

ЩОДО ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОГО МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИНИ ГРАБА

*О. Ю. Горбачова, асистент**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проаналізовано технології виготовлення термомодифікованої деревини. Наведено її переваги порівняно зі звичайною деревиною, а також методику проведення і результати експериментальних досліджень з визначення деяких фізико-механічних властивостей деревини граба до та після термічного модифікування різними режимами.

***Ключові слова:** деревина, термічне оброблення, технологія, акустичний опір, межа міцності, граб.*

Деревина завжди була одним із найпоширеніших будівельних матеріалів. Це доступний, швидковідновлювальний, легкий і простий в обробленні матеріал. Спочатку використовували круглі матеріали малого діаметра, але з часом більш практичні пиломатеріали у вигляді дошок і брусів витіснили круглу деревину.

Упродовж століть деревину в будівництві використовували для створення фундаментів, зовнішніх і внутрішніх стін, покриттів для підлоги, опорних конструкцій, виробництва вікон, дверей, меблів тощо. Однак в останні десятиліття відбулися значні зміни на ринку будівельних матеріалів, унаслідок яких деревина втрачає свою частку, не витримуючи конкуренції з альтернативними недеревними і деревно-композиційними матеріалами.

У будівництві переважно застосовують хвойні породи деревини, а у виготовленні меблів – твердолистяні породи. Вже зафіксовано дефіцит останніх, оскільки вони поновлюються в 7–10 разів повільніше, ніж малоцінні

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

м'які породи і, як наслідок, зростає їхня вартість. З метою покращення фізико-механічних властивостей м'яких порід розроблено нову технологію модифікування деревини в спеціальних камерах за певних температурних режимів. Зовні оброблена деревина практично не відрізняється від цінних порід, крім того, підвищуються її твердість, водостійкість, хімічна і біологічна стійкість. Нова технологія дала змогу отримати принципово новий вид композиційного матеріалу – термічно модифіковану деревину [1].

Мета дослідження – проаналізувати наявні технології термічного модифікування деревини і визначити вплив термічного оброблення на деякі властивості деревини граба.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження і оптимізація термічного модифікування деревини відбувалися в різних країнах протягом тривалого часу. Так, Alfred J. Stamm вперше у 1946 р. спробував підвищити стійкість деревини до дереворуйнівних грибків при обробці в розчині гарячого металу [2]. Buro (1954–1955 рр.) вивчав термооброблення деревини в різних газових середовищах. Інші особливості термічної модифікації деревини досліджували довгий час і переважно зосереджувалися на зміні хімічної структури деревини після оброблення за високих температур (Sandermann і Augustin (1963 р.); Kollmann і Fengel (1965 р.); Topf (1971 р.); Tjeerdsma (1998 р.); Д. Н. Лекторський (1935 р.), А. А. Берлин (1980 р.), В. Г. Матвеев (1965 р.)); збільшенні стабільності геометричних розмірів (Kollmann і Schneider (1963 р.), П. С. Серговський (1975 р.), Л. О. Лепарський (1975 р.), Н. Я. Солечник (1930 р.), В. С. Чудінов (1968 р.), Ю. М. Губер (2012 р.)) і міцності матеріалу (Schneider (1971 р.), Rusche (1973 р.), а також E. Fruhwald, S. Poncsak, E. Giebeler, Jun Li Shi). У 1973 р. Burmester виявив покращення характеристик деревини після її термічного оброблення під тиском. Далі цей процес досліджував Giebeler (1983 р.). V. Mottonen, M. Backstrom, T. Karki вивчали жолоблення термічно модифікованої деревини. М. Н. Akyildiz і S. Ates розглядали вплив високих температур на вологовміст деяких порід деревини [3, 4, 5].

Це стало основою для сучасних досліджень, які проводили у Фінляндії, Франції, Італії, Нідерландах, Росії. Особливістю фінської технології Thermowood є те, що термічну модифікацію виконують у захисному середовищі водяної пари за температури 185–212 °С. Таким способом можна обробляти свіжозрубану і попередньо висушену деревину. Голландська технологія Plato базується на циклічному термічному гідролізі деревини за температури 160–190 °С. Французька технологія Retification забезпечує термічну модифікацію деревини вологістю $W = 12\%$ за температури 220–250 °С у середовищі ненасиченої водяної пари. Основний напрям цієї технології – оброблення хвойних і листяних пиломатеріалів різної товщини. Німецька технологія Oil Heat Treated (ОНТ) основана на сушінні деревини в рідких органічних речовинах за чотирьох температурних режимів. Як захисне середовище використовують рослинні олії (лляну, соняшникову, ріпакову). Таке середовище забезпечує добрий теплообмін і сприяє видаленню з деревини кисню. Технологія фірми Vacuum Plus передбачає оброблення деревини в вакуумі за температури 160–210 °С. Основою російської технології фірми ВIKOS-ТМТ є сушіння деревини за надлишкового тиску в захисному паровому середовищі за температури 180–220 °С [6].

Незважаючи на різноманітність температурних режимів і умов зовнішнього середовища, технологія базується на трьох кроках – сушінні, термообробленні та охолодженні [7]. Сушіння – найтриваліший етап теплового оброблення деревини: за допомогою пари і тепла температура в камері підвищується до 130 °С, а вологість у деревині наближається до нуля. Під час термооброблення температура всередині піднімається до 180–240 °С, в середовищі майже насиченої пари, яка запобігає горінню деревини і впливає на зміни її хімічних властивостей; тривалість цього етапу 2–3 години. Протягом охолодження температура знижується до 80–90 °С, деревина знову зволожується для досягнення кінцевого рівня вологи 4–7 %; тривалість цього етапу залежить від температури оброблення, сорту деревини і займає 5–15 годин (рис. 1).

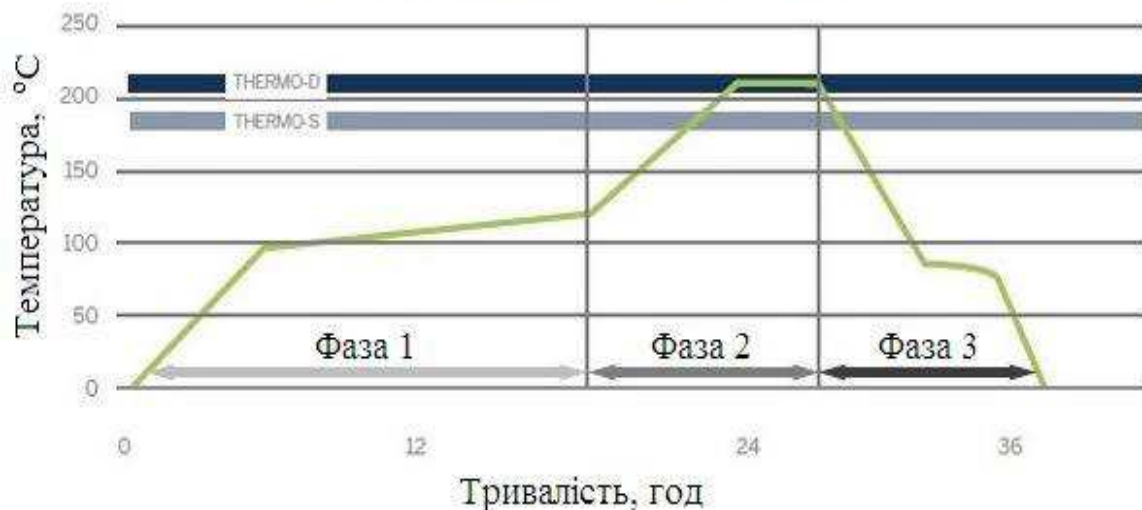


Рис. 1. Діаграма технологічного процесу Thermowood [8]

Встановлено, що за дії на деревину температури 180–250 °C і певних умов середовища утворюється новий високотехнологічний продукт – термічно модифікована деревина, ТМД (Thermally Modified Timber). Це натуральний, екологічно чистий матеріал, який має низку унікальних властивостей порівняно зі звичайною або будівельною деревиною [9]. Зокрема, термічне оброблення деревини зменшує рівноважну вологість на 40–50 % порівняно з необробленою, для термодеревини W становить 3–5 %; спостерігається в 15–25 разів збільшення біологічної довговічності внаслідок розкладання геміцелюлози за високих температур без введення хімічних захисних речовин. За рахунок деполімеризації целюлози довжина її ланцюгів зменшується, тому показники стійкості ТМД до перепаду температури і вологості збільшуються в 10–15 разів. Отже, вона не всихає і не розбухає.

Під впливом високих температур відбуваються зміни у структурі деревини, які супроводжуються рівномірною по всьому перерізу зміною кольору, чим досягається ефект цінних порід. Таким чином можна отримувати будь-які відтінки, від світло-жовтого до чорного. Відомо, що гігроскопічність ТМД у 3–5 разів є меншою, і теплопровідність також менша на 20–25 % порівняно з необробленою деревиною. Після термічного оброблення знижується вміст смоли у хвойних породах деревини; частково підвищуються еластичність і твердість вогнестійкість деревини.

На властивості ТМД впливає температура оброблення. В табл. 1 наведено характеристики та сферу застосування термомодифікованої деревини.

1. Характеристики та сфера застосування термодеревини [6]

Зміни властивості деревини після термомодифікації	Листяні породи		Хвойні породи	
	Температура модифікування, °С			
	185–200	200–220	190–200	212–230
Стійкість до зміни параметрів довколишнього середовища	+	+	+	+
Біостійкість	++	++	++	++
Зниження теплопровідності	+	++	+	++
Підвищення стабільності геометричних розмірів	+	+	+	++
Зниження рівноважної вологості	+	++	+	++
Зменшення маси	+	++	+	++
Зафарбовування	+	++	+	++
Міцність на згин	без змін	–	без змін	–
Сфера застосування	Внутрішнє оснащення приміщень; виготовлення кімнатних і садових меблів, підлогового покриття кімнат і бань, клеєних щитів	Внутрішнє і зовнішнє оснащення приміщень, саун; виготовлення кімнатних і садових меблів, підлогового покриття кімнат і бань, клеєних щитів	Внутрішнє оснащення приміщень; виготовлення конструкційних матеріалів, кімнатних і садових меблів, покриття підлоги, вікон і дверей, клеєних щитів	Зовнішнє оснащення приміщень, саун і ванних кімнат; виготовлення терас, причалів, садово-паркових конструкцій, зовнішніх вікон і дверей, покриття підлоги, меблів

++ значне підвищення, + підвищення, – пониження

Відповідно до європейського стандарту EN 335-1-2006 [10], що регламентує міцність деревини і виробів із неї, можна виділити три класи термодеревини (табл. 2).

2. Характеристика класів термодеревини

Показник	Класи термодеревини		
	1	2	3
Температура оброблення, °С	190	210	230
Зміни властивостей деревини	Без змін	Підвищення стійкості матеріалу до загнивання, зниження еластичності деревини	Високі показники стійкості до загнивання
Сфера застосування	Аналогічна необробленій деревині	Від пиломатеріалів до малих архітектурних форм, вікон і дверей, меблів для саду і дому	Виготовлення вікон і дверей, зовнішнього облаштування стін і вуличних настилів

Отже, чим вища температура оброблення деревини, тим меншу густину і міцність матиме матеріал, а термін експлуатації його збільшується.

Асоціація Thermowood класифікує термічно оброблену деревину тільки на два класи – Thermo S (stability – стабільність) і Thermo D (durability – міцність). У табл. 3 порівняно властивості термообробленої і необробленої сосни.

3. Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей термомодифікованої і необробленої сосни [11]

Характеристика	Thermo S до 185 °С	Thermo D до 230 °С	Необроблена сосна
Густина, кг/м ³	540–560	510–530	470–540
Міцність на згин, МПа	100–105	90–95	70–92
Модуль еластичності, МПа	14 000–14 500	13 200–13 500	8000–13 000
Твердість за Брінелем, МПа	1,6–1,65	1,65–1,7	1,6
Паропроникність (за EN 927-4) [12]	5–7 %	5–7 %	24–28 %
Теплопровідність, Вт/мК	0,09–0,11	0,09–0,11	0,15–0,19

Як бачимо, показник паропроникності зменшується в 4–5 разів, що призводить до підвищення стабільності розмірів. Дещо збільшується показник

твердості, міцність на згин і модуль пружності. Найбільші зміни властивостей відбуваються під час термооброблення за температури 185 °С.

За останні десятиліття у світі випробувано значну кількість режимів термічного модифікування і досліджено їхній вплив на зміну фізико-механічних властивостей деревини дуба, берези, сосни, ялини, менше бука, тополі, ліщини, клена, ялиці, евкаліпта [13].

Сьогодні в Україні виникла проблема використання деревини граба. Останніми роками спостерігається масове незаконне вирубування дуба. Експорт деревини закордон тільки у Львівській області в 2014 р. виріс майже на 80 %. Таке ведення лісового господарства призводить до зменшення продуктивності дубових лісів. Незважаючи на те, що багато вчених визнають граб бажаним компонентом у насадженнях дуба звичайного, він є потужним конкурентом для дуба і витісняє його із насаджень (може займати 30–100 % загальної площі дібров). Таким чином утворені похідні насадження граба перешкоджають лісовідновленню дуба [14].

Деревина граба світла, сірого кольору з блідою текстурою, завилькувата, важка, тверда, еластична, зносостійка. Історично склалося так, що його деревину використовували для виготовлення деталей машин, товарів народного споживання. Через складність оброблення застосовують при виготовленні паркетного покриття, дрібних деталей (спиці, гвинти, держак для інструментів), ДСП і ДВП [15].

Альтернативним розв'язанням такої ситуації є застосування термічного оброблення для покращення властивостей деревини граба. Це питання на сьогодні досліджено мало. З метою визначення впливу термічного оброблення деревини на деякі її фізико-механічні властивості було виготовлено пристрій для термічного оброблення деревини (рис. 2). Для проведення експерименту використано зразки деревини граба, попередньо термомодифікованої в герметичній камері без доступу кисню різними режимами.



Рис. 2. Пристрій для термічного оброблення деревини [16]

Порівняльні дослідження механічних властивостей необробленої і термомодифікованої деревини граба проводили на розривній машині Р-5 згідно зі стандартними методиками [17, 18, 19], також визначили базову густину зразків [20].

Статистично опрацьовані результати експериментальних досліджень деяких фізико-механічних властивостей наведено в табл. 4.

4. Експериментальні дослідження деяких властивостей необробленої і термомодифікованої деревини граба

Марка зразка	Параметри режиму модифікування деревини		Показники			
	Температура, °С	Тривалість, год	Базова густина деревини, ρ_b , кг/м ³	Межа міцності за стиску вздовж волокон, МПа	Межа міцності за стиску поперек волокон, МПа	Межа міцності за статичного згину, МПа
1 (контроль)	-	-	795,76	72,7	76,7	146
2	160	1	787,98	81,2	81,4	167
3	160	10	778,05	80,1	76,2	168
4	160	20	735,32	95,1	71,2	185
5	190	1	779,75	108,2	79,5	222
6	190	10	769,64	108,0	26,2	151
7	190	20	717,18	94,4	23,4	114
8	220	1	752,19	85,5	51,5	144
9	220	10	721,63	83,1	18,4	93
10	220	20	712,60	92,1	14,7	92

Результати досліджень показали неоднозначність впливу режимів термічного оброблення на механічні властивості деревини граба. Спостерігається незначне збільшення границі міцності за стиску вздовж волокон для термообробленої деревини усіма режимами.

Одночасно проводили дослідження акустичного опору для аналогічних зразків деревини. Для визначення звукопоглинаючих властивостей необробленої і термомодифікованої деревини граба використано віброакустичний метод визначення частоти звукових коливань [21]. Він ґрунтується на виявленні власної (резонансної) частоти зразка f , коли через нього пропускають детермінований звуковий сигнал із підвищеною частотою. Отримані значення власної частоти зразка дають змогу визначити динамічний модуль пружності деревини, а потім її акустичний опір.

Акустичний опір вказує на здатність деревини підсилювати або поглинати звук. Видно, що термічне оброблення деревини сприяє зменшенню значення акустичного опору в обох поперечних напрямках (рис. 3).

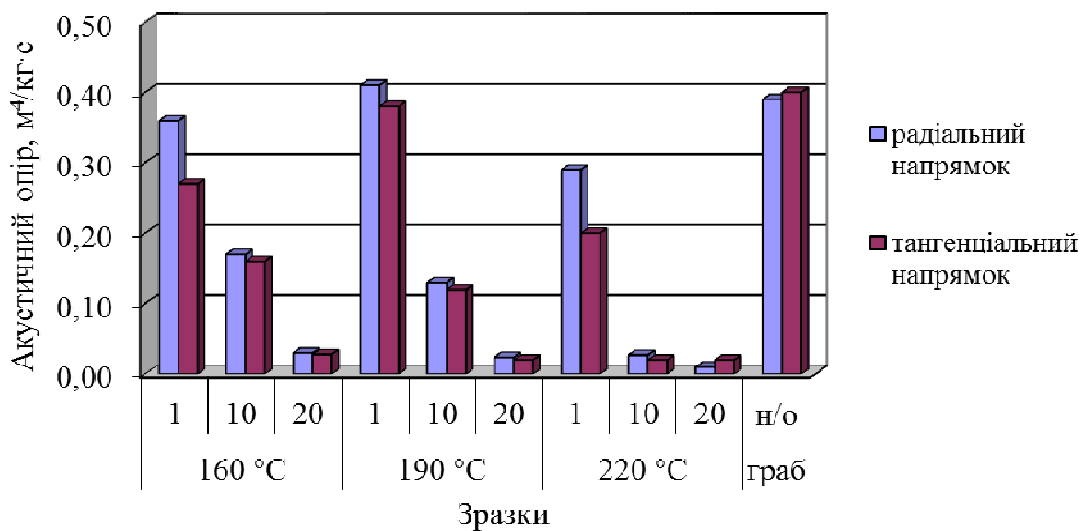


Рис. 3. Вплив режимів термічного оброблення на акустичний опір у радіальному і тангенціальному напрямках

Найменші значення акустичного опору – $0,02 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$ – спостерігаються у тангенціальному напрямку у зразків 7, 9 і 10, що були термомодифіковані за високих температур.

Висновки

1. Проаналізовано результати досліджень властивостей модифікованої деревини. Виявлено, що на зміну фізико-механічних властивостей деревини впливають режими й умови оброблення.

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

3. Наведено методику і результати дослідження деяких фізико-механічних властивостей. Встановлено, що для зразків деревини граба, які піддавали термічному обробленню високими температурами тривалістю 10 і 20 годин, акустичний опір має найменше значення. Тому таку термомодифіковану деревину доцільно використовувати як звукоізоляційний матеріал із високими естетичними властивостями для оздоблення приміщень.

Список літератури

1. Термообработанная древесина WEST-WOOD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.west-wood.ru.

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. Rapp A. O. Oil heat treatment of wood in Germany - State of the art / A. O. Rapp, M. Sailer // Review on heat treatments of wood, Proceedings of the special seminar of COST Action E22. – Antibes, France, 2001. – P. 15.

4. Владимирова Е. Г. Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки» / Е. Г. Владимирова. – М., 2012. – 22 с.

5. Губер Ю. М. Експериментальне дослідження розбухання термодревини бука / Ю. М. Губер, В. М. Мицко // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2012. – Вип. 22.13. – С. 131–136.
6. Террасная доска Woodplast [Електронний ресурс]. – Режим доступа: www.woodplast.ua.
7. Termo wood [Електронний ресурс]. – Режим доступа: www.termo-wood.ru.
8. Finnish Thermowood Association. Thermowood Handbook. Wood Focus Oy. – Helsinki, Finland, 2003. – P. 66.
9. Термомодифицированная древесина [Електронний ресурс]. – Режим доступа: www.termo-drevesina.ru.
10. EN 335-1-2006 «Прочность древесины и деревянных изделий. Определение классов. Часть 1. Общие положения».
11. Уралдрев СК [Електронний ресурс]. – Режим доступа: www.uraldrev.ru.
12. BS EN 927-4:2000 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Assessment of the water-vapour permeability.
13. Unlas O. Properties of wood and wood based materials subjected to thermal treatments under various condition / O. Unlas, U. Buyuksari, N. Ayrimis, S. Korkut. – International Conference “WOOD SCIENCE AND ENGINEERING IN THE THIRD MILLENNIUM” – ICWSE, 2009. – P. 81–94.
14. Культури дуба звичайного у дібровах [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://asyan.org/potr>.
15. Серода Н. С. Рациональное использование граба / Н. С. Серода. – М. : Лесная пром-сть, 1965. – 90 с.
16. Пінчевська О. О. Деякі фізико-механічні властивості термомодифікованої / О. О. Пінчевська, В. М. Головач, О. Ю. Горбачова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків : Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2014. – Вип. 147. – С. 3–9.

17. Древесина. Методы определения прочности при сжатии вдоль волокон : ГОСТ 16483.10-73. – [Дата введения 1974-07-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).

18. Древесина. Метод определения условного предела прочности при сжатии поперек волокон : ГОСТ 16483.11-72. – [Дата введения 1973-01-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 5 с. – (Межгосударственный стандарт).

19. Древесина. Метод определения предела прочности при статистическом изгибе : ГОСТ 16483.3-84. – [Дата введения 1985-07-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).

20. Древесина. Метод определения плотности : ГОСТ 16483.1-84. – [Дата введения 1985-07-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт)

21. Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний ГОСТ 16483.31-74. – [Дата введения 1975-07-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).

Проанализированы технологии изготовления термомодифицированной древесины. Приведены ее преимущества в сравнении с обычной древесиной, а также методика проведения и результаты экспериментальных исследований по определению некоторых физико-механических свойств древесины граба до и после термического модифицирования различными режимами.

Ключевые слова: *древесина, термическая обработка, технология, акустическое сопротивление, предел прочности, граб.*

Analysis of manufacturing technology thermal modified wood. Shows its advantages over untreated wood. Methodology and results of experimental studies of the some physical and mechanical properties of hornbeam wood before and after thermal modification are described.

Keywords: *wood, heat treatment, technology, acoustic resistance, tensile strength, hornbeam.*