

76 from 1977-07-01. Moscow: Ministry of machine tool and instrumental industry of the USSR, 37.

5. Sirko, Z. S., Diakonov, V. K. (2013). Prystriy dlia vymiriuvannia byttia ta nezrivnovazhenosti instrumentiv. Patent of Ukraine for usefur model [A device for measuring beats and imbalances instruments]. E21V47/00. № 81448; declared 14.02.2013; published 25.06.2013, №12.
6. Balansirovka vrashhajushhihsja rezhushhih instrumentov [Balancing of rotating cutting tools]. Available at: www.wood.ru.

### **БАЛАНСИРОВКА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

**З. С. Сирко, В. К. Дьяконов, А. И. Народицкий**

**Аннотация.** Приведены современные методы балансировки дереворежущих инструментов. Описано статическую неуравновешенность и статическую балансировку инструментов, конструкции устройств для балансировки. Предложен новый прибор для измерения статической неуравновешенности инструментов, а также их радиального и торцевого биения.

**Ключевые слова:** балансировка, дереворежущий инструмент, дисбаланс, устройства для балансировки.

### **BALANCING WOODCUTTING TOOLS**

**Z. Sirko, V. Diakonov, O. Narodytsky**

**Absrtact.** Shows modern methods of balancing woodcutting tools. Imbalance describe static and static balancing tools, the design of devices for balancing. A new device for measuring static imbalance instruments and their mechanical and radial runout.

**Keywords:** balancing, woodcutting tools, disbalance, a device for balancing.

**УДК 674.049**

### **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ ГРАБА**

**О. О. ПІНЧЕВСЬКА**, доктор технічних наук, професор,

**В. М. ГОЛОВАЧ**, кандидат технічних наук,

**О. Ю. ГОРБАЧОВА**, асистент

**Національний університет біоресурсів і природокористування  
України**

**E-mail:** OPinchewska@gmail.com; vale\_go@mail.ru;  
gorbachova.sasha@ukr.net

**Анотація.** Наведено огляд технологій виготовлення термомодифікованої деревини та проаналізовано результати досліджень впливу температури, тривалості й умов термооброблення

---

© О. О. Пінчевська, В. М. Головач, О. Ю. Горбачова, 2016

*деревини різних порід деревини. Наведено режими термічного модифікування деревини граба, методу досліджень властивостей деревини і результати регресійного аналізу експериментальних досліджень з визначення деяких фізико-механічних властивостей термічно модифікованої деревини граба та визначені оптимальні параметри режиму її термічного оброблення.*

**Ключові слова:** *деревина граба, термомодифікація, режими оброблення, оптимізація режимів.*

**Актуальність.** Сьогодні в Україні існує проблема використання деревини граба. Це пов'язано з тим, що граб є супутньою породою для вирощування дубових насаджень. Інтенсивне ведення лісового господарства в дубових станах призвело до зменшення їхньої продуктивності, оскільки утворилися надлишкові насадження граба, які перешкоджають лісовідновленню дуба [1].

Граб має деревину світло-сірого кольору з блідою текстурою, завилькувату, важку, тверду, еластичну, зносостійку, проте на сьогодні не має промислового використання через значну кривизну стовбура. Тому виникла необхідність пошуку технологій, які дадуть змогу використовувати деревину граба з урахуванням його властивостей. Одним із напрямів є термічне модифікування деревини.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Процес термічного модифікування деревини досліджували в різних країнах протягом тривалого часу [2–7]. Результати переважно зосереджувалися на виявленні зміни хімічної структури і будови елементів деревини після оброблення за високих температур; збільшення стабільності геометричних розмірів, зміни міцності деревини листяних і хвойних порід після модифікування за температури в діапазоні 160–250 °С у різних середовищах.

Встановлено, що нагрівання деревини призводить до зниження маси і зменшення її об'єму, ступінь якого залежить від методу оброблення, температури і часу впливу. Термічна обробка за більш низьких температур призводить до низької втрати маси, що пов'язане з втратою летких речовин і зв'язаної води. Втрата високомолекулярних компонентів може відбуватися за температури вище 100 °С, а це передбачає збільшення значення як тривалості, так і температури нагрівання. Деревина листяних порід зазвичай має більшу втрату маси, ніж деревина хвойних порід при нагріванні в однакових умовах [8–11].

Підвищення стабільності розмірів термообробленої деревини залежить від режимів оброблення. Виявлено, що нагрівання сухої деревини за температури 165–205 °С тривалістю до 6 годин призводить до значного скорочення величини всихання. Зміна гігроскопічності деревини також пов'язана з тривалістю, температурою і середовищем процесу модифікування. Встановлено, що сорбційна здатність деревини зразків зменшується в міру підвищення часу і температури обробки [10].

Обробка деревини за високих температур призводить до зниження міцності, в'язкості і зносостійкості. Для деревини листяних порід характерна більша втрата міцності, ніж для хвойних при обробленні в ідентичних умовах [12].

На сьогодні існує декілька технологій термічного модифікування деревини за різних режимних параметрів (табл. 1).

### 1. Характеристика технологій термомодифікування деревини [13]

Технології термічного модифікування деревини (країна)	Агент оброблення	Температура оброблення, °С	Тривалість оброблення, год
Thermowood (Фінляндія)	Пароповітряна суміш з вмістом кисню 3,5 %	180–230	42–98
Plato-Wood (Голландія)	Перегріта вода	150–200	120–180
Ratification (Франція)	Пароповітряна суміш, збагачена азотом	160–280	10–20
Oil Heat Treated (ОHT) (Німеччина)	Високотемпературні органічні теплоносії, рослинні олії	180–220	12–15
West-Wood (США)	Перенасичена водяна пара	220–240	16–20
Bois Perdure (Франція)	Парогазова суміш	200–230	10–15
MIRAKO (Австрія)	Пароповітряна суміш	170–210	30–42
Vacuum Plus (Росія)	Вакуум	160–210	18–50

Серед наведених технологій термічного оброблення деревини, на нашу думку, доступними для виробничих потужностей України є технології Thermowood, Oil Heat Treated (ОHT), Plato-Wood. З аналізу режимних параметрів термічного оброблення виявлено, що немає режимів модифікування деревини граба. Це викликало необхідність розроблення оптимальних режимів термомодифікування цієї породи деревини.

**Мета дослідження** – оптимізація режимних параметрів термічного оброблення деревини граба на основі аналізу експериментальних досліджень впливу режимів обробки на деякі фізико-механічні властивості отриманого матеріалу.

**Матеріали і методи дослідження.** З метою встановлення залежності зміни деяких фізико-механічних властивостей від режиму

термічного оброблення проведено експериментальні дослідження згідно зі стандартними методиками з визначення густини [14], величини всихання [15] і вологопоглинання [16], межі міцності за статичного згину [17] і стиску вздовж волокон [18], ударної твердості [19] і показника стирання [20]. Для цього було виготовлено герметичний пристрій для термічного оброблення деревини з ручним управлінням.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Зразки деревини граба піддавали впливу температури 160, 190 і 220 °С протягом різного часу в повітряному середовищі без доступу кисню (табл. 2).

## 2. Режими термомодифікування деревини граба

Режими термомодифікування			Розміри зразків, мм			
№ з/п	Температура оброблення Т, °С	Тривалість оброблення т, год.	довжина	ширина	товщина	
1	контрольний		300	80	5	
2	160	1				
3		10				
4		20				
5	190	1				20
6		10				
7		20				
8	220	1				30
9		10				
10		20				

Для дослідження впливу параметрів режиму термічного оброблення деревини граба побудовано повний двофакторний план експерименту – табл. 3.

## 3. Приклад матриці повного факторного аналізу впливу термічного оброблення на властивості деревини граба

$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	Т, °С	т, год.	$Y = F(T, t)$
1	1	1	1	220	20	$Y_1$
1	-1	1	-1	160	20	$Y_2$
1	1	-1	-1	220	1	$Y_3$
1	-1	-1	1	160	1	$Y_4$

Перевірку однорідності дисперсій і адекватності моделі проводили використовуючи G-критерій і F-критерій, що зводиться до порівняння розрахункового коефіцієнта з табличним [21]. Результати регресійного аналізу наведено в табл. 4.

Оскільки виконуються умови нерівності, то моделі приймаються як адекватні і можуть бути використані для опису вихідних параметрів.

Перевірка адекватності рівнянь регресії для ударної твердості і стирання показала, що моделі адекватні, проте коефіцієнти регресії  $b_1$ ,  $b_2$

та  $b_{12}$  є незначущими, кореляційний зв'язок також не встановлено. Тобто термічне модифікування деревини граба не впливає на ці властивості.

#### 4. Перевірка адекватності регресійних моделей вихідних параметрів

№ з/п	Вихідний параметр	Од. виміру	Рівняння регресії	Показник G-критерію		Показник F-критерію	
				G <sub>розр</sub>	G <sub>табл</sub>	F <sub>розр</sub>	F <sub>табл</sub>
1	Базова густина	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{баз}} = 747,02 - 14,63X_1 - 23,06X_2 + 3,27X_1X_2$	0,48	0,60	2,13	4,11
2	Всихання	%	$\beta_{\text{рад}} = 6,43 - 0,73X_1 - 0,90X_2 - 0,17X_1X_2$	0,39	0,60	4,00	4,11
			$\beta_{\text{танг}} = 5,35 - 1,64X_1 - 1,06X_2 - 0,001X_1X_2$	0,41	0,60	4,10	4,11
3	Вологопоглинання	%	$U_{\text{пог}} = 15 - 3,86X_1 - 1,75X_2 - 0,05X_1X_2$	0,32	0,60	0,22	4,11
4	Межа міцності за стиску вздовж волокон	МПа	$\sigma_{\text{ст.в.в}} = 88,48 + 0,32X_1 + 5,12X_2 - 1,83X_1X_2$	0,32	0,60	0,25	4,11
5	Межа міцності за статичного згину	МПа	$\sigma_{\text{згин}} = 146,71 - 28,53X_1 + 0,001X_2 - 18,08X_1X_2$	0,38	0,71	4,46	4,49

За результатами імітаційного моделювання на основі розрахунків за методом крутого сходження визначено оптимальні режимні параметри термічного модифікування деревини граба (рис.).

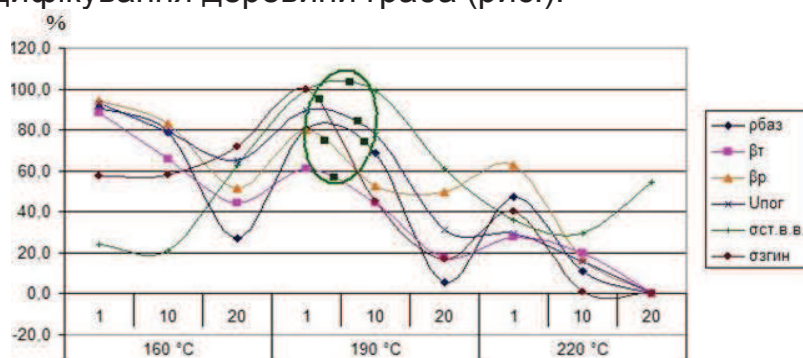


Рис. Область оптимальних режимних параметрів термічного модифікування деревини граба

Видно, що кращих результатів досліджуваних фізичних і механічних властивостей деревини граба можна досягти за таких параметрів режиму термооброблення – температури  $t = 190$  °C і тривалості в діапазоні  $t = 8$ – $12$  год. Оброблення деревини за таких режимів сприяє зменшенню показників всихання вздовж і поперек волокон та величини вологопоглинання. Це свідчить про стабільність геометричних розмірів, тобто таку деревину можна використовувати в середовищі зі значними

перепадами температури і вологості. Після термічного модифікування зменшується базова густина – деревина граба стає легкою, проте не втрачає своєї твердості. Збільшення межі міцності за статичного згину і стиску уздовж волокон, а також збереження стійкості деревини на стирання дає змогу використовувати термооброблену деревину граба для виготовлення покриттів для підлоги, садових меблів та декору, облаштування терас, дитячих майданчиків.

**Висновки і перспективи.** Проаналізовано результати досліджень впливу режимів термічного модифікування на зміну властивостей деревини. Виявлено, що на зміну фізико-механічних властивостей термообробленої деревини окрім температури і тривалості оброблення впливають умови обробляючого середовища.

Схема процесу модифікації деревини високими температурами базується на трьох етапах, і всі наявні технології відрізняються тільки температурними режимами. Розглянувши основні технології термооброблення деревини, потрібно зазначити, що за різних температур модифікування властивості деревини змінюються по-різному. Тому у виборі раціональної технології потрібно орієнтуватися на ті властивості, яких потрібно досягнути в першу чергу.

Наведено результати регресійного аналізу впливу режимів термомодифікування на деякі фізико-механічні властивості термообробленої деревини граба. Встановлено, що запропоновані моделі є адекватними і можуть бути використані для опису впливу режимних параметрів на ці властивості. Винятком є ударна твердість і показник стирання, в рівняннях регресії яких усі коефіцієнти є незначущими, тобто температура не впливає на ці характеристики.

Визначено параметри оптимального режиму термічної обробки деревини граба. Це дає змогу визначитися з напрямом використання матеріалу, який може застосовуватися для виготовлення виробів (садові меблі, терасна дошка, покриття підлоги тощо), які експлуатуються в середовищі зі значними перепадами температури й вологості.

#### **Список використаних джерел**

1. Культури дуба звичайного у дібровах [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://asyan.org/potr>.
2. Stamm A. J. Heat stabilized wood (staybwood). Rep. Nr. R. 1621 / A. J. Stamm, H. K. Burr, A. A. Kline. – Madison : Forest Prod. Lab, 1946. – P. 18.
3. Buro A. Die Wirkung von Hitzebehandlung auf die Pilzresistenz von Kiefern-und Buchenholz / A. Buro // HolzRoh- Werkstoff. – 1954. – 12. – P. 297–304.
4. Topf P. Versuche zur Frage der Selbstentzündung, des Gewichtsverlustes, des Brennwertes und der Elementaranalysen / P. Topf // HolzRoh- Werkstoff. – 1971. – 29. – P. 295–300.

5. Гордон Л. В. Современная лесохимия / Л. В. Гордон, Д. Н. Лекторский; [под ред. и с предисл. С. П. Насакина]. – М. : Гослестехиздат, 1935. – 142 с.
6. Tjeerdsma B. F. Thermal modification of non-durable wood species II / B. F. Tjeerdsma, M. Boonstra, H. Militz. – IRG/WP 98-40124, 1998. – P. 10.
7. Берлин А. А. Исследования в области химии и технологии облагороженной древесины и пластмасс / А. А. Берлин ; [под ред. заслуж. деятеля науки проф. Л. П. Жеребова]. – М. : Гослесбумиздат, 1950. – С. 175.
8. Seborg R. M. Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood / R. M. Seborg, H. Tarkow and A. J. Stamm // Journal of the Forest Products Research Society. – 1953. – 3 (3). – P. 59–67.
9. Millett M. A. Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C / M. A. Millett, G. C. Gerhards // Wood Science. – 1972. – 4 (4). – P. 193–201.
10. Rusche H. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. I. Strength properties of wood after heat treatment / H. Rusche // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1973. – 31 (7). – P. 273–281.
11. Rusche H. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C / H. Rusche. – Part II. Reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1973. – 31 (8). – P. 307–312.
12. Hill C. A. S. Wood modification - chemical, thermal and other processes / C. A. S. Hill. – John Wiley & Sons Ltd, Chichester UK, 2006. – P. 239.
13. Основные технологии термомодификации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.estw.ru/tecnology.html>.
14. Древесина. Метод определения плотности : ГОСТ 16483.1-84. – [Дата введения 1985-07-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
15. Древесина. Метод определения усушки ГОСТ 16483.37-88. – [Дата введения 1990-01-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с. – (Межгосударственный стандарт).
16. Древесина. Метод определения влагопоглощения : ГОСТ 16483.19-72\*. – [Дата введения 1974-01-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 4 с. – (Межгосударственный стандарт).
17. Древесина. Метод определения предела прочности при статистическом изгибе : ГОСТ 16483.3-84. – [Дата введения 1985-07-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
18. Древесина. Методы определения прочности при сжатии вдоль волокон : ГОСТ 16483.10-73. – [Дата введения 1974-07-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
19. Древесина. Метод определения ударной твердости : ГОСТ 16483.16-81. – [Дата введения 1983-01-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с. – (Межгосударственный стандарт).

20. Древесина. Метод определения показателя истирания : ГОСТ 16483.39-81. – [Дата введения 1983-01-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с. – (Межгосударственный стандарт).
21. Пижурин А. А. Исследования процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. – М. : Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

### References

1. Kul'tury duba zvychnoho y dibrovakh [Culture of oak in the wood]. Available at: <http://asyan.org/potr>.
2. Stamm, A. J., Burr, H. K. and Kline, A. A. (1946). Staybwood. Heat stabilized wood. *Industrial and Engineering Chemistry*, 38 (6), 630–634.
3. Buro, A. (1954). Die Wirkung von Hitzebehandlung auf die Pilzresistenz von Kiefern-und Buchenholz. *HolzRoh- Werkstoff*, 12, 297–304.
4. Topf, P. (1971). Versuche zur Frage der Selbstentzündung, des Gewichtsverlustes, des Brennwertes und der Elementaranalysen. *HolzRoh- Werkstoff*, 29, 295–300.
5. Hordon, L. V., Lektorsky, D. N. (1935). *Sovremennaya lesohimiya* [Modern wood chemistry]. Moscow, Russia: Goslestehizdat, 142.
6. Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Militz, H. (1998). Thermal modification of non-durable wood species II. IRG/WP 98-40124, 10.
7. Berlin, A. A. (1950). *Issledovaniya v oblasti himii i tehnologii oblagorodzhennoy drevesiny i plastmas* [Research in the field of chemistry and technology of refined wood and plastics]. Moscow, Russia: Goslesbumizdat, 175.
8. Seborg, R. M., Tarkow, H. and Stamm, A. J. (1953). Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal of the Forest Products Research Society*, 3 (3), 59–67.
9. Millett, M. A. and Gerhards, G. C. (1972). Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C. *Wood Science*, 4 (4), 193–201.
10. Rusche, H. (1973). Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. I. Strength properties of wood after heat treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31 (7), 273–281.
11. Rusche, H. (1973). Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. Part II. Reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31 (8), 307–312.
12. Hill, C. A. S. (2006). *Wood modification - chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester UK, 239.
13. *Osnovnye tehnologii termomodifikacii* [Main technology of thermal modification]. Available at: <http://www.estw.ru/tecnology.html>.
14. GOST 16483.1-84 (1999). *Drevesina. Metod opredeleniya plotnosti* [Wood. Method for determination of density].
15. GOST 16483.37-88 (1999). *Drevesina. Metod opredeleniya usushki* [Wood. Method for determination of shrinkage].



16. GOST 16483.19-72 (1999). Drevesina. Metod opredeleniya vlahopohloshcheniya [Wood. Method for determination of moisture absorption].
17. GOST 16483.3-84 (1999). Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri staticheskom izhibe [Wood. Method for determination of ultimate strength in static bending].
18. GOST 16483.10-73 (1999). Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri szhatii vdol volokon [Wood. Method for determination of ultimate strength under compression along the grain].
19. GOST 16483.16-81 (1999). Drevesina. Metod opredeleniya udarnoy tverdosti [Wood. Method for determination of hardness of the shock].
20. GOST 16483.39-81 (1999). Drevesina. Metod opredeleniya pokazatelya istiraniya [Wood. Method for determination of the abrasion index].
21. Pizhurin A. A. (1984). Issledovaniya processov derevoobrabotky [Research of woodworking processes]. Moscow, Russia: Lesn. prom-st, 232.

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ ГРАБА

Е. А. Пинчевская, В. М. Головач, А. Ю. Горбачева

**Аннотация.** Проанализированы результаты исследований влияния температуры, продолжительности и условий термообработки древесины различных пород. Приведен обзор технологий изготовления термомодифицированной древесины. Приведены режимы термического модифицирования древесины граба, методику исследований свойств древесины и результаты регрессионного анализа экспериментальных исследований по определению некоторых физико-механических свойств. Определены оптимальные параметры режима термической обработки древесины граба.

**Ключевые слова:** древесина граба, термомодификация, режимы обработки, оптимизация режимов

### OPTIMIZATION OF MODES OF THERMAL TREATMENT OF HORNBEAM WOOD

O. Pinchevska, V. Holovach, O. Gorbachova

**Abstract.** The results of studies of the effect of temperature, duration and conditions of heat treatment of wood of various breeds are given. The review thermomodified technologies of wood is shown. An modes of thermal modification of hornbeam wood, methodology studies the properties of wood and regression analysis results of experimental studies to determine some physical and mechanical properties are given. The optimum settings for thermal modification of hornbeam wood are determined.

**Keywords:** hornbeam wood, thermal modification, processing modes, optimization of modes, durability, stability of geometrical dimensions.