

Юрій ЦАПКО,

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-0625-0783

Олексій ЦАПКО,

PhD, ст. досл., доцент

ORCID: 0000-0003-2298-068X

Ольга БОНДАРЕНКО,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-8164-6473

Наталя ЛЯЛІНА,

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0002-9364-0925

Костянтин КАВЕРИН,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-9086-5953

Аліна ЮЩЕНКО,

студентка

ORCID: 0009-0002-0936-5789

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ КОЛЬОРУ ТЕРМІЧНОМОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Доведено, що колір деревини має тенденцію темніти внаслідок зміни хімічних компонентів деревини, такі як деградація аморфних вуглеводів під час термічної обробки при високій температурі. Дія високих температур упродовж певного часу на деревину покращує не тільки її стабільність розмірів, довговічність, а й надає привабливий темний колір. Застосування термічної обробки суттєво змінило значення параметрів кольору L^ , a^* , b^* у зразках термомодифікованої деревини. Параметр L^* на торцевій та пластевій поверхнях був помітно вищим (72 для торцевої поверхні та 80 для пластевої) у контрольних зразків. Внаслідок термічної обробки значення L^* суттєво зменшилось вже за температури 160 °C, тривалість оброблення становила 10 год. до 44 і 47 відповідно. Вагомий вплив на потемніння кольору має тривалість термічного модифікування. Також досліджено вплив різних типів лакофарбових матеріалів, нанесених на поверхні зразків, до яких застосовували термічну обробку при різних температурах, на стан кольору. Спостерігається значне потемніння торцевої поверхні зразків термічномодіфікованих за 160 °C та за 190 °C упродовж 1 години під час опорядження маслом-воском та лазур'ю. Тобто забарвлення деревини, отримане при низькій температурі обробки, можна збільшити за допомогою нанесення цих захисних речовин і зробити матеріал більш привабливим. В наступних дослідженнях оцінено стійкість кольору термічномодіфікованої деревини, додатково обробленої маслом-воском та лазур'ю, а також адгезію цих захисних речовин до поверхні під дією чинників середовища. Визначено вплив різних типів захисних речовин на забарвлення поверхні термічнообробленої деревини. Нанесення масла-воску та лазурі на поверхню зразків також вплинуло на*

потемніння їх забарвлення. Можна сказати, що термічнооброблені зразки, структура яких змінилася, порівняно із звичайною деревиною, демонструють різну взаємодію з нанесеними матеріалами.

Ключові слова: *термічномодифікована деревина, зміна забарвлення, система CIE L*a*b*, лакофарбові матеріали, потемніння.*

Актуальність теми дослідження. Підвищення рівня інформації про існування та практичність виробів з деревини, яка не містить жодних токсичних консервантів, збільшило популярність термообробленої деревини. Тому використання цього промислового матеріалу поступово зростає. Її використовують як для приміщень, так і для зовнішнього оздоблення будівель. Область застосування включає меблі, паркет, елементи облицювання, столярні вироби, жалюзі тощо [1].

Для високих температур упродовж певного часу на деревину покращує не тільки її стабільність розмірів, довговічність, а й надає привабливий темний колір. Термічнооброблена деревина часто цінується за спектр забарвлення від світло-коричневого до темно-коричневого. Тому термооброблена деревина іноді пропонується як заміник деяких тропічних листяних порід. Як часом обробки, так і температурою процесу модифікування можна варіювати, для того щоб отримати бажаний колір. Тривалий час оброблення та підвищена температура зазвичай надають деревині більш темний колір. Однак досягнуте забарвлення не є стійким до впливу світла і потребує захисту [2, 3].

Тому метою даного дослідження була можливість обґрунтувати захисні покриття для стійкості кольору термомодифікованої деревини граба до впливу УФ-випромінювання. Ці результати дозволять надати надійний показник ефективності використання термообробленої деревини в умовах зовнішнього середовища та розробити заходи для більш тривалого збереження забарвлення виробів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні роки під час захисту деревини приділяється більше уваги екологічно безпечному аналогу до традиційних процедур. Один з існуючих методів – це термічна модифікація деревини. Модифікована у такий спосіб деревина не потребує просочення будь-якими шкідливими або хімічними речовинами, а тому готовий матеріал не створює екологічного забруднення середовища. Відомо, що у процесі термообробки деревина нагрівається до високих температур, коливаючись від 160 до 260 °C, і витримується залежно від бажаних властивостей матеріалу упродовж різного часу [4, 5]. В результаті зменшується рівноважний вміст вологи, покращується гідрофобність, стабільність розмірів зростає, покращується захист від біологічних пошкоджень. Хоча відбуваються і втрати механічних характеристик.

Не зважаючи на це термічно модифікована деревина має багато напрямків застосування для зовнішнього оздоблення території, так і оформлення інтер'єру [4, 6, 7, 8] оскільки набуває рівномірний колір від світло- до темно-коричневого. Адже колір деревини є важливим для споживачів з точки зору естетики. Термічну модифікацію можна вважати недорогим альтернативним методом зміни забарвлення деревини для імітації більш дорогих екзотичних порід.

Відомо, що деревина змінює свій колір в результаті складної хімічної деградації геміцелюлози та екстрактивних речовин під час впливу тепла [9]. Зміна кольору поверхні деревини разом з іншими характеристиками поверхні вивчалася в багатьох дослідженнях [10, 11, 12]. Для оцінки зміни кольору зразків під дією

температури упродовж певного часу ефективно застосовували систему CIE L*a*b* [13, 14].

Вивітрювання – процес повільної деградації матеріалів під впливом умов середовища включаючи сонячне світло, вологу, температуру, вітер та біологічні агенти. Вивітрювання деревних поверхонь може спричинити кольорові, хімічні, фізичні, механічні та мікроскопічні зміни. Дослідження природного вивітрювання завжди займає багато років. Тому багато досліджень стійкості термомодифікованої деревини до впливу середовища проводять в штучно створених умовах [15–17]. Тести на штучне вивітрювання, як правило, вважаються моделюванням зовнішніх умов, і включають лише цикли впливу УФ-світла та вологи.

Авторами [3] випробувано стійкість кольору деревини ялини, бука, приморської сосни та серцевини тополі. Зразки попередньо пройшли термообробку при 240 °C протягом 2 годин в середовищі азоту. Після опромінення люмінесцентними лампами UVA-340 упродовж 835 год результати показують, що стійкість кольору для термообробленої деревини є кращою. Ймовірно це відбувається внаслідок модифікації лігніну та мономерів фенольних сполук.

Термічно оброблені (при 160 та 200 °C) зразки деревини опромінювали сильною ртутною лампою. Результати оцінки кольору показали, що екстрактивний вміст деревини відіграє важливу роль у зміні кольору не тільки під час термічної обробки, але й під час опромінення світлом. Було встановлено, що термічна обробка при 200 °C зменшує зміну червоного кольору, спричинену фотодеградацією. На зміну фотодеградації жовтого кольору термічна обробка вплинула менше, що свідчить про неможливість деградації лігніну під дією світла. Загалом дія температури дещо зменшила ефект зміни кольору через опромінення. У цьому випадку термічна обробка при 160 °C була більш ефективною, ніж обробка при 200 °C [18].

Авторами [19] встановлено, що після термообробки за 190 та 220 °C зміна кольору поверхні китайської ялиці під час витримування у природних умовах відбувалася повільніше. Виявлено збільшення ступеню розпаду структури деревини. Тому поверхня термомодифікованої деревини вимагає застосування додаткових засобів захисту.

Досліджено ефекти прискореного вивітрювання чергуванням опромінення УФ-світлом та водяним розпилюванням на зміну кольору зразків сосни, бука і ялини [20]. Поверхні були пофарбовані 1, 2 або 3 шарами коричневого акрилу покриття Superwax. Найнижчу стійкість кольору, що оцінювалася в кольоровій системі CIE-L * a * b *, мала поверхня деревини букових зразків, що пофарбовані лише 1 шаром Superwax. Найвищу стійкість до зміни кольору мала ялина, пофарбована 3 шарами цього покриття.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що термічне модифікування деревини здатне протистояти зміні забарвлення під дією УФ-випромінювання. Додаткове оброблення поверхні захисними речовинами сприяє повільнішому вигорянню кольору, тому такі вироби з термомодифікованої деревини вимагають рідшого догляду під час експлуатації. Це свідчить про доцільність проведення даного дослідження із визначення рівня захисту від світла поверхні термообробленої деревини, що забезпечить більш тривалий термін застосування будівельних конструкцій в умовах дії сонця.

Постановка завдання. Метою даної роботи є оцінка стійкості забарвлення поверхні термомодифікованої деревини граба, обробленої масло-воском та лазурю в умовах впливу прямого сонячного проміння та температурно-вологісних полів.

Матеріали і методи досліджень. В рамках дослідження були використані зразки граба. Ця деревина не має широкого використання в меблевій та деревообробній промисловості, але на сьогодні в Україні утворилася значна кількість запасів. У даному дослідженні вивчали стійкість деревини граба розмірами $10 \times 20 \times 10$ мм (рис. 1).

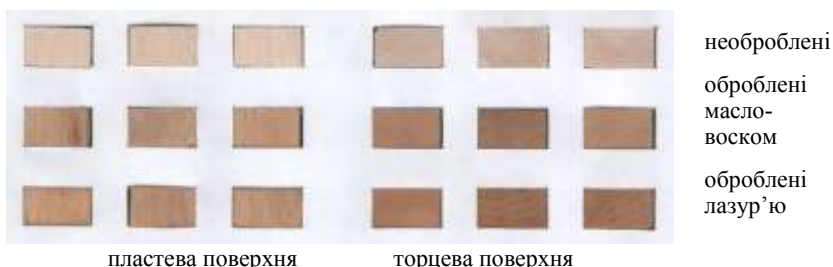


Рис. 1. Зразки не модифіковані деревини граба оброблені масло-воском та лазур'ю

Після сушіння в класичній сушильній шафі до вологості 8 % пиломатеріали розкроїли на зразки розмірами $300 \times 85 \times 10$ мм. Термічне оброблення зразків проводили за технологією ThermoWood® у три етапи. Спочатку досушували деревину до вологості 0 % за температури 105°C упродовж 1 години. Другий етап – термічне модифікування – проводили за трьох різних (160 , 190 та 220°C), тривалість 1, 10 та 20 год. Етап кондиціонування проводили без розпилювання води із самовільним зменшенням температури в камері (рис. 2).

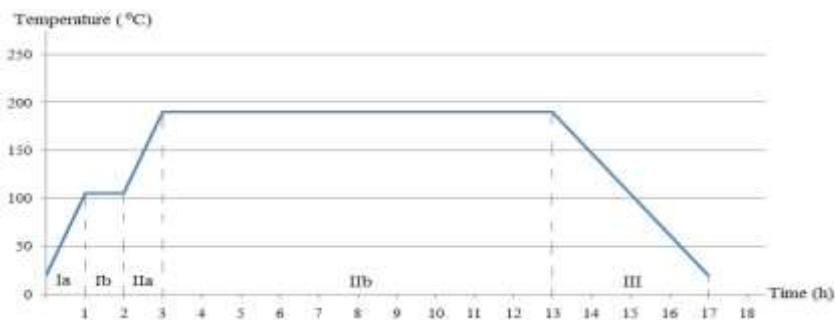


Рис. 2. Схема проведення процесу термічного модифікування на прикладі режиму температура 190°C , тривалість 10 год

Після тижневої акліматизації вирізали дослідні зразки розмірами $10 \times 20 \times 10$ мм загальною кількістю 180 шт. Після шліфування поверхні наносили захисні речовини методом занурення у два етапи з проміжним сушінням 24 год. У якості дослідних лакофарбових матеріалів застосували масло-віск зовнішнього призначення на основі лляного масла та натурального воску, також лазур.

Колір визначали на торцевій та пластовій поверхнях зразків деревини граба після термічної обробки та після нанесення лакофарбових матеріалів у тривимірному кольоровому просторі CIEL* a* b*. У цій системі L* (світлість) характеризує колір від чорного до білого ($L^* = 0$ для чорного, $L^* = 100$ для білого), a* – від червоного (позитивні значення) до зеленого (від'ємні значення) та b* – від жовтого до синього (рис. 3).

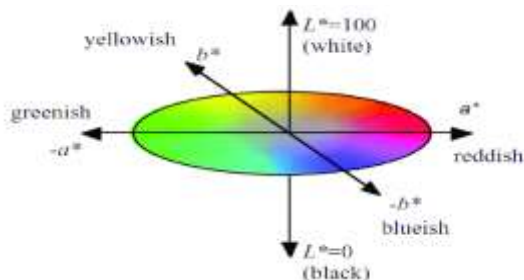


Рис. 3. Тривимірна кольорова система CIELAB

Вісь L* характеризує світлість кольору, a* і b* – хроматичні координати кольору. У системі CIELAB координати + a* та -a* представляють червоний та зелений відповідно. Параметр + b* позначає жовтий, -b* – синій. L* може варіювати від 100 (білий) до 0 (чорний). Зміну відповідного параметра кольору ΔL^* , Δa^* і Δb^* розраховували відносно контрольних необроблених зразків деревини з рівнянь:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{treated}} - L^*_{\text{control}}, \quad (1)$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{treated}} - b^*_{\text{control}}, \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{treated}} - a^*_{\text{control}}. \quad (3)$$

Основна частина. Колір деревини має тенденцію темніти внаслідок зміни хімічних компонентів деревини, такі як деградація аморфних вуглеводів під час термічної обробки при високій температурі.

На рис. 4-6 наведено зовнішній вигляд зразків після термічної модифікації за температури 160 °C упродовж різного часу та оброблення маслом-воском та лазур'ю.

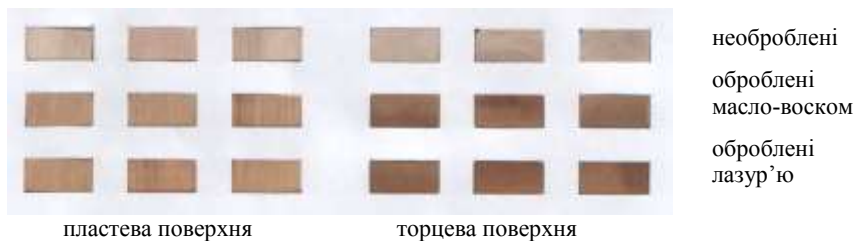


Рис. 4. Зразки деревини граба модифіковані за температури 160 °C упродовж 1 год, оброблені маслом-воском та лазур'ю

Результати багатьох досліджень підтверджують, що зміни кольору в результаті термічної обробки пов'язані з модифікацією полісахаридних структур, випаровуванням екстрактів барвників та швидким окисленням лігніну та деяких хімічних елементів при високій температурі.

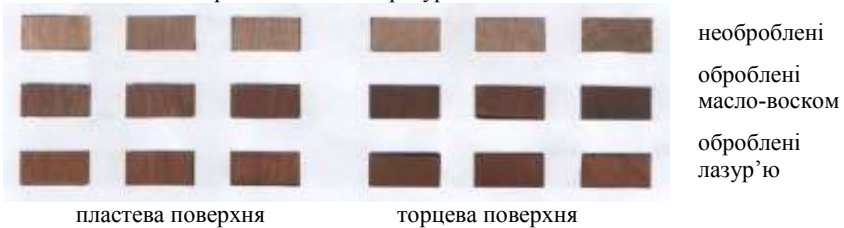


Рис. 5. Зразки деревини граба модифіковані за температури 160 °С упродовж 10 год, оброблені масло-воском та лазур'ю



Рис. 6. Зразки деревини граба модифіковані за температури 160 °С упродовж 20 год, оброблені масло-воском та лазур'ю

На рис. 7-9 зображено зовнішній вигляд зразків деревини граба після термічної модифікації за температури 190 °С упродовж різного часу та оброблення масло-воском та лазур'ю.

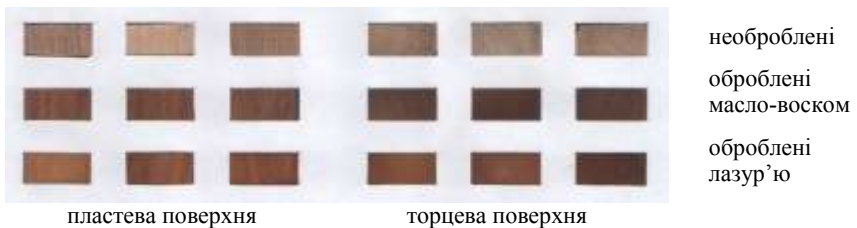


Рис. 7. Зразки деревини граба модифіковані за температури 190 °С упродовж 1 год, оброблені масло-воском та лазур'ю

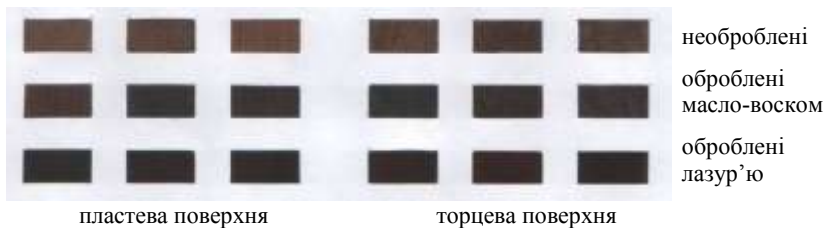


Рис. 8. Зразки деревини граба модифіковані за температури 190 °С упродовж 10 год, оброблені масло-воском та лазур'ю

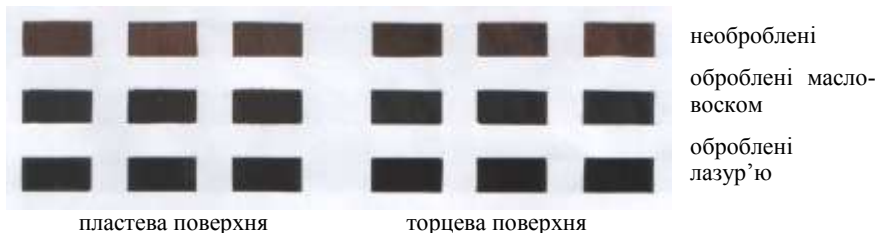


Рис. 9. Зразки деревини граба модифіковані за температури 190 °С упродовж 20 год, оброблені масло-воском та лазур'ю

Встановлено, що ступінь затемнення кольору деревини безпосередньо пов'язана зі ступенем термічної деградації дерев'яного матеріалу.

На рис. 10-12 продемонстровано зміну зовнішнього вигляду зразків деревини граба після термічної модифікації за температури 220 °С упродовж різного часу та оброблення масло-воском та лазур'ю.

Застосування термічної обробки суттєво змінило значення параметрів кольору L^* , a^* , b^* у зразках термомодифікованої деревини граба.

В табл. 1 приведено результати впливу параметрів режиму термічного модифікування на колір деревини.

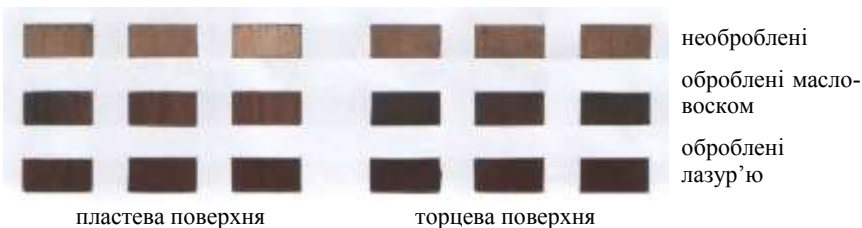


Рис. 10. Зразки деревини граба модифіковані за температури 220 °С упродовж 1 год, оброблені масло-воском та лазур'ю



Рис. 11. Зразки деревини граба модифіковані за температури 220 °С упродовж 10 год, оброблені маслом-воском та лаком

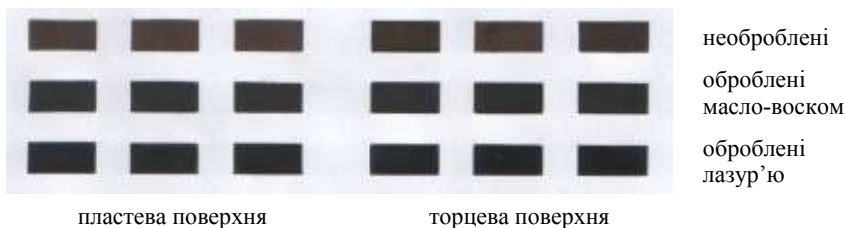


Рис. 12. Зразки деревини граба модифіковані за температури 220 °С упродовж 20 год, оброблені маслом-воском та лаком

Таблиця 1

Зміна параметрів кольору торцевої та пластової поверхні зразків після термомодифікування

Режимні параметри модифікування деревини		Параметри кольору деревини					
		торцева поверхня			пластева поверхня		
Т, °С	τ, год	L*	a*	b*	L*	a*	b*
контроль		72	7	11	80	7	11
160	1	69	6	10	72	7	11
	10	51	9	12	55	9	13
	20	44	9	12	47	10	12
190	1	54	8	12	57	10	14
	10	29	7	6	34	9	9
	20	27	5	4	32	7	6
220	1	43	10	12	52	10	13
	10	27	4	3	29	5	4
	20	25	4	3	29	5	4

Параметр L* на обох поверхнях був помітно вищим (72 для торцевої поверхні та 80 для пластової) у контрольних зразків. Внаслідок термічної обробки значення L* суттєво зменшилось уже за температури 160 °С, тривалість оброблення 10 год. до 44 і 47 відповідно. За максимальної температури модифікування 220 °С упродовж 20 год параметр світлості кольору зменшився у 2,88 та 2,75 рази для торцевої і пластової поверхонь зразків. Хроматичні параметри a* та b*

збільшуються незначно при модифікуванні за температур 160 та 190 °С. Спостерігається різке зменшення їх значень під час термооброблення за температури 220 °С тривалістю більше 10 год.

В табл. 2 приведено зміну забарвлення зразків після нанесення масло-воску на поверхню термічномодифікованої деревини.

Таблиця 2

**Зміна параметрів кольору торцевої та пластової поверхні
термомодифікованих зразків деревини після нанесення масло-воску**

Режимні параметри модифікування деревини		Параметри кольору деревини					
		торцева поверхня			пластова поверхня		
T, °C	τ, год	L*	a*	b*	L*	a*	b*
контроль		56	12	18	63	11	18
160	1	48	12	16	62	10	18
	10	30	10	7	37	13	11
	20	26	7	4	34	11	9
190	1	33	10	8	37	14	13
	10	23	2	1	24	3	2
	20	22	0	0	23	1	0
220	1	26	5	3	31	9	7
	10	22	0	-1	23	0	-1
	20	21	0	-1	23	0	-1

Нанесення масло-воску та лазурі на поверхню зразків також вплинуло на потемніння їх забарвлення. Можна сказати, що термічно оброблені зразки, структура яких змінилася порівняно із звичайною деревиною, демонструють різну взаємодію з нанесеними матеріалами. Різниця особливо помітна на зразках термомодифікованих за 160 °С та за 190 і 220 °С упродовж 1 год. Виявлено вплив захисної речовини на значення ΔL^* залежно від обробленої поверхні. Так для зразків термомодифікованих за 160 °С та за 190 °С упродовж 1 год саме торцева поверхня ще більше потемніла. А у зразків, що модифікували за 190 °С більше 10 год і за 220 °С пластова поверхня стала темнішою, хоча вплив значно менший.

Таблиця 3

**Зміна параметрів кольору торцевої та пластової поверхні
термомодифікованих зразків деревини після нанесення лазурі**

Режимні параметри модифікування деревини		Параметри кольору деревини					
		торцева поверхня			пластова поверхня		
T, °C	τ, год	L*	a*	b*	L*	a*	b*
контроль		52	14	20	63	11	20
160	1	46	13	18	62	11	20
	10	33	14	14	38	15	16
	20	22	7	5	28	12	9
190	1	34	15	15	42	17	20
	10	19	5	2	20	2	1
	20	17	0	0	20	1	-1
220	1	22	8	5	25	9	6
	10	18	0	-1	19	0	-1
	20	17	0	-1	19	0	-2

В табл. 3 приведено зміну забарвлення зразків після нанесення лазурі на поверхню термічно модифікованої деревини.

Порівнюючи хроматичні параметри a^* та b^* видно, що їх значення дещо збільшуються при нанесенні масло-воску та лазурі на немодифіковані та модифіковані за температури 160 °C зразки. На термомодифікованих зразках деревини за 190 °C більше 10 год та за 220 °C спостерігається різке зменшення цих показників.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що характеристики забарвлення деревини значно змінилися після термічної обробки. Найбільша різниця спостерігається для параметру світлості L^* . Вагомий вплив на потемніння кольору має тривалість термічного модифікування. Також досліджено вплив різних типів лакофарбових матеріалів, нанесених на поверхні зразків, до яких застосовували термічну обробку при різних температурах, на стан кольору. Спостерігається значне потемніння торцевої поверхні зразків термомодифікованих за 160 °C та за 190 °C упродовж 1 години під час опорядження масло-воском та лазур'ю. Тобто забарвлення деревини отримане при низькій температурі обробки, можна збільшити за допомогою нанесення цих захисних речовин і зробити матеріал більш привабливим. В наступних дослідженнях варто оцінити стійкість кольору термомодифікованої деревини додатково обробленої масло-воском та лазур'ю, а також адгезію цих захисних речовин до поверхні під дією чинників середовища.

Список літератури:

1. Xing D., Wang S., Li J. Artificial weathering effects. *BioResources*. 2015. Vol. 10 (4). P. 238-8252. DOI: 10.15376/biores.10.4.8238-8252.
2. Kaygin B., Gunduz, G., Aydemir, D. Some physical properties of heat-treated paulownia (*Paulownia elongata*) wood. *Dry. Technol.* 2009. Vol. 27 (1). P. 89-93. DOI:10.1080/07373930802565921.
3. Ayadi N., Lejeune F., Charrier F., Charrier B., Merlin A. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *Holzals Roh-und Werkstoff*. 2003. Vol. 61 (3). P. 221-226. DOI:10.1007/s00107-003-0389-2.
4. Esteves B.M., Pereira H.M. Wood modification by heat treatment: A review, features. *Bioresources*. 2009. Vol. 4. P. 370-404. DOI:10.15376/biores.4.1.370-404.
5. Militz H. Heat Treatment of Wood: European Processes and Their Background. *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes. 2002. P. 40241.
6. Kocaefe D., Poncsak S., Doré G., Younsi R. Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Roh. Werkst.* 2008. Vol. 66. P. 355-361. DOI 10.1007/s00107-008-0233-9.
7. Bengtsson C., Jermer J., Brem F. Bending Strength of Heat-Treated Spruce and Pine Timber. *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes. 2002. P. 40242.
8. Syrjänen T., Kangas E. Heat-Treated Timber in Finland. *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes. 2000. P. 40158.
9. Sandoval-Torres S., Joma W., Marc F., Puiggali J. Colour alteration and chemistry changes in oak wood (*Quercus pedunculata* Ehrh) during plain vacuum drying. *Wood Sci. Technol.* 2012. Vol. 46 (1-3). P. 177-191. DOI:10.1007/s00226-010-0381-z.

10. Gurleyen L., Esteves B., Ayata U., Gurleyen T., Cinar H. The effects of heat treatment on colour and glossiness of some commercial woods In Turkey. *Drewno*. 2018. Vol. 61. No 201. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.227.03.
11. Chen Y., Fan Y., Gao J. Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment. *Wood Sci. Technol.* 2012. Vol. 46. P. 33-40. DOI:10.1007/s00226-010-0388-5.
12. Korkut D.S., Hiziroglu S., Aytin A. Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood. *BioRes.* 2013. Vol. 8 (2). P. 1582-1590. DOI:10.15376/BIORES.8.2.1582-1590.
13. Hashim W., Lin N.J., Chai L.J., Razman R., Syamsunur D. The effect of heat treatment to the colour of Pauh Kijang (*Irvingia Malayana*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 476 (1). 012020. DOI:10.1088/1755-1315/476/1/012020.
14. Can A. Effects of Heat Treatment Systems on the Physical Properties of Coated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and poplar (*Populus euramericana*). *Bioresources*. 2020. Vol. 15 (2). P. 2708-2720. DOI: 10.15376/biores.15.2.2708-2720.
15. Deka M., Humar M., Rep G., Križej B., Šentjurc M., Petrič M. Effects of UV light irradiation on colour stability of thermally modified, copper ethanolamine treated and non-modified wood: EPR and DRIFT spectroscopic studies. *Wood Sci. Technol.* 2008. Vol. 42. P. 5-20.
16. Yildiz S., Tomak E.D., Yildiz U.C. Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. *Polym. Degrad. Stabil.* 2013. Vol. 98. P. 1419-1427.
17. Todaro L., D'Auria M., Langerame F., Salvi A.M., Scopa A. Surface characterization of untreated and hydro-thermally pre-treated Turkey oak woods after UV-C irradiation. *Surf. Interface Anal.* 2015. Vol. 47. P. 206-215.
18. Tolvaj L., Nemeth R., Pasztory Z., Bejo L., Takats P. Colour Stability of Thermally Modified Wood during Short-Term Photodegradation Tolvaj et al. Photo & thermo color changes. *BioResources*. 2014. Vol. 9 (4). P. 6644-6651. DOI: 10.15376/biores.9.4.6644-6651.
19. Cui X., Matsumura J. Wood Surface Changes of Heat-Treated *Cunninghamia lanceolata* Following Natural Weathering. *Forests*. 2019. Vol. 10 (9). P. 791. DOI:10.3390/f10090791.
20. Slunská S., Reinprecht L. Colour stability of pine, beech and spruce wood treated with brown superwax coating at accelerated weathering in xenotest. *Acta facultatis xylologiae Zvolen*. 2015. Vol. 57 (2). P. 61-69. DOI: 10.17423/afx.2015.57.2.06.

References:

1. Xing, D. S. Wang, J. Li, Xing, D. (2015). "Artificial weathering effects", *BioResources*, 10 (4), P. 238-8252. DOI: 10.15376/biores.10.4.8238-8252.
2. Kaygin, B., Gunduz, G., Aydemir, D. (2009). "Some physical properties of heat-treated paulownia (*Paulownia elongata*) wood", *Dry. Technol*, 27 (1), 89-93. DOI:10.1080/07373930802565921.
3. Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., Merlin, A. (2003). "Color stability of heat-treated wood during artificial weathering", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61 (3), 221-226. DOI:10.1007/s00107-003-0389-2.
4. Esteves, B.M., Pereira, H.M. (2009). "Wood modification by heat treatment: A review", *Bioresources*, 4, 370-404. DOI:10.15376/biores.4.1.370-404.

5. Militz, H. (2002). "Heat Treatment of Wood: European Processes and Their Background", *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes, 40241.
6. Kocaefe, D., Poncsak, S., Doré, G., Younsi, R. (2008). "Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water", *Holz Roh. Werkst*, 66, 355-361. DOI 10.1007/s00107-008-0233-9.
7. Bengtsson, C., Jermer, J., Brem, F. (2002). "Bending Strength of Heat-Treated Spruce and Pine Timber", *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes, 40242.
8. Syrjänen, T., Kangas, E. (2000). "Heat-Treated Timber in Finland", *In International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processes, 40158.
9. Sandoval-Torres, S., Joma, W., Marc, F., Puiggali, J. (2012). "Colour alteration and chemistry changes in oak wood (*Quercus pedunculata* Ehrh) during plain vacuum drying", *Wood Sci. Technol*, 46 (1-3), 177-191. DOI:10.1007/s00226-010-0381-z.
10. Gurleyen L., Esteves B., Ayata U., Gurleyen T., Cinar H. (2018). "The effects of heat treatment on colour and glossiness of some commercial woods In Turkey", *Drewno*, 61, 201. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.227.03.
11. Chen Y., Fan Y., Gao J. (2012). "Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment", *Wood Sci. Technol*, 46, 33-40. DOI:10.1007/s00226-010-0388-5.
12. Korkut D.S., Hiziroglu S., Aydin A. (2013) "Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood", *BioRes*, 8 (2), 1582-1590. DOI:10.15376/BIORES.8.2.1582-1590.
13. Hashim W., Lin N.J., Chai L.J., Razman R., Syamsunur D. (2020). "The effect of heat treatment to the colour of Pauh Kijang (*Irvingia Malayana*)", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476 (1), 012020. DOI:10.1088/1755-1315/476/1/012020.
14. Can A. (2020). "Effects of Heat Treatment Systems on the Physical Properties of Coated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and poplar (*Populus euramericana*)", *Bioresources*, 15 (2), 2708-2720. DOI: 10.15376/biores.15.2.2708-2720.
15. Deka M., Humar M., Rep G., Križej B., Šentjurc M., Petrič M. (2008). "Effects of UV light irradiation on colour stability of thermally modified, copper ethanolamine treated and non-modified wood: EPR and DRIFT spectroscopic studies", *Wood Sci. Technol*, 42, 5-20.
16. Yildiz S., Tomak E.D., Yildiz U.C. (2013). "Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood", *Polym. Degrad. Stabil*, 98, 1419-1427.
17. Todaro L., D'Auria M., Langerame F., Salvi A.M., Scopa A. (2015). "Surface characterization of untreated and hydro-thermally pre-treated Turkey oak woods after UV-C irradiation", *Surf. Interface Anal*, 47, 206-215.
18. Tolvaj L., Nemeth R., Pasztory Z., Bejo L., Takats P. (2014). "Colour Stability of Thermally Modified Wood during Short-Term Photodegradation Tolvaj et al. Photo & thermo color changes", *BioResources*, 9 (4), 6644-6651. DOI: 10.15376/biores.9.4.6644-6651.
19. Cui, X., Matsumura, J. (2019). "Wood Surface Changes of Heat-Treated *Cunninghamia lanceolata* Following Natural Weathering", *Forests*, 10 (9), 791. DOI:10.3390/f10090791.
20. Slunská, S., Reinprecht, L. (2015). "Colour stability of pine, beech and spruce wood treated with brown superwax coating at accelerated weathering in xenotest", *Acta facultatis xylogologiae Zvolen*, 57 (2), 61-69. DOI: 10.17423/afx.2015.57.2.06.

Yuriy TSAPKO, Alexey TSAPKO, Olga BONDARENKO, Natalya LIALINA, Kostyantyn KAVERIN, Alina YUSHCHENKO

Prospects for improving the color fastness of thermally modified wood

It is proved that the color of wood tends to darken due to changes in the chemical components of wood, such as the degradation of amorphous carbohydrates during heat treatment at high temperature. Exposure of wood to high temperatures for a certain period of time improves not only its dimensional stability and durability, but also gives it an attractive dark color. The use of heat treatment has significantly changed the values of the color parameters L^ , a^* , b^* in the samples of thermally modified wood. The L^* parameter on the end and stratum surfaces was significantly higher (72 for the end surface and 80 for the stratum) in the control samples. As a result of the heat treatment, the L^* value decreased significantly at 160 °C, with a treatment duration of 10 hours, to 44 and 47, respectively. The duration of thermal modification has a significant impact on color darkening. We also investigated the effect of different types of paints and varnishes applied to the surfaces of the samples subjected to heat treatment at different temperatures on the color state. A significant darkening of the end surface of the samples thermally modified at 160 °C and at 190 °C for 1 hour during the oil-wax and azure finishes was observed. That is, the color of wood obtained at a low processing temperature can be increased by applying these protective substances and make the material more attractive. The following studies evaluated the color stability of thermally modified wood additionally treated with oil-wax and azure, as well as the adhesion of these protective substances to the surface under the influence of environmental factors. The influence of different types of protective substances on the color of the surface of heat-treated wood was determined. The application of oil-wax and azure to the surface of the samples also affected the darkening of their color. It can be said that heat-treated samples, whose structure has changed compared to conventional wood, show different interactions with the applied materials.*

Keywords: *thermally modified wood, color change, CIE $L^*a^*b^*$ system, paints and varnishes, darkening.*