



Ю. В. Цапко¹, О. Ю. Горбачова¹, С. М. Мазурчук¹, О. П. Бондаренко²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ТЕРМОМОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ГРАБА ВІД ДІЇ УЛЬТРАФІОЛЕТУ

Доведено, що колір деревини має тенденцію темніти внаслідок зміни хімічних компонентів деревини, зокрема від деградації аморфних вуглеводів під час термічного оброблення за високої температури. Застосування термічного модифікування істотно змінило значення параметрів кольору L^* , a^* , b^* у зразках термомодифікованої деревини. Нанесення маслосвоску та лазури на поверхню зразків також вплинуло на потемніння їх забарвлення. Виявлено вплив захисної речовини на значення ΔL^* залежно від обробленої поверхні. Визначено, що параметр L^* після 16 місяців перебування під прямими променями необробленої деревини зменшується на 8 у торцевих зразків та 11 – у радіальних. На поверхні із нанесеним маслосвоском різниця в 2 рази менша. Встановлено, що рівень захисту поверхні лазур'ю найкращий. У термомодифікованої деревини без додаткового покриття як у торцевих, так і радіальних зразках L^* продовжувало зменшуватися – на 7 і 6 відповідно. Виявлено, що найінтенсивніше вицвітали поверхні без захисного покриття. Встановлено, що значення a^* на поверхні деревини без додаткового покриття змінилося для необроблених та термомодифікованих режимом 1 – зросло на 5 для обох видів поверхонь. Виявлено максимальну зміну параметра a^* у групі зразків із восковим покриттям на радіальній поверхні необробленої та термомодифікованої режимом 1. Захист маслосвоском торцевої поверхні виявився дещо гіршим. Видно, що максимальні зміни показника b^* відбулися на обох поверхнях необробленої та модифікованої за температури 160 °C для усіх груп зразків. Результати зміни b^* для зразків термомодифікованих за 190 та 220 °C незначні, залежності не встановлено. У всіх зразків деревини, окрім необробленої та модифікованої режимом 1, виявлено вицвітання поверхні. Про це свідчить зменшення загальної різниці кольору ΔE^* . Найсвітлішими після завершення експерименту виявилися зразки без додаткового оброблення поверхні. Торцева поверхня зразків термомодифікованих режимами 6, 8 і 9 виявилася стійкішою порівняно із радіальною. Найменшу різницю ΔE^* виявлено у зразків, модифікованих за температури 190 °C упродовж 20 год та за 220 °C – 10 та 20 год із восковим покриттям та вкритих лазур'ю.

Ключові слова: термічно модифікована деревина; зміна забарвлення; система оцінювання CIE $L^*a^*b^*$; лакофарбові матеріали; потемніння.

Вступ

У будівництві дедалі інтенсивніше ведуть пошук нових високоефективних засобів захисту деревини від руйнування, оскільки під час експлуатації деревини, особливо на відкритому повітрі, вона стає вразливою до умов середовища, які знижують її природну довговічність і з часом призводять до руйнування. Основні чинники деградації деревини – це волога, сонячне світло, тепло/холод, стирання, спричинене вітром, біологічні шкідники, які можуть діяти окремо або в поєднанні [25]. Дія високих температур упродовж певного часу на

деревину покращує не тільки її стабільність розмірів, довговічність, а й надає привабливий темний колір. Тривалий час оброблення та підвищена температура зазвичай надають деревині темнішого кольору. Однак досягнуте забарвлення не є стійким до впливу світла і потребує захисту [2, 14].

Тому постає необхідність обґрунтувати потребу додаткового нанесення захисних покриттів для забезпечення стійкості кольору термомодифікованої деревини до впливу УФ-випромінювання, що дасть змогу надати надійний показник ефективності використання термообробленої деревини в умовах зовнішнього середовища

Інформація про авторів:

Цапко Юрій Володимирович, д-р техн. наук, професор, кафедра технологій та дизайну виробів з деревини.

Email: juriyts@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0625-0783>

Горбачова Олександра Юрївна, канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій та дизайну виробів з деревини.

Email: gorbachova.sasha@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7533-5628>

Мазурчук Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій та дизайну виробів з деревини.

Email: mazurchuk.s.m@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-6008-9591>

Бондаренко Ольга Петрівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів. Email: bondolya3@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-8164-6473>

Цитування за ДСТУ: Цапко, Ю. В., Горбачова, О. Ю., Мазурчук С. М., Бондаренко О. П. Встановлення ефективності захисту термомодифікованої деревини граба від дії ультрафіолету. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 2. С. 81–87.

Citation APA: Yu. V. Tsapko, O. Yu. Horbachova, Mazurchuk, S. M., & Bondarenko, O. P. (2021). Determining of the effectiveness of thermally modified hornbeam wood ultraviolet protection. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(2), 81–87. <https://doi.org/10.36930/40310213>

та розробити заходи для тривалішого збереження забарвлення виробів.

Об'єкт дослідження – деревина, оброблена термічно та певним видом захисного покриття.

Предмет дослідження – методи і засоби оцінювання вицвітання поверхні термомодифікованої деревини, що дасть змогу її експлуатувати під прямими сонячними променями.

Мета роботи – експериментальне дослідження стійкості кольору термомодифікованої деревини до дії УФ-проміння за її оброблення захисними покриттями, що дасть змогу її експлуатувати під прямими сонячними променями.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: проаналізувати останні дослідження та публікації; обґрунтувати актуальні підходи до розроблення ефективних заходів захисту поверхні деревини від вигоряння; здійснити оцінювання стійкості кольору термомодифікованої деревини до дії УФ-проміння.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше встановлено параметри світлості в оцінюванні поверхні термомодифікованої деревини під час експлуатації під прямими сонячними променями за її оброблення захисними покриттями.

Практична значущість результатів дослідження – обґрунтовано підвищений термін застосування та впровадження у виробництво будівельних конструкцій з термомодифікованої деревини граба з певним видом захисного покриття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед деревних полімерів, що входять до складу деревини, лігнін є найчутливішим до світла і має структуру, вразливу до поглинання ультрафіолетового/видимого світла через хромофорні групи. Це призводить до розриву слабких хімічних зв'язків і подальшого вицвітання, потемніння та розтріскування виробів з деревини [9].

Після модифікування високою температурою деревина має знижену гігроскопічність, підвищену стійкість до мікроорганізмів, а також покращену стабільність розмірів, але знижуються механічні властивості [4, 5, 24]. Тому термооброблену деревину рекомендують використовувати для обшивання стін, стелі, покрівлі, виготовлення підлоги, меблів, огорожі тощо [18].

Для виробників дуже важливо зберегти оригінальний колір виробів з деревини або сповільнити будь-яку зміну кольору на довший час. Виявлено, що стійкість кольору для термообробленої деревини краща, ніж у необробленої деревини під час штучного вивітрювання [3]. Очевидно, що потрібно обробляти поверхню захисними речовинами.

Під впливом сонячних променів деревина інтенсивно поглинає сонячне випромінювання і зазнає фотохімічного розкладання внаслідок дії ультрафіолетових променів (УФ). Залежно від її хімічного складу (особливо через вміст екстрактивних сполук) поверхні втрачають естетичний вигляд, стаючи блідими або сірватими, жовтуватими або темніють [10].

Дослідники ґрунтовно вивчали поєднаний вплив ультрафіолетового (УФ) та випромінювання з короткими довжинами хвиль, тепла, вологи, забруднювачів атмосфери та мікроорганізмів на поверхневе фоторуйнування виробів з деревини. Відомо, що опромінення

спричиняє деградацію геміцелюлози, лігніну та деполімеризацію целюлози. Про це свідчать результати хімічного аналізу поверхонь деревини [6].

Встановлено, що целюлоза стійка до фотохімічного окислення, тоді як лігнін є більш чутливим структурним компонентом до змін за дії УФ-світла з утворенням хромофорних груп [12]. Зміна кольору деревини під дією світла пов'язана з виробленням хінонів (екстрактивних речовин, які змінюють колір деревини) і починається після розкладання лігніну внаслідок окислення [20]. Тому листяні породи вважають більш стійкими до зміни кольору, ніж хвойні породи деревини, завдяки нижчому вмісту лігніну.

Аналізуючи фотохімічні реакції на деревних поверхнях, виявлено складні процеси розкладання екстрактивних речовин, зменшення вмісту метоксилу в лігніні, дисоціацію вуглецевих зв'язків та утворення хромофорних груп на підставі карбонілу [7].

На жаль, встановлено, що темний колір термомодифікованої деревини не є стійким до сонячного світла і пряма його дія призводить до відбілювання (посивіння) поверхні і виникнення поверхневих тріщин [13]. Структуру хромофорів у термічно модифікованій деревині досі належно не досліджено [11], але виявлено їх зміну під дією сонячного світла. Окрім цього встановлено, що зміни кольору термічно модифікованої деревини, що зазнала впливу штучного ультрафіолетового світла, незначні порівняно з немодифікованою деревиною [8]. Очевидно, це спричинено підвищеною стійкістю лігніну через його конденсацію під час термічного модифікування.

Проведені дослідження зовнішніх фасадних елементів, що виготовлені з термічно модифікованої та необробленої деревини ялини, виявили, що обидва матеріали через півроку змінили колір або посіріли [23]. Встановлено, що термічно оброблена деревина швидше й однорідніше змінювала колір. Проте сучасні підходи до захисту поверхні деревини від впливу УФ-випромінювання містять використання органічних поглиначів УФ у прозорих покриттях, щоб зменшити негативну дію УФ-випромінювання. Їх можна застосовувати у вигляді окремого розведеного розчину або у ґрунті, бувають як для внутрішнього застосування, так і для зовнішнього використання [21].

У роботі [19] досліджено зміну кольору термомодифікованої деревини як без, та і з додатковим покриттям під час лабораторного впливу ультрафіолетового світла. Виявили кращу стійкість кольору деревини без покриття модифікованої за 190 °С, ніж модифікованої за 212 °С. З'ясовано, що вкриті двокомпонентним поліуретановим покриттям термомодифіковані зразки є стійкішими, ніж зразки, покриті поліакрилатною сумішшю на водній основі, під час впливу ультрафіолетового світла.

Органічні поглиначі УФ-випромінювання (бензофенони, бензотріазоли, триазини, малонати та оксаланіліди), які додають в покриття для захисту деревини, можуть проникати до основи або вивітрюватися з поверхні. Вони також чутливі до низки механізмів деградації через їх органічну природу [17].

У роботі [16] досліджено вплив додавання різних УФ-стабілізаторів (екстракт кори, лігніну та органічного УФ-стабілізатора) для сповільнення старіння акрилових поліуретанових покриттів на поверхні термічно модифікованої деревини (береза, сосна й осика). Виявле-

но, що деградація пов'язана з руйнуванням термообробленої деревини під шаром покриття. Проведено дослідження на стійкість до вивітрювання лаку та фарби в разі нанесення на термічно оброблену деревину сосни та ялини [15]. Встановлено, що покриття лаком термомодифікована деревини мала кращі показники (зміна кольору та твердість), ніж лаковані зразки необробленої деревини. Однакові результати показали пофарбовані зразки термомодифікованої та необробленої деревини.

Досліджено ефекти пришвидшеного вивітрювання чергуванням опромінення УФ-світлом та водяним розпилюванням на зміну кольору зразків сосни, бука і ялини [15]. Поверхні були пофарбовані одним, двома або трьома шарами покриття коричневого акрилу Superglax. Найнижчу стійкість кольору, що оцінювали в кольоровій системі CIE- $L^*a^*b^*$, мала поверхня деревини буккових зразків, що пофарбовані тільки одним шаром Superglax. Найвищу стійкість до зміни кольору мала ялина, пофарбована трьома шарами цього покриття.

Отже, внаслідок проведеного дослідження встановлено, що колір поверхні термічно модифікованої деревини під дією на неї УФ-випромінювання змінюється

значно менше. Додаткове оброблення поверхні захисними речовинами дещо сприяє повільнішому вицвітання кольору, тому такі вироби з термомодифікованої деревини потребують значно рідшого догляду за поверхнею під час її безпосередньої експлуатації.

Матеріали та методи дослідження. У межах дослідження використали зразки необробленої та термомодифікованої деревини граба розмірами $10 \times 20 \times 10$ мм, торцева і пластова поверхні окремо. Термічне оброблення зразків здійснювали за технологією ThermoWood® у три етапи – досушування до вологості 0%; термічне модифікування (за трьох різних температур 160, 190 та 220 °C та тривалості 1, 10 та 20 год); кондиціювання із самовільним зменшенням температури в камері. Після шліфування поверхні наносили захисні речовини методом занурення у два етапи з проміжним сушінням 24 год. Як дослідні лакофарбові матеріали застосували масловіск OIL WAX Bionic House та лазур Colortex Kompozit. Також досліджено групу аналогічно термомодифікованих зразків без поверхневого покриття (рис. 1).

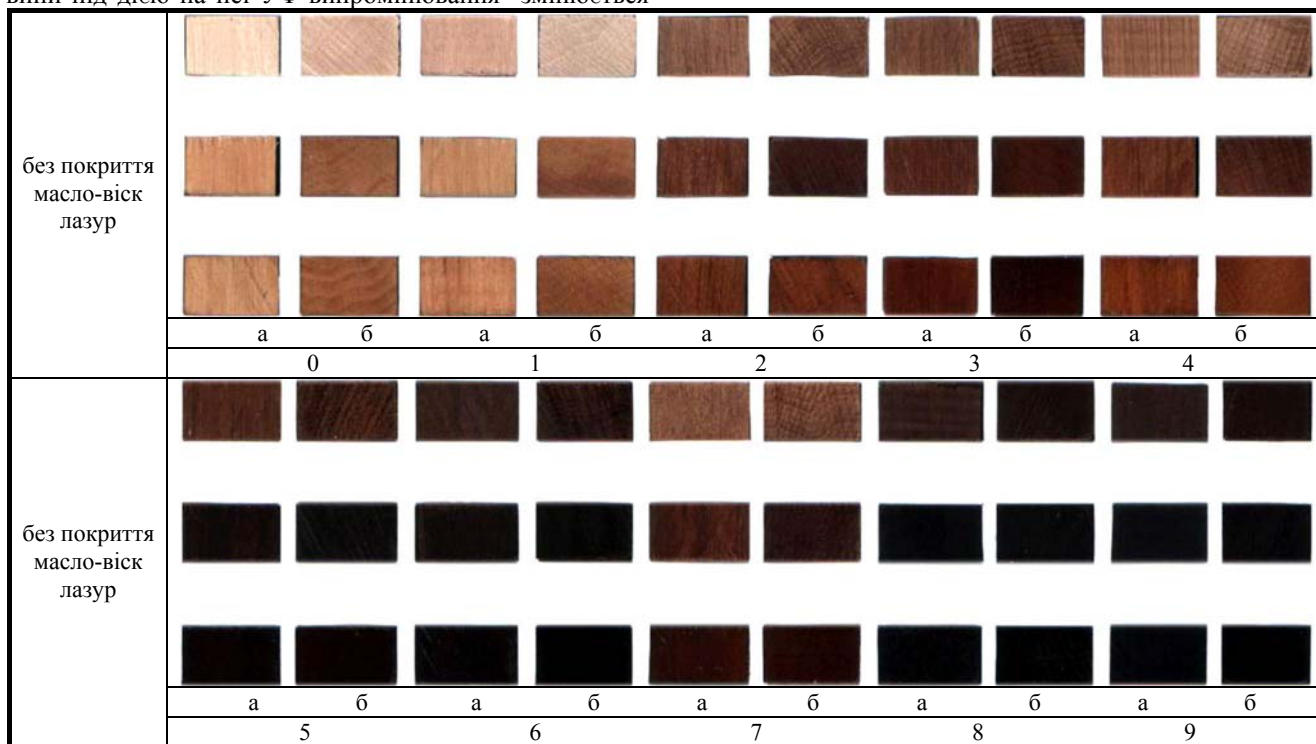


Рис. 1. Дослідні зразки деревини без покриття, оброблені масловоском та лазур'ю: 0) не термомодифіковані; 1) 160 °C, 1 год; 2) 160 °C, 10 год; 3) 160 °C, 20 год; 4) 190 °C, 1 год; 5) 190 °C, 10 год; 6) 190 °C, 20 год; 7) 220 °C, 1 год; 8) 220 °C, 10 год; 9) 220 °C, 20 год; а) пласть; б) торець

Колір визначали на торцевій та радіальній поверхнях зразків деревини після нанесення лакофарбових матеріалів та після впливу УФ-проміння упродовж 16 місяців у тривимірному кольоровому просторі CIE- $L^*a^*b^*$ (рис. 2).

Вісь L^* характеризує тон кольору від темного до світлого, a^* і b^* – хроматичні координати кольору. У системі CIELAB координати $+a^*$ та $-a^*$ позначають червоний та зелений кольори відповідно. Параметр $+b^*$ позначає жовтий, $-b^*$ – синій. L^* може варіювати від 0 (чорний) до 100 (білий). Застосування термічного оброблення істотно змінило значення параметрів кольору L^* , a^* , b^* у зразках термомодифікованої деревини. Зразки піддавали впливу природних променів сонця в

лабораторних умовах. Кут падіння відповідав нахилу сонця залежно від пори дня і періоду року. Поверхню зразків до та після дії сонця упродовж 16 місяців фіксували за допомогою сканера Muster 1248UB. Для опрацювання отриманого зображення та визначення параметрів кольору застосовували програму Photoshop. У кожній групі (залежно від режиму модифікування, додаткового нанесення покриття та виду поверхні) заготовлено по 3 зразки, кількість повторних вимірювань на одному зразку – 3.

Параметр L^* на обох поверхнях був помітно вищим (72 для торцевої поверхні та 80 для радіальної) у контрольних (необроблених) зразків. Внаслідок термічного оброблення значення L^* істотно 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 L^* зменшився у 2,88 та 2,75 раза для торцевої і радіальної поверхонь зразків. Хроматичні параметри a^* та b^* збільшуються незначно під час модифікування за температур 160 та 190 °С. Відбувається різке зменшення їх значень під час термооброблення за температури 220 °С тривалістю більше 10 год.

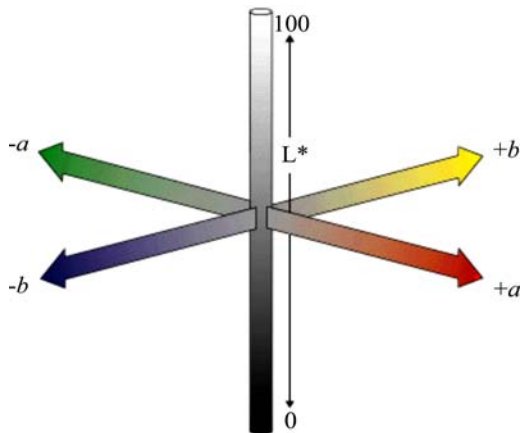


Рис. 2. Тривимірна колірна система CIELAB [1]

Нанесення маслоскоку та лазурі на поверхню зразків також вплинуло на потемніння їх забарвлення. Треба зазначити, що термічно оброблені зразки, структура яких змінилася порівняно із звичайною деревиною, демонструють різну взаємодію з нанесеними матеріалами.

Зміну відповідного параметра кольору ΔL^* , Δa^* і Δb^* розраховували відносно необроблених (контрольних) зразків деревини з рівнянь:

$$\Delta L^* = L^*_{оброб.} - L^*_{необроб.} \quad (1)$$

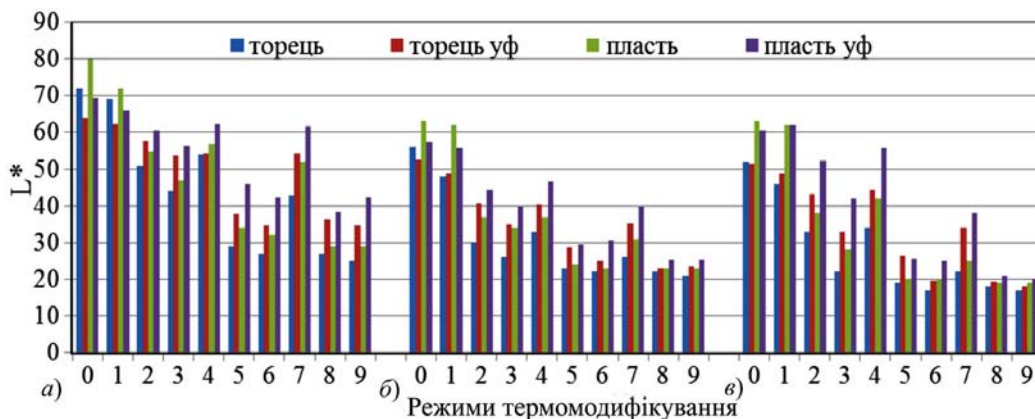


Рис. 3. Зміна параметра кольору L^* зразків необробленої та термомодифікованої деревини упродовж 16 місяців впливу сонячного проміння: а) без поверхневого покриття; б) вкриті маслоскоком; в) вкриті лазур'ю

Найінтенсивніше змінювалися поверхні без захисного покриття. Поверхні, оброблені маслоскоком, змінювалися пропорційно – чим світліший тон був на початку експерименту, тим більше вивітали з часом. У поверхні зразків деревини, термомодифікованої за 220 °С упродовж 1 год, вкритих лазур'ю, виявлено значне посвітління ($\Delta L^* = 12$), поверхня модифікованих упродовж 10 та 20 год змінилася незначно.

Встановлено, що значення a^* на поверхні деревини без додаткового покриття змінилося для необроблених та термомодифікованих режимом 1 зразків – зросло на 5 для обох видів поверхонь (рис. 4). У групі зразків із восковим покриттям максимальну зміну параметра a^* виявлено на пластовій поверхні необробленої та термо-

$$\Delta b^* = b^*_{оброб.} - b^*_{необроб.} \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a^*_{оброб.} - a^*_{необроб.} \quad (3)$$

Загальну різницю кольору ΔE^* визначали для кожної групи зразків так:

$$\Delta E^* = \left[(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

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, радіальна пластова поверхня стала темнішою, хоча вплив значно менший.

Результати дослідження та їх обговорення

Одразу помітно, що параметр L^* після 16 місяців перебування під дією світла необробленої деревини зменшується на 8 у торцевих зразків та 11 – у радіальних (рис. 3). Поверхня зразків із маслосковим покриттям стає в 2 рази світлішою. Стійкість зразків, покритих лазур'ю, найкраща – різниця 1 і 2 для торцевих і радіальних зразків відповідно. Виявлено неоднозначні результати оцінки поверхні зразків термомодифікованої деревини за умов режиму 1. Так, для зразків, вкритих лазур'ю, на торцевій поверхні значення L^* збільшилось на 3, на радіальній – залишилося без змін. Показник L^* зменшився на 6 на радіальній поверхні зразків, вкритих маслосковом. У термомодифікованої деревини без додаткового покриття як у торцевих, так і радіальних зразках параметр L^* зменшувався – на 7 і 6 відповідно.

модифікованої режимом 1-7, для решти різниця становила 2. Захист маслосковом торцевої поверхні виявився дещо гіршим. $\Delta a^* = 4$ для зразків режиму 2, 4, 5; у зразків режимів 3 і 7-6. Щодо зразків, вкритих лазур'ю, зміни a^* неоднозначні, залежності від режиму модифікування не виявлено.

Із рис. 5. видно, що максимальні зміни показника b^* відбулися на обох поверхнях необробленої та модифікованої за температури 160 °С для усіх груп зразків. Результати зміни b^* для зразків термооброблених за 190 та 220 °С незначні, залежності не встановлено.

Дуже вирізняються зразки термомодифікованої за режимом 7 деревини із додатковим покриттям лазур'ю, у яких вплив світла зумовив збільшення b^* на 9 і 11 для

торцевої і радіальної поверхонь відповідно. Загальна різниця кольору ΔE^* зменшилася для всіх поверхонь термомодифікованої деревини, окрім необробленої та

модифікованої режимом 1 (таблиця), тобто з часом забарвлення вицвітало.

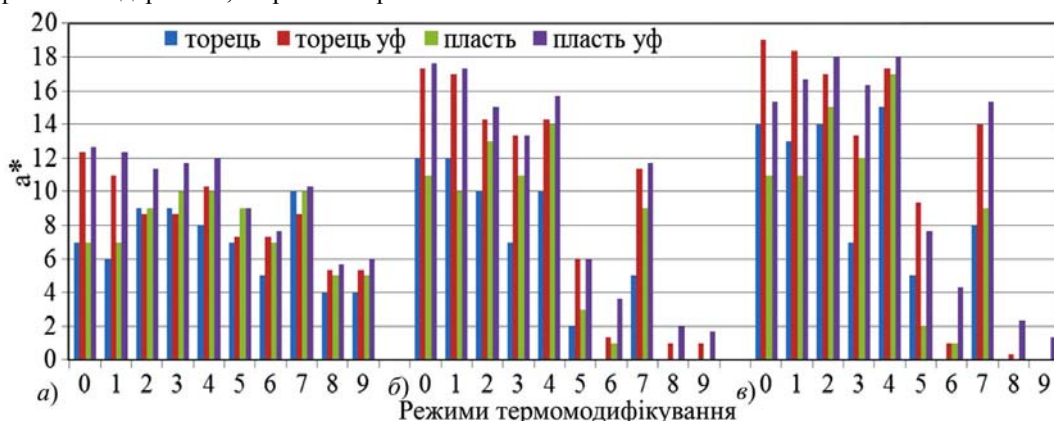


Рис. 4. Зміна параметра кольору a^* зразків необробленої та термомодифікованої деревини упродовж 16 місяців впливу сонячного проміння: а) без поверхневого покриття; б) вкриті масломоском; в) вкриті лазур'ю

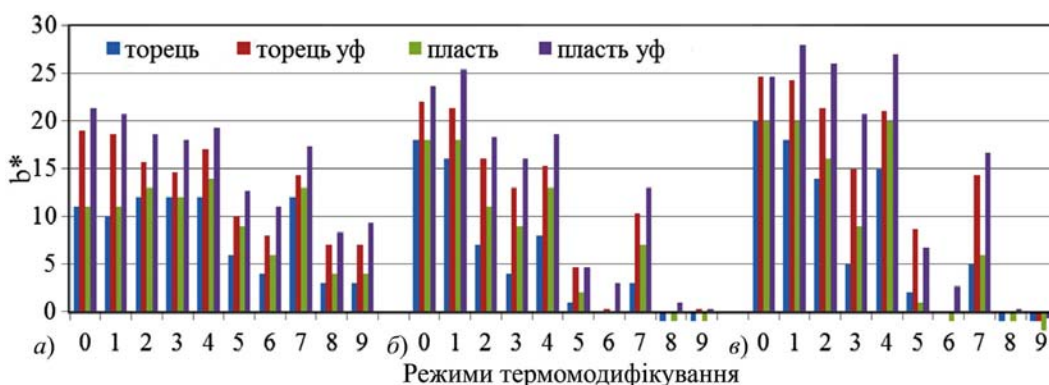


Рис. 5. Зміна параметра кольору b^* зразків необробленої та термомодифікованої деревини упродовж 16 місяців впливу сонячного проміння: а) без поверхневого покриття; б) вкриті масломоском; в) вкриті лазур'ю

Таблиця. Значення ΔE^* для дослідних зразків після впливу УФ-проміння

Вид поверхні	Значення ΔE до/після УФ	Режим термомодифікування									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
без покриття											
Торцева	до		3	21	28	18	43	46	29	46	48
	після	13	13	15	19	19	34	37	18	36	38
	різниця, %			-28	-33	5	-21	-18	-38	-22	-21
Пластева	до		8	25	33	23	46	48	28	52	52
	після	16	18	21	25	20	34	38	20	42	38
	різниця, %			-16	-24	-14	-26	-22	-30	-19	-27
масловіск											
Торцева	до	18	25	42	47	39	50	52	47	52	53
	після	25	27	33	38	33	44	49	37	51	50
	різниця, %	35	8	-23	-19	-16	-13	-6	-21	-3	-6
Пластева	до	19	20	43	46	44	57	58	49	59	59
	після	28	30	37	41	35	51	50	41	56	56
	різниця, %	49	54	-14	-11	-19	-11	-14	-17	-5	-5
лазур											
Торцева	до	23	28	40	50	39	54	57	50	56	57
	після	28	29	32	40	31	46	54	39	54	56
	різниця, %	20	5	-19	-21	-20	-15	-5	-23	-3	-2
Пластева	до	20	21	43	52	40	61	61	55	63	63
	після	25	27	33	40	31	55	56	43	60	61
	різниця, %	28	30	-23	-23	-23	-11	-9	-22	-4	-2

Найвітлішими після завершення експерименту виявилися зразки без додаткового оброблення поверхні. Торцева поверхня зразків, термомодифікованих режимами 6, 8 і 9, виявилася стійкішою порівняно із пластевою. Найменшу різницю ΔE^* встановлено у зразків, модифікованих за температури 190 °C упродовж 20 год. та

за 220 °C – 10 та 20 год. із восковим покриттям та вкритих лазур'ю.

Обговорення результатів дослідження. Під впливом сонячних променів деревина інтенсивно поглинає УФ-випромінювання і зазнає фотохімічного розкладання внаслідок дії ультрафіолетових променів (УФ). За-

лежно від її хімічного складу (особливо через екстрактивні сполуки) поверхні втрачають естетичний вигляд, стаючи блідими, сіруватими, або жовтуватими. Сонячне світло має істотний вплив на колір поверхні термомодифікованої деревини і зумовлює зміну параметрів системи координат CIE $L^*a^*b^*$. Причиною такого результату визначено деградацію лігніну під дією високої температури [10]. Виявлено, що стійкість кольору для термообробленої деревини краща, ніж у необробленої деревини під час штучного вивітрювання. В іншому дослідженні зразки деревини термічно обробляли за 240 °C упродовж 2 год, а потім піддавали дії УФ-світла упродовж 835 год. Термічно оброблені зразки демонстрували кращу стійкість кольору, що пояснили меншим впливом на лігнін [2]. Термічне оброблення за 180 °C деревини виявилось ефективним, продемонструвавши найвищу стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання за умов пришвидшеного вивітрювання упродовж 168 год [10].

Висновки

Термічне модифікування, яке є м'яким піролізом, також істотно змінює компоненти клітинної стінки деревини. Дія високої температури зумовлює деградацію геміцелюлози, випаровування екстрактивних речовин та модифікація лігніну здебільшого пов'язані з поведінкою фотодеградації. Виявлено ефективність впливу термічного оброблення проти дії сонячного проміння із використанням короткочасного штучного вивітрювання. Це дослідження дало змогу оцінити вплив режимів термомодифікування та нанесення додаткового захисного покриття на стійкість забарвлення до дії сонячного проміння. Найбільших змін зазнали зразки без додаткового покриття. Ефективним виявився вплив температури 190 °C упродовж 20 год та 220 °C – 10 та 20 год, оскільки саме ці режими забезпечили кращу стійкість забарвлення до впливу УФ-проміння. Інтерес до досліджень методів оброблення фотостабілізаторами зростає, оскільки їх застосування може забезпечити високу якість поверхні на тривалий термін. Це також додає цінності готовому виробу, що експлуатується під прямою дією УФ-проміння (меблів для садів і палуби, оздоблення будинків).

References

1. A space of possibilities: *CIELAB*. Retrieved from; <https://mimoriarty.wordpress.com/2011/11/21/a-space-of-possibilities-cielab/>
2. 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. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0389-2>
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.
4. Ayilimis, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., & Bauchongkol, P. (2011). Effects of thermal treatment of rubberwood fibres on physical and mechanical properties of medium density fibreboard. *Journal of Tropical Forest Science*, 23(1), 10–16.
5. Boonstra, M. J., Acker, J., Tjeerdsma, B. F., & Kegel, E. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science*, 64, 679–690. <https://doi.org/10.1051/forest:2007048>
6. Chaouch, M., Pétrissans, M., Pétrissans, A., & Gérardin, P. (2010). Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and

- hardwood species. *Polymer Degradation and Stability*, 95(12), 2255–2259. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.09.010>
7. Decker, C. (2005). New developments in UV radiation curing of protective coatings. *Surface Coatings International Part B-Coatings Transactions*, 88(1), 9–17. <https://doi.org/10.1007/Bf02699702>
8. Deka, M., Humar, M., Rep, G., Kricej, B., Šentjurc, M., & Petric, M. (2008). Effects of UV light irradiation on colour stability of thermally modified, copper ethanolamine treated and nonmodified wood: EPR and DRIFT spectroscopic studies. *Wood Science and Technology*, 42(1), 5–20. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0147-4>
9. Dong Xing, Siqun Wang, & Jian Li, (2015). Effect of Artificial Weathering on the Properties of Industrial-Scale Thermally Modified Wood. *BioResources*, 10(4), 8238–8252. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.8238-8252>
10. Garcia, R. A., Lopes, J. O., do Nascimento, A. M., & de Figueiredo Latorraca, J. V. (2014). Color stability of weathered heat-treated teak wood maderas. *Ciencia y tecnología*, 16(4), 453–462. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X201400500003>
11. Gonzalez-Peña, M. M., & Hale, M. D. C. (2009). Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 1: Colour evolution and colour changes. *Holzforschung*, 63(4), 385–393. <https://doi.org/10.1515/HF.2009.078>
12. Hon, D. N.-S., & Shiraishi, N. (2001). Weathering and photochemistry of wood. *Wood and cellulosic chemistry*. Marcel Dekker, New York, 513–546.
13. Jämsä, S., Ahola, P., & Viitaniemi, P. (2000). Long-term natural weathering of coated ThermoWood. *Pigment and Resin Technology*, 29(2), 68–74. <https://doi.org/10.1108/03699420010317807>
14. Kaygin, B., Gunduz, G., & Aydemir, D. (2009). Some physical properties of heat-treated paulownia (*Paulownia elongata*) wood. *Dry. Technol.* 27(1), 89–93. <https://doi.org/10.1080/07373930802565921>
15. Kesik, H. I., Özkan, O. E., & Öncel, M. (2017). Characteristics of a protective layer on oil heat-treated scots pine and fir wood. *BioResources*, 12(2), 3067–3075. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.3067-3075>
16. Kocaefe, D., & Saha, S. (2012). Comparison of the protection effectiveness of acrylic polyurethane coatings containing bark extracts on three heat-treated North American wood species: *Surface degradation. Appl. Surf. Sci.*, 258, 5283–5290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.02.017>
17. Lowry, M. S., Hubble, D. R., Wressell, A. L., Vratanos, M. S., Pepe, F. R., & Hegedus, C. R. (2008). Assessment of UV-permeability in nano-ZnO filled coatings via high throughput experimentation. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(2), 233–239. <http://dx.doi.org/10.1007/s11998-007-9064-6>
18. Mburu, F., Dumarçay, S., Huber, F., Pétrissans, M., & Gérardin, P. (2007). Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. *Bioresour Technol* 98, 3478–3486. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0687-2>
19. Miklečić, J., Jirouš-Rajković, V., Antonović, A., & Španić, N. (2011). Discolouration of thermally modified wood during simulated indoor sunlight exposure. *BioResources*, 6(1), 434–446. <https://doi.org/10.15376/biores.6.1.434-446>
20. Mitsui, K., & Tsuchikawa, S. (2005). Low atmospheric temperature dependence on photodegradation of wood. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 81, 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.05.011>
21. Schaller, C., Rogez, D., Hill, C. A. S., Jones, D., Militz, H., Ormondroyd, G. A. (Eds.) (2007). Light stabilization of modified wood species. In: C. A. S. Hill, D. Jones, H. Militz, G. A. Ormondroyd (Eds): The Third European Conference on Wood Modification. *Cardiff, UK*, 15–16 October.
22. Slunská, S., & Reinprecht, L. (2015). Colour stability of pine, beech and spruce wood treated with brown superwax coating at accelerated weathering in xenotest. *Zvolen, Technická univerzita vo*

- Zvolene. *Acta facultatis xylogiae Zvolen*, 57(2), 61–69. <https://doi.org/10.17423/afx.2015.57.2.06>
23. Stingl, R., Smutny, R., Treberspurg, M., & Teischinger, A. (2007). Sustainable use of heat treated wood as façade material – preliminary results of weathering tests. In: C. A. S. Hill, D. Jones, H. Militz, G. A. Ormondroyd (Eds): *The Third European Conference on Wood Modification*. Cardiff, UK, 15–16 October
24. Unsal, O., & Ayrimis, N. (2005). Variation in compression strength and surface roughness of heat treated Turkish river gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. *J Wood Sci* 51, 405–409. <https://doi.org/10.1007/s10086-004-0655-x>
25. Williams, R. S., & Rowell, R. M. (Ed.) (2005). Weathering of wood. In: Rowell, R. M. (Ed.) *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press, Florida.

Yu. V. Tsapko¹, O. Yu. Horbachova¹, S. M. Mazurchuk¹, O. P. Bondarenko²

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

DETERMINING OF THE EFFECTIVENESS OF THERMALLY MODIFIED HORNBEAM WOOD ULTRAVIOLET PROTECTION

The research conducted has shown that the colour 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 temperatures. The application of heat treatment significantly changed such values of colour parameters as L^* , a^* , b^* in samples of thermally modified wood. Coating surface of the samples by oil-wax and azure also affected the darkening of their colour. We can estimate that heat-treated samples, the structure of which has changed compared to ordinary wood, show different interactions with the coated materials. The influence of the protective substance on the value of ΔL^* depending on the treated surface is revealed. It is determined that the parameter L^* after 16 months of exposure to direct rays of non-thermally modified samples decreases by 8 in end samples and 11 in radial samples. On the surface covered with oil-wax, the difference is 2 times smaller. The research has revealed that covering with azure provides the best level of surface protection. In thermally modified wood without additional coating on both surfaces, L^* continued to decrease – by 7 and 6 respectively. The surfaces without protective coating are proved to fade most intensely. The value of a^* on the surface without additional coating hanged for untreated and thermally modified wood by schedule 1 is established to increase by 5 for both types of surfaces. The maximum change of the parameter a^* in the group of samples with wax coating on the formation surface untreated and thermally modified by schedule 1 was revealed. The end surface protection by coating with oil-wax appeared slightly worse. Moreover, the maximum changes in b^* occurred on both untreated and modified at 160 °C surfaces for all groups of samples. The results of the change of b^* for the heat-treated at 190 and 220 °C samples are insignificant, the dependence has not been established. Total colour difference ΔE^* is found to decrease for all thermally modified wood surfaces, except untreated and modified by schedule 1, which indicates fading of the surface. Samples without additional surface treatment were the brightest at the end of the experiment. The end surface samples of thermo-modified by schedules 6, 8 and 9 were more stable compared to the radial. The smallest difference ΔE^* was found in samples modified at temperature of 190 °C for 20 h and at 220 °C – 10 and 20 h. with waxed and azure coating.

Keywords: thermally modified wood; colour change; evaluation system CIE $L^*a^*b^*$; paints and varnishes; darkening.