

Олена Пінчевська, Василь Борячинський, Юрій Ромасевич

## ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ ІНТЕНСИФІКОВАНОГО СУШІННЯ ЗАГОТОВОК З ДЕРЕВИНИ ДУБА

**Актуальність теми дослідження.** У технологічному процесі виробництва деревних виробів операція сушіння є обов'язковою, проте найбільш довготривалою та дорогою. Ця проблема вимагає створення режимів та способів сушіння, які б дали можливість скоротити терміни процесу без якісних змін матеріалу. Тому розробка енергозберігаючої технології сушіння заготовок із деревини дуба без втрати якості матеріалу є актуальним завданням для подальших досліджень сушіння.

**Постановка проблеми.** Інтенсифікувати процес сушіння в конвективних камерах можна за рахунок підвищення температури агента сушіння. З метою запобігання руйнуванню деревини під час сушіння за високих температур доцільно її висушувати осцилювальними режимами, які складаються з періодів короткочасного нагрівання за високої відносної вологості повітря та охолодження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження циклічних способів сушіння деревини, які були висвітлені в наукових роботах, ґрунтувалися на процесах атмосферного сушіння та сушіння деревини в геліосушарках, коли зміна температури матеріалу відбувається за синусоїдальним законом.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Сьогодні не набув використання осцилювальний спосіб сушіння пиломпродукції з деревини дуба через відсутність раціональних режимів сушіння.

**Постановка завдання.** Визначення параметрів раціонального режиму сушіння заготовок з деревини дуба в процесі осцилювального сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Наведено основні результати експериментальних досліджень кінетики осцилювального сушіння заготовок із деревини дуба звичайного і дуба червоного з метою визначення режимних параметрів. Деревину дуба сушили в лабораторному пристрої до вологості 8 % за температури агента сушіння 80 °С. Найбільша швидкість видалення вільної вологи зі зразків спостерігалася для амплітуди коливань температури 30 °С. Визначено, що періодичність циклів «нагрівання-охолодження» доцільно проводити для деревини, що містить вільну вологу для прискорення її видалення. Після досягнення вологості 20 % дубові заготовки слід висушувати за сталої температури нагрівання. Для встановлення безпечних режимів сушіння деревини, крім температури нагрівання, визначено величину ступеня насичення повітря у цей період.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що температура деревини змінюється не за синусоїдальним законом. Згідно з дослідженням процес циклічного нагрівання відбувається за поліноміальною залежністю, а процес циклічного охолодження – за експоненціальною. На базі цього запропоновано теоретичні рівняння кінетики зміни температур нагрівання та охолодження. На основі практичних досліджень та теоретичних розрахунків розроблені раціональні режими осцилювального сушіння заготовок з деревини дуба товщиною 50 мм.

**Ключові слова:** дуб звичайний (*Quercus robur*); дуб червоний (*Quercus rubra*); кінетика осцилювального сушіння; раціональні режими.

Рис.: 5. Табл.: 2. Бібл.: 6.

**Постановка проблеми.** Переміщення вологи в матеріалі відбувається за складними закономірностями, що залежать від параметрів висушувального матеріалу й агента сушіння. Це довготривалий процес, який займає від декількох тижнів до двох-трьох місяців залежно від товщини пиломпродукції. Інтенсифікувати його в конвективних камерах можна через підвищення температури, зниження відносної вологості та підвищення циркуляції агента сушіння [1]. З метою запобігання руйнуванню деревини під час сушіння за підвищених температур доцільно зменшити їхню дію на матеріал, тобто висушувати осцилювальними режимами, що характеризуються переривчастою зміною температури агента сушіння.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес сушіння за осцилювальними режимами характеризується періодичністю надходження потоку теплової енергії. У зв'язку з цим закономірності, що описують процес тепло- і масообміну, повинні відображати цю періодичність [2]. Подібна ситуація спостерігається в геліосушарках, де також спостерігається циклічна зміна температури сушильного агента.

Осцилювальний режим являє собою сукупність процесів сушіння з циклічним нагріванням-охолодженням пиломатеріалів із подачею пари в період нагрівання та відкриттям припливно-витяжних каналів у періоді охолодження.

Враховуючи періодичність нагрівання деревини в процесі сушіння, за аналогією з впливом сонячної радіації за синусоїдальним законом [2] зміну температури можна подати виразом:

$$t = t_{c.cp} + A_t \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_u} \cdot \tau_{nom}\right), \quad (1)$$

де  $A_t$  – амплітуда осцилювання, °С;

$\tau_u$  – тривалість одного циклу (нагрівання-охолодження), год;

$\tau_{nom}$  – поточна тривалість, год;

$t_{c.cp}$  – середня температура, визначається за формулою:

$$t_{c.cp} = \frac{t_{наг} + t_{охол}}{2}, \quad (2)$$

де  $t_{наг}$  – температура нагрівання, °С;

$t_{охол}$  – температура охолодження, °С.

Для описання динаміки зміни фізичних і теплових властивостей деревини під час сушіння використано критеріальні рівняння, які залежать від температури й вологості середовища і деревини [3]:

$$\frac{t_n - t_u}{t_c - t_{ноч}} = \frac{1}{2} K i_m \varepsilon K o L u, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення вологи;

$t_n$  – температура поверхні деревини, °С;

$t_u$  – температура центра деревини, °С;

$t_c$  – температура середовища, °С;

$t_{ноч}$  – початкова температура деревини, °С;

$K i_m$  – масообмінний критерій Кірпічова;

$K o$  – критерій Косовича;

$L u$  – критерій Ликова.

З урахуванням формул (1–2) температуру деревини можна визначити за рівнянням:

$$t_n = t_{c.cp} + A_t \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\tau_u} \cdot \tau_{nom}\right) + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ноч}) \cdot K i_m \varepsilon K o L u. \quad (4)$$

На якість сушіння впливає не лише температура нагрівання  $t_n$ , але і ступінь насичення  $\varphi$ . Ці величини передбачаються режимом, і щоб не отримати брак, необхідно визначити значення ступеня насичення [4]:

$$\varphi = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) \Delta t^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}}}, \quad (5)$$

де  $\Delta t$  – психрометрична різниця між температурою сухого і змоченого термометрів,  $\Delta t = t_c - t_m$ , °С.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні немає теоретично підтверджених та експериментально перевірених режимів сушіння деревини дуба циклічним способом, а саме рівня температури під час «теплого удару», швидкості видалення вологи в процесі осцилювання, значення ступеня насичення в період нагрівання, які б забезпечували неруйнівне сушіння деревини.

**Мета статті.** Визначення параметрів раціонального режиму сушіння заготовок з деревини дуба в процесі осцилювального сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення раціональних параметрів осцилювального режиму було вибрано заготовки дуба звичайного та дуба червоного товщиною 50 мм. Деревину сушили в лабораторній сушильній установці до вологості 8 % за режимом, параметри якого наведено у табл. 1. У процесі сушіння контролювали температурні й вологісні параметри матеріалу та агента сушіння. У кінці процесу сушіння проводили термовологообробку.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

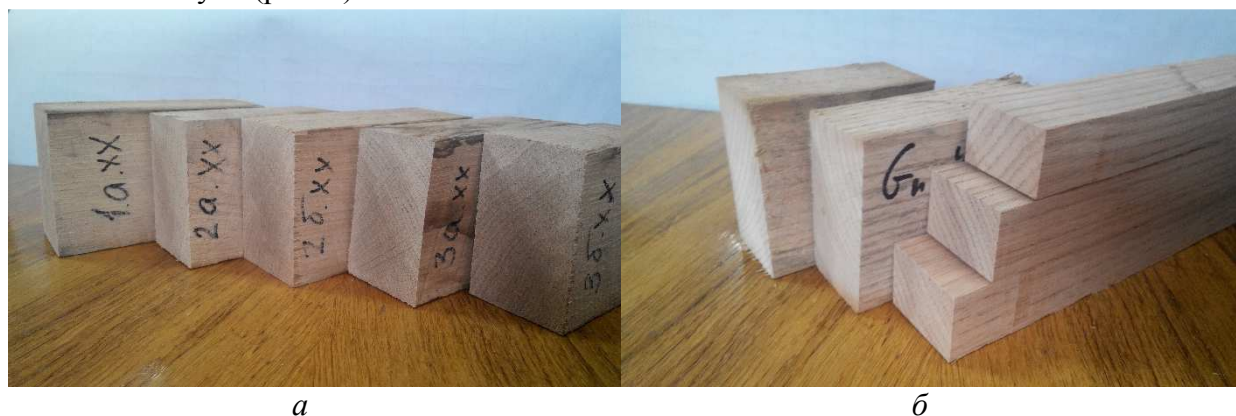
Заготовки дуба звичайного і дуба червоного висушували за осцилювальним режимом до досягнення матеріалом вологості 20 % і досушували за постійної температури. У процесі сушіння дуба звичайного циркуляція агента сушіння становила 0,2 м/с, а дуба червоного – 1,2 м/с.

Таблиця 1

*Режим осцилювального сушіння дубових заготовок товщиною 50 мм*

Параметр	Показник
Температура середовища, °С	80
Температура нагрівання заготовок, °С	65
Температура охолодження заготовок, °С	35
Ступінь насичення в період охолодження, %	95

Вибрана різниця між температурою нагрівання та охолодження дорівнювала 30 °С. Збільшення значення амплітуди осцилювання є недоцільним, оскільки збільшується час для нагрівання матеріалу та витрати енергії на подальший цикл нагрівання. При зменшенні цього значення деревина перебуватиме під дією високих температур, що сприятиме зменшенню її міцності. Тривалість сушіння заготовок дуба звичайного становила 638,0 год, а дуба червоного – 375,9 год. За результатами дослідження дефектів сушіння виявлено не було (рис. 1).



*Рис. 1. Результат сушіння заготовок, висушених за осцилювальними режимами:  
а – дуба звичайного, б – дуба червоного*

Періодичність циклів «нагрівання-охолодження» доцільно проводити для деревини, що містить вільну вологу для прискорення її видалення. Тому дубові заготовки після досягнення 20 % висушували за сталої температури нагрівання, оскільки спостерігалося зниження швидкості видалення зв'язаної вологи під час імпульсної дії теплоти (рис. 2). Крім того, на останній фазі сушіння ймовірність зростання небезпечних сушильних напружень є незначною, тобто необхідність періодичного охолодження матеріалу для релаксації відпадає [5].

Визначено, що тривалість зміни температури в період нагрівання відрізняється від тривалості її зміни в період охолодження. Порівняння теоретичної кривої зміни температури в часі з експериментальною показало (рис. 3), що кореляція експериментальних даних із розрахунковими є несуттєвою –  $r \approx 0,55$ . Через це не можна стверджувати про зміну температури в часі за синусоїдальним законом (рівняння 1).

Запропоновано зміну кривої періоду нагрівання апроксимувати за поліноміальною залежністю, а період охолодження – за експоненціальною (рис. 4). При цьому тривалість нагрівання матеріалу є меншою практично в 3 рази за час охолодження [6].

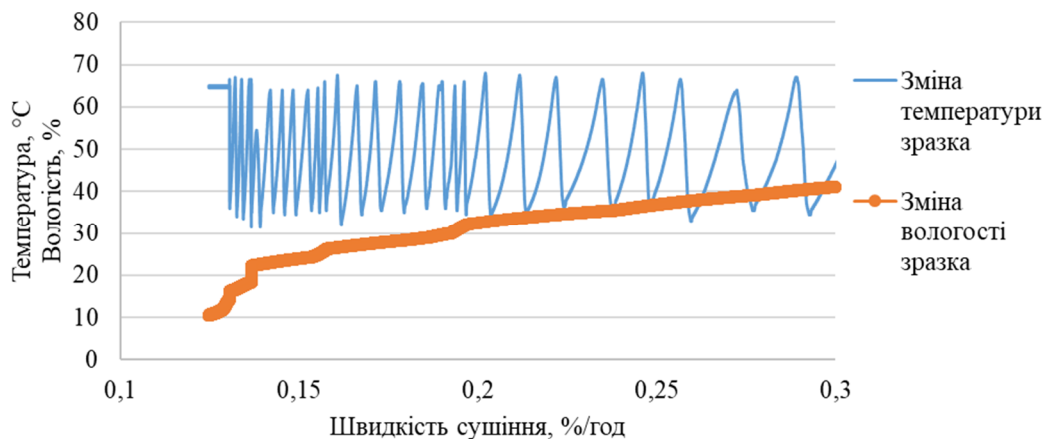


Рис. 2. Кінетика сушіння заготовок дуба червоного товщиною 50 мм

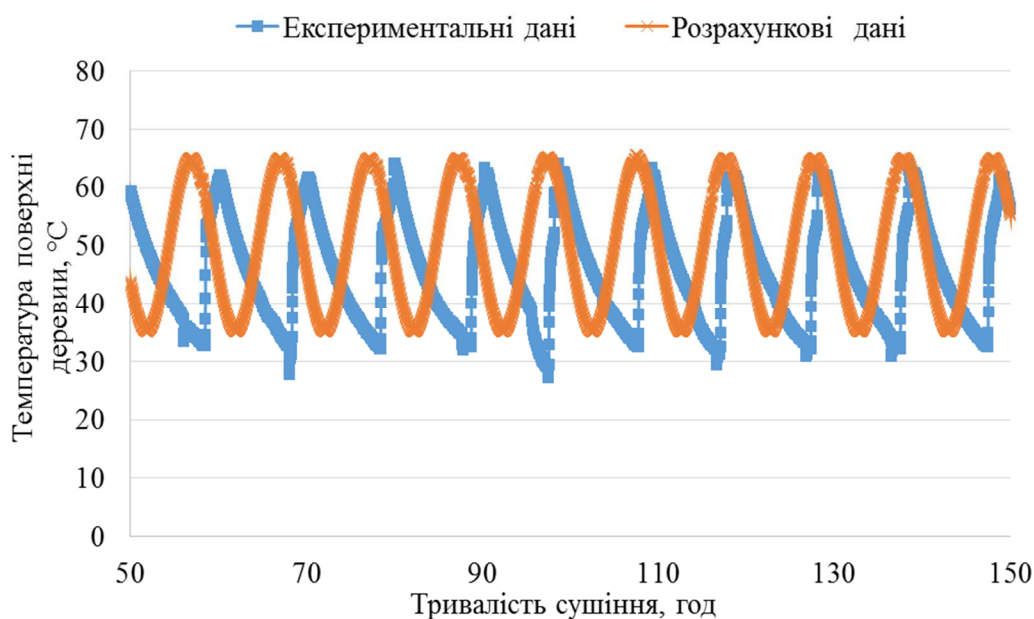


Рис. 3. Зміна температури поверхні деревини дуба звичайного товщиною 50 мм у процесі сушіння осцилювальним режимом

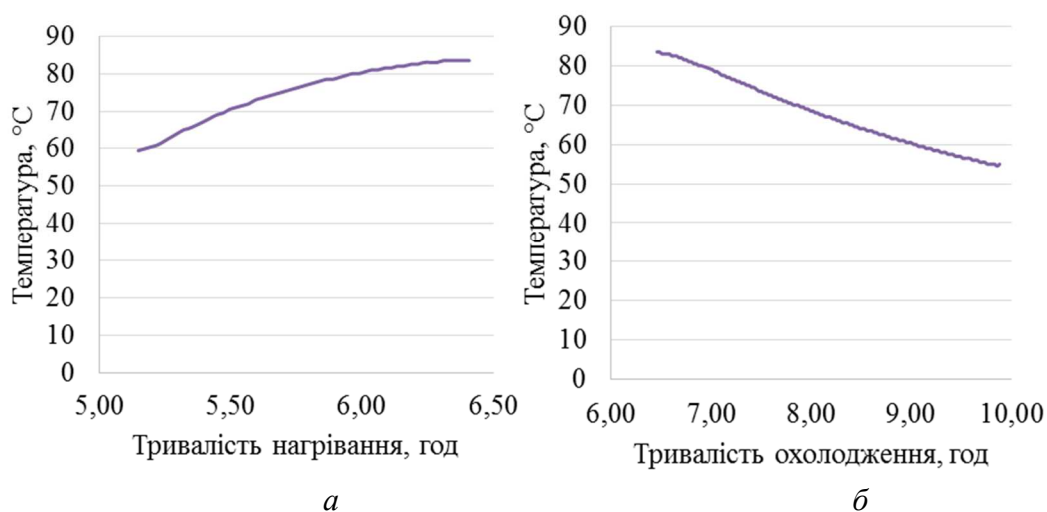


Рис. 4. Криві кінетики нагрівання (а) та охолодження (б) заготовок дуба звичайного товщиною 50 мм

Згідно з відмінностями кінетики зміни температури поверхні зразків у періоді нагрівання  $t_{пов. нагр}$ , год, та охолодження  $t_{пов. охол}$ , год, скориговано висунуту гіпотезу щодо синусоїдального закону зміни температури матеріалу. Запропоновано розглядати окремо періоди нагрівання та охолодження – рівняння (4):

$$\begin{cases} t_{пов. нагр} = t_{ц. нагр} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. охол}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \\ t_{пов. охол} = t_{ц. охол} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. нагр}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \end{cases} \quad (6)$$

де  $t_{ц. нагр}$ ,  $t_{ц. охол}$  – температура центральної частини заготовок у період нагрівання та охолодження відповідно, °С, зміни яких у часі можна визначити за адекватними регресійними рівняннями:

– для дуба звичайного товщиною 50 мм:

$$\begin{cases} t_{ц. нагр} = 24,54 \cdot \tau_{нагр} - 4,48 \cdot \tau_{нагр}^2 + 35, \\ t_{ц. охол} = 65 \cdot e^{-0,08 \cdot \tau_{охол}}, \end{cases} \quad (7)$$

де  $\tau_{нагр}$  – тривалість періоду нагрівання, год;

$\tau_{охол}$  – тривалість періоду охолодження, год.

– для дуба червоного товщиною 50 мм:

$$\begin{cases} t_{ц. нагр} = 20,11 \cdot \tau_{нагр} - 8,18 \cdot \tau_{нагр}^2 + 35, \\ t_{ц. охол} = 65 \cdot e^{-0,11 \tau_{охол}}. \end{cases} \quad (8)$$

Коефіцієнт кореляції запропонованого рівняння зміни температур нагрівання та охолодження з експериментальними даними засвідчив високу відповідність  $r = 0,89 - 0,93$  (рис. 5).

З урахуванням рівняння (6) та експериментально визначених значень температури змоченого термометра, розраховано ступінь насичення  $\varphi$  агента сушіння в період нагрівання для заготовок із деревини дуба:

$$\varphi_{нагр} = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) \cdot (t_c - t_{пов. нагр.})^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}}}. \quad (9)$$

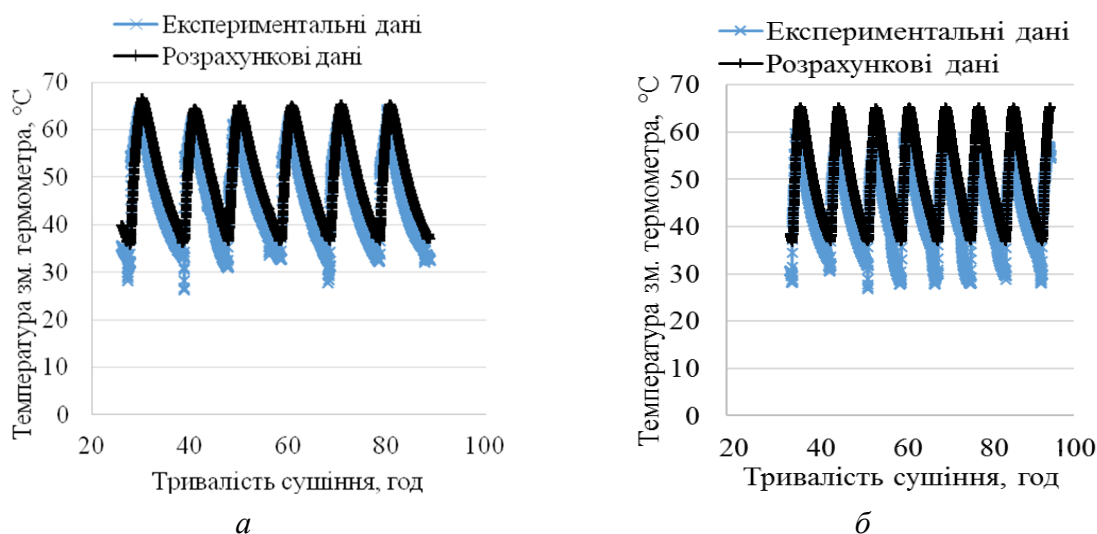


Рис. 5. Кінетика зміни температури змоченого термометра від початкової вологості  $W_{поч}$  до поточної вологості  $W_{пот3} = 20\%$  при сушінні заготовок товщиною 50 мм із деревини: а – дуба звичайного; б – дуба червоного

Відповідно до одержаних результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано осцилювальні режими сушіння заготовок дуба звичайного і дуба червоного товщиною 50 мм, параметри яких наведено у табл. 2.

Таблиця 2

*Режими сушіння заготовок із деревини дуба звичайного  
і дуба червоного товщиною 50 мм*

Середня вологість, %	Режимний параметр	Дуб звичайний	Дуб червоний
		25	50
>30	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	95	95
30–25	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	79	82
25–20	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	55	57
20–15	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	40	45
<15	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	38	38

Використання запропонованих режимів осцилювального сушіння, які базуються на основі результатів експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків, сприятиме скороченню енергетичних витрат за рахунок зменшення тривалості сушіння.

**Висновки відповідно до статті.** Згідно з експериментальними дослідженнями процес циклічного нагрівання відбувається за поліноміальною залежністю, а процес циклічного охолодження – за експоненціальною. На базі цього скориговано теоретичне рівняння кінетики зміни температур нагрівання та охолодження, яке полягає у поєднанні цих процесів, і відображає особливості осцилювального сушіння з врахуванням зміни тепло- і масообмінних критеріїв.

Визначено величину ступеня насичення агента сушіння та запропоновано раціональні режими сушіння заготовок з деревини дуба звичайного і дуба червоного товщиною 50 мм, які забезпечують цілісність матеріалу.

#### Список використаних джерел

1. *Сучасне лісосушильне та лісопилне устаткування* / О. О. Пінчевська, З. С. Сірко, В. С. Коваль, Н. В. Марченко. – Х. : ПФ «ЦентрІнформ», 2005. – 176 с.
2. *Тепнадзе М. У.* Режимы и технология сушки пиломатериалов в гелиосушилках : автореф. ... дис. канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Технология и оборудование деревообрабатывающих производств, древесиноведение» / Марина Ушангиевна Тепнадзе. – М., 1986. – 18 с.
3. *Лыков А. В.* Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
4. *Меркушев И. М.* Психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины / И. М. Меркушев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2010. – № 2. – С. 83–86.
5. *Пінчевська О. О.* Сушіння заготовок дуба червоного осцилювальними режимами / О. О. Пінчевська, В. В. Борячинський, Г. Б. Іноземцев // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – № 184. – С. 16–22.
6. *Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия* : ГОСТ 19773-84. – [Чинний від 1984-01-01] – М. : Стандартинформ, 2009. – 14 с. – (Межгосударственный стандарт).

## References

1. Pinchevska, O. O., Sirko, Z. S., Koval, V. S. & Marchenko, N. V. (2005). *Suchasne lisosushylne ta lisopylne ustatkuvannia [Modern wood drying and sawmill equipment]*. Kharkiv: PF «TsentrInform» [in Ukrainian].
2. Tepnadze, M. U. (1986). Rezhymy y tekhnolohyia sushky pylomaterialov v helyosushylkakh [The schedules and technology of lumber drying in solar kiln]. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
3. Lykov, A.V. (1968). *Teoriia sushki [Theory drying]*. Moscow: Energiia [in Russian].
4. Merkushev, I. M. (2010). Psikhrometricheskaia diargamma ravnovesnoi vlazhnosti drevesiny [Psychrometric Diagram of Equilibrium Wood Humidity]. *Lesnoy zhurnal – Forest magazine*, 2, 83–86 [in Russian].
5. Pinchevska, O. O., Boriachynskiy, V. V., Inozemtsev, H. B. (2016). Sushinnia zahotovok duba chervonoho ostsylivualnymy rezhymamy [Drying red oak samples by oscillating schedules]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 184, 16–22 [in Ukrainian].
6. Pilomaterialy khvoinykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deistviia [Sawn timber of coniferous and broad-leaved species. Drying conditions in batch chambers]. (2009). *HOST 19773-84 from 1<sup>st</sup> January 2009*. Moscow: Mezghosudarstvennyi standart [in Russian].

UDC 674.047

Olena Pinchevska, Vasyl Boriachynskiy, Yuriy Romasevych

### PECULIARITIES OF KINETICS OF INTENSIFIED DRYING OAK WOOD SAMPLES

**Urgency of the research.** The process of production of wood goods drying operation is required, however, the most lengthy and expensive. This problem requires the creation of schedules and methods of drying, which would give the opportunity to reduce the time process without qualitative changes of the material. Therefore, the development of energy saving technology of oak wood drying without losing the quality of the material is an important task for future research drying.

**Target setting.** To intensify the drying process in convective kiln is possible by increasing the temperature of the drying agent. To prevent the destruction of timber during drying at high temperatures it is advisable to dry by oscillating schedules, which consist of periods of heating at the high air humidity and cooling.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The study of cyclic methods of drying wood, which was illuminated in scientific works, was based on the process of atmospheric drying and drying of wood in solar kiln when the temperature variation is sinusoidal.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Today has not entered use the method of oscillating drying of oak timbers because of the lack of rational drying schedules.

**The research objective.** Determination of the parameters of rational schedules of drying of oak samples in the oscillation drying process.

**The statement of basic materials.** The main results of experimental researches of kinetics oscillation of drying samples from European oak and red oak to determine the schedule parameters. The oak wood was dried in the laboratory installation to a moisture content of 8 % at temperature of drying agent 80 °C. The greatest rate of removal of free moisture from was sample is observed for the amplitude of the temperature fluctuations of 30 °C. Was fixed that the frequency of cycles "heating-cooling" is advantageously carried out for wood containing free moisture for rapid removal. After reaching a moisture of 20 % oak wood should be dried at a constant temperature. For the setting safe schedules of drying wood, besides heating temperature, was determined the value of air humidity during heating period.

**Conclusions.** It is established that the temperature of the wood varies not sinusoidal. According to the study, the cyclical process of heating occurs as a polynomial, and the process of cyclic cooling for the exponential. Based on this were proposed theoretical equations of the temperature kinetics during of heating and cooling periods. On the basis of practical and theoretical studies were developed rational schedules of oscillation drying of oak samples with a thickness of 50 mm.

**Keywords:** European oak (*Quercus robur*); Red oak (*Quercus rubra*); kinetics of oscillation drying; rational schedules.

Fig.: 5. Tabe: 2. References: 6.

УДК 674.047

Елена Пинчевская, Василий Борячинский, Юрий Ромасевич

### ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОЙ СУШКИ ЗАГотовок из ДРЕВЕСИНЫ ДУБА

**Актуальность темы исследования.** Варианты использования являются одним из важных способов представления функциональных требований к проектируемым информационным системам. Их описание – достаточно сложный и трудоёмкий процесс. Поэтому исследования, направленные на автоматизацию этого процесса, являются актуальными.

**Постановка проблеми.** Для автоматизації описання варіантів використання необхідна розробка класифікації і моделювання пунктів сценарієв. В даній роботі вирішується проблема корективної суцесивної класифікації пунктів варіантів використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації по темі застосування варіантів використання. За основу прийнята класифікація, запропонована в роботі «Інформаційна технологія автоматизованого складання варіантів використання».

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Створення моделі для пункту «Завершення прецедента».

**Постановка задачі.** Корективна класифікація пунктів варіантів використання, створення і внесення змін у модель пунктів сценарієв.

**Изложение основного материала.** Предложена усовершенствованная модель описания вариантов использования, отражающая как функциональные требования, так и концептуальные классы проектируемого программного продукта. Классификация пунктов сценария вариантов использования дополнена новым пунктом «Завершить вариант использования». Внесены изменения в ранее предложенные модели и созданы новые модели для пунктов сценария «Создать», «Запросить значение», «Действия пользователя, которые не укладываются в предложенную классификацию». Созданы соответствующие алгоритмы и выполнена модернизация программного продукта, поддерживающего технологию автоматизованного составления вариантов использования.

**Выводы в соответствии со статьёй.** Реализация предложенных моделей и алгоритмов позволила сократить время на описание вариантов использования до 10 %, а также создать модели концептуальных классов для проектируемого программного продукта.

**Ключевые слова:** дуб обыкновенный (*Quercus robur*); дуб красный (*Quercus rubra*); кинетика осциллирующей сушки; рациональные режимы.

Рис.: 5. Табл.: 2. Библ.: 6.

**Пінчевська Олена Олексіївна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів та природокористування України (проул. Сільськогосподарський, 4, м. Київ, 03041, Україна).

**Пинчевская Елена Алексеевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологий и дизайна изделий из древесины, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (проул. Сельскохозяйственный, 4, г. Киев, 03041, Украина).

**Pinchevska Olena** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (4 Sylskogospodarsky Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** olenapinchevska@nubip.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8123-5490>

**Scopus Author ID:** 57156634100

**Борячинський Василь Васильович** – асистент кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів та природокористування України (проул. Сільськогосподарський, 4, м. Київ, 03041, Україна).

**Борячинский Василий Васильевич** – ассистент кафедры технологий и дизайна изделий из древесины, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (проул. Сельскохозяйственный, 4, г. Киев, 03041, Украина).

**Boriachynskiy Vasyli** – assistant of Department of Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (4 Sylskogospodarsky Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** boryachynskiy@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1741-2349>

**Ромасевич Юрій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри конструювання машин і обладнання, Національний університет біоресурсів та природокористування України (вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041, Україна).

**Ромасевич Юрий Александрович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры конструирования машин и оборудования, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Обороны, 12в, г. Киев, 03041, Украина).

**Romasevych Yuriy** – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of Department of Machines and Equipment Design, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (12v Geroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** romasevichyuriy@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5069-5929>

**Scopus Author ID:** 57196472815