

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.047

*Ст. наук. співр. О.О. Пінчевська, канд. техн. наук –
НАУ, м. Київ*

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ СУШІННЯ ПІЛОМАТЕРІАЛІВ

Наведено порівняльний аналіз вітчизняних та європейських нормативних документів з оцінки якості сушіння пиломатеріалів. Проведені експериментальні дослідження показали, що розкид кінцевої вологості пиломатеріалів підпорядковується нормальному закону та дали змогу визначити вимоги до його величини при сушінні в сучасних камерах з водяним теплопостачанням. Теоретично та експериментально підтверджена можливість оцінювання величини залишкових напружень за виробничим методом силових секцій.

Senior research worker O.O. Pinchevska – National agrarian university, Kyiv

The basing of the requirements to assessment of sawn timber drying quality

The comparative analysis of European and native normative documents about assessment sawn timber drying quality was given. Experimental investigations of sawn timber finish moisture content dispersion was shown that it's normal. The demands of sawn timber finish moisture content deviation after chamber drying with water heaters was made. The assess sawn timber drying quality by the industrial control method was confirmed theoretical and experimental.

Якісне сушіння деревини сприяє формостабільності та довговічності виробів з неї. На сьогодні її оцінюють за КТМ [1], які не є нормативними, а тільки допоміжними матеріалами. Тому більшість споживачів сухої деревини вважають її якісно висушеною за умови відсутності видимих дефектів: тріщин, жолоблення, забарвлення тощо. Проте існує європейський стандарт з оцінки якості сушіння [2] і це спонукає виробників до відповідних заходів щодо досягнення окреслених вимог.

Для створення вітчизняного стандарту доцільним є аналіз вітчизняних наробок, раціональне поєднання з європейськими вимогами та експериментальна перевірка можливості досягнення сформованих вимог з оцінки якості сушіння пиломатеріалів.

У КТМ оцінка якості сушіння відбувається за вологісними показниками та показником стану матеріалу. Причому рівномірність розподілу вологості по штабелю оцінюється середнім квадратичним відхиленням ($\pm 2S_{W_K}$), тобто вважається, що розподіл кінцевої вологості по штабелю є нормальним. В основу цього твердження покладено дослідження, проведені ще в середині минулого століття [3] на обладнанні, яке вже виведено з експлуатації. Результати цих досліджень ввійшли в РТМ [4] і покладені в основу розроблення КТМ, де вимоги до показника рівномірності розподілу кінцевої вологості стали більш вибагливими. Оскільки в європейському стандарті відсутній показник S_{W_K} , це на-

вело на думку, що при висушуванні пиломатеріалів у сучасному обладнанні з використанням пом'якшених режимів сушіння, розподіл вологості може підпорядковуватися іншому закону розподілу випадкової величини.

Для цього було проведено експериментальні дослідження розподілу кінцевої вологості по обсягу соснових пиломатеріалів, висушених в камері Sorcal на ВАТ "Видубичи". Вологість вимірювали кондуктометричним вологоміром ВПК-12 М (Росія), що забезпечує точність $\pm 1\%$. Всього було досліджено 500 дошок. Розкид фактичної кінцевої вологості в окремих дошках висушеного матеріалу (рис. 1) за кривими розподілу показав, що він підпорядковується нормальному закону. Як і в попередніх дослідженнях [3], отримані криві фактичного розподілення кінцевої вологості є асиметричними в бік більшої вологості.

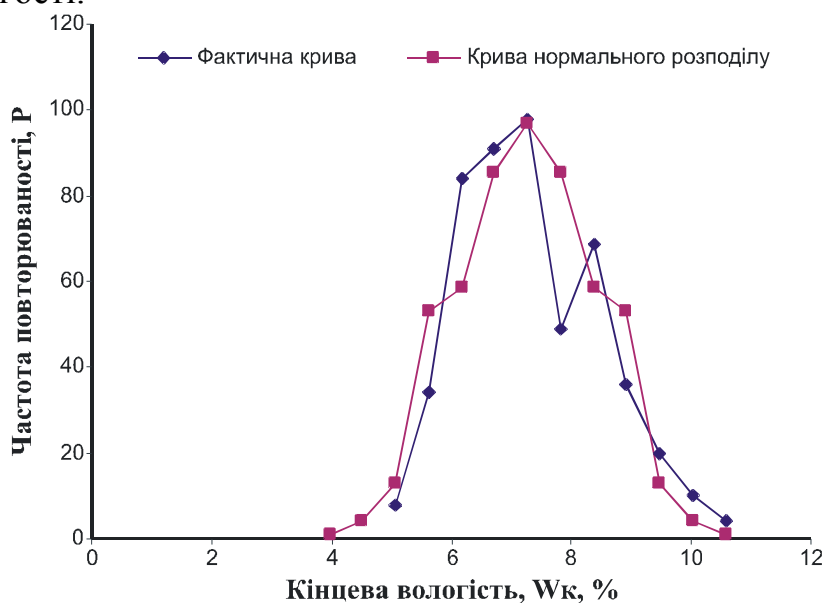


Рис. 2. Результати вимірювання кінцевої вологості соснових пиломатеріалів товщиною 50 мм

Коефіцієнт мінливості кінцевої вологості пиломатеріалів становив $V_{W_k} = 15\%$. За прийнятим в лісовій галузі показником точності $P_{W_k} \leq 5\%$ та показнику достовірності $t = 1,86$, мінімальна кількість зразків повинна становити $n \geq 17$. В EN величина вибірки залежить від величини партії висушуваного матеріалу і становить $n \geq 20$. До того ж відбір зразків роблять таким чином: перший зразок відбирають випадково з верхнього ряду пакету, інші – через певний інтервал, який підраховують шляхом ділення кількості пиломатеріалів у пакеті на встановлену величину вибірки. Отже, вимоги EN щодо диференційованого підходу величини вибірки залежно від величини партії висушуваного матеріалу та випадковості відбору зразків забезпечують більш надійний результат.

Максимальна реальна величина коливань кінцевої вологості пиломатеріалів, висушених м'якими режимами в сучасних камерах, знаходиться в межах $\pm 2S_{W_k}$, що відповідає очікуваній ймовірності (93,5%) згідно з EN. Європейські вимоги до спеціального сушіння відрізняються тільки величиною вибірки та фіксацією величини внутрішніх напружень.

Для з'ясування вимог до величини $\pm 2S_{W_k}$ було проведено також виміри кінцевої вологості пиломатеріалів в камерах інших конструкцій: СПЛК-2

(ДОК-7), Nardi та Termolegno на БАТ "Видубичи", які висушувалися м'якими режимами з температурою в кінці процесу $t \leq 65$ °С. Кількість досліджених пиломатеріалів відповідала умовам вибірки європейського стандарту. Отримані результати порівняно з вимогами РТМ та КТМ (рис. 2) свідчать про правомірність збільшення вимог до якості сушіння шляхом зменшення величини розкиду кінцевої вологості та можливості досягнення цього в камерах раціональних конструкцій.

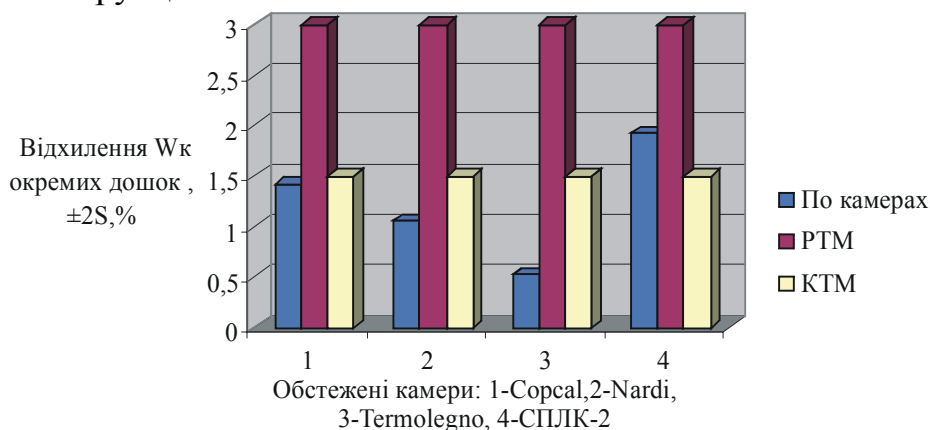


Рис. 2. Гістограма значень величини відхилень окремих дощок від середньої вологості партій висушених пиломатеріалів за вимогами нормативних документів та результатами випробувань

На відміну від EN у вітчизняних матеріалах з оцінки якості сушіння присутній також показник перепаду вологості по товщині матеріалу. Його було введено М.М. Чулицьким [5] на етапі розроблення режимів камерного сушіння авіаційної деревини як міра 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.

Оскільки на сьогодні існує стандартизований метод визначення залишкових напружень [6], то врахувати цей показник для оцінки якості сушіння пиломатеріалів недоцільно.

Що ж стосується контролю стану матеріалу після камерного сушіння, то використовувати згаданий вище метод визначення залишкових напружень у виробничих умовах досить складно, оскільки він потребує досить багато часу і вимагає не тільки спеціального обладнання, але й достатнього уміння і кваліфікації, його варто використовувати як еталонний при дослідженні режимів обробки та нових способів сушіння. Для масового контролю якості висушеної деревини необхідно застосовувати більш прості методи: розколювання секцій на дві половинки, відколювання крайніх шарів, двозубих виделок.

Проведені глибокі [7] дослідження дали змогу критично оцінити ці методи виробничого контролю внутрішніх напружень у деревині. 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.

Однак в європейському стандарті внутрішні напруження визначають за методом щілини, що виникла між двома пластинками розколотої навпіл силової секції [8]. До то ж відсутні нормативні дані про допустиму величину напружень і у висновку про якість висушеної партії просто фіксують міру внутрішніх напружень, наприклад 2 мм.

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

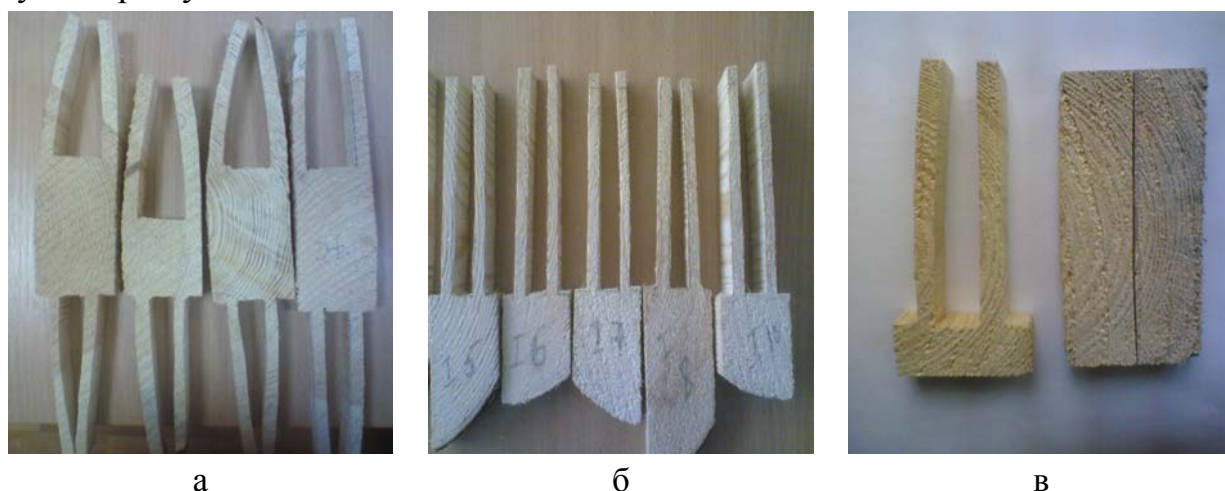


Рис. 3. Силкові секції, вирізані з пиломатеріалу, що висушувався в камері Sorcal (а) та в ежекційних камерах (б, в)

Відносну деформацію зубців силових секцій визначали згідно з методикою [1], причому при можливості вирізали секції двох видів – П-подібні та із заплечиками (рис. 3). Для ілюстрації було вирізано зразок для визначення величини внутрішніх напружень за рекомендаціями EN [8] (рис. 3 в). Як видно, цей метод є занадто загрубленим.

Оскільки висушуваний пиломатеріал призначався для виготовлення вікон, тобто висушувався за II категорією якості, секції вирізали з трьох відібраних зі штабеля дощок. Загалом з усіх камер було відібрано 42 дошки, з яких виготовлені відповідні секції.

Визначення залишкових напружень проводили згідно з ГОСТ 11603-73 [6]. Для цього використовували пристрій для вимірювання пружних деформацій з індикатором годинникового типу, що забезпечує точність вимірювання до 0,01 мм (рис. 4 а) та пристрій для визначення пошарового модуля пружності при випробуваннях на згин, що забезпечує відлік навантаження з точністю до 1Н та вимірювання стріли прогину з точністю до 0,01 мм (рис. 4, б).

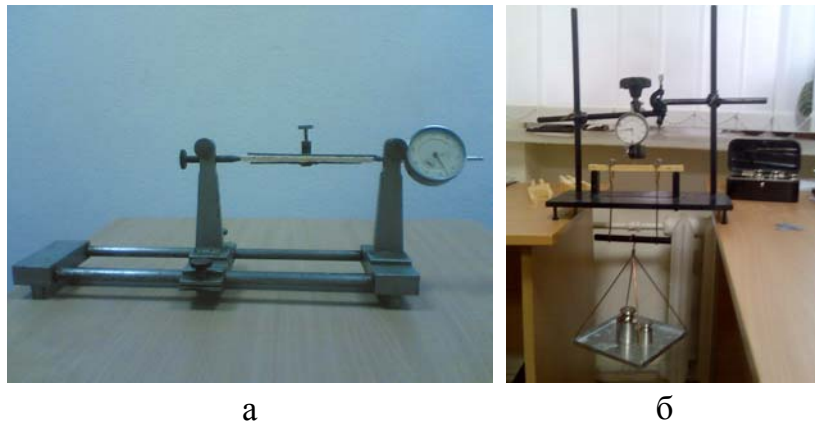


Рис. 4. Пристрій для вимірювання пружних деформацій (а) та пошарового модуля пружності (б)

З побудованих за результатами вимірювань епюр напружень, які характеризують напружений стан деревини, було визначено величини перепаду напружень у пиломатеріалі після сушіння.

Під час побудови епюр напружень, що виникли після сушіння в ежекційних камерах, у чверті зразків спостерігалось відхилення виду епюри напружень від нормального вигляду, а саме величина стискаючих напружень в одній з поверхневих зон була меншою за напруження в наступній зоні прилягаючої до неї (рис. 5 а). Аналогічні епюри спостерігаються, як правило, в пиломатеріалах після недостатньої кінцевої вологотеплообробки. Якщо випилити з таких пиломатеріалів силові П-подібні секції, то вони нададуть невірну інформацію про напружений стан в деревині, оскільки їхні зубці або залишаться рівними, або викривляться назовні. Отже, деформація зубців секцій із заплечиками в таких випадках відображає реальний напружений стан деревини більш вірно. Після сушіння пиломатеріалів в камерах Sorcal всі епюри напружень мали нормальний вигляд (рис. 5 б).

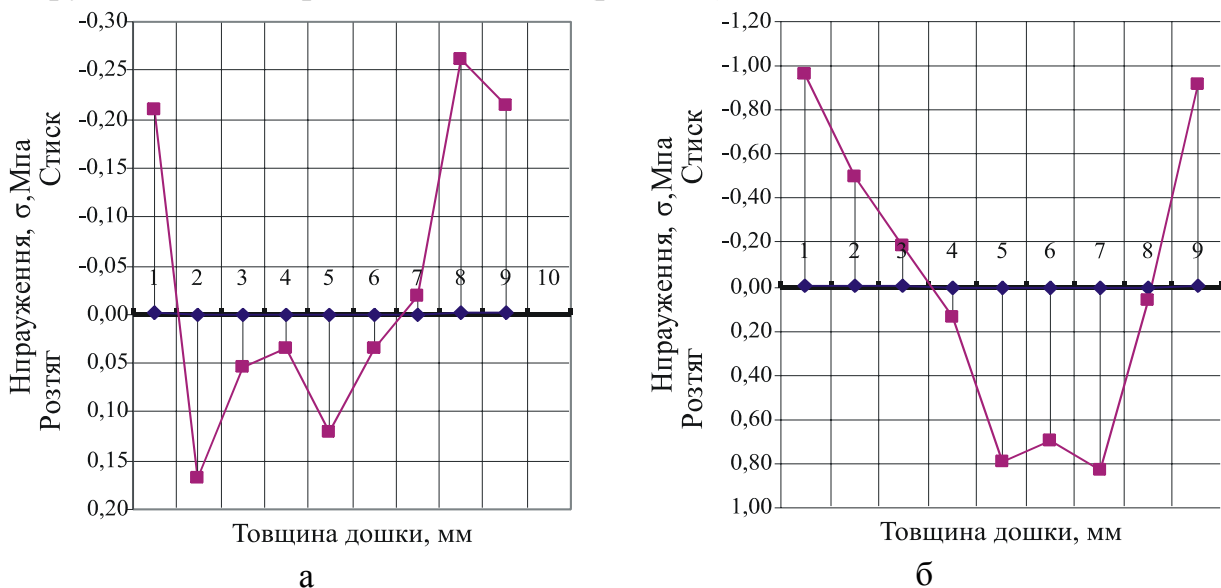


Рис. 5. Епюри залишкових напружень у пиломатеріалах, висушених в ежекційних камерах (а) та камерах Sorcal (б)

Проведені експерименти з визначення кількісної залежності величин відносних деформацій зубців силових секцій ($f, \%$) від величини перепаду

залишкових внутрішніх напружень ($\Delta\sigma$, МПа) дали змогу визначити, що між цими величинами існує кореляційна залежність зі значимими за критерієм Стюдента коефіцієнтами регресії. Отримані рівняння зв'язку між вищенаведеними величинами:

- для камери Sorcal

$$\Delta\sigma = 0,8924f - 0,0425 \quad ; \quad (1)$$

- для ежекційних камер

$$\Delta\sigma = 0,7227f - 0,1838. \quad (2)$$

Необхідно зазначити, що для ежекційних камер для побудови рівняння було використано результати вимірювання відносних деформацій секцій із заплечиками, які відповідають отриманим епюрам напружень. Для камери Sorcal зіставлення величини перепаду напружень з величиною деформації секцій із заплечиками показало значно нижчу кореляцію, ніж для П-подібних секцій. Отже, в рівнянні (1) були використані деформації П-подібних секцій.

Оскільки внаслідок експерименту було охоплено майже весь діапазон коливання означеної КТМ величини відносної деформації зубців секцій, можна вважати, що за допомогою отриманих рівнянь можливо визначити величину залишкових внутрішніх напружень по величині відхилення зубців секції напружень.

Відомо, що метод силових секцій не дає об'єктивної характеристики напруженого стану деревини, оскільки не передбачає експериментального визначення модуля пружності. У проведеному експерименті були отримані ці дані і за допомогою відомого співвідношення [9], 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:

$$f' = \frac{Ma_1^2}{2EI} = \frac{\Delta\sigma a_1^2}{2E\Delta x}, \quad (3)$$

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.

З метою порівняння експериментальних даних з визначення відносних деформацій зубців силових секцій (f , %) та деформацій, підрахованих за рівнянням (3), останнє було відповідно перетворено для визначення розрахункових відносних деформацій:

$$f = \frac{f'}{a_1} 100\% = \frac{\Delta\sigma a_1}{2E\Delta x} 100\%. \quad (4)$$

За рівнянням (4) були розраховані очікувані відносні деформації зубців секцій, випиляних з деревини, яка мала відповідні експериментально визначені модулі пружності та залишкові напруження. Порівняння розрахункових значень деформацій ($f_{розр}$, %) з експериментальними ($f_{експ}$, %) показало

їх майже повний збіг (рис. 6). Коефіцієнт кореляції між цими величинами для обох типів камер дорівнює $r = 0,97$, причому в камерах Sorcal були використані П-подібні секції, а в ежекційних – із заплечиками.

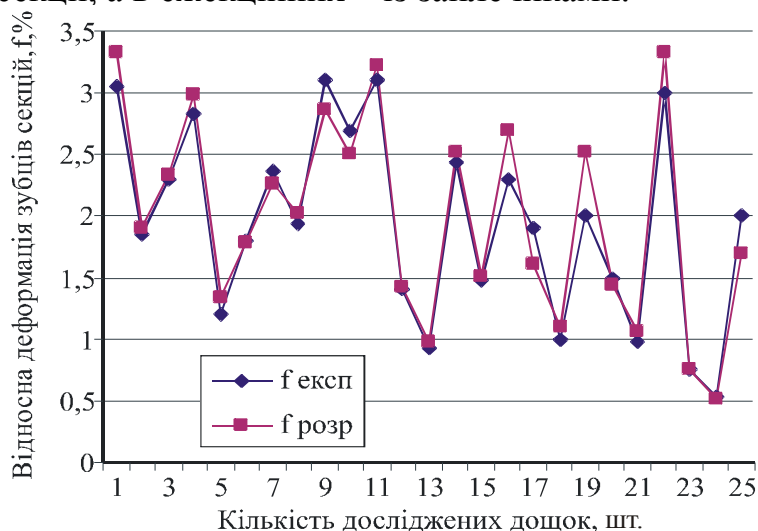


Рис. 6. Порівняння розрахункових та експериментальних результатів визначення відносної деформації зубців силових секцій, вирізаних з пиломатеріалів, висушених в ежекційних камерах

Висновки

1. Проведені дослідження дали змогу сформулювати вимоги до оцінки якості сушіння деревини: рівномірності розподілення кінцевої вологості по партії висушеного матеріалу та показника залишкових напружень.
2. Отримані експериментальні значення розкиду кінцевої вологості, що оцінюються середнім квадратичним відхиленням, дають змогу підвищити вимоги до розкиду кінцевої вологості при застосуванні низькотемпературних режимів.
3. Збіг експериментальних та розрахункових даних відносних деформацій зубців силових секцій різної форми свідчить про можливість використання обох видів залежно від технології проведення процесу сушіння та 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. EN 14298:2004 Sawn timber-Assessment of drying quality.
3. Красновский Н.В., Сахновский Л.В. Нормализация качества сушки пиломатериалов. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 28 с.
4. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД. – 1985. – 143 с.
5. Чулицкий Н.Н. Контроль состояния материала при камерной сушке// Лесопромышленное дело. – 1930, № 9-10. С. 35-39.
6. ГОСТ 11603-73. Древесина. Метод определения остаточных напряжений.
7. Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесн. пром-сть. – 1971. – 176 с.
8. ENV 14464:2002 Sawn timber – Method for assessment of case-hardening.
9. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. – М.: Лесн. пром-сть. – 1980. – 208 с.