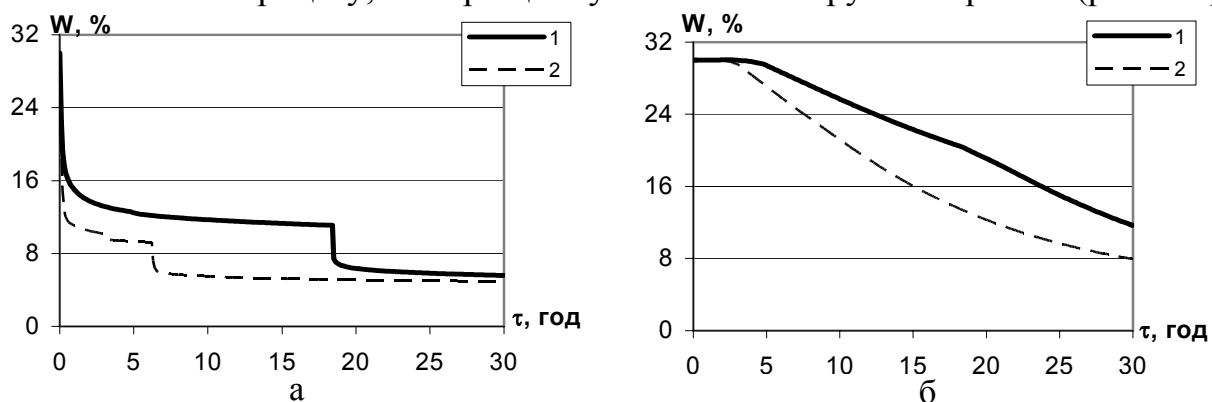


Рис. 7. Вплив швидкості руху агента сушіння v на динаміку вологи в центрі (а) і на поверхні при $x=b/2$ (б) у пиломатеріалі розміром 25×50 мм деревини сосни, де швидкість руху: 1 – за нормативними документами; 2 – підвищена до 6 м/с

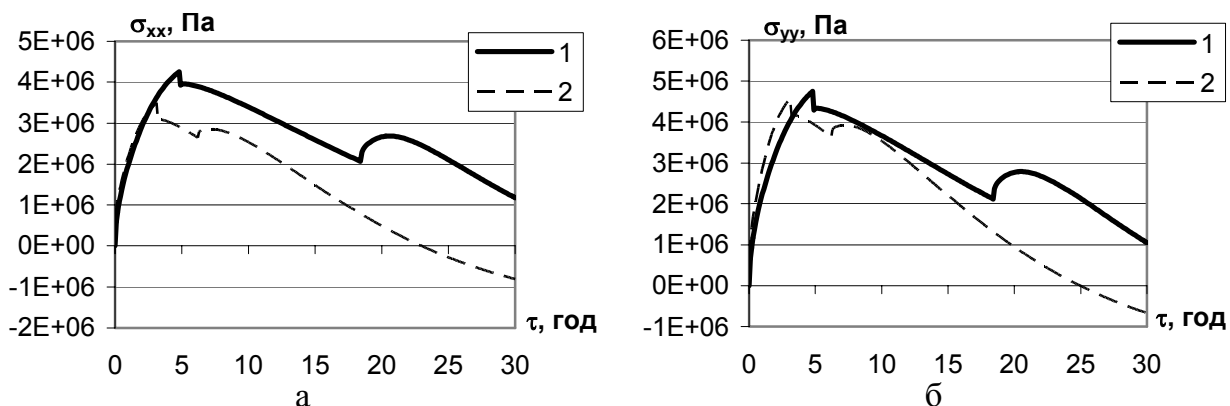


Рис. 8. Вплив швидкості руху агента сушіння v на динаміку напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) в центрі пиломатеріалу деревини сосни розміром 25×50 мм, де швидкість руху: 1 – за нормативними документами; 2 – підвищена до 6 м/с

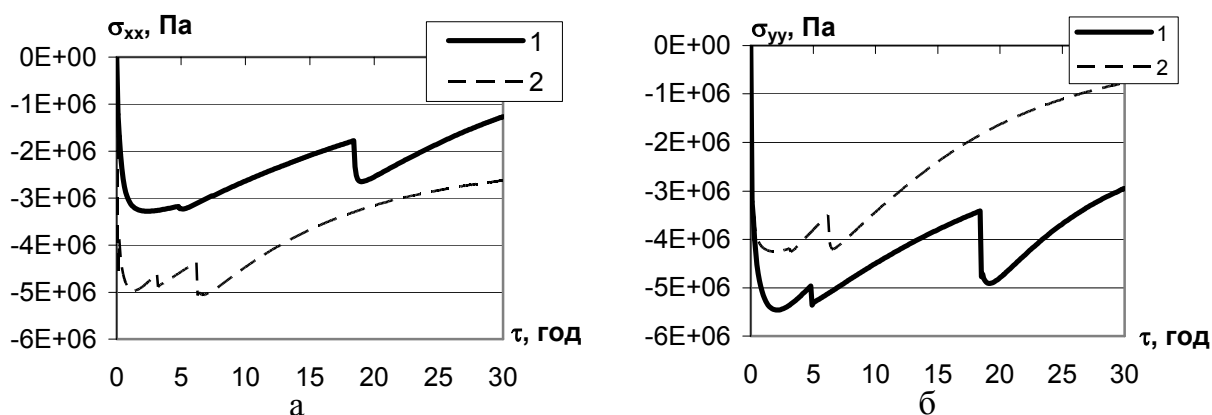


Рис. 9. Вплив швидкості руху агента сушіння v на динаміку напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) на поверхні пиломатеріалу деревини сосни розміром 25×50 мм, де швидкість руху: 1 – за нормативними документами; 2 – підвищена до 6 м/с

Висновки. Таким чином, при зміні параметрів агента сушіння вологісні поля у пиломатеріалі мають подібний розвиток (рис. 1, 4, 7), але при цьому напруження розвиваються по-різному. На початку процесу сушіння найбільш

впливає на величину напружень як на поверхні, так і в центрі, зміна відносної вологості агента (рис. 5-6), зміна температури призводить до незначної зміни напружень (рис. 2-3), а швидкість руху агента істотно змінює величину напружень на поверхні (рис. 9) та фактично не впливає в центрі (рис. 8). З плином часу, в регулярному періоді видалення вологи, при зміні відносної вологості згадана вище зміна напружень зменшується (рис. 5-6), зі зміною ж температури та швидкості руху агента – зростає різниця між напруженнями (рис. 2-3, 8-9).

Література

1. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку нестационарних полів вологоперенесення у висушуваній деревині// Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть// Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003, вип. 28. – С. 100-106.
2. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В., Кулешник 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.
3. Соколовський Я.І., Бакалець А. Моделювання нелінійних тепломасообмінних процесів у висушуваній деревині методом скінченних елементів// Вісник НУ "ЛП": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2005, вип. 543. – С. 129-134.
4. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В. Моделювання деформаційно-релаксацийних процесів у деревині під час сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.1. – С. 48-57.
5. Дендюк М.В., Соколовський Я.І. Вплив геометричних розмірів пиломатеріалів на напружено-деформівний стан у процесі їх сушіння// Наук. вісник НЛТУУ// Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2006, вип. 16.2. – С. 125-133.
6. Серговський 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.
7. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород. Изд. второе. – М.: Экология. – 2002. – 224 с.
8. Серговський П.С. Гидротермическая обработка древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1975. – 400 с.
9. Дендюк М.В. Визначення реологічних параметрів деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.3. – С. 124-129.

УДК 674.02:621.923

Доц. О.А. Кійко, канд. техн. наук – НЛТУ України

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ БРАКУ ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ "ШІСТЬ СИГМА" У ПРОЦЕСІ КАЛІБРУВАННЯ-ШЛІФУВАННЯ ДСП

Встановлено математичну залежність для визначення середнього квадратичного відхилення товщини ДСП у процесі калібрування-шліфування плитних деревних матеріалів жорсткими абразивним циліндром. Окреслено шляхи зменшення кількості плит, що не відповідають вимогам за товщиною.

Assist. prof. O.A. Kyiko – NUFWT of Ukraine, L'viv

Ways of diminishing of amount of shortage by facilities of imitation design and with the use of conception "six sigma" in the process of calibration-polishing of particle board

Mathematical dependence for determination of standard deviation of thickness of particle board in the process of calibration-polishing of wooden board materials by hard