



С. М. Валько, Б. Я. Кшивецький

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ КЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЗУБЧАСТИЙ МІНІ-ШИП

Проаналізовано клейові з'єднання деревини та клеї для їх склеювання. Основну увагу приділено меблевому щиту, який виготовлений із деревини бука, де короткомірні заготовки, склеєні між собою за довжиною на зубчастий міні-шип термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 у ламелі, які з'єднанні між собою по крайці у щит. Встановлено, що важливе значення за з'єднання деревини на зубчастий міні-шип у меблевому щиті має зміна міцності клейового з'єднання деревини за дії температурно-вологісних навантажень під час експлуатації. Розроблено методику проведення експериментального дослідження впливу температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань букової деревини, що з'єднана на зубчастий міні-шип, оскільки загальноприйнятої методики, яка б дала можливість забезпечити достовірність таких результатів експериментального дослідження, не існує. Запропоновано, для дослідження впливу температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань деревини бука на зубчастий міні-шип за виготовлення меблевого щита використати методику тривалого експериментального дослідження. Ця методика передбачає довготривале зберігання клейових з'єднань деревини за дії природних температурно-вологісних навантажень. Для цього меблевий щит піддавали природнім температурно-вологісним навантаженням впродовж тривалого часу за знакозмінної дії вологи та температури без прямого попадання опадів у вигляді дощу або снігу та сонячного опромінення. Тривалість такого випробування становила 72 місяці. Після цього, відповідно до стандарту, із меблевого щита випилювали зразки відповідних розмірів та форми і піддавали руйнуванню на статичний згин. Встановлено, що тривала дія змінних температурно-вологісних навантажень як на деревину бука, так і їх клейові з'єднання на зубчастий міні-шип призводить до зміни границі міцності клейового з'єднання за статичного згину. А саме, міцність за статичного згину букової деревини після змінних температурно-вологісних навантажень зменшується від 86,08 МПа до 81,30 МПа, що становить 5,55 %. Міцність клейових з'єднань на зубчастий міні-шип деревини бука за статичного згину становила 64,03 МПа, а після змінних температурно-вологісних навантажень – 54,19 МПа. Тобто міцність зменшилась на 15,36 %. Результати дослідження дали змогу встановити закономірності впливу температурно-вологісних навантажень на зміну міцності меблевого щита.

Ключові слова: склеювання деревини; букова деревина; полівінілацетатні клеї; міцність клейового з'єднання; деревинні конструкції; температурно-вологісні навантаження; меблевий щит.

Вступ / Introduction

Дерев'яні клеєні конструкції виготовляють із заготовок хвойних та листяних порід, які склеюють за довжиною, шириною та товщиною, використовуючи клейові матеріали. Це дає змогу отримати клеєні конструкції різних габаритних розмірів та функціонального призначення. Під час виготовлення меблевого щита, деревину з'єднують за довжиною та по крайці. Для з'єднання деревини за довжиною використовують зубчастий міні-шип, оскільки такі клейові з'єднання дають можливість економити деревину, є простими у виготовленні та склеюванні. Окрім цього, технологічний процес можна автоматизувати.

Водночас, з'єднання деревини на зубчастий міні-шип не завжди дають можливість забезпечити належну адгезійну міцність, оскільки торцю деревини характерні підвищена сорбційна здатність, велика кількість пор та невисокі механічні властивості. Тому, клейові з'єднання деревини за довжиною потребують вивчення та дослідження.

Міцність клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип визначають за методикою, яка базується на статичному згині. Форма та розміри зубчастого шипа можуть бути різними залежно від функціонального призначення конструкції, а саме: довжина зубчастого шипа становить від 5 до 50 мм; крок – від 1,75 до 12 мм [10].

Згідно з літературними даними, міцність клейових

© Copyright 2026 by the author(s)

Валько Сергій Миколайович, аспірант, кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Email: valko.serhii@nltu.lviv.ua; <https://orcid.org/0009-0007-5854-7710>

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

Цитування за ДСТУ: Валько С. М., Кшивецький Б. Я. Вплив температурно-вологісних навантажень на міцність клейового з'єднання деревини на зубчастий міні-шип. Науковий вісник НЛТУ України. 2026, т. 36, № 2. С. 116–124.

Citation APA: Valko, S. M., & Kshyvetskyi, B. Ya. (2026). Influence of temperature-humidity loads on the strength of glue joints of wood to tooth. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(2), 116–124. <https://doi.org/10.36930/40360213>

з'єднань деревини на зубчастий міні-шип за статичного згину становить 60 % від міцності масивної деревини та визначається конструкцією зубчастого шипа, характеристикою клею та технологічними параметрами процесу склеювання. Недостатня міцність клейових з'єднань деревини на зубчастий шип, після їх формування, може мати негативний вплив на експлуатаційні характеристики з'єднань та виробів на їх основі.

Подальше значення величини міцності клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип буде залежати від умов експлуатації дерев'яної клеєної конструкції, а саме вологості, температури, навантажень, дії ультрафіолету тощо.

Дослідження зміни міцності клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип є складним та тривалим завданням. Складність завдання полягає у тому, що такі з'єднання, зазвичай, використовують у дерев'яних конструкціях у поєднанні із іншими видами клейових з'єднань, а саме з'єднань по крайці, по пласті тощо. Окрім цього, з'єднання деревини за довжиною на зубчастий міні-шип сформовані за допомогою бездефектних відрізків різної довжини та кількості. Тому, дослідження зміни міцності таких з'єднань потребує використання нестандартних методик.

Певну специфіку досліджень міцності клейових з'єднань деревини, що склеєні на зубчастий міні-шип у дерев'яних конструкціях, має вплив температурно-вологісних навантажень, оскільки вони можуть експлуатуватися за різних температурно-вологісних умов та виконувати певне функціональне призначення, що вимагає підбору та використання нестандартних методик. Тому, дослідження зміни міцності клейових з'єднань на зубчастий міні-шип у дерев'яних клеєних конструкціях є актуальним та невирішеним наразі завданням.

Об'єкт дослідження – міцність клейового з'єднання букової деревини на зубчастий міні-шип.

Предмет дослідження – методика тривалого експериментального дослідження з визначення міцності клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип, що дасть змогу встановити вплив температурно-вологісних навантажень на міцність таких з'єднань у меблевому щиті.

Мета роботи – дослідити вплив температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип, склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями, що дасть змогу визначити закономірності зміни їх міцності у меблевому щиті.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати наявні методики дослідження міцності клейових з'єднань деревини та підібрати одну із них для встановлення міцності на статичний згин клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип, що дасть змогу дослідити зміну міцності клейового з'єднання деревини бука на зубчастий міні-шип у меблевому щиті;
- провести експериментальне дослідження щодо зміни міцності букової деревини на статичний згин, з якої виготовлений меблевий щит, за тривалої дії на з'єднання температурно-вологісного навантаження, що дасть змогу виявити вплив природних факторів на зміну міцності букової деревини;
- дослідити у меблевому щиті зміну міцності на статичний згин клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4, за тривалої дії температурно-вологісного навантаження, що дасть

змогу виявити вплив природних факторів на міцність таких клейових з'єднань;

- здійснити оброблення отриманих результатів експериментального дослідження, що дасть змогу побудувати графічні залежності зміни міцності клейових з'єднань від дії температурно-вологісних навантажень та проаналізувати їх.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [11] автори досліджували зміну фізико-механічних властивостей деревини на стик та згин, за дії термічного та кислотно-лужного оброблення.

У роботі [9] автори досліджували фізико-механічні властивості вживаної деревини різних порід після тривалого терміну експлуатації з можливим її повторним використанням. Автори вважають, що оскільки вживана деревина після експлуатації зберігає свої фізико-механічні властивості, то її можна надалі використовувати для виготовлення плитних матеріалів, столярних плит, меблевих щитів тощо. У роботі пропонують вживану деревину використовувати для виготовлення меблевого щита, оскільки статична міцність безрозмірних за довжиною заготовок із вживаної деревини на згин впоперек волокон становить 19,88 МПа, а із традиційної деревини – 22,05 МПа. Метою даної роботи є дослідити та здійснити порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей меблевого щита, виготовленого із вживаної та цільної деревини.

У роботі [23] досліджено вплив безрозмірних за довжиною заготовок на зміну формостійкості меблевого щита під час його виготовлення та експлуатації. Автори вважають, що на формостійкість меблевого щита матимуть вплив товщина та ширина безрозмірних за довжиною заготовок, що склеєні на зубчастий міні-шип. За результатами досліджень отримано закономірності зміни формостійкості меблевого щита від характеристик безрозмірних за довжиною заготовок букової деревини. Метою дослідження було встановити вплив поперечних розмірів (товщини і ширини) безрозмірних за довжиною заготовок із деревини бука звичайного на формостійкість меблевого щита.

У роботі [1] автори досліджували міцність клейових з'єднань немодифікованої деревини сосни і термічно-модифікованої деревини ясеня за дії вологи та температури під час експлуатації. Для цього використовували методику тривалих експериментальних досліджень за природних умов. Склеювання термічно-модифікованої деревини ясеня та немодифікованої деревини сосни здійснювали термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. За результатами досліджень встановлено закономірності зміни міцності клейових з'єднань залежно від природних умов експлуатації. Метою дослідження було розробити методику тривалих експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань термічно-модифікованої деревини ясеня та немодифікованої деревини сосни, склеєної полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 за дії природних факторів.

У роботі [14] автор дослідив механізм формування термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини. А саме встановлено, що когезійна міцність у клейових з'єднаннях деревини буде формуватися за допомогою міжмолекулярних та водневих зв'язків між компонентами клейової композиції, а адгезійна – за допомогою міжмолекулярних та водневих зв'язків між ком-

понентами клейової композиції та деревини. Метою досліджень було вивчити механізм формування адгезійної та когезійної міцності у клейових з'єднаннях деревини на основі термопластичних полівінілацетатних клеїв.

У роботі [16] автори досліджували механізм формування когезійної міцності у термопластичній полівінілацетатній клейовій плівці. Методом інфрачервоної електроскопії було встановлено, що за допомогою додаткової вологи, яка може сорбуватися термопластичною полівінілацетатною клейовою плівкою із навколишнього середовища під час експлуатації, відбувається формування водневих зв'язків у плівці, які здатні забезпечити підвищену міцність клейовим з'єднанням деревини. Аналогічно, в разі пограплювання додаткової вологості у клейове з'єднання, автор прогнозує утворення водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної клейової композиції та деревини. Метою даних досліджень було дослідити механізм формування водневих зв'язків у термопластичній клейовій плівці за додаткової вологості.

У роботі [25] автори дослідили міцність клейових з'єднань деревини сосни, на зубчастий міні-шип за з'єднання безрозмірних заготовок за довжиною у ламелі, та на гладку фугу, за з'єднання ламелей по крайці, у меблевий щит. Автори встановили, що міцність клейових з'єднань деревини сосни на статичний згин, за з'єднання на зубчастий міні-шип, на 41 % менша за міцність деревини сосни. А міцність на гладку фугу клейових з'єднань деревини сосни на розтяг вздовж волокон, за з'єднання ламелей у меблевий щит, забезпечується на рівні міцності деревини сосни. Окрім цього, вивчено розподіл нормальних напружень на площині склеювання та у клейовому з'єднанні. Метою роботи було дослідити міцність клейових з'єднань деревини сосни на зубчастий міні-шип, під час виготовлення ламелей, та на гладку фугу під час їх склеювання у меблевий щит термопластичними полівінілацетатними клеями.

Аналіз літературних джерел показав, що міцність клейових з'єднань деревини у дерев'яних клеєних конструкціях буде залежати від багатьох факторів, а вплив температурно-вологісних навантажень, сонячне опромінення та інші природні навантаження визначатимуть фізико-механічні властивості деревини та клейових з'єднань. Водночас, дослідження щодо закономірностей зміни міцності клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип у меблевих щитах під час експлуатації практично не проводились. Тому, дослідження міцності клейових з'єднань деревини у меблевому щиті, що склеєні в торець на зубчастий міні-шип за допомогою термопластичних полівінілацетатних клеїв, є актуальною і не до кінця вивченою проблемою.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження зміни міцності клейових з'єднань букової деревини, склеєної полівінілацетатними клеями на зубчастий міні-шип у меблевому щиті, здійснювали за методикою проведення етапів тривалого експериментального дослідження. Меблевий щит тривалий час витримували під накриттям, у середовищі зі змінними температурно-вологісними навантаженнями, без прямої дії води та сонячного опромінення. Тривалість таких досліджень становила 72 місяці. Основними факторами впливу на клейові з'єднання були температурно-вологісні навантаження навколишнього середовища.

Для досліджень було виготовлено меблевий щит із букової деревини. Формування меблевого щита здій-

снювали так. Виготовляли бездефектні заготовки різної довжини. Товщина бездефектних заготовок становила 20 мм, а ширина 40 мм. Відповідно до технологічного процесу виготовлення меблевого щита, заготовки зрощували за довжиною на зубчастий міні-шип, довжина якого становила 10 мм, крок зубів $t = 1,75$ мм, кут затуплення $z = 0,2$ мм. Для склеювання бездефектних заготовок використовували термопластичний полівінілацетатний клей із класом довговічності D4 Jowacoll 103.05 із затверджувачем Jowacoll 195.40. Склеєні бездефектні заготовки формували у ламелі. Після цього ламелі склеювали за шириною на гладку фугу, формуючи меблевий щит. Виготовлення меблевого щита відбувалося за виробничих умов із використанням технологічного обладнання.

Виготовлений меблевий щит ділили на дві частини. Із одної частини меблевого щита випилювали контрольні зразки, тобто зразки, які не піддавали дії температурно-вологісних навантажень для деревини бука та клейових з'єднань. Розміри зразків становили $300 \times 45 \times 20$ мм. Кількість зразків становила по 25 шт. як для деревини бука, так і для з'єднань. Другу частину меблевого щита піддавали тривалій витримці впродовж 72 місяців за природних умов відповідно до методики проведення експериментального дослідження. Після закінчення терміну експлуатації із щита випилювали зразки для букової деревини та клейових з'єднань на їх основі. Форма, розміри та кількість зразків були ідентичними як для контрольних.

Зразки піддавали випробуванням на статичний згин, використовуючи для цього лабораторну розривну машину марки UIT STM OSO із фіксуванням максимального навантаження до їх руйнування. Вологість заміряли за допомогою аналізатора вологи марки RAD WAG WPS 110 S [6, 7].

Отримані результати дослідження записували у журнал спостережень, піддавали математичному та статистичному обробленню, будували графічні залежності та здійснювали їх аналіз [12].

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Результати експериментального дослідження міцності на статичний згин контрольних зразків із букової деревини та зразків після температурно-вологісних навантажень. Зміна міцності клейових з'єднань у зразках деревини бука, випиляних із меблевого щита, є критичним показником якості столярних виробів. Бук є твердолистяною породою, схильною до значних деформацій при зміні вологості, тому міцність його клейових швів сильно залежить від технологічних параметрів склеювання та умов експлуатації.

Основні фактори, що впливають на зміну міцності клейових з'єднань бука: технологічні параметри виробництва щита; експлуатаційні фактори та зміна міцності; фізико-механічні зміни у зразках. Наприклад, у якісно склеєних зразках бука руйнування відбувається частіше не по клейовому шву, а по деревині (когезійне руйнування), що свідчить про високу якість склеювання. Водночас, міцність клейових з'єднань бука, виготовлених з використанням сучасних клеїв, перевищує вимоги стандартів, забезпечуючи надійність при зсуві та згині. У табл. 1 наведено зміну міцності клейових з'єднань для зразків деревини бука, що випиляні із меблевого щита.

Табл. 1. Міцність контрольних зразків букової деревини на статичний згин / Static bending strength of beech wood test specimens

Зразки, які піддавали руйнуванню*				
№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	σ (МПа)
1	5142,94	32,0	21,1	85,69
2	5042,32	32,5	20,9	82,43
3	5284,42	32,3	20,2	90,49
4	5267,76	31,9	21,1	88,10
5	5089,87	32,3	20,9	84,03
6	4993,93	32,9	21,0	79,09
7	5309,93	33,3	20,4	84,67
8	5098,92	33,1	20,7	80,94
9	5116,72	31,7	20,3	90,30
10	5462,52	32,0	21,1	91,02
11	5773,83	32,5	20,9	94,39
12	5563,11	32,3	20,2	95,27
13	5129,96	31,9	21,1	85,80
14	5234,28	32,3	20,9	86,42
15	5478,47	32,9	21,0	86,77
16	5984,78	33,3	20,4	95,43
17	5884,93	33,1	20,7	93,42
18	5003,23	31,7	20,3	88,30
19	5619,25	32,0	21,1	93,63
20	5345,79	32,5	20,9	87,39
21	5092,33	32,3	20,2	87,20
22	4908,89	31,9	21,1	82,10
23	5129,99	32,3	20,9	84,70
24	5099,91	32,9	21,0	80,77
25	4883,27	33,3	20,4	77,87

Примітка: * характер руйнування – Д.

У табл. 2 наведено зміну міцності клейових з'єднань для зразків букової деревини, що випилані із меблевого щита після температурно-вологісних випробувань. За даними цієї таблиці можна зробити висновок, що температурно-вологісні випробування клейових з'єднань букової деревини (наприклад, на гладку фугу у меблевому щиті) зазвичай демонструють істотне зниження міцності, пов'язане з високою гігроскопічністю бука, його значним всиханням/розбуханням та деградацією клейового шару під дією вологи.

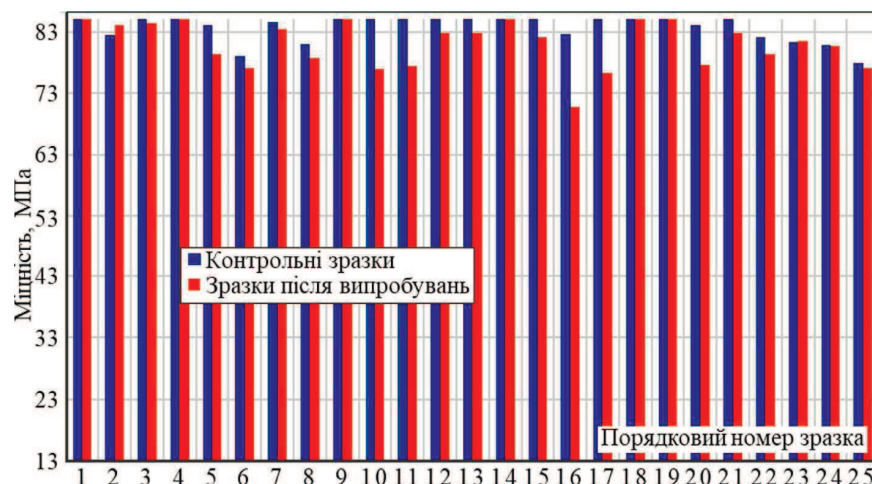


Рис. 1. Міцність клейових з'єднань за статичного згину контрольних зразків та зразків після температурно-вологісних випробувань для букової деревини / Strength of adhesive joints under static bending of control specimens and specimens following temperature and humidity testing for beech wood

Основні результати температурно-вологісних випробувань є такими:

- зниження міцності, коли тривалі цикли випробувань (наприклад, 40 циклів, що містять замочування та термо-

Табл. 2. Міцність букової деревини на статичний згин після температурно-вологісних випробувань / The static bending strength of beech wood following temperature and humidity tests

Зразки, які піддавали руйнуванню*				
№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	σ (МПа)
1	5122,3	32,0	21,1	85,35
2	5140,5	32,5	20,9	84,04
3	4932,3	32,3	20,2	84,46
4	5145,1	31,9	21,1	86,05
5	4809,0	32,3	20,9	79,40
6	4864,4	32,9	21,0	77,04
7	5232,9	33,3	20,4	83,44
8	4963,9	33,1	20,7	78,80
9	4906,2	31,7	20,3	86,58
10	4622,3	32,0	21,1	77,02
11	4741,5	32,5	20,9	77,51
12	4832,3	32,3	20,2	82,75
13	4947,2	31,9	21,1	82,74
14	5384,5	32,3	20,9	88,90
15	5187,1	32,9	21,0	82,15
16	4437,4	33,3	20,4	70,76
17	4505,2	33,1	20,7	71,51
18	5200,1	31,7	20,3	91,77
19	5206,2	32,0	21,1	86,74
20	4748,4	32,5	20,9	77,63
21	4837,3	32,3	20,2	82,84
22	4748,2	31,9	21,1	79,41
23	4939,3	32,3	20,9	81,55
24	5296,5	32,9	21,0	83,88
25	4838,1	33,3	20,4	77,15

Примітка: * характер руйнування – Д.

Графічну інтерпретацію результатів дослідження міцності букової деревини контрольних зразків за статичного згину та після температурно-вологісних випробувань наведено на рис. 1.

Деформаційні процеси у буковій деревині за статичного згину після температурно-вологісних випробувань, залежно від навантажень, наведено на рис. 2. Згідно з даними цього рисунка, пружно-деформаційні процеси для букової деревини після температурно-вологісних випробувань змінюватися залежно від величини навантажень.

шафу) призводять до зменшення міцності на зсув. Зниження може становити в середньому до 40% і більше від початкових (контрольних) значень після завершення циклічних випробувань;

- вплив напружень, за якого поперемінне зволоження та висушування створює значні внутрішні напруження, оскільки деревина розширюється і зсідается, що призводить до руйнування клейового шва;
- тип клею для букової деревини, що експлуатується в умовах зміни вологості, його ефективність залежить від його еластичності. Поліуретанові (PUR) клеї часто демонструють кращу стійкість порівняно з ПВА-дисперсіями (PVAc);



Рис. 2. Деформаційні процеси у зразках букової деревини на статичний згин після температурно-вологісних випробувань / Deformation processes in beech wood samples for static bending after temperature-humidity tests

У табл. 3 наведено міцність клейових з'єднань на статичний згин контрольних зразків букової деревини, склеєних на зубчастий міні-шип. З даних цієї таблиці видно, що міцність клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип при статичному згині є високою, проте вона зазвичай нижча за міцність цільної деревини. Середні значення межі міцності при згині (MOR) для зубчастих з'єднань бука, склеєних різними типами клеїв, становлять від 35 до 89,8 Н/мм² (МПа).

Табл. 3. Міцність клейових з'єднань на статичний згин контрольних зразків букової деревини, склеєних на зубчастий міні-шип / Static bending strength of adhesive joints in test specimens of beech wood bonded using mini-finger joints

Зразки, які піддавали руйнуванню					
№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	σ (МПа)	Характер руйнування
1	2505,4	21,1	31,5	64,40	К
2	2400,8	20,4	30,5	68,09	К
3	2453,8	21,1	31,9	62,20	З
4	2336,5	21,0	31,0	61,61	К
5	2547,6	21,1	31,6	65,19	К
6	2417,5	21,9	31,7	57,24	З
7	2552,3	21,0	31,7	65,73	К
8	2678,7	21,1	31,5	68,85	З
9	2564,5	20,4	30,5	72,74	К
10	2411,1	21,1	31,9	61,12	З
11	2731,2	21,0	31,0	72,01	К
12	2182,8	21,1	31,6	55,86	З
13	2361,3	21,9	31,7	55,91	К
14	2501,9	21,0	31,7	64,43	К
15	2629,4	21,1	31,5	67,58	К
16	2189,9	20,4	30,5	62,11	К
17	2191,2	21,1	31,9	55,54	З
18	2712,1	21,0	31,0	71,51	К
19	2581,2	21,1	31,6	66,05	К
20	2451,4	21,9	31,7	58,05	З
21	2564,3	21,0	31,7	66,03	К
22	2434,5	21,1	31,5	62,57	З
23	2501,3	20,4	30,5	70,94	К
24	2522,3	21,1	31,9	63,94	З
25	2311,5	21,0	31,0	60,95	К

- характер руйнування при випробуваннях зразків із меблевого щита, після температурно-вологісного впливу, руйнування часто переходить із суто адгезійного (по клею) до змішаного або когезійного (по деревині), оскільки сама деревина значно втрачає міцність;
- температура, підвищення якої (наприклад, до 60-80°C) разом із вологістю прискорює деградацію клейового з'єднання, знижуючи міцність на 26-30% і більше при тривалій дії.

У табл. 4 наведено міцність клейових з'єднань на статичний згин, склеєних на зубчастий міні-шип, для зразків букової деревини після температурно-вологісних навантажень.

Табл. 4. Міцність клейових з'єднань на статичний згин, склеєних на зубчастий міні-шип, для зразків букової деревини після температурно-вологісних навантажень / Static bending strength of adhesive joints bonded using mini-tongue-and-groove joints, for beech wood specimens following temperature and humidity cycles

Зразки, які піддавали руйнуванню					
№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	σ (МПа)	Характер руйнування
1	2105,4	21,1	31,5	54,11	К
2	2067,8	20,4	30,5	58,65	К
3	2553,8	21,1	31,9	64,73	З
4	1736,5	21,0	31,0	45,79	К
5	2147,6	21,1	31,6	54,95	К
6	2007,5	21,9	31,7	47,53	З
7	1952,3	21,0	31,7	50,27	К
8	2378,7	21,1	31,5	61,14	З
9	2564,5	20,4	30,5	72,74	К
10	2811,1	21,1	31,9	71,26	З
11	1931,2	21,0	31,0	50,92	К
12	2282,8	21,1	31,6	58,41	З
13	2061,3	21,9	31,7	48,81	К
14	1898,9	21,0	31,7	48,90	К
15	2029,4	21,1	31,5	52,16	К
16	1189,9	20,4	30,5	33,75	К
17	2391,2	21,1	31,9	60,61	З
18	1812,1	21,0	31,0	47,78	К
19	2581,2	21,1	31,6	66,05	К
20	2051,4	21,9	31,7	48,57	З
21	1964,3	21,0	31,7	50,58	К
22	2034,5	21,1	31,5	52,29	З
23	1121,3	20,4	30,5	31,80	К
24	2722,3	21,1	31,9	69,01	З
25	1761,5	21,0	31,0	46,45	К

Графічну інтерпретацію результатів дослідження міцності клейових з'єднань на зубчастий міні-шип для контрольних зразків букової деревини та зразків після температурно-вологісних навантажень наведено на рис. 3.

На рис. 4 наведено величину напружень за статичного згину клейового з'єднання на зубчастий міні-шип деревини бука після температурно-вологісних випробувань залежно від навантаження. З даних цієї таблиці видно, що напруження за статичного згину клейового з'єднання на зубчастий міні-шип деревини бука після температурно-вологісних випробувань є критичним показником, що залежить від якості склеювання, геометрії шипа та ступеня деградації клейового шва. Температурно-вологісні випробування (цикли заморожування/відтавання або підвищеної вологості) зазвичай призводять до зниження міцності через внутрішні напруження та руйнування адгезійного зв'язку. Тут спостерігається така основна закономірність: при підвищенні навантаження напруження зростають лінійно до моменту руйнування, при цьому температурно-вологісні випробування зменшують гранично допустиме навантаження (знижують граничну напругу) через деградацію клейового шару.

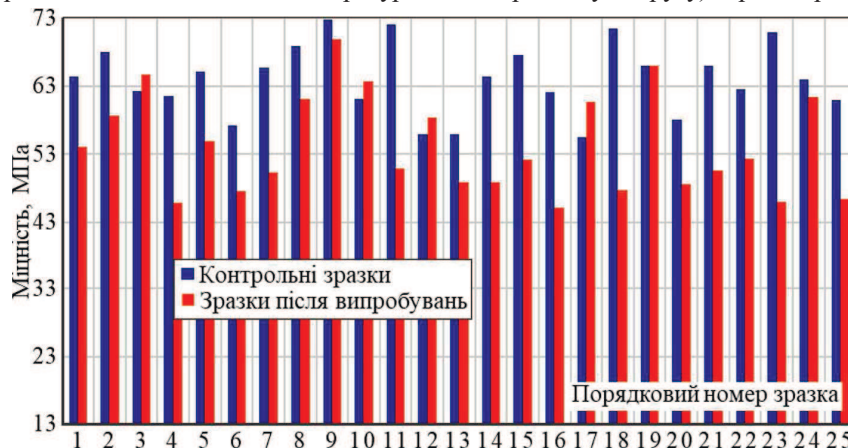


Рис. 3. Міцність клейових з'єднань на статичний згин, склеєних на зубчастий міні-шип, для контрольних зразків букової деревини та зразків після температурно-вологісних навантажень / Static bending strength of adhesive joints bonded using mini-tongue-and-groove joints, for control samples of beech wood and samples subjected to temperature and humidity cycles

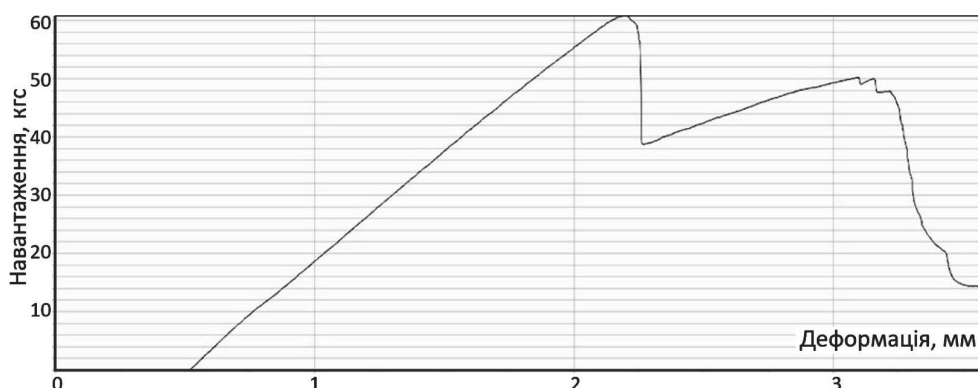


Рис. 4. Діаграма руйнування клейових з'єднань на зубчастий міні-шип / Diagram of the failure of adhesive joints on a serrated mini-spike

На рис. 5 наведено характер руйнування за статичного згину деревини бука та клейового з'єднання на зубчастий міні-шип.

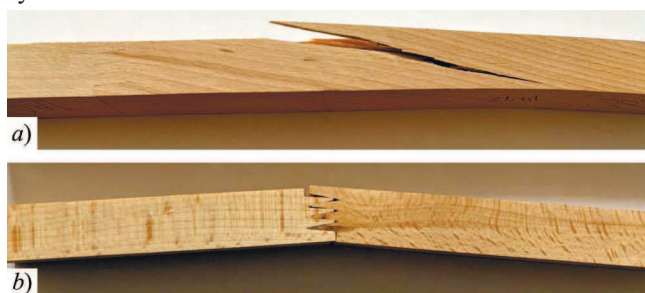


Рис. 5. Характер руйнування зразків та клейового з'єднання на зубчастий міні-шип / The nature of the failure of the samples and the adhesive joint on the toothed mini-spike: a) букова деревина / beech wood; б) клейове з'єднання / adhesive joint

Запропонована методика дала змогу провести тривалі експериментальні дослідження та отримати закономірності зміни міцності у клейових з'єднаннях букової деревини, склеєної на зубчастий міні-шип полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 за дії впливу температурно-вологісних навантажень. Здійснено аналіз та оброблення результатів експериментального

дослідження. Побудовано гістограми зміни міцності клейових з'єднань залежно від температурно-вологісних навантажень. Отримано діаграми та характер руйнування таких клейових з'єднань деревини.

Обговорення результатів дослідження. За результатами дослідження зміни міцності клейових з'єднань букової деревини та клейових з'єднань на зубчастий міні-шип після температурно-вологісних випробувань встановлено, що вологість та температура навколишнього середовища за тривалої дії буде впливати на міцність, як букової деревини, так і клейових з'єднань на її основі.

Міцність букової деревини після температурно-вологісних випробувань зменшилась від 86,08 МПа до 81,30 МПа. Це становить 5,55 %. Враховуючи отримані результати дослідження та пружно-деформаційні процеси під час руйнування зразків, можна стверджувати, що тривала дія температурних та вологісних навантажень призводить до незначного зменшення міцності букової деревини за статичного згину. Це можна пояснити хімічними змінами у деревині, що супроводжується зменшенням її когезійної міцності клейового з'єднання.

Міцність клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип за статичного згину для контроль-

них зразків становила 64,03 МПа, а після температурно-вологісних випробувань зменшилась до 54,19 МПа. Зменшення міцності клейових з'єднань становитиме 15,36 %. Така зміна міцності клейових з'єднань також вказує на вплив температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань букової деревини під час експлуатації, що супроводжується структурними змінами та пружно-деформаційними процесами у клейовому з'єднанні і призводить до значно більшого зменшення адгезійної міцності клейових з'єднань.

У роботі [8] досліджено ступінь проникнення клею у структуру та пори деревини. Це дає змогу зрозуміти основи проникнення клею у деревину та сформулювати адгезійну та когезійну міцність клейового з'єднання.

У роботі [17] наведено результати дослідження міцності клейових з'єднань на сколювання вздовж волокон дубової деревини, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями. Автори зосереджують свою увагу на довготривалих експериментальних дослідженнях з вивчення міцності клейових з'єднань дубової деревини, склеєної полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. Здійснено аналіз та математичне оброблення результатів досліджень. На основі математичної моделі здійснено прогнозування міцності клейових з'єднань дубової деревини залежно від умов експлуатації отриманням достовірних результатів. Це, на думку авторів, дасть змогу прогнозувати міцність клейових з'єднань дубової деревини термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D4 залежно від змінних температурно-вологісних навантажень під час експлуатації. Метою роботи було запропонувати математичну модель прогнозування міцності клейових з'єднань букової деревини на стиск вздовж волокон залежно від температурно-вологісних навантажень під час експлуатації.

У роботі [2] автори дослідили зміну міцності клейових на розтяг вздовж волокон з'єднань термічно-модифікованої деревини ясеня із сосною немодифікованою, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. Для дослідження автори використовували пришвидшений метод дослідження. Дані дослідження дали змогу вивчити вплив вологості та температури на зміну міцності клейових з'єднань деревини за короткий період часу та здійснити їх порівняльний аналіз із тривалими експериментальними дослідженнями. Метою дослідження було вивчити зміну міцності клейових з'єднань термічно-модифікованої деревини ясеня, склеєної із немодифікованою деревиною сосни, використовуючи для цього пришвидшений метод дослідження.

У роботі [24] автори представили експериментальну та числову оцінку руйнування клейового з'єднання з використанням триточкового випробування на згин деревинних клеєних матеріалів, які використовують для виготовлення будівельних дерев'яних конструкцій на основі клеїв, що формують з'єднання із різним класом довговічності. Для склеювання використовували клейові матеріали на поліуретановій основі, вінілацетаті тощо. Результати дослідження дали змогу встановити клейові з'єднання деревини із найвищою адгезійною міцністю деревини у деревинних клеєних конструкціях. Метою дослідження було проаналізувати властивості руйнування адгезійного з'єднання за допомогою три-

точкового випробування на згинання з надрізом на торці та методу балки на основі податливості.

У роботі [22] здійснено дослідження впливу безрозмірних за довжиною заготовок із соснової деревини на внутрішні напруження у меблевому щиті. Автори побудували регресійну модель для визначення формостійкості меблевого щита. Формостійкість визначали за допомогою стріли прогину. Автори вважають, що на формостійкість меблевого щита вплив матиме радіальний чи тангентальні розрізи заготовок. Метою дослідження було виявити закономірності формостійкості меблевого щита із соснової деревини від різних конструкцій.

У роботі [21] автори здійснили аналіз нормативних документів для меблевих панелей. Виявлено залежність якості меблевих щитів від породи деревини. Проаналізовано дефекти меблевих щитів, які будуть визначатися породою деревини, а також конструкції меблевих щитів та їх використання залежно від породи та розмірів. Метою роботи було розроблення практичних рекомендацій щодо забезпечення формостійкості меблевих щитів.

Обговорення результатів дослідження підтвердило важливість наукових пошуків щодо міцності та формостійкості меблевого щита, залежно від породи деревини, розмірних характеристик бездефектних відрізків, клейових матеріалів тощо. Важливе значення для формостійкості меблевих щитів має зміна адгезійної і когезійної міцності за температурно-вологісних навантажень під час експлуатації, оскільки їх дія призводить до зменшення адгезійної і когезійної міцності. Тому, дослідження впливу температурно-вологісних навантажень на зміну міцності клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип під час виготовлення меблевого щита є актуальним.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика проведення етапів тривалого експериментального дослідження щодо впливу температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань на зубчастий міні-шип зразків букової деревини, склеєної полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4, яка на відміну від наявних, враховує вплив температурно-вологісних навантажень без прямої дії опадів (дощ, сніг), що дасть змогу вивчати закономірності зміни міцності клейових з'єднань під час експлуатації меблевого щита за тривалої дії температури та вологості.

Практична значущість результатів дослідження – запропонована методика дає можливість практичного її застосування під час досліджень закономірностей зміни міцності клейових з'єднань деревини на зубчастий міні-шип у дерев'яних клеєних конструкціях та у навчальному процесі.

Висновки / Conclusions

Досліджено вплив температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань букової деревини на зубчастий міні-шип, склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями, що дало змогу визначити закономірності зміни їх міцності у меблевому щиті. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Розроблено методику проведення тривалих експериментальних досліджень впливу температурно-вологісних навантажень на міцність клейових з'єднань букової деревини, що з'єднана на зубчастий міні-шип для меблевого щита, яка передбачає довготривале зберігання клейових з'єднань деревини за дії природних температурно-вологісних навантажень.
2. Встановлено, що міцність контрольних зразків букової деревини на статичний згин, з якої виготовлений меблевий щит, становить 86,08 МПа, а після тривалих температурно-вологісних навантажень – 81,30 МПа. Тобто міцність зменшилась на 5,55 %. Це вказує на те, що тривала дія температурно-вологісних навантажень призводить до хімічних змін у деревині бука, цим самим зменшуючи її міцність.
3. Досліджено, що міцність клейових з'єднань на зубчастий міні-шип деревини бука у меблевому щиті на статичний згин становить 64,03 МПа, а після тривалих температурно-вологісних навантажень – 54,19 МПа. Тобто міцність зменшилась на 15,36 %. Це вказує на те, що тривала дія температурно-вологісних навантажень на клейові з'єднання деревини бука на зубчастий міні-шип у меблевому щиті супроводжується хімічними змінами деревини та структурними змінами у клейовому з'єднанні.
4. Встановлено, що деформаційні процеси, які виникають у зразках під час фізичних навантажень в разі руйнування на статичний згин букової деревини та клейового з'єднання із букової деревини на зубчастий міні-шип, які випиляні із меблевого щита, по-різному будуть проходити. Це підтверджено діаграмою руйнування та числовими значеннями показників навантаження.

References

1. Datskiv, H. V., & Kshyvetsky, 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>
2. Datskiv, H., & Kshyvetsky, B. (2023). Results of experimental studies on the strength of adhesive-bonded joints of thermally modified ash wood. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(1), 27–38. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.426.03>
3. DIN EN 14257:2006. Adhesives – Wood Adhesives – Determination Of Tensile Strength Of Lap Joints At Elevated Temperature (WATT91); German Version EN 14257:2006. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/442434c3-7d1d-43a9-956f-9d4b966d95b8/en-14257-2006?srsltid=AfmBOoqo0fhCb1PKGAiZ0zcSGxo1Oq1wGTfzjARNK0zB5S7gc7X8v5p>
4. DSTU EN 13353:2022 (EN 13353:2008+A1:2011, IDT). Solid wood panels (SWP). Requirements. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=111950
5. DSTU EN 13354:2009. Wooden panels. Method for determining quality, 2020. vol. 1, 660–664. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78280
6. DSTU 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. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=91002
7. DSTU 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. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73788
8. Frederick, A., Kamke, J., & Lee, N. (2007). Adhesive penetration in wood – a review. *Wood and Fiber Science*, 39(2), 205–220. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/641/641>
9. Gayda, S. V. (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 15–25. <https://doi.org/10.36930/42184402>
10. Gayda, S. V. (2018). Progressive technologies of longitudinal wood splicing. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 24, 10–19. [In Ukrainian]. URL: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal>
11. Gayda, S., & Kiyko, O. (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty (Wood. Research Papers, Reports, Announcements)*, 63(206), 77–102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
12. Kiyko, O. A. (2022). Statistical methods for improving the quality of woodworking products. *Electronic textbook*, 228 p. URL: <https://tmvd.nltu.edu.ua/predm-statmet/>
13. Kshyvetsky, B. Y., & Kindzera, A. R. (2022). Establishing the distribution of normal and tangential stresses in thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wooden joints. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(6), 71–77. <https://doi.org/10.36930/40320611>
14. Kshyvetsky, B. Ya. (2012). The mechanism of formation of thermoplastic adhesive wood joints. *Scientific Bulletin of UNFU*, 22(12), 117–122. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_12/117_Ksz.pdf
15. Kshyvetsky, B., & Datskiv, H. (2023). Strength of Adhesive Joints of Thermally Modified Ash Wood Glued With Polyvinyl Acetate-Based Adhesives. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty (Wood. Research Papers, Reports, Announcements)*, 66(211), 1–10. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.426.03>
16. Kshyvetsky, B., Kindzera, D., Sokolovskyi, I., Storozhuk, V., Mayevska, O., Somar, H., & Kindzera, A. (2024). Features of the formation of cohesive and adhesive strength by non-structured and structured polyvinyl acetate films during wood gluing. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 3, 89–97. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-154-3-89-97>
17. Kshyvetsky, B., Kindzera, D., Sokolovsky, Ya., Somar, H., & Sokolovskyi, I. (2023). Prediction of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. *Chemistry, chemical technology*, vol. 17, no. 1, 110–117. <https://doi.org/10.23939/chcht17.01.110>
18. Myakush, B. M. (2012). Development of operating parameters for gluing parquet boards with thermoplastic adhesives. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 38, 81–84. [In Ukrainian]. URL: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/237>
19. Myakush, B. M., & Kshyvetsky, B. Ya. (2020). Influence of mode parameters on the strength of a three-layer parquet board glued with PVA adhesives. In *Xth international Scientific and Practical Conference "Integrated Quality Assurance of Technological Processes and Systems"*, vol. 1, pp. 196–198. URL: <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2020/05/Tezy-2020-Part-1.pdf>
20. Myakush, B. M., & Kshyvetsky, B. Ya. (2021). The influence of loads on the shape stability of a three-layer parquet board. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), 68–73. <https://doi.org/10.36930/40310111>
21. Podibka, T. I. (2018). Constructions and technological aspects of furniture panels in regulatory documents. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 83–90. <https://doi.org/10.36930/42184411>
22. Podibka, T. I. (2020). A investigation of form of stability of variously designed furniture board made of pine wood of different constructions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 46, 108–120. <https://doi.org/10.36930/42204613>
23. Podibka, T. I., & Kiyko, O. A. (2019). A study of the influence of the transverse dimensions of beech of strips on the form of stability of furniture board. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 155–171. <https://doi.org/10.36930/42194521>
24. Sebera, V., Pečnik, J. G., Azinović, B., Milč, J., & Huč, S. (2020). Wood-adhesive bond loaded in mode II: experimental and numerical analysis using elasto-plastic and fracture mechanics models. *Holzforschung*, 75(7), 655–667. <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0141>
25. Valko, S. M., & Kshyvetsky, B. Y. (2025). Research on the strength of adhesive joints in wooden adhesive structures. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 93–100. <https://doi.org/10.36930/4035041>

INFLUENCE OF TEMPERATURE-HUMIDITY LOADS ON THE STRENGTH OF GLUE JOINTS OF WOOD TO TOOTH

Wooden glued structures, wood joints used for them and adhesive materials for gluing them were analyzed. The main attention was focused on the furniture panel and the connection of wood. It was established that in the manufacture of the furniture panel two types of wood joints are used, on a toothed mini-tongue when gluing wood along the length and on a smooth fugue along the edge, when gluing wood along the width. The main attention was paid to gluing short-sized beech wood blanks on a toothed mini-tongue when manufacturing lamellas using thermoplastic polyvinyl acetate glue with durability class D4. Of great importance for the furniture panel is the strength of adhesive joints on a toothed mini-tongue during operation under the action of temperature and humidity loads. Such studies require the use of an appropriate methodology, since there is no generally accepted methodology that would allow providing reliable results of experimental studies. To study the influence of temperature and humidity loads on the strength of adhesive joints of beech wood on a toothed mini-tenon in the manufacture of a furniture panel, it is proposed to use the method of long-term experimental research. This method involves keeping glued samples in natural conditions for a long time. This will allow us to identify the patterns of the influence of natural factors, namely the long-term and alternating effect of humidity and temperature on the change in the strength of adhesive joints of beech wood on a toothed mini-tenon. According to this method, the furniture panel was kept outdoors for seventy-two months under cover under the influence of temperature and humidity loads, without direct moisture and solar radiation. After exposure, samples of the appropriate shapes and sizes were cut from the furniture panel, in accordance with the standard, and the limiting loads were determined using the method of their destruction by static bending. According to the results of the research, the prolonged action of temperature and humidity loads in natural conditions leads to a change in the strength limit of both beech wood and glued joints of wood to a toothed mini-tenon. Namely, the strength of beech wood after seventy-two months of exposure in the open air decreases from 86.08 MPa to 81.30 MPa. This is 5.55 %. The strength of glued joints to a toothed mini-tenon of beech wood for static bending is 64.03 MPa, and after seventy-two months of exposure under the action of temperature and humidity loads – 55.19 MPa. That is, the strength decreased by 15.36 %.

Keywords: wood gluing; beech wood; adhesives; strength; wooden structures; temperature and humidity loads; furniture panels.