



ВСТАНОВЛЕННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ТА ЗВИЧАЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ МЕТОДИК

Склеювання є одним з найпоширеніших видів з'єднання деревини та деревинних матеріалів, включаючи термічно модифіковану деревину, які використовують у різних виробках деревообробної промисловості. Невирішеною проблемою на сьогодні є склеювання термічно модифікованої деревини зі звичайною, особливо під час виготовлення столярно-будівельних виробів. Зокрема, для захисту віконних і дверних конструкцій із зовнішньої сторони, запропоновано використовувати клейове з'єднання, яке поєднує термічно модифіковану і звичайну деревину, склеєну термопластичними клеями на основі полівінілацетату (ПВА). Це значно покращить експлуатаційні властивості і збільшить довговічність готових виробів. Для досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичним полівінілацетатним клеєм, запропоновано виконати експериментальні дослідження з використанням пришвидшеного (лабораторного) і тривалого (природного) методу. Це дасть змогу отримати достовірні результати досліджень таких клейових з'єднань в умовах експлуатації. Відповідно до методів описано методики проведення тривалих і пришвидшених експериментальних досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. За цими методами проведено експериментальні дослідження, здійснено статистичне оброблення даних, побудовано графічні залежності та проаналізовано отримані дані. За результатами пришвидшених експериментальних досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої сосни, встановлено, що міцність термічно модифікованої деревини ясеня зі звичайною сосною, склеєною термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, в середньому зменшилась на 45 % від початкової. А міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої після тривалих експериментальних досліджень в середньому зменшилась на 27 % після двох років випробувань у природних умовах.

Ключові слова: склеювання; клеї; міцність; термічно модифікована деревина; клейові з'єднання.

Вступ / Introduction

Сьогодні широкого використання набуває термічно модифікована деревина, яка, завдяки своїм властивостям, значно збільшує сферу використання низькосортних і малоцінних порід деревини. Термічне модифікування відбувається у камерах спеціального призначення або автоклавах за температури (180-240 °C) у середовищі водяної пари, без доступу кисню. Тому деревина набуває покращених властивостей щодо дії води та експлуатації у змінному температурно-вологісному середовищі. Унаслідок дії високих температур відбуваються певні зміни у структурі деревини, що призводить до зміни її фізичних і хімічних властивостей. Зокрема відбувається підвищення біологічної стійкості, розмірна стабільність, екологічність, зниження теплопровідності,

змінюється зовнішній вигляд, а колір деревини стає однаковим по всій товщині. Завдяки отриманим властивостям таку деревину можна використовувати в агресивних умовах експлуатації за змінних температурно-вологісних навантажень. Для прикладу, з термічно модифікованої деревини можна виготовляти садові меблі, альтанки, віконні і дверні конструкції, здійснювати оздоблення фасадів будинків і таке інше.

Одним із важливих недоліків термічно модифікованої деревини є зниження її адгезійних властивостей. Це відбувається за рахунок хімічних змін, які проходять на молекулярному рівні за дії високих температур. Клеїв для склеювання термічно модифікованої деревини, які задовольняли б експлуатаційні показники, немає. Тому постає питання у підборі клею для склеювання такої деревини, щоб забезпечити належну міцність клейовим

Інформація про авторів:

Дацків Галина Миколаївна, аспірант, кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Email: datskivhalyna12@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6254-7066>

Кшивецький Богдан Ярославович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Email: bogdan.kshyvetskyy@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-0315-3702>

Цитування за ДСТУ: Дацків Г. М., Кшивецький Б. Я. Встановлення міцності клейових з'єднань термічно модифікованої та звичайної деревини із використанням різних методик. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 5. С. 63–68.

Citation APA: Datskiv, H. M., & Kshyvetskyy, B. Ya. (2022). Determination of the strength of adhesive joints of thermally modified and ordinary wood using different methods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(5), 63–68. <https://doi.org/10.36930/40320509>

з'єднанням у процесі експлуатації.

На сьогодні є низка досліджень щодо склеювання термічно модифікованої деревини різних порід, різного ступеня оброблення з використанням різких клеїв. Звичай автори у своїх дослідженнях використовували деревину модифіковану за температури від 150 до 225°C, склеєну здебільшого термореактивними клейовими матеріалами.

Зважаючи на сучасні умови виробництва, затребуваним є склеювання термічно модифікованої деревини зі звичайною деревиною, оскільки таке поєднання є важливим для виготовлення столярно-будівельних виробів, зокрема віконних конструкцій, де зовнішня ламель виготовлена з термічно модифікованої деревини. Сучасні лакофарбові матеріали, які використовуються для опорядження таких конструкцій, недостатньо забезпечують належні умови експлуатації віконним конструкціям за тривалої негативної дії зовнішніх факторів.

Цю проблему можна вирішити використовуючи клейові конструкції, які поєднують термічно модифіковану і звичайну деревину. Це значно збільшить довговічність готовим виробам і покращить їх експлуатаційні властивості. Таке поєднання на сьогодні представлене у вигляді клеєного термобруса. Тому потрібно провести ґрунтовні наукові дослідження з визначення міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої.

Об'єкт дослідження – клейові з'єднання термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої.

Предмет дослідження – механічна міцність термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичними клеями.

Мета роботи – розробити методику тривалих і пришвидшених експериментальних досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної полівінілацетатними клеями (ПВА).

Для досягнення зазначеної мети визначити такі основні завдання дослідження: проаналізувати методи досліджень; підібрати та описати методику тривалих і пришвидшених експериментальних досліджень з визначення міцності клейових з'єднань; проаналізувати результати досліджень.

Аналіз літературних джерел та публікацій. Склеювання – це один з перспективних і найпоширеніших методів з'єднання деревини і деревинних матеріалів. Цей процес ґрунтується на явищі адгезії і когезії. Адгезія характеризується здатністю клею формувати міцне з'єднання між матеріалами. Когезія характеризується здатністю забезпечити належну міцність у клейовому шарі і підкладці. Основними чинниками, які впливають на адгезійну міцність клейових з'єднань, є стан поверхонь, що склеюються, властивості адгезиву, режимні параметри склеювання, умови експлуатації і т.ін.

Міцність клейових з'єднань як термічно модифікованої, так і немодифікованої деревини досліджують двома методами, а саме тривалим (природним) і пришвидшеним (лабораторним) [1, 2].

Для склеювання деревини і деревинних матеріалів використовують термореактивні і термопластичні клеї. Термореактивні клеї – це високомолекулярні сполуки, які утворюють тверді і крихкі шви. До них відносять карбамідо-формальдегідні, феноло-формальдегідні, меламіно-формальдегідні, поліуретанові тощо. Клейові

з'єднання деревини на термореактивній основі є стійкими до дії вологи і температури, тому можуть експлуатуватися за змінних температурно-вологісних навантажень. Проте надмірне водопоглинання таких клеїв, крихкість клейового шва, їх токсичність призводить до обмеженого їх використання [9, 10].

Термопластичні клеї характеризуються високою адгезією до деревини і деревинних матеріалів, формують еластичний клейовий шов, екологічно безпечні і простіші у використанні. Завдяки цим характеристикам обсяг їх використання у деревообробній промисловості збільшується. До термопластичних клеїв відносять полістирол, поліаміди, полівінілацетат, поліетилен. Полівінілацетатні (ПВА) клеї – найпоширеніші за використанням у деревообробних виробництвах. До недоліків ПВА клеїв відносять низьку водостійкість і теплостійкість. Для покращення експлуатаційних характеристик їх модифікують [7, 8, 9].

Спеціально призначених клеїв для склеювання термічно модифікованої деревини немає, тому для її склеювання на сьогодні використовують зазначені вище клеї. З'єднання за допомогою таких клеїв термічно модифікованої деревини різного ступеня оброблення частково досліджено.

У роботі [5] автори досліджували міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня, обробленої за температури 160 і 220°C упродовж чотирьох годин. Для склеювання використовували полівінілацетатну дисперсію із класом довговічності D3. Результати досліджень показали, що середнє значення міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня, обробленої за температури 160°C упродовж чотирьох годин, становить 3,45 МПа, а за температури 220°C упродовж чотирьох годин – 6,34 МПа. Таку різницю показників міцності автори пояснюють хімічними змінами, які відбуваються за різних температур оброблення. За температури 160°C відбувається розклад геміцелюлози і дещо змінюється структура лігніну, а за температури 220°C – збільшення вмісту лігніну внаслідок реакції зшивання. Це приводить до утворення міжмолекулярних зв'язків між підкладкою та адгезивом, унаслідок чого збільшується міцність клейового з'єднання.

У роботі [6] досліджено міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини, обробленої за різних температурних умов. Для досліджень використовували деревину ялиці, яку обробляли за температури 170, 180, 190, 200 і 212°C упродовж двох годин. Для склеювання використовували термореактивні (феноло-формальдегідні, меламіно-формальдегідні, меламіно-карбамідо-формальдегідні та поліуретанові) клеї. Результати показали, що міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ялиці, обробленої за різних температур для клеїв, які використовувались для склеювання, зменшувалась із збільшенням температури оброблення. Найбільшу міцність показали клейові з'єднання деревини ялиці, склеєні поліуретановим клеєм.

У роботі [12] досліджено міцність склеювання термічно обробленої деревини граба, обробленої за температури 150, 175, 200 і 225°C упродовж трьох годин. Для склеювання використовували меламіно-формальдегідний, поліуретановий і полівінілацетатний клеї. Результати досліджень показали, що із збільшенням температури оброблення міцність клейових з'єднань таких порід деревини зменшувалась. Міцність клейових з'єд-

нань, склеєних поліуретановим клеєм, була вищою, ніж міцність з'єднань на основі меламіно-формальдегідних та полівінілацетатних клеїв на 11,9 та 15,6 % відповідно. Порівняно з показниками контрольних клейових з'єднань міцність зменшилась на 21,7, 15,3, 39,6 % для меламіно-формальдегідних, поліуретанових та полівінілацетатних клеїв відповідно.

Такі результати досліджень свідчать про складність і специфіку склеювання термічно модифікованої деревини. Оскільки у процесі модифікування відбуваються незворотні хімічні зміни (розкладання геміцелюлози, деградація целюлози і структурні зміни лігніну), які призводять до скорочення міжмолекулярних зв'язків між підкладкою і адгезивом [11]. Тому актуальним є питання щодо склеювання термічно модифікованої деревини зі звичайною. Вивчення цього питання дасть змогу вирішити певні проблеми під час виготовлення та експлуатації столярно-будівельних виробів. Досягнення задовільної міцності під час склеювання термічно модифікованої деревини зі звичайною дасть змогу збільшити частку використання низькосортних порід деревини та вирішити проблему довговічності столярно-будівельних виробів, зокрема віконних конструкцій.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої використовували тривалий (природний) та пришвидшений (лабораторний) методи.

Тривалий метод експериментальних досліджень дає змогу оцінити зміну міцності клейових з'єднань деревини за дії атмосферних факторів у природних умовах. Цей метод досліджень є більш достовірним, хоча тривалим у часі і трудомістким. Результати, отримані за тривалим методом, дають змогу оцінити зміну міцності клейових з'єднань деревини враховуючи реальний вплив природних факторів. Проте для зменшення тривалості досліджень і детального вивчення впливу вологості і температури на міцність клейових з'єднань можна використовувати пришвидшений метод.

Пришвидшений метод досліджень дає змогу значно скоротити їх тривалість та детальніше проаналізувати вплив окремих факторів на клейові з'єднання. Цей метод ґрунтується на зміні релаксаційних і пружно-деформаційних процесів у клейовому з'єднанні.

Підготовку експериментальних зразків здійснювали відповідно до Європейського стандарту EN 205 [4]. Для досліджень використали термічно модифіковану деревину ясеня і сосни немодифікованої. Для склеювання використовували термопластичний клей на основі полівінілацетату марки RAKOLL ECO 4, клас довговічності D4.

Виготовлення експериментальних зразків здійснювали у виробничих умовах на підприємстві Long Life Wood у такій послідовності технологічних операцій: підготовка деревини сосни, підготовка і термічне модифікування деревини ясеня (за температури 195 °С та тривалості 12 год), підготовка клею, склеювання, формування зразків певних розмірів і форми.

Підготовка деревини охоплювала виготовлення соснових і термічно модифікованих ясеневих ламелей розміром 600×130×5 мм. Перед склеюванням ламелі калібрували до товщини $5^{±0,1}$ мм. Вологість соснових ламелей перед склеюванням становила $7^{±1,5}$ %, а ламелей з термічно модифікованої деревини ясеня – $2^{±0,5}$ %. Для визначення вологості ламелей використовували лабора-

торний аналізатор вологи RAD WAG WPS 110 S, принцип роботи якого базується на ваговому методі (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторний аналізатор вологи RAD WAG WPS 110 S / The RAD WAG WPS 110 S laboratory moisture analyzer

Клей перед нанесенням перемішували для отримання однорідної маси, після чого визначали умовну в'язкість за допомогою віскозиметра ВЗ-4 і доводили її до вимог режимних параметрів склеювання, яка становила 80 секунд. Витрата клею становила 160 г/м². Наносили клей вручну за допомогою пензля. Після нанесення клею формували пакет та здійснювали пресування за допомогою пневматичної вайми. Тривалість пресування – 30 хв за температури +20 °С. Технологічна витримка після склеювання становила 7 днів. Із склеєних ламелей відповідно до стандарту EN 205 формували експериментальні зразки розміром 150×20×10 мм. Схему експериментальних зразків клейових з'єднань подано на рис. 2.

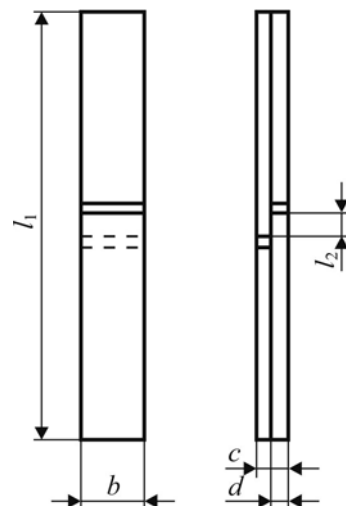


Рис. 2. Схема експериментальних зразків / Diagram of the experimental specimens

Методика проведення тривалих і пришвидшених експериментальних досліджень. Міцність клейових з'єднань деревини та деревинних матеріалів за тривалим методом досліджували згідно із стандартом ГОСТ 19100-73. Цей стандарт в Україні не є чинним, а заміника його немає. Тобто виникає інформаційний вакуум щодо проведення експериментальних досліджень відповідно до стандарту. Зважаючи на це, ми прийняли рішення, що основою для проведення експериментальних

досліджень у природних умовах є стандарт ГОСТ 19100-73, проте форми і розміри зразків відповідали європейському стандарту EN 205-2003.

Відповідно до цього стандарту потрібно: підготувати стенд для випробування зразків в атмосферних умовах, виготовлення експериментальних зразків відповідної форми і розмірів, підготовка клею і склеювання, кріплення стенда і фіксування зразків, проведення експериментальних досліджень. На рис. 3 подано стенд для випробування експериментальних зразків.

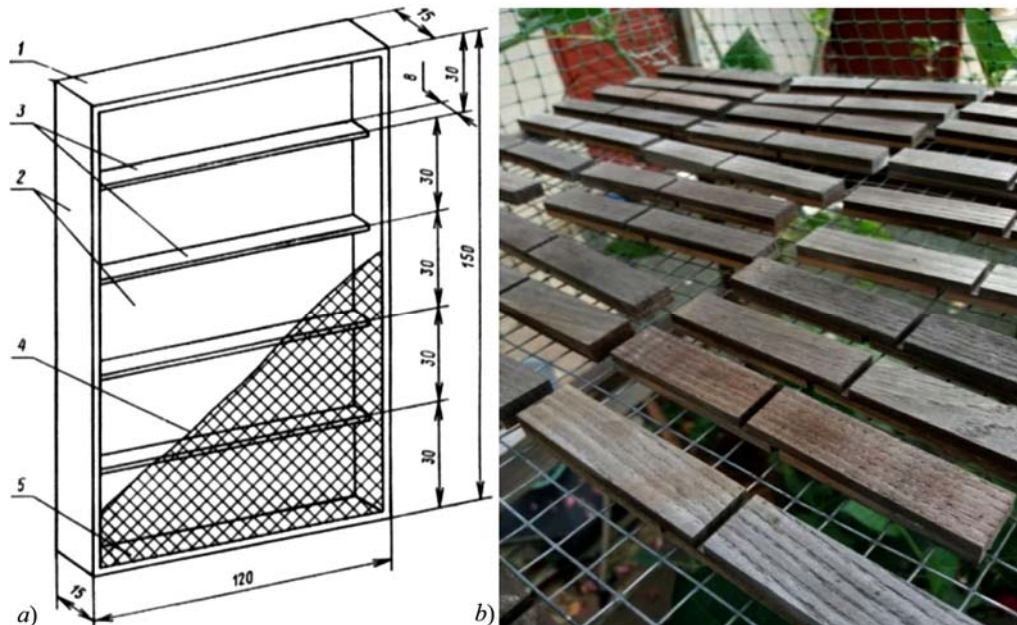


Рис. 3. Стенд для випробування експериментальних зразків в атмосферних умовах / Bench for testing experimental specimens in atmospheric conditions

Підготовлені зразки розміщували на стенд на відстані 20 мм один від одного для забезпечення циркуляції повітря. Стенд із зразками було закріплено на висоті трьох метрів від рівня землі. Дослідження проводили в атмосферних умовах упродовж двох років. Після кожних трьох місяців від початку досліджень, а саме через 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 і 24 місяці, зі стенда знімали відповідну партію зразків і піддавали випробуванням. Упродовж усього експерименту фіксували зміну атмосферних факторів, а саме середньодобову вологість і температуру навколишнього середовища. Окрім цього, періодично фіксували зміну зовнішнього вигляду зразків, їх розмірів та форми.

Міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичним клеєм, визначали відповідно до Європейського стандарту EN 204-2001 аналогічно як для пришвидшених експериментальних досліджень [3].

Руйнування зразків як за пришвидшеною, так і тривалою методикою здійснювали на розривній машині марки Р-05 (рис. 4) методом розтягу вздовж волокон з постійним навантаженням. Отримані результати випробувань записували в журнал спостережень, після чого проводили статистичне оброблення даних.

Пришвидшені експериментальні дослідження впливу вологості і температури на клейові з'єднання проводили паралельно з тривалими дослідженнями відповідно до Європейського стандарту EN 204-2001, який включає три етапи випробувань. Кількість дійсних результатів в одному етапі має бути не менше 10.

Експериментальні зразки, їх форма і розміри були аналогічними як і для досліджень за тривалим методом

зразків в одній партії визначалася умовами проведення експериментальних досліджень згідно із стандартом. Усі підготовлені зразки, які використовували для тривалих досліджень, розділяли на дві частини. Одну частину зразків поміщали на стенд для випробувань у природних умовах згідно з описаними вище вимогами, а другу частину використовували як контрольні зразки, які не піддавалися впливу природних факторів і за якими визначали початкову міцність.

(див. рис. 2). Підготовлені зразки розділили на чотири частини: контрольні зразки – не піддавались жодним навантаженням; зразки, які випробовувались у стандартних умовах; зразки, які додатково вимочувались; зразки, які піддавались кип'ятінню.



Рис. 4. Розривна машина Р-05 для випробування зразків на розтяг уздовж волокон / The R-05 tensile-testing machine for testing specimens in tension parallel to grain

Випробування у стандартних умовах (етап перший): зразки впродовж семи діб витримували за температури $20^{\pm 5} \text{ } ^\circ\text{C}$ та вологості навколишнього середовища $65^{\pm 5} \%$. На другому етапі після семи діб витримання у стандартних умовах зразки вимочувались у воді впродовж чотирьох діб за температури $20^{\pm 5} \text{ } ^\circ\text{C}$. На третьому етапі після семи діб витримання у стандартних умовах зразки піддавались шестигодинному кип'ятінню та двохгодинному витриманню у воді за температури $20^{\pm 5} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Зразки для досліджень міцності за пришвидшеним методом виготовляли аналогічно як для тривалих експериментальних досліджень. Отримані результати після пришвидшених експериментальних випробувань аналогічно як і для тривалих досліджень записували в журнал спостережень та проводили статистичне оброблення даних.

Усі результати експериментальних досліджень піддавались статистичному обробленню даних, на основі якої здійснювали побудову графічних залежностей, що піддавались аналізу, та робили висновки.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Після руйнування клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичним полівінілацетатним клеєм, відповідно до методики здійснювали статистичне оброблення отриманих результатів і будували графічні залежності. На рис. 5 наведено основні результати досліджень за пришвидшеним методом.

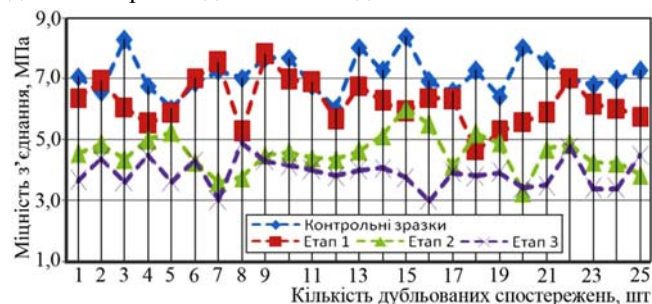


Рис. 5. Міцність термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої деревини сосни за пришвидшеним методом / Strength of thermally modified ash wood and unmodified pine wood determined by the accelerated method

На рис. 6 наведено результати досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями, за тривалим методом.



Рис. 6. Міцність термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої деревини сосни за тривалим методом / Strength of thermally modified ash wood and unmodified pine wood determined by the long-term method

Обговорення результатів дослідження. На основі підбраної методики проведено тривалі та пришвидшені експериментальні дослідження з визначення міцності термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої сосни, склеєної термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4. Результати пришвидшених експериментальних досліджень (див. рис. 5) показали, що середня міцність клейового з'єднання після випробувань становить 5,13 МПа. За результатами тривалих експериментальних досліджень (див.

рис. 6) середнє значення міцності клейового з'єднання після випробувань становить 5,13 МПа. А середня міцність клейового з'єднання контрольних зразків становить 7,12 МПа.

Як видно з результатів пришвидшених і тривалих експериментальних досліджень термопластичні полівінілацетатні клеї із ступенем довговічності D4 здатні забезпечити належну міцність клейовим з'єднанням термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої деревини сосни як під час різких змінних температурно-вологісних навантажень, так і під час експлуатації за впливом природних факторів. Зокрема, міцність після пришвидшених експериментальних досліджень зменшилась на 45 % і після тривалих експериментальних досліджень – на 27 %. Тобто такі клейові з'єднання можна експлуатувати у природних умовах із змінними температурно-вологісними навантаженнями, які здатні забезпечити належну міцність готовим виробам.

На сьогодні досліджень із склеювання термічно модифікованої деревини для різних порід, з різним ступенем оброблення та з використанням різних клеїв проведено достатньо. Зокрема, автори [5] дослідили міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня, обробленої за температури 160 °C і 220 °C упродовж чотирьох годин, склеєної полівінілацетатною дисперсією з класом довговічності D3, а автори [6] дослідили міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ялиці, обробленої за температури 170, 180, 190, 200 і 212 °C упродовж двох годин. Для склеювання використовували термореактивні клеї. Щодо питання склеювання термічно модифікованої деревини зі звичайною з використанням термопластичних полівінілацетатних клеїв, то такі дослідження ми виконали вперше, особливо це стосується тривалих експериментальних досліджень, упродовж двох років, у природних умовах.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження: вперше запропоновано методику проведення тривалих експериментальних досліджень склеювання термічно модифікованої деревини ясеня зі звичайною деревиною сосни, використавши для цього поєднання європейських та вітчизняних стандартів; вперше проведено тривалі експериментальні дослідження з визначення міцності склеювання термічно модифікованої деревини ясеня зі звичайною деревиною сосни, склеєними термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 у природних умовах упродовж двох років. Отримано результати досліджень.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати досліджень дали змогу дослідити зміну міцності термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої деревини сосни, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 як пришвидшеним, так і тривалим методами. Це дає підстави стверджувати, що столярно-будівельні конструкції, виготовлені із термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої деревини сосни, склеєними термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4, відповідають вимогам стандарту, відповідно до якого розроблено методику проведення досліджень, та забезпечують умови експлу-

атації і належну довговічність готових виробів, що сприяє раціональному використанню деревинних ресурсів.

Висновки / Conclusions

Запропонована методика та проведені тривалі і пришвидшені експериментальні дослідження міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої, склеєної термопластичним полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4, відповідають визначеній меті досліджень, а за отриманими результатами можна зробити такі висновки:

1. Для досліджень міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої сосни, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4, запропоновано використати методику пришвидшених і тривалих експериментальних досліджень відповідно до європейських і вітчизняних стандартів.
2. Встановлено, що середня міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої після пришвидшених експериментальних досліджень зменшилась на 45 %, що задовольняє вимоги чинного стандарту EN 204.
3. Досліджено, що клейові з'єднання термічно модифікованої деревини ясеня і немодифікованої сосни витримали два роки природних температурно-вологісних навантажень із зменшенням середньої міцності на 27 %, що також відповідає вимогам щодо міцності клейових з'єднань.

References

1. Datskiv, H. M., & Kshyvetskyi, B. Ya. (2020). Methodology for conducting experimental studies on the strength of joints of thermally modified wood glued with PVA-based adhesives. The IX-th International Scientific and Practical Conference " Integrated Quality Assurance of Technological Processes and Systems" vol. 1, 202–203. [In Ukrainian]
2. Datskiv, H. M., & Kshyvetskyi, B. Ya. (2021). Regarding accelerated experimental studies on adhesive joint strength of thermally modified wood glued with PVA-based adhesives. *The XI-th Inter-*

national Scientific and Practical Conference " Integrated Quality Assurance of Technological Processes and Systems", vol. 1, 175–177. [In Ukrainian]

3. EN 204:2001. Classification of thermoplastic wood adhesives for use other than in the production of structural supporting beams. ICS 83.180. Replaces document EN 204: 1991.
4. EN 205:2003. Adhesives – wood adhesives for use other than in the production of structural supporting beams – determination of ultimate strength. ICS 83.180. Replaces document EN 205: 1991.
5. Ilkiv, M. M., Solonyuka, V. R., Humeniuk, Zh. Ya., & Huber, Yu. M. (2017). The study on the strength of adhesive joints of thermally modified ash wood obtained by the technology of vacuum-conductive heat treatment. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3), 136–139. [In Ukrainian]
6. Kol, H. S., & Özbay, G. (2016). Adhesive bond performance of heat-treated wood at various conditions. *Journal of Environmental Biology*, 37(4), 557–564.
7. Kshyvetskyi, B. Ya. (2014). Practical recommendations for predicting the strength and durability of thermoplastic adhesive-bonded wood joints. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(5), 146–150. [In Ukrainian]
8. Kshyvetskyi, B. Ya., & Solonyuka, V. R. (2007). Thermoplastic compositions based on polyvinyl acetate (PVA) and their use in the woodworking industry. *Scientific Bulletin of UNFU*, 17(6), 92–95. [In Ukrainian]
9. Kshyvetskyi, B. Ya., & Tyvunka, I. Yo. (2018). The strength and durability of thermoplastic adhesive wood joints: monograph. Lviv, Galician publishing union, LLC, 188 [122], ill. [19] tables. Bibliograph, 209 (268 titles). [In Ukrainian]
10. Kshyvetskyi, B. Ya., Datskiv, H. M., & Andrashek, Yo. V. (2019). General information about adhesives, gluing and thermally modified wood. *Scientific Bulletin of UNFU*. Vol. 29, no. 3, 81–84. Thermal modification of wood. (2019): domestic experience. *Equipment and tools*, no. 3, 38–39. <https://doi.org/10.15421/40290317>
11. ThermoWood: Handbook – Helsinki (2003). FINLAND: International ThermoWood Association.
12. Uzun, O., Percin, O., Altınok, M., & Kureli, I. (2016). Bonding strength of some adhesives in heat-treated hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood used of interior and exterior decoration. *BioRes*, 11(3), 7686–7696.

H. M. Datskiv, B. Ya. Kshyvetskyi

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

DETERMINATION OF THE STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS OF THERMALLY MODIFIED AND ORDINARY WOOD USING DIFFERENT METHODS

Gluing is one of the promising and widely-used methods of joining wood and wood-based materials used in woodworking and furniture industries. Today, bonding of thermally modified wood with unmodified wood is of great importance. First of all, in the manufacture of joinery and building products, in particular, to protect window and door structures on the outside. To do this, it is proposed to use a glued structure that holds together thermally modified wood and unmodified wood. This combination will significantly improve the operational properties and increase the durability of finished products. For such products, the authors suggest using thermally modified ash wood and unmodified pine wood, which are glued together with thermoplastic polyvinyl acetate adhesive with durability class D4. In order to investigate the strength of such adhesive joints, it is proposed to conduct experimental studies using the accelerated (laboratory) and long-term (natural) methods. This will allow obtaining reliable results of studies of such adhesive joints under operating conditions. According to the selected research methods, the article describes the process of conducting long-term and accelerated experimental studies on the strength of adhesive joints between thermally modified ash wood and unmodified pine wood which are glued together with thermoplastic polyvinyl acetate adhesive with durability class D4. According to these methods, experimental studies were carried out, their results were statistically processed, graphical dependencies were constructed and the data obtained was analyzed. The average strength value of the adhesive joints obtained as a result of the accelerated experimental studies on thermally modified ash wood and unmodified pine wood glued together with thermoplastic polyvinyl acetate adhesive is 3.9 MPa, and according to the results of the long-term experimental studies, the average strength value of such an adhesive joint is 5.13 MPa after two years of testing in natural conditions. Such adhesive-bonded joints meet the standard operating requirements; based on these standards, methods for conducting experimental studies are described and implemented.

Keywords: gluing; adhesives; strength; thermally modified wood; adhesive joints.