

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ СУШІННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ДУБА

*В. В. Борячинський, аспірант **

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: boryachinskiy@yandex.ua

Наведено результати сушіння дубових заготовок товщиною 50 мм осцилювальним режимом, який показав можливість скорочення тривалості процесу порівняно з розрахунковою тривалістю. Проведено експериментальні дослідження вологості межі гігроскопічності, коефіцієнтів вологопровідності та густини деревини дуба звичайного, що виріс у Житомирській області.

Ключові слова: деревина дуба, осцилювальний режим сушіння, тривалість сушіння, коефіцієнт вологопровідності, густина, межа гігроскопічності.

Сьогодні великої уваги заслуговує сушіння твердолистяних порід, зокрема деревини дуба. Процес сушіння є енергоємним, витрати на нього становлять до 30 % від вартості сухих пиломатеріалів [1]. Зниження енерговитрат на сушіння за умови збереження якості продукції є актуальною проблемою. Для її розв'язання необхідно насамперед розробити енергоощадні режими, різновидом яких є осцилювальні (переривчасті або імпульсні) режими [2]. Під час їх реалізації відбувається чергування нагрівання й охолодження деревини. Тому енергія витрачається лише в період нагрівання. Важливою ознакою таких режимів є можливість застосування підвищених температур у період нагрівання задля прискорення процесу.

Технологічні розрахунки сушильного господарства вимагають знати тривалість процесу, для визначення якого використовують фізичні величини, що характеризують взаємодію висушуваного матеріалу з навколишнім середовищем, а саме густину та вологопровідність деревини [3, 4]. На сьогодні

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор О. О. Пінчевська.

коефіцієнт вологопровідності дуба, що виріс в Україні, не визначено. Для розрахунків традиційно беруть коефіцієнт, визначений П. С. Серговським [4] для деревини дуба, який зростає в інших умовах: у зоні північних широт, що суттєво відрізняється від зони зростання українських лісів.

Мета досліджень – визначення тривалості сушіння заготовок із деревини дуба за підвищених температур з урахуванням експериментально визначених коефіцієнтів вологопровідності.

Матеріали та методика досліджень. Тривалість сушіння можна визначити за допомогою рішення рівняння вологопровідності Ликова [5], отриманого П. С. Серговським для одиничного зразка [4]:

$$\tau = \frac{S^2}{\pi^2 \cdot a'} \cdot \ln\left(0,81 \cdot \frac{1}{\theta'}\right), \quad (1)$$

де τ – тривалість сушіння, с; S – товщина матеріалу, см; a' – коефіцієнт вологопровідності, $\text{см}^2/\text{с}$; θ' – безрозмірна температура, розраховують за формулою:

$$\theta' = \frac{W_{\text{кін}} - W_{\text{рів}}}{W_{\text{поч}} - W_{\text{рів}}}, \quad (2)$$

де $W_{\text{кін}}$, $W_{\text{поч}}$ – відповідно кінцева та початкова вологість матеріалу, %; $W_{\text{рів}}$ – рівноважна вологість середовища, %.

Таким чином визначають тривалість для будь-якого режиму в разі сушіння одиничного зразка. Для порівняння розрахункової тривалості сушіння з фактичною було проведено сушіння заготовок деревини дуба, дерева якого росли в Житомирській області, з використанням осцилювального режиму. Зразки товщиною 50 мм висушували в лабораторних умовах у сушильній шафі СНОЛ 67/350 від початкової вологості 75 % до кінцевої 8 %. Процес проводили за температури середовища 80 °С до моменту, коли температура всередині заготовки сягала 65 °С. Після цього зразки охолоджували до температури 35 °С.

Для визначення вологопровідності використовували зразки двох перерізів: радіального і тангентального розмірами 70 × 50 × 5 мм та 70 × 50 × 10 мм. Коефіцієнт вологопровідності визначали методом контактного зволоження за

температур: 25, 40, 60, 80 °C [6]. Цей метод передбачає зволоження двох зразків різної товщини, шляхом їхнього контакту із фільтрувальним папером відповідної вологості. Кількість зразків для кожного перерізу становила 9 шт., що забезпечує необхідну величину коефіцієнта варіації відповідно до рекомендацій [3]. Після розкрою зразки висушували в сушильній шафі 2В-151 за температури 102 ± 2 °C для досягнення абсолютно сухого стану.

Перед зволоженням зразки попередньо витримували в ексікаторі з сірчаною кислотою густиною $\rho = 1,26$ г/см³ для досягнення зразками необхідної рівномірно розподіленої рівноважної вологості $W_p = 12$ %. Потім їх обгортали фільтрувальним папером і розміщували в ексікаторі, зарядженому водою. Після чого зразки витримували у сушильній шафі за вищенаведених температур до стабілізації маси. Періодичне зважування зразків проводили на вагах AXIS A250 з точністю до 0,01 г з інтервалом в 1 годину.

Результати досліджень. Результати визначення межі гігроскопічності деревини дуба та їхню статистичну обробку за різних температур дослідження (25, 40, 60, 80 °C) наведено в табл. 1.

1. Залежність вологості межі гігроскопічності деревини дуба від температури

Температура, °C	Вологість межі гігроскопічності, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Варіаційний коефіцієнт, %	Показник точності, %
25	36,22	0,21	0,58	0,21
40	35,30	0,41	1,16	0,41
60	34,34	0,11	0,31	0,11
80	33,19	0,39	1,17	0,41

Бачимо, що зі збільшенням температури деревини дуба вологість межі гігроскопічності зменшується. Це пояснюється тим, що під час нагрівання деревини частина зв'язаної – гігроскопічної – води перетворюється на вільну, а під час охолодження нагрітої деревини – навпаки, кількість гігроскопічної води збільшується за рахунок вільної [7].

Після визначення межі гігроскопічності здійснено розрахунок коефіцієнтів вологопровідності. Порівняння розрахованого коефіцієнта вологопровідності

для тангентального напрямку з коефіцієнтом, визначеним П. С. Серговським [4] (табл. 2), показує розбіжність значень на 2-3 %.

2. Значення коефіцієнтів вологопровідності деревини дуба в тангентальному напрямку

Температура, °С	Розрахований коефіцієнт вологопровідності, $\times 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$	Коефіцієнт, отриманий Серговським П.С. [4], $\times 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$
25	0,93	0,95
40	1,92	2,05
60	2,51	2,70
80	4,68	4,85

Базисна густина деревини дуба склала 555 кг/м^3 . У табл. 2 наведено порівняння величин отриманої густини деревини дуба з відомими величинами літературних даних.

3. Значення базисної густини деревини дуба

Джерела	Базисна густина, кг/м^3
Розрахована густина	555
Дані, отримані П. С. Серговським [4]	560
Дані, отримані Б. Н. Уголевим [8]	570
Дані, отримані В. П. Пастернаком [9]	600

Отримане значення густини дуба відрізняється від наведених у літературних джерелах результатів. Значна відмінність із результатами, наведеними у праці [9], пояснюється тим, що автор досліджував фізичні властивості деревини, яка зростала в північно-східній зоні України. На варіацію густини однієї і тієї самої породи впливає місце її зростання, кліматичні умови, типи ґрунтів, вік, густина насаджень тощо. Навіть у межах одного стовбура густина деревини різних його частин може відрізнятися [10].

Отримана залежність коефіцієнтів вологопровідності для різних напрямків потоку вологи від температури (рис. 1) свідчить про перевагу радіального напрямку. Це пов'язано з наявністю серцевинних променів у напрямку току вологи, в яких анатомічні елементи мають поздовжній напрямок розташування. Це пояснює той факт, що тангентальні пиломатеріали висушуються швидше за радіальні.

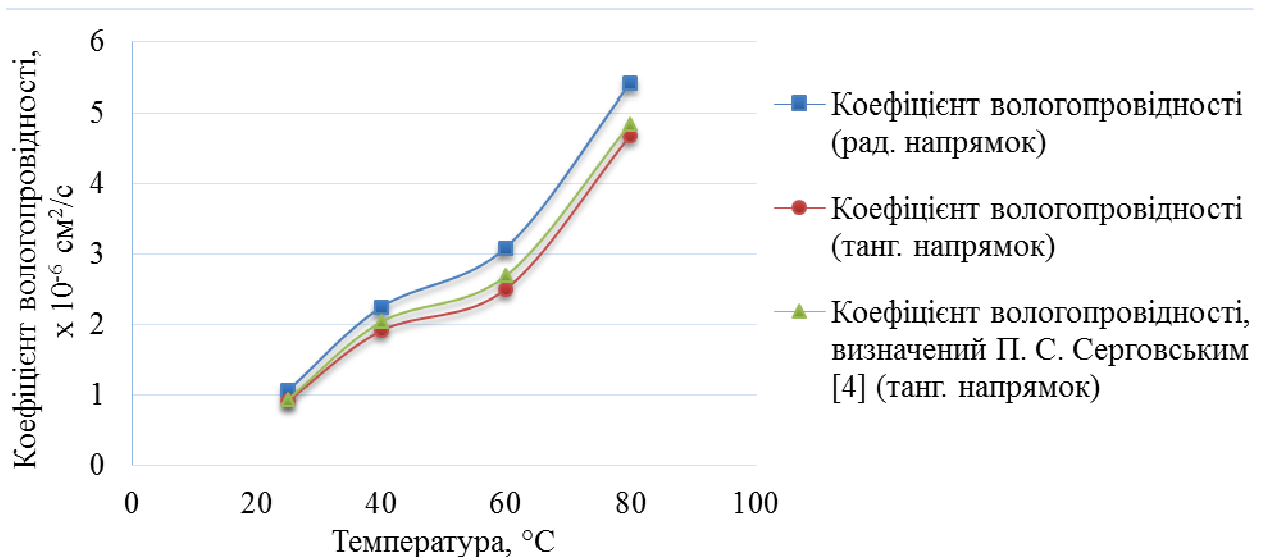


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів вологопровідності від температури

Отже, зі збільшенням температури коефіцієнт вологопровідності деревини дуба стрімко зростає, інтенсифікуючи переміщення вологи в матеріалі.

Отримані значення коефіцієнтів вологопровідності дали змогу розрахувати тривалість сушіння заготовок із деревини дуба товщиною 50 мм (рис. 2). Фактичний процес сушіння заготовок осцилювальним режимом тривав 638 год і складався з початкового прогрівання (3 год), 68 циклів охолодження, 67 циклів прогрівання та кінцевої тепловологообробки. Розрахунок тривалості за рівнянням (1) для нормального режиму дав змогу побудувати криву кінетики сушіння (рис. 3), де також подано експериментальну криву кінетики сушіння осцилювальним режимом.

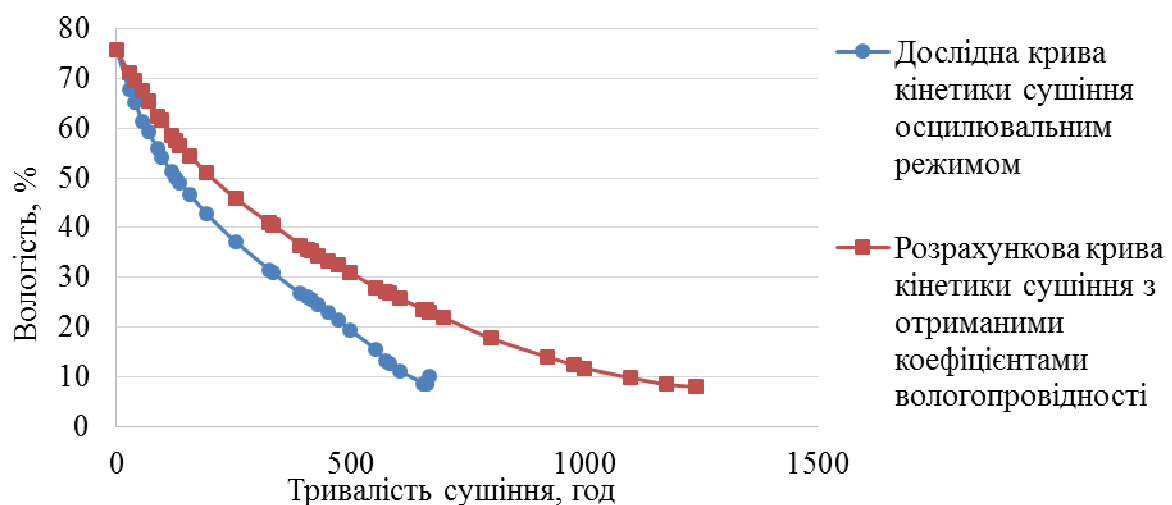


Рис. 2. Криві кінетики сушіння дубових заготовок завтовшки 50 мм

Бачимо, що експериментальна крива кінетики сушіння відрізняється від розрахункової, а саме, тривалість сушіння зменшується в 1,85 разу. Це пояснюється тим, що осцилювальні процеси інтенсифікують видалення вологи з деревини, а постійна зміна коефіцієнта вологопровідності в періоди нагрівання та охолодження сприяє кращій міграції вологи з середини матеріалу до його поверхні.

У результаті експериментальних досліджень із застосуванням осцилювальних режимів не було виявлено недопустимих дефектів сушіння – торцевих, поверхневих і внутрішніх тріщин, колапсу (рис. 3). Колір зразків не змінився.

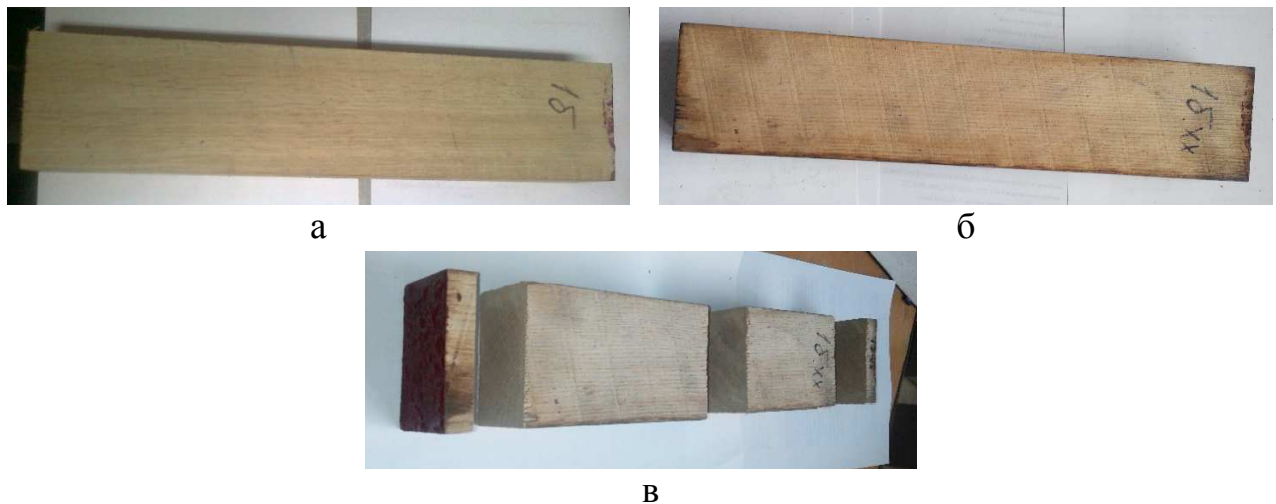


Рис. 3. Заготовки, висушені осцилювальним режимом: а – до сушіння; б, в – після сушіння

Процеси конвективного сушіння деревини пов'язані з явищами переміщення тепла і вологи в висушуваному матеріалі та взаємодією з навколишнім середовищем [5]. Ці явища в кількісному відношенні характеризуються закономірностями, які ґрунтуються на загальних властивостях явищ перенесення: кількість матерії, що переміщується за одиницю часу, прямо пропорційна різниці потенціалів перенесення і обернено пропорційна шляху її переміщення. Різниця потенціалів між двома точками тіла визначає рухому силу, що діє на ділянці між точками. Відомо, що переміщення вологи в висушуваному матеріалі відбувається за рахунок дій градієнтів

вологовмісту, температури та тиску. Очевидно, максимальної ефективності процесу сушіння буде досягнуто за умови однаково спрямованої дії всіх цих рухомих сил.

За ГОСТ 19773-84 [11] початкова температура, $t_{дер.норм.р.}$, на першому ступені нормального режиму сушіння дубових пиломатеріалів є низькою і становить 43 °С (рис. 4). Використання цих режимів пояснюється особливістю розвитку сушильних напружень у деревині. На перших стадіях сушіння температуру не можна високо підіймати, тому що за її тривалої дії швидко випаровується волога, $W_{пот.норм.р.}$, з поверхневих шарів. Унаслідок цього збільшується різниця значень вологості між центральним і поверхневими шарами матеріалу, що може призвести до виникнення великих внутрішніх напружень, результатом яких є поява поверхневих тріщин.

Специфікою осцилювальних режимів є сушіння матеріалу короткочасними імпульсами підвищених температур, $t_{дер.осц.р.}$ (рис. 4). У період охолодження температура в середовищі камери знижується, а ступінь насичення зростає, і відповідно підвищується рівноважна вологість. Температура всередині деревини перевищує температуру поверхневих шарів. За рахунок цієї різниці в деревині виникає позитивний градієнт температури, що зумовлює міграцію вологи з більш нагрітих шарів у менш нагріті, $W_{пот.осц.р.}$. В результаті поверхневі шари матеріалу звожуються, розподіл вологи за товщиною матеріалу вирівнюється, відбувається релаксація напружень.

На думку П. В. Любовицького [12], режими з цикловим прогріванням забезпечують необхідну якість сушіння і оптимальну продуктивність сушильних камер, крім цього, немає потреби у проміжкових і кінцевих вологообробках для зниження величини внутрішніх напружень. О. Є. Шишкіна [13] зазначила, що осцилювальні режими є сукупністю циклічних термовологообробок, які постійно зменшують внутрішні напруження. Отже, є необхідність розробки таких переривчастих режимів для дубових

пилотеріалів, що дасть змогу скоротити тривалість процесу і забезпечити бездефектне сушіння.

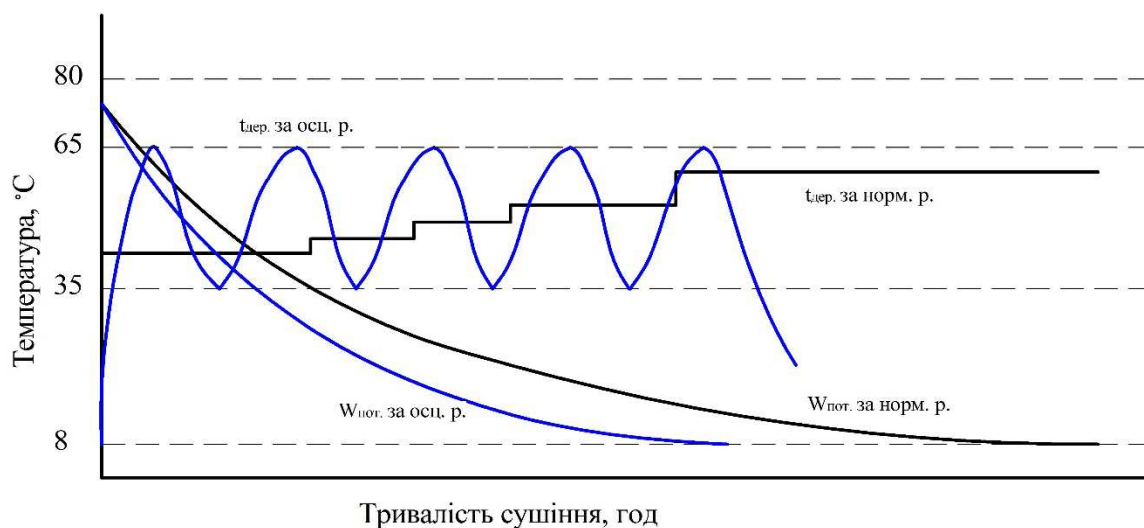


Рис. 4. Порівняння кінетики сушіння за різних режимів

Застосування осцилювальних режимів сушіння, крім того, дає можливість використовувати значно спрощені конструкції сушильних камер. Висушування матеріалу можна здійснювати в безкалориферних камерах, для виготовлення яких необхідні менші інвестиції порівняно з традиційними конструкціями [2]. Для цього необхідно дослідити фізико-механічні властивості деревини, висушеної осцилювальними режимами, вплив рівня температур нагрівання та охолодження на якість і тривалість сушіння пилопродукції різної товщини.

Висновки

Отримані значення коефіцієнтів вологопровідності та вологості межі гігроскопічності деревини дуба, що походив із Житомирської області, за різних температур є основою для розробки енергоощадних режимів сушіння.

Знайдені коефіцієнти вологопровідності та базисна густина дуба менші за відомі результати, що пов'язані з іншими умовами зростання.

Проведені дослідження осцилювальних режимів сушіння заготовок деревини дуба довели можливість застосування підвищених температур на початку процесу. Порівняння кривих кінетики сушіння показує, що застосування цих режимів не знижує якості матеріалу та сприяє зменшенню тривалості процесу.

Список літератури

1. Гороховский А. Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / А. Г. Гороховский. – Екатеринбург, 2008. – 39 с.
2. Пинчевская Е. А. Об ускорении сушки твердых лиственных пород древесины / Е. А. Пинчевская, В. С. Коваль, В. В. Борячинский // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика». – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – № 5, ч. 4. – С. 230–235.
3. Алпаткина Р. П. Исследование влагопроводности древесины главных отечественных пород : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 421 «Машины, оборудование и технология лесопильных и деревообрабатывающих производств» / Р. П. Алпаткина. – М., 1970. – 210 с.
4. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / П. С. Серговский, А. И. Расев. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
5. Лыков А. В. Тепломассообмен. Справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1978. – 480 с.
6. Пінчевська О. О. Щодо визначення коефіцієнта вологопровідності деревини сосни / О. О. Пінчевська // Науковий вісник НУБіП. – 2014. – № 198, ч. 1. – С. 303–307.
7. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины / И. В. Кречетов. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 328 с.
8. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учебник для сред. проф. образования / Б. Н. Уголев. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
9. Пастернак В. П. Біопродуктивність лісів північного сходу України в контексті змін клімату : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра

лісогосп. наук : спец. 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація», 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво» / В. П. Пастернак. – К., 2011. – 47 с.

10. Полубояринов О. И. Плотность древесины / О. И. Полубояринов. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 160 с.

11. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия : ГОСТ 19773-84. - [Дата введения 1984-01-01]. – М. : Стандартиформ, 2009. – 14 с. – (Межгосударственный стандарт).

12. Любовицкий П. В. Сушка древесины с цикловым прогревом (Опыт работы предприятий) / П. В. Любовицкий. – М. : Лесн. пром-сть, 1986. – 56 с.

13. Шишкина Е. Е. Сушка пиломатериалов в камерах малой мощности с естественной циркуляцией воздуха : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / Е. Е. Шишкина. – Екатеринбург, 2006. – 20 с.

Приведены результаты сушки дубовых заготовок толщиной 50 мм осциллирующим режимом, который показал возможность сокращения продолжительности процесса по сравнению с расчетной продолжительностью. Проведены экспериментальные исследования влажности предела гигроскопичности, коэффициентов влагопроводности и плотности древесины дуба обыкновенного, выросшего в Житомирской области.

Ключевые слова: *древесина дуба, осциллирующие режимы сушки, продолжительность сушки, коэффициент влагопроводности, плотность, предел гигроскопичности.*

The results of drying oak wood thickness 50 mm by oscillating schedules, which have shown the possibility of reducing the duration of process in comparison with the wood drying estimated duration, are described. Experimental study of the wood hygroscopicity limit, diffusion coefficient and wood density of oak, that grew up in Zhytomyr region, were shown.

Keywords: *oak wood, oscillating schedules, the drying period, diffusion coefficient, wood density, wood hygroscopicity limit.*