

хідно визначити критичну вологість $W_{кр}$, яка для більшості випадків приблизно є величиною постійною. Для визначення $W_{кр}$ і коефіцієнта сушіння K будуюмо кінетичні криві в координатах $lg (W - W_p) - \tau$ і визначаємо критичну вологість, яка для досліджуваного матеріалу приблизно рівна $W_{кр} \approx 20\%$. Рівноважна вологість в інтервалі температур, при яких велися дослідження $W_p \approx 2\%$. Із графічних координат $lg (W - W_p) - \tau$ згідно з рівнянням (33), розраховуємо коефіцієнти сушіння K для різних режимів процесів.

Таким чином рівняння, яке описує зміну вологості шпону у другому періоді, має такий вигляд:

$$\frac{W - W_p}{20 - W_p} = \exp[-0,059N(\tau - \tau_{кр})] = \frac{W - W_p}{18} = \exp[-0,059 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3} t^{1,43} \cdot \omega^{0,44} (8 - \tau_{кр})]. \quad (33)$$

Отримані рівняння (32) і (33) добре узгоджуються з дослідними даними і дають змогу прогнозувати кінетику конвективного сушіння. Відносна похибка не перевищує 12-15 %.

Висновок. Дослідження кінетики конвективного сушіння шпону показує, що при правильно організованому процесі тепломасообміну процес у промислових умовах може бути значно інтенсифікований. Основний недолік, який впливає із аналізу роботи конвективних заводських установок (м. Львів) нерівномірність омивання поверхонь матеріалу теплоносієм. Отримані кінетичні коефіцієнти і розрахункові залежності, які дають змогу прогнозувати кінетику процесу конвективного сушіння шпону.

Література

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
2. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена. – М.: Высш. шк., 1977. – 328 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 783 с.

УДК 674.047

*Ст. наук. співроб. О.О. Пінчевська, канд. техн. наук;
проф. М.Г. Чаусов, д-р. техн. наук –
Національний аграрний університет, м. Київ*

ОЦІНКА ЯКОСТІ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження якості сушіння пило-матеріалів дозволили сформулювати вимоги до вітчизняного стандарту оцінки якості сушіння.

Ключові слова: якість сушіння, нормативні показники, експериментальні дослідження.

*Senior research worker O.O. Pinchevska; prof. M.G. Chausov –
National agrarian university, Kyiv*

The quaschins of the assessment of sawn timber drying quality

Theoretical and experimental investigations of the assessment sawn timber drying quality were made, witch help formulate demands to the native standard of the assessment sawn timber drying quality

Keywords: drying quality, normative indices, experimental investigations.

Проблема оцінки якості сушіння постала ще в минулому столітті і по мірі розвитку сушильної техніки та теорії сушіння були окреслені такі показники якості сушіння як величина кінцевої вологості, що визначалася технологією виготовлення певного виробу та умовами його експлуатації, рівномірність розподілення вологості в партії матеріалу – штабелю, відхилення вологості окремих дошок від середнього значення, перепад вологості за товщиною пиломатеріалу та показник залишкових напружень. Нормування показників змінювалося залежно від розвитку технологій та стандартів на вироби з деревини.

На сьогодні оцінити якість сушіння можна за нормованими показниками та методикою, наведеними у Керівних технічних матеріалах з технології камерного сушіння пиломатеріалів (КТМ) [1], що за будовою та кількісними характеристиками дещо відрізняються від попередніх відповідних матеріалів [2], розроблених у співпраці з російськими вченими. Істотною відмінністю є введення норм допустимих дефектів сушіння, що не вписується в поняття якості сушіння. Такий крок був би виправданий в радянські часи при застосуванні стандартизованих режимів і технології сушіння, спрямованих на скорочення тривалості процесу, незважаючи на неспроможність конструкцій сушарок забезпечити необхідну якість сушіння за окреслений термін. То через це й існували відомчі нормативи браку сушіння, які не сприяли впровадженню заходів для підвищення якості сушіння.

За сучасних умов зросла конкуренція на ринку виробів з деревини, це спонукало до вдосконалення сушильного обладнання, використання м'яких режимів та ретельного дотримання технології сушіння. Тому нормування браку втратило сенс, що відображено і в європейському стандарті з оцінки якості сушіння пиломатеріалів (EN) [3], який не включає тріщин, жолоблення, забарвлення тощо, аргументуючи що допустимість дефектів сушіння визначається специфікацією на продукцію.

В EN не існує категорій якості сушіння, вважається що задана середня вологість партії та відхилення від неї до визначених допустимих меж, охоплюють необхідні вимоги. Якщо порівняти ці вимоги з КТМ, то видно, що вони відповідають 2-ї та 3-ї категоріям якості сушіння, тобто EN охоплює вимоги лише до напівфабрикатів-пиломатеріалів знеособленого призначення, які потім будуть доводити до відповідного рівня на підприємствах, що виготовляють деревні вироби.

З метою формування вимог до вітчизняного стандарту оцінки якості сушіння з врахуванням вимог європейського стандарту були проведені експериментальні дослідження якості сушіння в камерах різних конструкцій на підприємствах ВАТ "Видубичи" та на "ДОК №7". Висушувалися соснові та вільхові пиломатеріали товщиною 30 та 50 мм м'якими режимами, рекомендованими виробниками сушарок для камер з водяним теплопостачанням.

Методика відбору зразків для випробувань у вітчизняних та європейських документах є різною. В EN 14298:2004 [3] кількість відібраних для аналізу якості сушіння зразків визначається за стандартом EN 12169:2000 [4] для одноступеневого контролю з необхідною для стандартного (без спеціальних вимог) сушіння ймовірністю 93,5 %. Вона залежить від обсягу заванта-

ження камери і коливається від 20 до 200 зразків. Порівняно з вітчизняними документами, де кількість відібраних зразків є однаковою – по 9 зразків з кожного штабелю для різних категорій якості сушіння, достовірність результатів вимірювання за європейською методикою є значно більшою.

Відбір зразків за рекомендаціями КТМ відбувається таким чином: 3 зразки вибирають з верхньої частини штабелю, 3 – зі середньої і 3 – з нижньої (рис. 1 а), тобто 2/3 зразків охоплюють зони прискореного сушіння по боках штабеля і внаслідок отримана середня кінцева вологість не буде достовірною. За європейськими вимогами відбір контрольних зразків відбувається випадково, але з обов'язковим рівнозначним охопленням різних за швидкістю висихання зон штабелю (рис. 1, б).

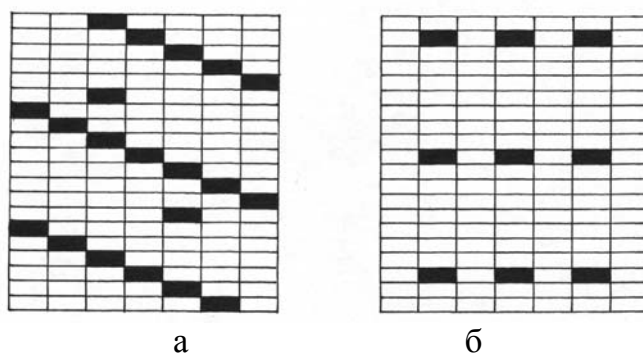


Рис. 1. Схема відбору контрольних зразків для оцінки якості сушіння соснових пиломатеріалів товщиною 50 мм в типовій одноштабельній камері з перетином штабеля 1,8×2,6 м: а – за рекомендаціями EN; б – за рекомендаціями КТМ

Як приклад, наведемо розрахунок вибору кількості досліджуваних дошок в камері СПЛК-2, яка має 2 штабелі перетином 2,6×1,8 м. При товщині дошки 50мм всього в камері знаходиться близько 140 дошок. Штабель сформовано з двох пакетів, тому згідно з [4] слід дослідити два пакети і це становить 20 дошок. Діленням об'єму вибірки на кількість пакетів визначають кількість пиломатеріалів, що потрібно вибрати з одного пакета. У цьому випадку це становить $20 \text{ зразків} / 2 \text{ пакети} = 10 \text{ дошок}$ з кожного пакету.

Перший пиломатеріал (з верхнього ряду) визначається жеребом або іншим випадковим методом. Кількість пиломатеріалів в пакеті ділять на кількість пиломатеріалів відібраних з пакета і отримують інтервал відбору пиломатеріалів. У випадку камери СПЛК-2 в пакеті є приблизно 70 дошок, інтервал відбору пиломатеріалів $70/10=7$, тобто вимірюється кожна сьома дошка (ряд вираховується зліва направо) (рис. 1 а). Якщо з 20 дошок більше ніж три не відповідають вимогам [4], то партія вважається невідповідною вимогам до стандартного сушіння.

Загалом було досліджено якість сушіння 4 сушок в італійських камерах на ВАТ "Видубичи" та 5 сушок в камерах СПЛК-2 на "ДОК №7". Кінцева вологість дошок ($W_k, \%$) вимірювалася кондуктометричними вологомірами, що застосовуються на підприємствах – ВПК-12 (Росія); WM-860 та ИВД-7 ц (Україна).

Порівнюючи норми рівномірності розподілу кінцевої вологості за EN та КТМ (табл. 1) можна побачити, що за EN всі сушки відповідають вимогам

Табл. 1. Визначення якості сушіння за європейськими та вітчизняними показниками

Марка камери та № сушки	Характеристика висушуваного матеріалу: порода, товщина	Кількість відібраних зразків, шт.	Вимоги EN для $W_k = 7$ та 8 %		Показники за вимогами КТМ	
			Допустимі відхилення середньої вологості пиломатеріалів в партії від $W_k = 7$ та 8 %: -1/+1	$2\sigma_{W_k}$, % для $W_k = 7$ та 8 % становить відповідно $\pm 2,1$ та $2,4$ %; кількість дошок зі штабелю, що не відповідає вимогам – не більше 3	W_k , %	$2\sigma_{W_k}$, %
СПЛК-2 сушка 1	Сосна, 50 мм	20	+0,16	0	8,16	$\pm 1,66$
сушка 2	"-	"-	+0,09	0	8,09	$\pm 2,70$
сушка 3	"-	"-	+0,34	1	8,34	$\pm 2,10$
сушка 4	"-	"-	+0,17	1	8,17	$\pm 2,00$
сушка 5	"-	"-	+0,59	0	8,59	$\pm 0,52$
Copcal-1 сушка 1	"-	63*	-0,37	0	6,63	$\pm 0,52$
сушка 2	"-	187	-0,49	0	6,51	$\pm 1,52$
Nardi сушка 1	Вільха, 50 мм	234	-1,06	0	5,94	$\pm 1,06$
Copcal-3	Вільха, 30 мм	108	+0,14	0	7,14	$\pm 1,53$

Примітка: * – Камера була не повністю завантажена

стандартного сушіння. За вимогами КТМ остаточно оцінити якість сушіння неможливо, оскільки не всі показники виміряні, але за рівномірністю розподілу вологості по штабелю 5 сушку в камерах СПЛК-2 та 1 сушку в камері COPCAL-1 можна віднести до I категорії; дві сушки в камерах СПЛК-2 – до III категорії, інші – до II категорії якості сушіння. Тобто вітчизняні вимоги є вибагливішими і, враховуючи екологічні та економічні аспекти раціонального використання деревини, вони є більш привабливими. Результати отриманих експериментальних досліджень, особливо в сучасних камерах, свідчать про те, що досягти їх цілком можливо.

Досягнення високої якості сушіння залежить від уміння правильно проводити процес, яке, по-своєму, залежить від можливості аналізу стану матеріалу. Тобто напружений стан деревини як в процесі сушіння, так і по завершенні його у багатьох випадках визначає якість висушеного матеріалу. Між тим в європейському стандарті з оцінки якості сушіння пиломатеріалів відсутні вимоги до внутрішніх напружень, лише наведені рекомендації щодо їх визначення за відповідним проектом стандарту при виникненні такої необхідності.

У проекті європейського стандарту по визначенню внутрішніх напружень [5] пропонується використовувати метод їх визначення за щільною,

що виникла між двома пластинками розколотої навпіл силової секції. У відповідному документі про якість висушеної партії просто фіксують міру внутрішніх напружень, наприклад 2 мм, оскільки відсутні дані про допустиму величину залишкових напружень.

Глибокі [6] дослідження методів виробничого контролю внутрішніх напружень в деревині дозволили їх критично оцінити. Вважаючи, що крива розподілення напружень по товщині дошки описується параболою і розглядаючи види силових секцій як відповідні моделі технічної механіки, були підраховані прогини зубців, крайніх шарів та половинок секцій і зроблено висновок, що метод силових секцій у вигляді двозубих виделок є більш чутливим. Він дає змогу визначити навіть незначні напруження та встановити їх знак, тому його включили до керівних технічних матеріалів з камерного сушіння пиломатеріалів.

З метою визначення можливості використання силових секцій для оцінки величини залишкових внутрішніх напружень в пиломатеріалах були проведені дослідження якості сушіння соснових пиломатеріалів в італійських камерах COPCAL, а також в діючих ежекційних сушарках на ВАТ "Білицький ДОК". Паралельно з силовими секціями для визначення залишкових напружень вирізалися секції для визначення залишкових напружень еталонним методом [7], що дало можливість виявити не тільки якісні але й кількісні показники стану матеріалу.

Проведені експерименти по визначенню кількісної залежності величин відносних деформацій зубців силових секцій (f , %) від величини перепаду залишкових внутрішніх напружень ($\Delta\sigma$, МПа) дозволили визначити, що між цими величинами існує кореляційна залежність із значимими за критерієм Стюдента коефіцієнтами регресії (рис. 2).

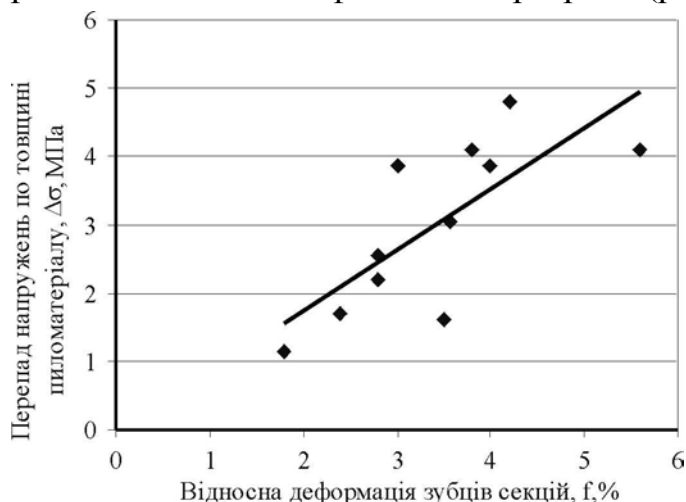


Рис. 2. Залежність відносної деформації зубців силових секцій від перепаду напружень по товщині пиломатеріалів, висушених в камерах COPCAL

Оскільки метод силових секцій не дає об'єктивної характеристики напруженого стану деревини, тому що не передбачає експериментального визначення модуля пружності. В проведеному експерименті були отримані ці дані і за допомогою відомого співвідношення [8], яке дає змогу визначити прогин зубця силової секції за умови припущення, що він представляє собою балку закріплену одним кінцем та навантажену зосередженим моментом M на вільному кінці, підраховані деформації (f' , мм) зубців силових секцій:

$$f' = \frac{Ma_1^2}{2EI} = \frac{\Delta\sigma a_1^2}{2E\Delta x}, \quad (1)$$

де: $\Delta\sigma$ – перепад напружень на границі зони, що відповідає товщині зубця секції, визначений з побудованої епюри напружень, МПа; a_1 – довжина зубця силової секції, мм; I – момент інерції; E – модуль пружності, визначений з експериментів, МПа; Δx – координата, мм.

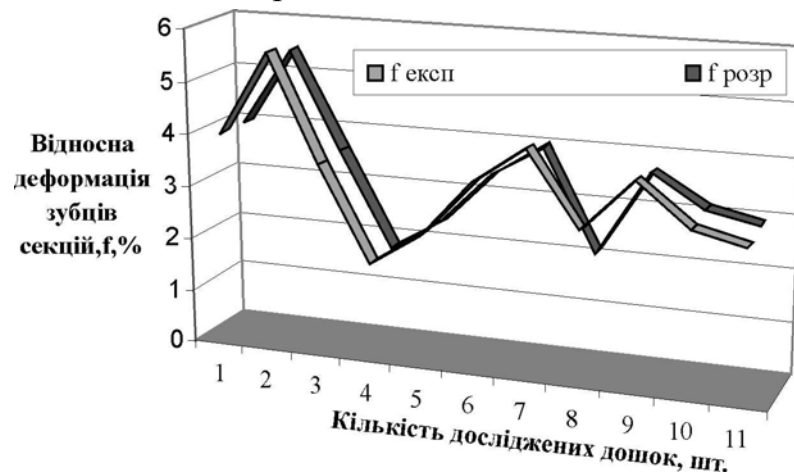


Рис. 3. Порівняння розрахункових та експериментальних результатів визначення відносної деформації зубців силових секцій, вирізаних з пиломатеріалів, висушених в камерах COPCAL

За рівнянням (1), після його перетворення з метою визначення розрахункових відносних деформацій зубців секцій, останні були розраховані для секцій випиляних з деревини, що мала відповідні експериментально визначені модулі пружності та залишкові напруження. Порівняння розрахункових значень деформацій ($f_{розн}$, %) з експериментальними ($f_{експ}$, %) показало майже повний збіг (рис. 3). Коефіцієнт кореляції між цими величинами для обох типів камер дорівнює $r=0,97$. Отже, величину внутрішніх напружень в деревині можна оцінювати за величиною прогину зубців силових секцій.

Показник перепаду вологості за товщиною матеріалу можна не включати до показників якості сушіння, оскільки його було введено [9] на етапі розробки режимів камерного сушіння авіаційної деревини як міру оцінки величини внутрішніх напружень в деревині. На той час досконалого методу вимірювання внутрішніх напружень ще не існувало, тому було запропоновано характеризувати їх величиною градієнта вологості в матеріалі.

Висновки

1. З вищенаведеного видно, що європейська методика відбору зразків для визначення якості сушіння партії матеріалу дає більш точні дані, що підтверджено результатами експерименту, її слід ввести у вітчизняну практику.

2. Нормувати показники якості сушіння слід диференційовано за категоріями якості сушіння залежно від призначення висушених пиломатеріалів або заготівок.

3. Проведені дослідження дозволили сформулювати вимоги до оцінки якості сушіння деревини: рівномірності розподілення кінцевої вологості по партії висушеного матеріалу та показника залишкових напружень. Отримані експериментальні значення розкиду кінцевої вологості, що оцінюються середнім квадратичним відхиленням, дають змогу підвищити вимоги до розкиду кінцевої вологості при застосуванні низькотемпературних режимів.

3. Збігання експериментальних та розрахункових даних відносних деформацій зубців силових секцій свідчить про можливість використання останніх для оцінювання величини залишкових внутрішніх напружень за величиною прогину зубців силових секцій.

Література

1. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів. – Львів: РВЦ УкрДЛТУ, 2003. – 72 с.
2. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД. – 1985. – 143 с.
3. EN 14298:2004 Sawn timber-Assessment of drying quality.
4. ENV 12169:2000 Criteria for assessment of conformity of a lot of sawn timber.
5. ENV 14464:2002 Sawn timber –Method for assessment of case-hardening.
6. Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 176 с.
7. ГОСТ 11603-73. Древесина. Метод определения остаточных напряжений.
8. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
9. Чулицкий Н.Н. Контроль состояния материала при камерной сушке// Лесопромышленное дело. – 1930, № 9-10. – С. 35-39.

УДК 697.94.(075)

Доц. В.Й. Лабай, канд. техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВТРАТ ЕКСЕРГІЇ У ДРОСЕЛІ SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Використано ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин місцевих автономних кондиціонерів. Встановлено залежність втрат ексергії у дроселі split-кондиціонера фірми "Sanyo" холодопродуктивністю 2020 Вт від температури навколишнього середовища.

Ключові слова: ексергія, баланс, кондиціонер, ефективність.

Assoc. prof. V.Yo. Labay – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

The dependence of losses of exergy in the drosseller of "split" air conditioners from the out of doors temperature

In this article it was used the method of the exergetic analysis of one-step freon cooling engines of the local autonomous air conditioners. It was defined the dependence of losses of exergy in the drosseller of "split" air conditioner of firm "Sanyo" with the cooling capacity 2020 W from the out of doors temperature.

Keywords: exergy, balance, air conditioner, efficiency.

Постановка проблеми. Холодильні машини, які застосовують в місцевих автономних кондиціонерах, потребують для зменшення енергозатрат вдосконалення, яке можливе з використанням сучасного методу термодинаміки – ексергетичного [1-3].

Ексергетичний аналіз дає змогу встановити максимальні термодинамічні можливості системи, визначити втрати ексергії в ній та обґрунтувати рекомендації з вдосконалення окремих її елементів. А для цього треба доско-