

Довбенко Т. О., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне), **Петренко О. В., к.т.н., ст. викл.** (Національний університет «Львівська політехніка»), **Чапюк О. С., к.т.н., доцент** (Луцький національний технічний університет), **Гомон О. О., м.н.с.** (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

АНАЛІЗ СПОСОБІВ МОДИФІКУВАННЯ ДЕРЕВИНИ

З погляду екологічних, технологічних, конструктивних та економічних критеріїв проведено аналітичний огляд способів та засобів для обробки деревини нових та експлуатованих конструкцій для продовження термінів використання дерев'яних конструкцій. На прикладі експлуатованих у несприятливих умовах конструкцій та виробів розглянуто засоби та способи модифікування деревини. Обґрунтовано, що внаслідок оброблення деревини підвищуються її експлуатаційні характеристики, зокрема фізико-механічні.

Ключові слова: *деревина; засоби для модифікування деревини; способи модифікування деревини; експлуатація дерев'яних конструкцій.*

Вступ. Деревина, як найдавніший будівельний матеріал, не втрачає актуальності дотепер [1]. Завдяки високій міцності, теплотехнічним, естетичним якостям конструкції та виробу з деревини знаходять застосування у будівельних конструкціях, виробках, предметах інтер'єру, зовнішнього декору.

Деревина займає чільне місце не лише завдяки високим естетичним, теплотехнічним, органолептичним характеристикам [2], але і завдяки технологічності та простоті в обробці [3], а також високим механічним характеристикам [4].

Не слід нехтувати також і екологічним аспектом застосування деревини, яка є на 100% відновлюваним будівельним матеріалом. Раціональне ведення лісового господарства дозволяє забезпечити будівельну, меблеву та інші галузі виробами та конструкціями з відновлюваної сировини.

Отже, продовження термінів використання виробів та конструкцій з деревини при збереженні ними заданих експлуатаційних параметрів становить не лише важливу технічну та економічну, але й екологічну задачу.

Аналіз останніх публікацій. Проблемами продовження термінів використання деревини, зокрема способами та засобами, які застосовують для модифікування деревини, займалися багато вчених, зокрема українських (Цапко Ю. В. [5], Пінчевська О. О. [6], Гомон Св. Св. [7] та ін.). Вчені досліджували модифікацію деревини, отримуючи при цьому нові композиційні матеріали, модифікатори. Дослідники встановлювали особливості модифікації деревини різними способами, при цьому використовуючи різні листяні та хвойні породи деревини. Залежно від очікуваного результату для оброблення використані засоби: для захисту від загорання та ураження комахами, грибами, шкідниками та ін. відповідно антипірени та антисептики. Зусилля сучасних дослідників спрямовані на розробку засобів захисту на основі біологічної сировини [8]. Загалом дія засобу характеризується не лише його складом та концентрацією активної речовини, але і способом улаштування покриття – поверхневим та глибинним.

Загалом численні дослідження показують, що існує чимало засобів та технологій їх нанесення, які дозволяють підвищити не лише пожежну та біологічну стійкість, але і механічні характеристики та в цілому довговічність деревини, що дає можливість розширити область використання дерев'яних виробів та конструкцій.

Для системного оцінювання впливу просочення необхідно провести аналіз засобів та технологій їх нанесення для визначення їх впливу на механічні характеристики та довговічність деревини, що і є **метою досліджень**.

Основна частина. Експлуатація необроблених дерев'яних виробів та конструкцій в несприятливих умовах призводить до передчасного фізичного зношення, зниження експлуатаційних характеристик та зменшення термінів використання деревини в цілому. Дія атмосферних чинників – поперемінна температура та вологість, УФ випромінювання, біологічні впливи – призводять до деградації виробів та конструкцій з деревини, які експлуатуються в умовах атмосферного середовища (рис. 1).

Суттєвий вплив на збереженість та терміни експлуатації дерев'яних конструкцій чинить температурно-вологісний режим. Порівняння двох горючих неопалювальних приміщень приблизно однакового віку дає змогу констатувати, що дотримання вимог провітрювання, своєчасного ремонту покрівлі, ремонту та заміни зношених елементів дозволяє експлуатувати дерев'яні конструкції дотепер (рис. 2, а). Водночас недотримання таких умов призводить до фізичного зношення від замокання та біологічного руйнування деревини (рис. 2, б).

Розглянемо коротко види засобів для обробки деревини, способи та технології їх нанесення з метою встановлення їх впливу на характеристики дерев'яних виробів та конструкцій. Дія антипіренів полягає у підвищенні стійкості до високих температур та піднятті температури займання деревини. Їх виготовляють у вигляді розчинів або наповнених покриттів. Такі покриття спучуються під впливом підвищених температур, утворюючи термоізоляційний захист деревини. Антисептики – це здебільшого солі мінеральних та органічних кислот. Антипірени та антисептики не покращують фізико-механічних властивостей деревини, проте збільшують її довговічність.



Рис. 1. Фізичне зношення конструкцій з необробленої деревини смереки, які експлуатуються більше 80 років в умовах атмосферного середовища



Рис. 2. Приклад збереження дерев'яних конструкцій покриття приблизно однакового віку у будинках з неопалюваним горіщем:
а) при дотриманні; б) при недотриманні вимог експлуатації

Для підвищення водо-, атмосферо-, хімічної стійкості, для підвищення фізико-механічних властивостей та довговічності, для покращення естетичних та органолептичних параметрів застосовують засоби на основі в'язучих речовин (олігомерів та полімерів) – натуральних, природних модифікованих та синтетичних смол і олій. Такі засоби називатимемо засобами для модифікування деревини. Їх класифікують:

- за ступенем наповнення: наповнені (пігментами та наповнювачами) – фарби, ненаповнені – лаки та імпрегнати;
- за сухим залишком в'язучої речовини;
- за видом розчинника водорозчинні та органорозчинні;
- за технологічними характеристиками: в'язкістю, швидкістю висихання, глибиною проникнення та ін.;
- за характеристиками висохлої плівки: твердістю, еластичністю;
- за впливом на характеристики деревини: водо-, атмосферо-, хімічну стійкість, міцність.

Існує велика кількість засобів для модифікування різного хімічного складу, різних властивостей та різноманітного призначення, загалом не існує строгої класифікації засобів за призначенням. Сучасні засоби характеризуються численною кількістю компонентів та комплексною дією на деревину. Існують вузько спеціалізовані, проте є й універсальні. Кожен виробник під своєю торговельною маркою втілює своє бачення на проблему підвищення довговічності деревини. За технологією влаштування розрізняють дві групи способів модифікування деревини – поверхневі та глибинні.

Поверхневі способи модифікування полягають у нанесенні модифікуючого засобу на поверхню без додаткового фізичного чи хімічного впливу на деревину, наприклад, без створення надлишкового або від'ємного тиску та без тривалої дії засобу на поверхню. Поверхневі способи – це нанесення валиком або пензлем, втирання щіткою, розпилення електричним чи пневматичним розпилювачем. Для поверхневого модифікування застосовують засоби, які твердіють як за рахунок фізичного висихання (випаровування розчинника), так і внаслідок просторової полімеризації.

Поверхневе модифікування в основному проводять для захисту від біологічних чинників та загорання. Поверхневою модифікацією можна також зміцнити та підсилити несучі конструкції будівель та споруд. При цьому міцність таких конструкцій може збільшуватись на величину до 50%. Таке порівняно незначне збільшення міцності і є основним недоліком поверхневої модифікації, як способу підвищення міцності. Витрата засобу для обробки, затрати праці, втрата часу для висихання кожного шару при відповідних температурно-вологісних умовах істотно знижує економічний ефект від поверхневого модифікування.

Глибинне модифікування деревини поділяється на способи:

- термомеханічне модифікування – це оброблення попередньо нагрітої, пропареної, сухої або наповненої деревини ущільненням з подальшим високотемпературним сушінням і термообробкою;
- хіміко-механічне – це модифікування деревини ущільненням з попередньою або одночасною пластифікацією її аміаком або просоченням смолами, мастилами з наступною термообробкою;
- термохімічне модифікування – це модифікування деревини просочуванням мономерами, олігомерами або смолами і з наступною

термообробкою, при цьому відбувається полімеризація (поліконденсація) засобів для просочення;

- хімічне модифікування – це оброблення аміаком, оцтовим ангідридом або кетонами, що змінюють тонку структуру клітинних стінок і хімічний склад деревини;

- радіаційно-хімічне модифікування – це просочування мономерами, олігомерами або смолами з подальшою їх полімеризацією під дією іонізуючого випромінювання.

За іншими джерелами [9] глибинне модифікування може здійснюватися такими способами:

- безнапірним просоченням засіб проникає у деревину завдяки капілярному змочуванню. Тривала у часі процедура вимагає герметичних ємкостей для уникнення випаровування розчинника і надмірного збільшення в'язкості засобу;

- спосіб насичення в контрастних ваннах. Прогріта протягом двох годин у гарячому засобі до 50–90° С деревина поміщається на 5 годин у ємкість з холодним (15–20° С) засобом, де охолоджується. Під час прогріву деревина насичується гарячим засобом замість витісненої частини вільного повітря. При охолодженні внаслідок зниження тиску та зменшення об'єму, засіб для обробки проникає на більшу глибину. Поперемінне занурювання, мінімізація зовнішнього випаровування та окислення дозволяє засобу для просочення проникнути на значну глибину;

- спосіб дифузії полягає в обробці деревини вологістю понад 35% концентрованим водорозчинним засобом, який проникає вглиб деревини внаслідок її підвищеної вологості. Просочення призупиняється після висихання деревини і поновлюється при повторному зволоженні;

- спосіб осмосу – метод просочення свіжозрубаних дерев;

- способом ін'єкції засіб для обробки вводять за допомогою насоса (шприца) у спеціально просвердлені або вихідні отвори комах. Таким способом просочують деревину низьков'язкими засобами;

- спосіб електропросочування (електроосмосу) відбувається внаслідок проходження постійного електричного струму між електродами на протилежних поверхнях просочуваного дерев'яного елемента. Завдяки електрокінетичним явищам значна кількість засобу для просочення за короткий час проникає у пористу структуру деревини. Застосування такого способу дозволяє

отримати просочену деревину з високими фізико-механічними характеристиками;

- вакуумним способом видаляється повітря з деревини просочення, чим забезпечується ефективність і глибина просочування за мінімальної кількості засобу. Вимагає наявності вакуумного насосу та герметичної камери;

- вакуумно-компресійним способом шляхом створення попереминого від'ємного та надлишкового (до 0,8 МПа) тиску забезпечується глибоке проникнення засобу для просочування у масив деревини.

Кожен з видів та способів модифікування має свою область застосування, переваги і недоліки. Загалом глибинне модифікування дозволяє збільшити фізико-механічні характеристики деревини величину до 50–250%, в окремих випадках до 300%. Глибинна модифікація порівняно з поверхневою потребує ще більш значних затрат праці, витрати засобів для просочення, амортизації та обслуговування оснастки для виконання робіт, проведення заходів по контролю якості, що також необхідно враховувати при розрахунку економічного ефекту від підвищення довговічності обробленої деревини.

Висновки. Як показав аналітичний огляд літературних джерел, збільшення довговічності використання деревини є можливим завдяки комплексним заходам, які зокрема включають використання ефективних засобів та способів оброблення, що забезпечують максимальні технологічні показники (проникність, повторювальність результату), експлуатаційні (водо-, атмосферо-, хімічну стійкість, фізико-механічні властивості та довговічність, високі естетичні параметри) та економічні (швидкість, продуктивність, помірну вартість). Ігнорування обробкою призводить до виходу з ладу конструкцій та виробів, що може спричинити їх руйнування (внаслідок замокання, загнивання, поширення вогню) та зменшення термінів їх ефективного використання (зниження довговічності та надійності). Проблематика експлуатації оброблених дерев'яних виробів та конструкцій у несприятливих умовах є предметом подальших досліджень.

1. Cox T. R. Wood: A History. Cambridge : UK: Polity Press, 2012. 399 p.
2. Hoadley R. B. Chemical and Physical Properties of Wood. The Structural Conservation of Panel Paintings : Proceedings. Part 1. *Wood Science and*

Technology. Getty Publications : Los Angeles, CA, USA, 1998. Pp. 2–20. **3.** Kim J. K., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, 2010. **4.** Hao J., Wu X., Oporto G., Liu W., Wang J. Structural Analysis and Strength-to-Weight Optimization of Wood-Based Sandwich Composite with Honeycomb Core under Three-Point Flexural Test. *Eur. J. Wood Prod*, 2020. Vol. 78. P. 1195–1207. **5.** 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*. Львів, 2021. № 2. Том 31. С. 81–87. **6.** Горбачова О. Ю., Пінчевська О. О. Термічне модифікування деревини граба : монографія. Київ, 2017. **7.** Yasniy P., Homon S., Iasnii V, Gomon S. S., Gomon P., & Savitskiy V. Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 211–216. **8.** Сірко З. С., Ващенко В. В., Протасов О. С., Бондаренко О. П., Цапко Ю. В., Цапко О. Ю. Біозахисне оброблення деревини. *Науковий вісник будівництва*. Київ, 2024. № 110. С. 77–82. **9.** URL: <https://publish.com.ua/budivnytstvo/metody-propitki-drevesiny-dlya-ejo-zashchity.html#glubokie-metody>. (дата звернення: 10.11.2024).

REFERENCES:

1. Cox T. R. Wood: A History. Cambridge : UK: Polity Press, 2012. 399 p.
2. Hoadley R. B. Chemical and Physical Properties of Wood. The Structural Conservation of Panel Paintings : Proceedings. Part 1. *Wood Science and Technology*. Getty Publications : Los Angeles, CA, USA, 1998. Pp. 2–20.
3. Kim J. K., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, 2010.
4. Hao J., Wu X., Oporto G., Liu W., Wang J. Structural Analysis and Strength-to-Weight Optimization of Wood-Based Sandwich Composite with Honeycomb Core under Three-Point Flexural Test. *Eur. J. Wood Prod*, 2020. Vol. 78. P. 1195–1207.
5. Tsapko Yu. V., Horbachova O. Yu., Mazurchuk S. M., Bondarenko O. P. Vstanovlennia efektyvnosti zakhystu termomodyfikovanoi derevyny hraba vid dii ultrafioletu. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. Lviv, 2021. № 2. Том 31. С. 81–87.
6. Horbachova O. Yu., Pinchevska O. O. Termichne modyfikuvannia derevyny hraba : monohrafiia. Kyiv, 2017.
7. Yasniy P., Homon S., Iasnii V, Gomon S. S., Gomon P., & Savitskiy V. Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 211–216.
8. Sirko Z. S., Vashchenko V. V., Protasov O. S., Bondarenko O. P., Tsapko Yu. V., Tsapko O. Yu. Biozakhysne obrobлення derevyny. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kyiv, 2024. № 110. С. 77–82.
9. URL: <https://publish.com.ua/budivnytstvo/metody-propitki-drevesiny-dlya-ejo-zashchity.html#glubokie-metody>. (data zvernennia: 10.11.2024).

Dovbenko T. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Petrenko O. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer** (Lviv Polytechnic National University), **Chapiuk O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (Lutsk National Technical University), **Homon O. O., Junior Research Fellow** (Ternopil Ivan Puluj National Technical University)

ANALYSIS OF WOOD MODIFICATION METHODS

Wood, as one of the oldest construction materials, holds a prominent position due to its high aesthetic, thermal, organoleptic, and mechanical characteristics. In terms of environmental aspects, wood is a 100% renewable building material. Unlike other traditional construction materials like brick, concrete, and steel, wood not only does not produce greenhouse gas emissions during its cultivation, harvesting, and use, but it also retains CO₂ from being released into the atmosphere. In other words, wood acts as a depot for holding carbon dioxide and preventing its emission into the atmosphere. Extending the service life of wood while maintaining its operational parameters is not only an important technical and economic task but also an environmental one. One of the numerous methods for extending the service life of wood is the impregnation of wooden structures with fire retardants, antiseptics, and agents that enhance physical and mechanical properties.

Many scientists have worked on the scientific problems of wood modification. New composite materials and modifiers based on natural, modified natural, and synthetic resins and oils have been developed, and the specific features of wood modification through various methods have been identified.

Overall, modification allows for an increase in the physical and mechanical characteristics of wood by 50–250%, and in some cases up to 300%. The technology of modification requires additional labor costs, expenses for impregnation agents, depreciation, and maintenance of equipment for the work, as well as the implementation of quality control measures. These labor, time, and material costs must be considered when calculating the economic effect of wood treatment.

***Keywords:* wood; means for wood modification; ways to modify wood; operation of wooden structures.**