УДК 674.047

СУШІННЯ ЗАГОТОВОК ДУБА ЧЕРВОНОГО ОСЦИЛЮВАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ

Пінчевська О.О., докт. техн. наук, професор, Борячинський В.В., аспірант, Іноземцев Г.Б., докт. техн. наук, професор
(Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Наведені криві кінетики сушіння заготовок різних товщин з деревини дуба червоного (Quercus rubra) осцилювальними режимами за підвищених температур. Визначено середнє значення базисної густини деревини дуба червоного, походженням з Житомирської області. Експериментальні дослідження показали можливість скорочення тривалості процесу в порівнянні з розрахунковою тривалістю традиційних режимів. При цьому брак сушіння був відсутній.

Постановка проблеми. Україна відноситься до малолісних і лісодефіцитних держав, рослинністю вкрито 15,9 % від загальної площі країни. Найбільш затребуваною і найціннішою породою деревини є дуб, запаси якого становлять 24 % від загального обсягу всіх порід деревини [1]. Найпоширенішими видами дуба є – дуб звичайний (Quercus robur), насадження якого займають приблизно 95 % [2], дуб скельний (Quercus petraea), дуб червоний (Quercus rubra). У лісовому фонді Полісся дуб звичайний займає 18,8 % [3]. З усіх видів походження дуба іноземного Quercus rubra набув найбільшого поширення. Зокрема, частка його насаджень у різних держлісгоспах Київського Полісся коливається в межах 0,5–4 % від вкритих лісовою рослинністю земель [4]. Насадження дуба червоного за продуктивністю кращі, ніж насадження дуба звичайного, а вихід ділової деревини набагато вищий [5].

В технологічному процесі деревообробного виробництва сушіння є обов'язковою і при цьому найтривалішою і енергозатратною операцією, особливо це стосується деревини твердих листяних порід. Якісне сушіння деревини є запорукою не тільки ефективному використанню лісових ресурсів, але і довготривалої експлуатації виробів. Інтенсифікувати процес сушіння можна за рахунок використання підвищених температур, а з метою запобігання зменшенню фізико-механічних властивостей та браку сушіння, доцільно використовувати осцилювальні режими, побудовані на явищі термовологопровідності [6].

Поляковою О.Г. [4] зазначено, що різниця між показниками усихання в тангентальному та радіальному напрямах у дуба червоного більша, ніж у дуба звичайного. Це може бути причиною більшого розтріскування та жолоблення під час сушіння деревини. Можна припустити, що деревина дуба

червоного вимагає більш м'яких режимів висушування. Сьогодні його висушують за режимами, що розроблені для дуба звичайного, проте відмінність фізичних властивостей може призвести до браку сушіння. Тому, визначення властивостей дуба червоного є актуальною задачею.

Мета досліджень. Визначення тривалості процесу сушіння деревини дуба червоного за осцилювальним режимом.

Матеріали та методика досліджень. Для дослідження використано деревину дуба червоного, походженням з Житомирської області. Заготовки розмірами 30 х 85 х 370 та 50 х 85 х 370 мм висушували в лабораторних умовах. в експериментальній сушильній установці, яка дозволяє автоматично підтримувати режимні параметри – t_c, $t_м$ і забезпечує швидкість циркуляції повітря 0,5–2 м/с, до кінцевої вологості 8 %. Процес здійснювався за режимом циклічного нагрівання (ввімкнута система опалення та вентиляції) та охолодження (система опалення та вентиляції вимкнена).

Процес нагрівання для заготовок товщиною 30 мм проводили за температури середовища 100°С до моменту, коли температура середніх шарів заготовки досягала 85°С. Після цього зразки охолоджували до температури 55°С. Заготовки товщиною 50 мм нагрівали за температури середовища 80°С до температури 65°С і охолоджували до температури 35°С.

Циклічність «нагрівання-охолодження» тривала до досягнення заготовками поточної вологості $W_{пот}$ = 20 %. За $W_{пот} < 20$ % зразки досушували до кінцевої вологості без осцилювання за сталої температури 90°С для заготовок товщиною 30 мм і 80°С для заготовок товщиною 50 мм. Ступінь насичення в сушильній установці регулювалася подачею пари. Перед початком сушіння торці заготовок покривали фарбою для запобігання швидкого випаровування вологи і розтріскування. Температуру в центрі і на поверхні кожної заготовки вимірювали за допомогою термопар. Поточну і кінцеву вологість зразків визначали вологоміром ИВД-6м і ваговим методом.

Результати досліджень. Для дослідження використовували заготовки з наступними параметрами – табл. 1, де також наведено значення деяких технологічних параметрів.

Таблиця 1 – Результати досліджень

Параметри	Заготовки дуба червоного, товщиною	
	30 мм	50 мм
Середня початкова вологість, %	44,2	50,7
Середня кінцева вологість, %	9,2	8,8
Кількість циклів «нагрівання»	20	35
Кількість циклів «охолодження»	21	36
Швидкість циркуляції повітря, м/с	0,2	1,2
Тривалість сушіння, год	124,0	375,9

Середнє значення базисної густини деревини дуба червоного, що зростав на Поліссі, за результатами експериментальних досліджень становить 600 кг/м^3. Отримана густина для дуба червоного є більшою майже на 10 % за густину дуба звичайного [7].

Зміна температури в часі в циклах «нагрівання» та «охолодження» відбувалася по-різному. Ця різниця залежить від значень температури нагрівання, амплітуди осцилювання, ступеня насичення повітря, швидкості циркуляції агента сушіння та вологості матеріалу. Визначено, що час циклічного нагрівання приблизно в 3,5 рази менший за час циклічного охолодження (рис. 1).

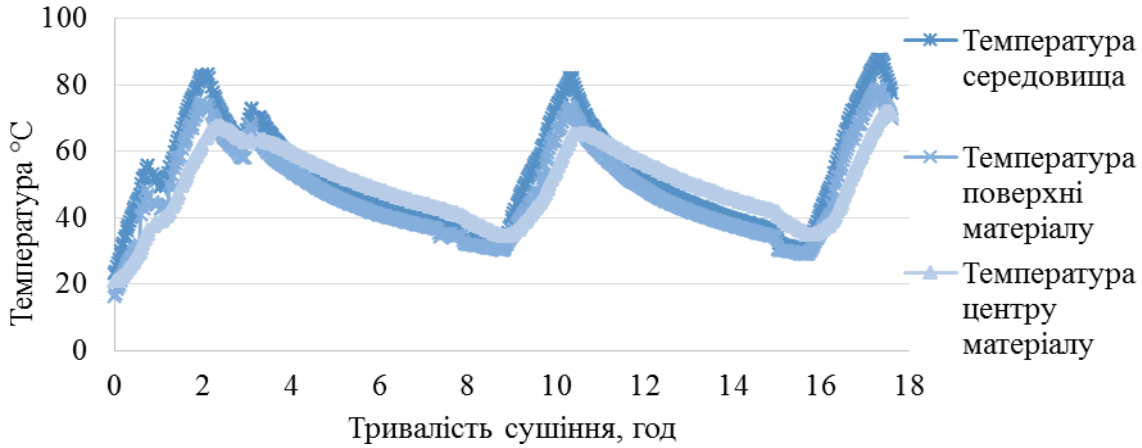
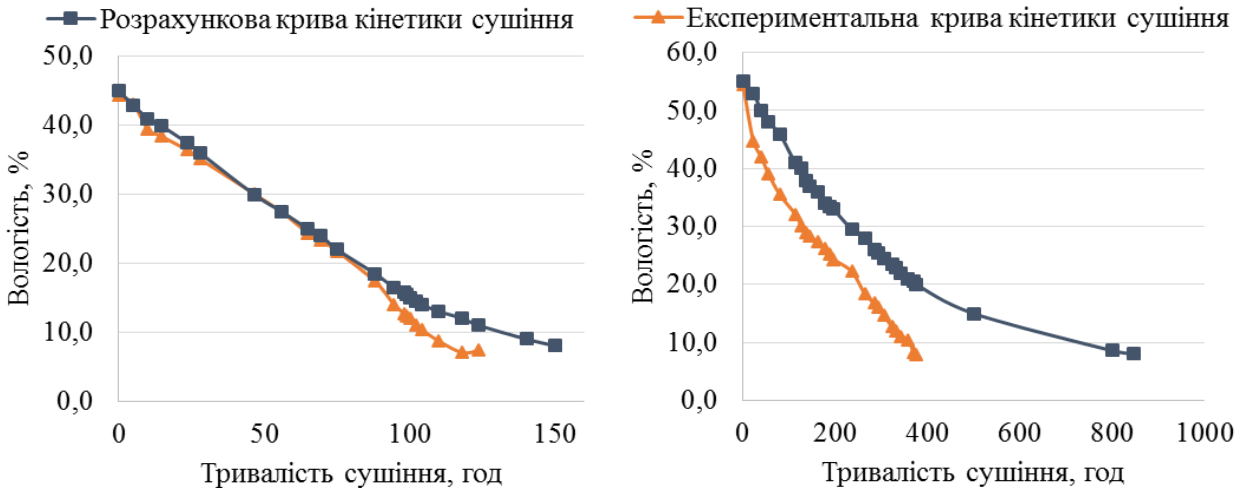


Рисунок 1 – Зміна температури під час сушіння дуба червоного товщиною 50 мм за осцилювальним режимом

Розрахунок і порівняння кривої кінетики сушіння для одиничного зразка за рівнянням [8] з експериментальними даними показав, що тривалість сушіння заготовок товщиною 50 мм зменшується в 2,25 разів, а заготовок товщиною 30 мм – в 1,21 рази (рис. 2).



а *б*

Рисунок 2 – Кінетика сушіння деревини дуба червоного за осцилювальним та низькотемпературним режимами: *а* – заготовки товщиною 30 мм, *б* – заготовки товщиною 50 мм

Відмінність фактичної тривалості сушіння від розрахункової для різних товщин заготовок дуба червоного можна пояснити незначною швидкістю циркуляції повітря під час сушіння заготовок товщиною 30 мм.

Характер видалення вологи в часі під час сушіння заготовок за осцилювальним режимом має більш лінійну залежність, ніж експоненціальну, яка властива для більшості процесів сушіння колоїдно-пористих матеріалів. Отриману лінійну залежність кривої кінетики переривчастого сушіння можна поясними тим, що в період падаючої швидкості сушіння процес відбувався за сталої підвищеної температури.

Середня тривалість циклу «нагрівання-охолодження» в періоді постійної швидкості сушіння становить 8,1 год/цикл, а в період падаючої швидкості – 8,7 год/цикл. Різниця тривалості у різні періоди сушіння залежить від кількості вологи в матеріалі: сирі заготовки швидше нагріваються та охолоджуються, ніж підсушені, тому що теплопровідність вологої деревини вища за теплопровідність сухої [8, 9].

Період постійної швидкості сушіння деревини дуба червоного за осцилювальним режимом від 50 % вологості до 30 % в 3 рази коротший ніж період падаючої швидкості. Подібна тенденція спостерігається під час сушіння пиломатеріалів за стандартними режимами в парових сушарках.

Нормативні режими низькотемпературного сушіння та осцилювальні режими за підвищених температур відрізняються за характером масоперенесення [10]. Останні складаються з циклів нагрівання та охолодження, тобто відбувається імпульсна зміна температури протягом процесу сушіння. В такому випадку щільність потоку вологи можна описати рівнянням [10]:

- в період нагрівання –

$$i = -a'\rho_0(\Delta W - \delta\,\Delta t)\,, \qquad (1)$$

- в період охолодження –

$$i = -a'\rho_0(\Delta W + \delta\,\Delta t)\,, \qquad (2)$$

де ρ_0 – густина деревини в абсолютно сухому стані, кг/м^3;

a' – коефіцієнт вологопровідності, м^2/с;

δ – термоградієнтний коефіцієнт, %/°С.

Термоградієнтний коефіцієнт по-різному впливає на видалення вологи з деревини. За високої $W_{пот} > 60$ % та малої $W_{пот} < 20$ % вологості матеріалу видалення вологи відбувається лише за рахунок вологопровідності, термоградієнтний коефіцієнт дуже малий. В межах вологості деревини 20–60 % термоградієнтний коефіцієнт перевищує коефіцієнт вологопровідності в 2–4 рази [11]. Шубіним Г.С. [12] зазначено, що крива залежності термоградієнтного коефіцієнту від вологості матеріалу $\delta = f(W)$ на всьому

діапазоні має точку перегину за вологості 40–50 %, при чому така тенденція характерна для різних колоїдних та колоїдно-пористих тіл.

В процесі сушіння в деревині виникають за товщиною матеріалу дві зони: внутрішня (капілярна) та поверхнева, яку ще називають гігроскопічною [11] чи дифузійною зоною [12, 13]. Ця зона утворюється в периферійних шарах деревини за умови, що $W_{пот} > W_{м.н.}$, та характеризується накопиченням і випаровуванням вологи в середовище. При цьому в процесі сушіння вологість поверхневих шарів нижча ніж гігроскопічна, а вологість центральних – вища [12]. Під час нагрівання градієнт температури направлений від зовнішніх шарів деревини до центру, тобто температура поверхні вища ніж температура середини пластини $\Delta t = t_п - t_ц$. В процесі нагрівання градієнт температури має від'ємний характер. Інтенсивність переміщення вологи відбувається за рахунок вологопровідності деревини, а термовологопровідність навпаки перешкоджає руху вологи від серединних до поверхневих шарів матеріалу. А в період охолодження термовологопровідність прискорює видалення вологи.

Зростаюча різниця між температурою та вологістю поверхневої і центральних зон матеріалу спричиняє виникнення напруження розтягу поверхневих шарів, що може призвести до руйнування висушуваної деревини – виникнення тріщин. З метою уникнення значних перепадів вологи в середині деревини $\Delta W = W_ц - W_п$, вводиться пара. Відбувається зволоження агента сушіння, збільшується рівноважна вологість, припиняється інтенсивне випаровування вологи з поверхні деревини, волога переміщується лише в середині матеріалу. За таких умов зменшується перепад вологи за перетином деревини, що зменшує напруження розтягу поверхневих шарів. Проте, температура агента сушіння зростає за рахунок температури поданої пари. Відповідно, температура деревини зростає, також зростає коефіцієнт вологопровідності, що змушує вологу рухатися в матеріалі від центру до її поверхневої зони *b* і накопичуватися там (рис. 3).

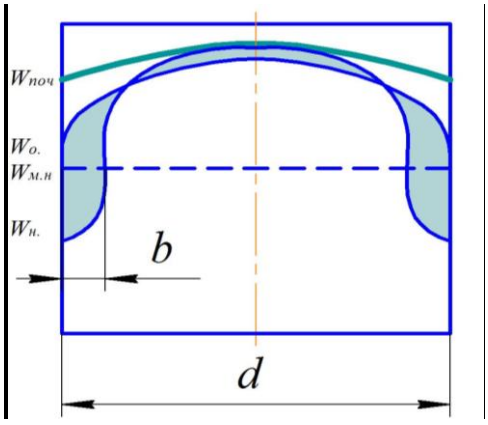


Рисунок 3 – Поле вологості в деревині; b – дифузійна зона, d – товщина дошки

В період охолодження зовнішні шари матеріалу швидше охолоджуються, що створює протилежну різницю температур в матеріалі. Температура центральних шарів матеріалу перевищує температуру поверхневої зони. Процес сушіння відбувається не тільки за рахунок вологопровідності матеріалу *a'*, але і за термовологопровідністю *δ*, тобто градієнт температури набуває додатного значення. Це можна пояснити тим, що за рахунок накопичення вологи в периферійній зоні матеріалу зменшуються напруження розтягу, відбувається її релаксація. Збільшення вмісту вологи в поверхневих шарах створює передумови для її інтенсивного випаровування в наступний період нагрівання.

В процесі сушіння деревини дуба червоного за осцилювальним режимом дефектів виявлено не було, лише незначне потемніння матеріалу.

Визначено, що циклічність процесів нагрівання та охолодження відбувається до досягнення вологості матеріалу 20 %, після цього процес сушіння здійснюється за постійної температури до досягнення кінцевої вологості. Недоцільно охолоджувати деревину, вологість якої менше 20 %. Це пов'язано з тим, що значення термоградієнтного коефіцієнту є незначним, а видалення вологи відбувається лише за рахунок коефіцієнта вологопровідності [6, 10–12].

Висновки.

1. Використання осцилювальних режимів дає можливість скоротити процес сушіння деревини дуба червоного більше ніж у два рази порівняно з нормативними режимами без загрози руйнування матеріалу.
2. Визначено середнє значення базисної густини дуба червоного, походженням з Житомирської області, яке становить 600 кг/м^3.
3. Сушіння деревини за осцилювальними режимами відбувається за рахунок рушійних сил вологоперенесення, а саме градієнту вологості і градієнту температури, сума яких в період охолодження інтенсифікує перенесення вологи в матеріалі та її випаровування.

Список літератури

1. Лісове господарство України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867

2. Лісові культури / М.І. Гордієнко, М.М. Гузь, Ю.М. Дебринюк, В.М. Маурер. – Львів: Камула, 2005. – 608 с.

3. Іванюк Т.М. Дубові насадження Центрального Полісся України / Т.М. Іванюк. // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – № 1. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2014_1_12.

4. Полякова О.Г. Біогеоценотичні особливості дуба червоного (Quercus rubra L.) в штучних насадженнях Київського Полісся : автореф. дис. … канд.

с.–г. наук: спец. 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво» / Олена Григорівна Полякова; Національний аграрний університет. – К., 1999. – 20 с.

5. Майборода В.А. Створення збалансованих лісових екосистем шляхом впровадження чистих та змішаних насаджень дуба червоного / В.А. Майборода // Теорія і практика природокористування, 2016. – № 1. – С. 30–36.

6. Мингазов М.Г. Осциллирующие режимы сушки пиломатериалов / М.Г. Мингазов, Н.В. Качалин. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1976. – 49 с.

7. Борячинський В.В. Щодо можливості застосування підвищених температур для сушіння заготовок із деревини дуба / В.В. Борячинський. // Лісове і садово-паркове господарство. – 2016. – № 9. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2016_9_4.

8. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.И. Расев. – М.: Лесная промышленость, – 1987. – 360 с.

9. Чудинов Б.С. Теория тепловой обработки древесины / Б.С. Чудинов. – М.: Наука, 1968. – 256 с.

10. 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.

11. Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: дис. … канд. техн. наук: спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / Анатолий Александрович Косарин; МГУЛ. – М., 2012. – 22 с.

12. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.

13. Селюгин Н.С. Сушка древесины. / Н.С. Селюгин. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 536 с.

Аннотация

СУШКА ОБРАЗЦОВ ДУБА КРАСНОГО ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ РЕЖИМАМИ

Пинчевская Е.А., Борячинский В.В., Иноземцев Г.Б.

Приведены кривые кинетики сушки заготовок разных толщин из древесины дуба красного (Quercus rubra) осциллирующими режимами при повышенных температурах. Определено среднее значение базисной плотности древесины дуба красного, произраставшего в Житомирской области. Экспериментальные исследования показали возможность сокращения продолжительности процесса по сравнению с расчетной продолжительностью традиционными режимами. При этом брак сушки отсутствовал.

Abstract

DRYING RED OAK SAMPLES BY OSCILLATING SCHEDULES

Pinchevska O.O., Boryachinskiy V.V., Inozemtsev G.B.

The graph of drying kinetics of different thicknesses red oak samples (Quercus rubra) by oscillating schedules at high temperatures are given. The average value of red oak wood density that grew up in Zhytomyrska region were determined. Experimental studies have shown the possibility of process duration reducing compared with the traditional schedules duration. There were no defects in the drying process.