

*исследовать поведение материалов при нагрузке в зависимости от их энергетических свойств.*

**Ключевые слова:** *плиты MDF, ресурс долговечности, математическая модель, термоактивационная теория прочности.*

## **RELIABILITY ASSESSMENT METHOD MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (BOARDS MDF) USING MATHEMATICAL MODELS**

**L. Wojko, O. Ancyferova**

**Abstract.** *Medium density fibreboard widely used in construction (manufacture of laminate flooring and wall panels, ceiling beams and a variety of others.) and furniture production (manufacturing facades and structural elements of the body). To conduct the study used a stand on the basis of the testing machine P-5. The results of an experimental study of the durability of medium density fibreboard (MDF board), on the basis of which it was a mathematical (regression) model to predict the durability of MDF boards. The results MDF durability resource forecast plates on the regression model were compared with the results of calculations by kinetic theory of strength, and it was concluded that the thermally activated and regression model adequately describes the durability of the material, but the fundamental difference between the kinetic model of regression that it combines the impact on the durability of not only the external factors, namely, load and temperature, but also thermally activated parameters that characterize the inner energy potential. Therefore, thermally activated, and the model allows more informative to study the behavior of materials under load, depending on their energy properties.*

**Keywords:** *MDF boards, durability life, a mathematical model, the theory of thermally activated safety.*

**УДК 674.047**

## **ВПЛИВ РЕЖИМУ ОБРОБКИ НА ЯКІСТЬ СУШІННЯ ДУБОВИХ ЗАГОТОВОК**

**В. В. БОРЯЧИНСЬКИЙ**, аспірант \*

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

*E-mail:* Boryachinskiy@yandex.ua

**Анотація.** *Наведено результати визначення залишкових внутрішніх напружень у дубових заготовках товщиною 50 мм, висушених осцилюючим режимом. Проведено дослідження з визначення кількісної залежності деформацій зубців силових секцій від величини перепаду внутрішніх напружень з урахуванням експериментально*

---

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

*визначеного модуля пружності.*

**Ключові слова:** *деревина дуба, осцилюючі режими, якість сушіння, внутрішні напруження, модуль пружності.*

**Актуальність.** Для надання деревині споживчої якості в процесі її технологічної обробки важливе місце посідає сушіння [1]. Для деревообробного виробництва на сьогодні залишаються актуальними питання прискорення термінів сушіння пиломатеріалів за умови досягнення необхідної якості сушіння.

Оскільки режими сушіння з підвищеними температурами сприяють виникненню значно більших внутрішніх напружень, ніж низькотемпературні, дослідження спрямовані на виявлення ключових факторів, що впливають на терміни висушування без виникнення надмірних внутрішніх напружень у деревині дуба.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні у практиці мають місце декілька способів сушіння деревини: атмосферний, камерний (конвективний, кондуктивний, вакуумний, діелектричний способи та інші), комбіновані варіанти. Збереження високих природних механічних властивостей деревини досягають при сушінні атмосферним способом, але процес довготривалий та залежний від сезонів [2]. Основним способом сушіння на деревообробних підприємствах є камерне, яке відбувається за підвищених температур у сушильному обладнанні. Переважним способом є конвективне сушіння (90–95 %) [3], яке реалізується зазвичай у низькотемпературних камерах. Такі камери використовують для масового сушіння різних порід деревини, а їх застосування є найбільш поширеним у всьому світі [1; 4; 5], оскільки використання низьких температур у процесі сушіння забезпечує збереження природної міцності деревини і кольору. Однак термін сушіння хоч і скорочений порівняно з атмосферним способом, але досить тривалий, а це впливає на собівартість висушеної продукції.

Якість сушіння в основному залежить від обраного режиму сушіння та конструкції сушильної камери [1; 2]. Процес видалення вологи з твердих листових порід деревини має особливості, пов'язані зі складністю їхньої анатомічної будови: значна тривалість процесу, вибагливість до режимних параметрів сушіння, зумовлених температурно-вологісними межами, ризик виникнення браку тощо.

Під час процесу сушіння за високих температур виникають явища, які негативно впливають на якість висушеної деревини: надмірні напруження, що призводять до виникнення поверхневих тріщин (на початковій стадії сушіння), внутрішніх тріщин (на кінцевій стадії сушіння), колапсу, зниження показників міцності та інших фізико-механічних властивостей деревини [2; 5; 6].

Інтенсифікувати процес сушіння деревини можна за допомогою осцилюючих режимів із підвищеними температурами. Осцилюючі (циклічні, імпульсні, переривчасті) режими складаються з циклів нагрівання та охолодження [7; 8]. Упродовж сушіння цикли нагрівання та

оохолодження відіграють різну роль у процесах тепломасоперенесення [9] та зміни внутрішніх напружень [10–12]. У період циклічного нагрівання відбувається підвищення температури в сушильній камері, при цьому ступінь насичення агента сушіння поступово знижується. Це сприяє інтенсивному випаровуванню вологи з поверхневих шарів деревини, що зумовлює в цій зоні напруження розтягу.

У період оохолодження температура в середовищі камери знижується, а ступінь насичення зростає, і відповідно підвищується рівноважна вологість. Температура в середині деревини перевищує температуру поверхневих шарів. За рахунок цієї різниці в деревині виникає позитивний градієнт температури, що зумовлює міграцію вологи до поверхневих шарів, зволожуючи їх. З часом у результаті зволоження поверхні матеріалу перепад вологості в деревині вирівнюється, а напруження знижуються. Почергове нагрівання й оохолодження деревини запобігає зменшенню внутрішніх напружень, деформацій та зниженню міцності матеріалу.

Відомо, що повні внутрішні напруження мають дві складові: вологісну та залишкову [13; 14]. У висушеному матеріалі переважають залишкові внутрішні напруження, які є врівноваженими всередині пиломатеріалу і ззовні не проявляються. Щоб визначити наявність внутрішніх напружень, слід порушити рівновагу напруженого стану шляхом відокремлення частин матеріалу. Вимірюючи деформацію, що виникає після цього, визначають величину внутрішніх напружень.

**Мета дослідження** – визначення та оцінка залишкових напружень дубових заготовок висушених осцилюючим режимом.

**Матеріали і методи дослідження.** З метою визначення величини залишкових внутрішніх напружень було проведено дослідження якості сушіння дубових заготовок товщиною 50 мм, висушених осцилюючим режимом. Заготовки висушували в лабораторних умовах у сушильній шафі СНОЛ 67/350 до кінцевої вологості 8 %. Процес проводили за температури середовища 80 °С до моменту, коли температура в середніх шарах заготовки становила 65 °С. Після цього зразки оохолоджували до температури 35 °С. Циклічне нагрівання та оохолодження проводили до досягнення заготовками вологості 17 %, після чого деревину висушували до кінцевої вологості за постійної температури в камері 80 °С. Наприкінці процесу сушіння проводили вологотеплообробку (5 год за температури заготовок 65 °С). З висушуваних заготовок випилювали зразки для досліджень залишкових внутрішніх напружень.

Визначення відносної деформації зубців силових секцій проводили згідно з методикою ДСТУ 4921:2008 [15]. Для порівняння величини внутрішніх напружень було вирізано зразки за рекомендаціями європейського стандарту ENV 14464:2002 [16], який пропонує використовувати метод їх визначення за щільною.

Паралельно з силовими секціями було виготовлено секції для визначення модуля пружності та пружних деформацій. Визначення залишкових напружень проводили за методикою Б. Н. Уголева [13] за

ГОСТ 11603-73 [17]. Процедура складається з експериментального визначення пружних деформацій за товщиною матеріалу та пошарового модуля пружності і подальшого аналітичного підрахунку внутрішніх напружень.

Для цього із заготовок випиляли три секції товщиною 15 мм відповідно для визначення пошарової вологості, пружних деформацій та модуля пружності. Секції були витримані для вирівнювання вологості за температури  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  та відносної вологості повітря  $\varphi = 65 \pm 5\%$  протягом 4 діб. Для визначення залишкових напружень використано пристрій для вимірювання пружних деформацій з індикатором годинникового типу, що забезпечує точність вимірювання до 0,01 мм (рис. 3а) та пристрій для визначення пошарового модуля пружності за випробувань на згин, що забезпечує відлік навантаження з точністю до 1Н та вимірювання стріли прогину з точністю до 0,01 мм (рис. 3б).



а



б

**Рис. 1. Пристрої для вимірювання пружних деформацій (а) та пошарового модуля пружності (б)**

**Результати досліджень.** Візуалізацію результатів визначення величини деформацій зубців силових секцій (рис. 2а) та відхилення відстані між розкroeними шарами секцій (рис. 2б) за ENV 14464:2002 [16] для досліджуваних дубових зразків наведено в табл. 1.

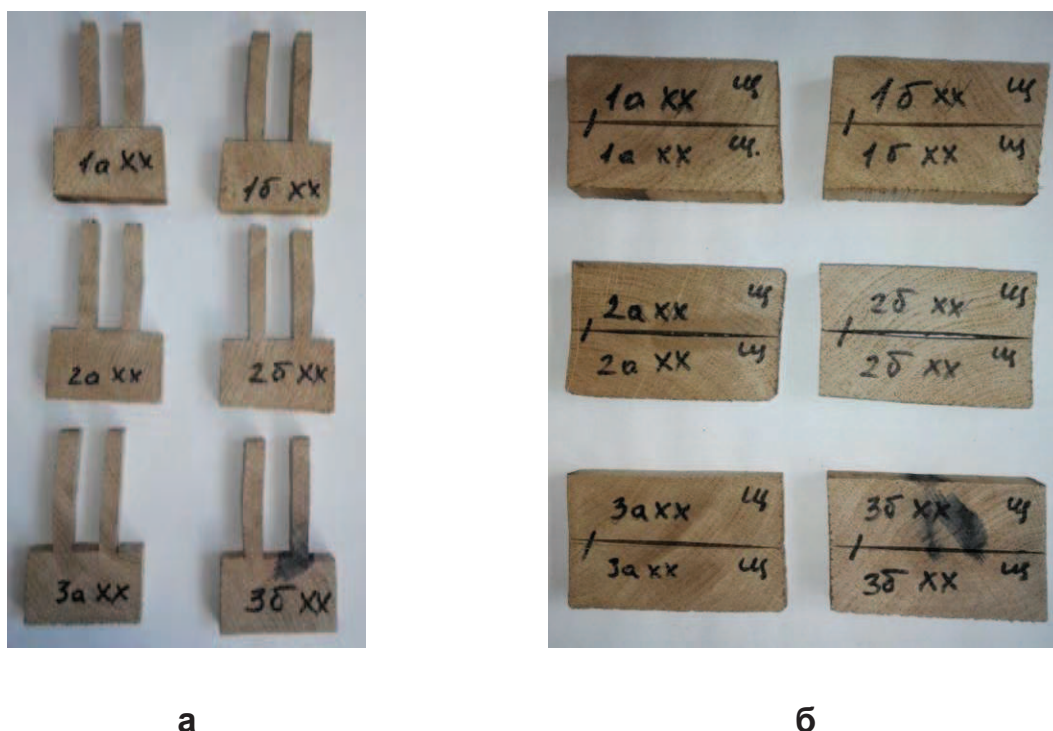


Рис. 2. Силкові секції вирізані з дубових заготовок: а – за методикою ДСТУ 4921:2008 [15], б – за методикою ENV 14464:2002 [16]

### 1. Результати величини деформацій силкових секцій

№ зразка	Відносна деформація зубців силкових секцій f [15], %	Відстань між шарами розкросних секцій за [16], мм
1а	1,06	1,7
1б	1,02	1,2
2а	1,04	1,8
2б	1,04	2,4
3а	1,02	1,7
3б	1,02	1,2

Відповідно до оцінки внутрішніх напружень за ДСТУ 4921:2008 [15] висушені заготовки відповідають I категорії якості сушіння. За ENV 14464:2002 [16] видно наявність деформацій, але в стандарті не наведено нормативних даних щодо допустимої величини напружень.

За результатами вимірювань для кількісної характеристики напруженого стану деревини було побудовано епюри напружень, з яких після вирівнювання площ епюр з різними знаками з метою дотримання умов рівноваги визначали величини перепаду напружень в заготовках після сушіння.

Під час побудови епюр напружень, що виникли після сушіння, майже у всіх зразків спостерігалось відхилення вигляду епюри напружень від нормального вигляду, а саме величина стискаючих напружень в одній з поверхневих зон була меншою за напруження в наступній зоні, що

прилягає до неї (рис. 3). Подібні епюри спостерігаються, як правило, в пиломатеріалах під час кінцевої вологотеплообробки, або після її недостатнього проведення [18].



**Рис. 3. Епюра залишкових напружень у зразку № 2а**

Проведені експерименти з визначення кількісної залежності деформацій зубців силових секцій ( $f$ , %) від величини перепаду залишкових внутрішніх напружень ( $\Delta\sigma$ , МПа) дали змогу визначити рівняння:

$$\Delta\sigma = 7,3904f - 6,4061. \quad (1)$$

Отже, відносній деформації зубців секції напружень  $f = 1$  % для деревини дуба відповідають такі значення перепаду напружень  $\Delta\sigma = 0,8$ - $1,7$  МПа.

Для оцінки величини отриманих значень перепаду напружень, їх слід порівняти з максимальною величиною напружень, що може привести до виникнення тріщин у виробах під час їх експлуатації. Межу міцності на розтяг в тангенціальному напрямку ( $\sigma_m$ , МПа) можна підрахувати за розрахунковою моделлю міцності деревини різних порід [14]. Так, для дубових заготовок, висушених за осцилюючим режимом до кінцевої вологості  $W_K = 8$  %, вона становить  $\sigma_m = 6,5$  МПа. Отримані експериментальні дані становлять відповідно 25 % від цієї граничної межі міцності на розтяг у тангенціальному напрямку. Тобто висушені заготовки мають певний запас міцності і не повинні в подальшій обробці деформуватися.

Відомо, що метод силових секцій не дає об'єктивної характеристики напруженого стану деревини, оскільки не передбачає експериментального визначення модуля пружності. В проведеному експерименті були отримані ці дані. За допомогою формули, отриманої [18], можна підрахувати деформації ( $f$ , мм) зубців силових секцій:

$$f_{розр} = \frac{f'}{a_1} 100\% = \frac{\Delta\sigma a_1}{2E\Delta x} 100\%, \quad (2)$$

де  $\Delta\sigma$  – перепад напружень на межі зони, що відповідає товщині зубця секції, визначений з побудованої епюри напружень, МПа;

$a_1$  – довжина зубця силової секції, мм;

$E$  – експериментально визначений модуль пружності, МПа;

$\Delta x$  – координата, мм.

За рівнянням (2) розраховано очікувані відносні деформації зубців секцій. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

## 2. Результати розрахунку очікуваних деформацій зубців секцій дубових заготовок

№ зр.	$f_{\text{експ}}, \%$	$\Delta\sigma, \text{МПа}$	$E_{\text{ср}}, \text{МПа}$	$a, \text{см}$	$\Delta x, \text{см}$	$f_{\text{розд}}, \%$
1а	1,06	1,40	343,14	4,7	0,8	1,20
1б	1,02	0,81	362,55	4,9	0,8	0,69
2а	1,04	1,02	282,92	4,8	0,8	1,08
2б	1,04	1,59	361,48	4,8	0,8	1,32
3а	1,02	1,72	367,79	4,9	0,8	1,43
3б	1,02	0,85	364,19	4,9	0,7	0,81

Порівняння розрахункових значень деформацій ( $f_{\text{розд}}, \%$ ) з експериментальними ( $f_{\text{експ}}, \%$ ) показало розбіжність. Коефіцієнт кореляції між цими величинами дорівнює  $r = 0,38$ . Це можна пояснити тим, що для дослідження було взято лише 6 заготовок. Проте значення деформацій зубців секцій як експериментально отриманих, так і розрахункових перебувають у межах вимог однієї категорії якості сушіння за [15]. Отже, величину внутрішніх напружень у деревині можна оцінювати за величиною прогину зубців силових секцій, форма яких залежить від застосованої технології сушіння.

**Висновки і перспективи.** Проведені дослідження сушіння заготовок деревини дуба осцилюючими режимами з підвищеними температурами довели можливість отримання якісної продукції. Запропонований режим сушіння дав змогу отримати якісну пилопродукцію з деревини дуба, яка відповідає I категорії якості сушіння за показником, що характеризує залишкові напруження.

Результати досліджень залишкових внутрішніх напружень за допомогою силових секцій, проведені після сушіння осцилюючим режимом дубових заготовок товщиною 50 мм в лабораторних умовах показали, що між величиною деформації зубців силових секцій та перепадом напружень за товщиною пиломатеріалу існує лінійний зв'язок. Отримано рівняння, яке дає змогу визначити величину внутрішніх напружень у висушеному матеріалі з дуба, не використовуючи еталонний трудомісткий метод, а лише виробничий за деформацією зубців силових секцій.

### Список використаних джерел

1. Пінчевська О. О. Управління якістю сушіння пиломатеріалів / О. О. Пінчевська, В. С. Коваль, Н. В. Марченко. – К. : Освіта України, 2012. – 176 с.

2. Селюгин Н. С. Сушка древесины / Н. С. Селюгин. – М. : Гослесбумиздат, 1945. – 536 с.
3. Болдырев П. В. Сушка древесины / П. В. Болдырев. – СПб. : Проффикс, 2002. – 156 с.
4. Білей П. В. Сушіння та захист деревини : підручник / П. В. Білей, В. М. Павлюст. – Львів : Видавництво «Кольорове небо», 2008. – 312 с.
5. Пінчевська О. О. Сучасне лісосушильне та лісопильне устаткування / О. О. Пінчевська, З. С. Сірко, В. С. Коваль, Н. В. Марченко. – Харків : ПФ «ЦентрІнформ», 2005. – 176 с.
6. Кречетов И. В. Сушка древесины / И. В. Кречетов. – М. : Лесная промышленность, 1977. – 496 с.
7. Захаржевский В. Г. Скоростная сушка древесины / В. Г. Захаржевский. – М., 1948. – 32 с.
8. Мингазов М. Г. Осциллирующие режимы сушки пиломатериалов / М. Г. Мингазов, Н. В. Качалин. – М. : ВНИПИЭИлеспром, 1976. – 49 с.
9. Сафин Р. Р. Современные тенденции развития технологии сушки древесины / Р. Р. Сафин // Вестник Тамбовского университета. Естественные и технические науки. – 2006. – Том. 11, вып. 4. – С. 583–585.
10. Косарин А. А. Технология импульсной сушки пиломатериалов : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / А. А. Косарин. – М., 2012. – 22 с.
11. Шишкина Е. Е. Сушка пиломатериалов в камерах малой мощности с естественной циркуляцией воздуха : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» / Е. Е. Шишкина. – Екатеринбург, 2006. – 20 с.
12. Любовицкий П. В. Сушка древесины с цикловым прогревом (Опыт работы предприятий) / П. В. Любовицкий. – М. : Лесная промышленность, 1986. – 56 с.
13. Уголев Б. Н. Внутренние напряжения в древесине при ее сушке / Б. Н. Уголев. – М. : Лесная промышленность, 1959. – 116 с.
14. Уголев Б. Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б. Н. Уголев. – М. : Лесная промышленность, 1971. – 176 с.
15. Пилопродукція. Оцінювання якості сушіння: ДСТУ 4921: 2008. – [Чинний від 2009-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 7 с. – (Національний стандарт України).
16. Sawn timber – Method for assessment of case-hardening: DD ENV 14464:2002. – 10 p.
17. Древесина. Метод определения остаточных напряжений: ГОСТ 11603-73. – [Действительный от 1975-01-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1973. – 11 с. – (Международный стандарт).
18. Пінчевська О. О. Ресурсозберігаюча технологія конвективного сушіння пиломатеріалів із заданими показниками його якості : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.23.06 «Технологія



деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини» / О. О. Пінчевська. – Львів, 2008. – 351 с.

### References

1. Pinchewska, O. O., Koval, V. S., Marchenko, N. V. (2012). Upravlinnya yakisty u sushynnykh pylomaterialiv [Quality management lumber drying]. Kiev: Osvita Ukrainy, 176.
2. Selugin, N. S. (1945). Sushka drevesiny [Drying wood]. Moscow: Goslesbumydat, 536.
3. Boldyrev, P. V. (2002). Sushka drevesiny [Drying wood]. St. Petersburg: Profyks, 156.
4. Biley, P. V. (2008). Sushynnya ta zahyst derevyny: pidruchnyk [Drying and protection of wood: textbook]. Lviv: Kolorove nebo, 312.
5. Pinchewska, O. O., Sirko, Z. S., Koval, V. S., Marchenko, N. V. (2005). Suchasne lisosushylne ta lisopylne ustatkuvannya [The modern sawmill and kiln equipment]. Kharkov: CentrInform, 176.
6. Krechetov, I. V. (1977). Sushka drevesiny [Drying wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 536.
7. Zaharzhievskiy, V. H. (1948). Skorostnaya sushka drevesiny [Speed of drying wood]. Moscow, 32.
8. Minhazov, M. H. (1976). Otsyilliruyushchie rezhymy sushki pilomaterialov [Oscillating schedules lumber drying]. Moscow: VNIPIEllesprom, 49.
9. Safin R. R. (2006). Sovremennye tendentcii razvitiya tekhnologii sushki drevesiny [Modern trends in the development of drying wood technology]. Bulletin of the University of Tambov. Natural and Technical Sciences, 11 (4), 583–585.
10. Kosarin, A. A. (2012). Tekhnologiya impulsnoj sushki pilomaterialov [Technology impulse drying lumber]. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow, 22.
11. Shishkina, E. E. (2006). Sushka pilomaterialov v kamerax maloj moshhnosti s estestvennoj cirkulyaciej vozduxa [Lumber drying in kiln of small capacity with natural air circulation]. Extended abstract of candidate's thesis. Ekaterinburg, 20.
12. Lubovytskiy, P. V. (1986). Sushka drevesiny s tsyklovym progrevom (Opyt raboty predpriyatij) [Drying wood with the cyclic warming (Experience enterprises)], Moscow: Lesnaya promyshlennost, 56.
13. Ugolev, B. N. (1959). Vnutrennie napryazheniya v drevesine pri ee sushke [Internal stresses in the timber during its drying]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 116.
14. Ugolev, B. N. (1971). Kontrol napryazhenij pri sushke drevesiny [Control stress when drying wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 176.
15. DSTU 4921 (2008). Pyloprodukcija. Otcinyuvannya yakosti sushynnykh [Saw-timber. Evaluation of drying quality].
16. ENV 14464 (2002). Sawn timber – Method for assessment of case-hardening.

17. GOST 11603-73. (1975). Drevesina. Metod opredeleniya ostatochnykh napryazhenij [Wood. Method for determination of residual stress].
18. Pinchewska, O. O. (2008). Resursozberigayucha tehnologiya konvektyvnogo sushinnya pylomaterialiv iz zadanyu pokaznykamy jogo yakosti [Resource-saving technology for convective drying of lumber with desired parameters of its quality]. Doctor's thesis. Lviv, 351.

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО СУШКИ ДУБОВЫХ ЗАГОТОВОК**

**В. В. Борячинский**

***Аннотация.** Приведены результаты определения остаточных внутренних напряжений в дубовых заготовках толщиной 50 мм, высушенных осциллирующим режимом. Проведенные исследования по определению количественной зависимости деформаций зубцов силовых секций от величины перепада внутренних напряжений с учетом экспериментально определенного модуля упругости.*

***Ключевые слова:** древесина дуба, осциллирующие режимы, качество сушки, внутренние напряжения, модуль упругости.*

## **THE EFFECT OF PROCESSING SCHEDULES ON THE QUALITY OF DRYING OAK SAMPLES**

**V. Boryachinskiy**

***Abstract.** The results of residual internal stresses in oak samples 50 mm thick dried oscillating schedules were shown. Elasticity modulus of oak wood was determined. Was determined the quantitative relationship between deformation of teeth power sections of and residual internal stresses.*

***Keywords:** oak wood, oscillating schedules, the drying quality, internal stress of wood, modulus of elasticity.*

**УДК 684.59**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ҐРУНТОВОК НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ЯКОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ НА ПЛИТАХ МДФ**

**Н. В. БУЙСЬКИХ**, кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри технології деревообробки,

**В. А. КУКЛА**, магістр

**Національний університет біоресурсів і природокористування  
України**

*E-mail:* nataby@meta.ua

***Анотація.** Висока популярність плит МДФ у виробництві меблів зумовлена можливістю отримувати на їхніх фасадах за допомогою лакофарбових матеріалів широку гаму кольорів. Враховуючи велике*