

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

¹**Шехоркіна С.Є.**, к.т.н., доцент,

S_VT@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4377-3746

¹**Махінько М.М.**, к.т.н., доцент,

kolia2785@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5541-8672

¹**Мислицька А.О.**, аспірант,

mislitska2508@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9609-7270

¹*Державний вищий навчальний заклад*

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, 49000, Україна

Анотація. Проведені випробування на розтяг вздовж волокон зразків пиломатеріалів, на основі яких виконано класифікацію клеєної деревини за міцністю відповідно до чинних норм. Для оцінки несучої здатності клеєної деревини згідно визначеного класу міцності були виконані випробування стандартних балок на згин. В результаті отримані дані щодо фактичної міцності на згин та деформативності балок з клеєної деревини. За результатами випробувань визначені коефіцієнти безпеки, що визначаються як відношення експериментальних руйнівного зусилля та міцності на згин до відповідних теоретичних значень. У всіх випадках експериментальна несуча здатність балки з клеєної деревини вище очікуваної теоретичної, відповідно до експериментально встановленого класу міцності.

Ключові слова: клеєна деревина, ламель, фізико-механічні властивості, клас міцності.

Введення. Конструкції з клеєної деревини широко розповсюджені в світовій практиці будівництва. Клеєні дерев'яні конструкції добре відомі в Україні і застосовуються у будівництві малоповерхових індивідуальних будівель, а також в елементах сільськогосподарських та громадських будівель і споруд [1, 2]. Конструкційна клеєна деревина – це ресурсоефективний інженерний виріб, який складається з декількох шарів пиломатеріалів, склеєних по довжині, і відрізняється високими фізико-механічними властивостями, довговічністю, вогнестійкістю, легкістю обробки та екологічністю.

На теперішній час в Україні набули чинності норми проектування дерев'яних конструкцій ДБН В.2.6-161:2017 [3], які гармонізовані з нормами Європейського Союзу і, в тому числі, встановлюють загальні вимоги до клеєної деревини. Тим не менше, на практиці виникають проблеми проектування клеєних дерев'яних конструкцій, які пов'язані з фактичною відсутністю рекомендацій щодо сортування за міцністю, недостатнім обсягом даних щодо фізико-механічних характеристик клеєного бруса, який виробляється в Україні.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій. Вивченню властивостей деревини присвячена велика кількість публікацій як вітчизняних, так і закордонних авторів. Серед них слід відзначити роботи Є. К. Ашкеназі, В. О. Іванова, В. З. Кліменка, В. В. Фурсова, В. В. Стоянова та багатьох інших вчених. Тим не менше, поява сучасних технологій та стандартів виготовлення клеєної деревини та матеріалів на її основі обумовлює необхідність проведення відповідних досліджень з визначення фізико-механічних характеристик.

В роботі [4] описана методика досліджень міцнісних та деформативних властивостей суцільної та клеєної деревини хвойних порід вздовж волокон та поперек волокон за дії одноразових навантажень. Приведені вимоги щодо розмірів та технології виготовлення зразків для врахування мікроструктури та макроструктури деревини.

Експериментальні дослідження роботи модифікованої полімерним композитом “СИЛОР” клеєної деревини сосни вздовж волокон за дії одноразових короткочасних навантажень виконані авторами [5]. За результатами випробувань встановлено вплив терміну

просочення полімерною композицією на міцність модифікованої клеєної деревини.

Результати оцінки впливу на механічні властивості клеєної деревини змінних температурно-вологісних умов приведені в роботі [6]. Проведено порівняльний аналіз отриманих експериментальним шляхом даних з нормативними.

В статті [7] приводяться результати визначення основних фізико-механічних показників сухостійної та здорової деревини сосни відповідно до методик міждержавних стандартів (ГОСТ) та чинних національних, гармонізованих із європейськими (ДСТУ EN). Автор відзначає, що характеристики деревини, отримані за методиками ГОСТ та гармонізованим ДСТУ EN, істотно відрізняються (до 64 %), що пояснюється принциповими відмінностями методик проведення досліджень.

Питання експериментальної оцінки фізико-механічних властивостей клеєної деревини згідно вимог національних стандартів, гармонізованих з методиками європейських норм, в роботах вітчизняних авторів майже не висвітлюються. Тому для проведення таких досліджень необхідний попередній аналіз закордонних публікацій.

Детально методика експериментального визначення класу міцності клеєної деревини розглянута в роботах [8, 9]. Автори приводять параметри зразків та схеми випробувань, надають рекомендації щодо статистичної обробки результатів та подальшої класифікації матеріалу. Аналогічні дослідження міцності на згин, розтяг та стиск клеєного бруса з модрина японської проведені в роботі [10].

Автори [11] досліджують властивості клеєного бруса, виготовленого з використанням пиломатеріалів, що відрізняються за класом міцності. Експериментальні дослідження міцності на згин виконуються з використанням стандартних зразків-балок, отриманих шляхом склеювання шарів з різними характеристиками по висоті перерізу.

В роботі [12] досліджуються параметри міцності та деформативності високоміцної клеєної деревини з європейського бука. Встановлені основні фактори, що впливають на фізико-механічні характеристики. Приведена система індикаторів для візуального та машинного сортування деревини методами неруйнівного контролю якості згідно вимог європейських стандартів.

В чинних вітчизняних нормах для проектування клеєних конструкцій використовуються розрахункові характеристики за класами міцності, відповідно до європейських стандартів. Класи міцності та процедури експериментального визначення характеристичних значень фізико-механічних властивостей клеєної багатошарової деревини встановлені в EN 1194:1999 [13], який наразі не є гармонізованим з національною нормативною базою.

Мета роботи: визначення фізико-механічних властивостей клеєної деревини вітчизняного виробництва шляхом стандартних випробувань згідно європейських стандартів. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні **завдання**: проаналізувати вимоги чинних стандартів щодо визначення фізико-механічних властивостей клеєної деревини; розробити методику експериментальних досліджень; за отриманими даними виконати оцінку відповідності клеєної деревини класу міцності згідно EN 1194:1999 [13].

Матеріали та методика дослідження. Елемент з клеєної деревини за характеристичними значеннями фізико-механічних властивостей може бути віднесений до одного з класів міцності, якщо ці характеристики не менше величин, наведених у стандарті [4]. Даний стандарт визначає класи міцності клеєної деревини GL24h, GL28h, GL32h та GL36h, де цифра позначає характеристичну міцність на згин в МПа.

Віднесення клеєної деревини до класу міцності виконується шляхом визначення ключових фізико-механічних властивостей деревини ламелей, з яких виготовляється елемент, а саме характеристичної міцності на розтяг паралельно волокнам $f_{t,0,l,k}$ та середнього модуля пружності паралельно волокнам $E_{0,l,mean}$ [8]. Характеристичні значення властивостей клеєної деревини за класами міцності знаходяться в кореляційній залежності з приведеними характеристиками ламелей (табл. 1).

Таблиця 1 – Кореляційні залежності властивостей клеєної деревини від властивостей деревини ламелей [13]

Найменування та умовне позначення властивостей		Залежність
Міцність на згин, МПа	$f_{m,g,k}$	$7+1.15 f_{t,0,1,k}$
Міцність на розтяг паралельно волокнам, МПа	$f_{t,0,g,k}$	$5+0.8 f_{t,0,1,k}$
Міцність на розтяг перпендикулярно волокнам, МПа	$f_{t,90,g,k}$	$0.2+0.015 f_{t,0,1,k}$
Міцність на стиск паралельно волокнам, МПа	$f_{c,0,g,k}$	$7.2 f_{t,0,1,k}^{0.45}$
Міцність на стиск перпендикулярно волокнам, МПа	$f_{c,90,g,k}$	$0.7 f_{t,0,1,k}^{0.5}$
Міцність на сколювання, МПа	$f_{v,g,k}$	$0.32 f_{t,0,1,k}^{0.8}$
Середній модуль пружності паралельно волокнам, МПа	$E_{0,g,mean}$	$1.05 E_{0,1,mean}$
Середній модуль пружності перпендикулярно волокнам, МПа	$E_{90,g,mean}$	$0.035 E_{0,1,mean}$
Модуль зсуву, МПа	$G_{g,mean}$	$0.065 E_{0,1,mean}$
Густина, кг/м ³	$\rho_{g,k}$	$1.10 \rho_{l,k}$

Фізико-механічні властивості окремих ламелей визначаються шляхом стандартних випробувань на розтяг (визначення характеристичної міцності та модуля пружності при розтягуванні вздовж волокон) відповідно до вимог [14]. При цьому зразки ламелей для випробування повинні мати розміри поперечного перерізу, характерні для їх використання при виготовленні клеєного елемента, та довжину, що перевищує більший розмір поперечного перерізу мінімум у 9 разів. За результатами випробувань виконується класифікація клеєної деревини за міцністю.

Для оцінки несучої здатності клеєної деревини згідно визначеного класу міцності були виконані випробування стандартних зразків (балок) на згин відповідно до вимог [14]. Ширина поперечного перерізу балок становила 60 та 120 мм, висота – 120 мм. Схема зразків приведені на рис. 1. Геометричні параметри та кількість зразків для випробування на розтяг вздовж волокон приведені в табл. 2, на згин – в табл. 3.

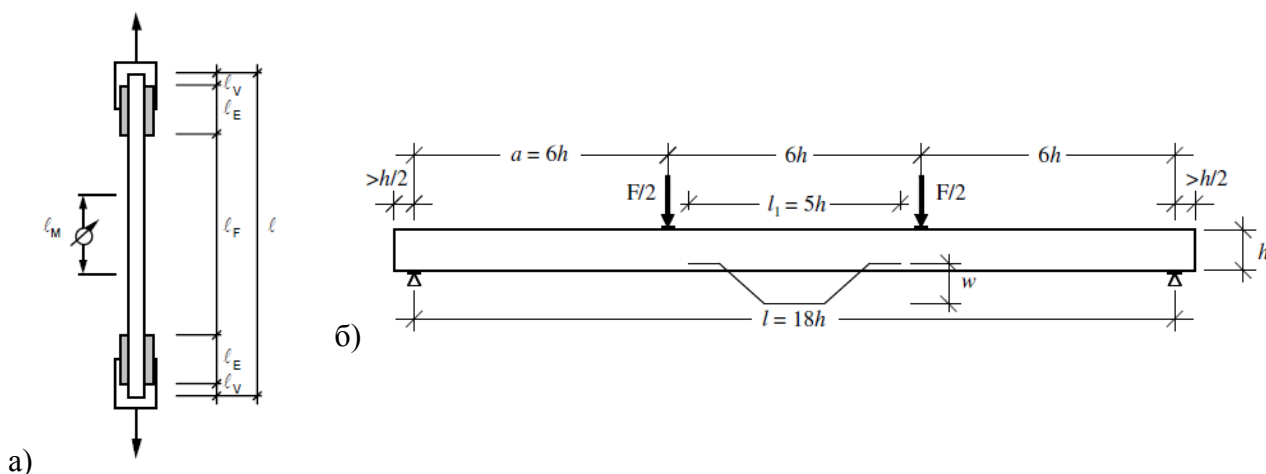


Рис. 1. Схема та геометричні параметри зразків:

а – для випробування на розтяг вздовж волокон [8]; б – для випробування на згин [9]

Таблиця 2 – Геометричні параметри зразків для випробування на розтяг вздовж волокон

Розміри поперечного перерізу зразка, мм		Повна довжина, l , мм	Вільна довжина, l_F , мм	База вимірювань, l_M , мм	Кількість зразків, шт.
ширина, b	висота, h		$\geq 9h$		
20	60	1000	600	300	10
30	60	1000	600	300	10

Таблиця 3 – Геометричні параметри зразків для випробування на згин

Тип	Розміри поперечного перерізу, мм		Повна довжина, мм	Прольот, $l=18h$, мм	Відстань між точками навантаження, $l-2a$, мм	База вимірювань, l_1 , мм	Кількість зразків, шт.
	ширина, b	висота, h					
1	60	120	2300	2160	720	600	3
2	120	120	2300	2160	720	600	3

Під час випробувань зразків товщиною 20 мм на розтяг використовувалась універсальна розривна машина УММ-20. Для випробування зразків товщиною 30 мм використовувалась універсальна розривна машина ГМС-100. Вимірювання величини деформацій зразків здійснювалось за допомогою індикатора часового типу ІЧ-10.

Для випробування на згин балка з обох кінців встановлювалась на шарнірно-нерухомих опорах. Зосереджене навантаження на балку від гідравлічного преса передавалось через траверсу та розподілялось навпіл на дві точки посеред прольоту. Під час випробувань використовувався гідравлічний домкрат ДГ-20. Вимірювання прогину центрального перерізу здійснювалось за допомогою прогиноміру 6-ПАО. При проведенні експерименту величина прогину фіксувалась до теоретичного руйнівного навантаження, після чого прогиномір знімався і навантаження збільшувалось до моменту руйнування балки.

Навантаження зразків здійснювалось плавно до руйнування зразка. При випробуваннях на розтяг покази переміщення знімались кожні 200 кгс навантаження для зразків товщиною 20 мм та кожні 400 кгс для зразків товщиною 30 мм. При випробуваннях балок на згин покази знімались кожні дві одиниці тиску за шкалою манометру, які дорівнюють приблизно 250 кгс навантаження. Величина етапу навантаження в кожному випадку відповідала $\approx 10\%$ від очікуваного значення руйнівного навантаження.

У процесі проведення випробувань фіксувались наступні показники: величина навантаження; величина деформацій на контрольованій ділянці; величина прогину (при випробуваннях на згин); навантаження в момент руйнування. Також в процесі проведення випробувань фіксувались первинні ознаки руйнування конструкцій: характерний тріск, поява тріщин та інше.

Результати досліджень. В результаті випробувань зразків на розтяг вздовж волокон було отримано руйнівне навантаження, а також визначено характер руйнування деревини (рис. 2). За отриманими даними для кожного зразка з використанням формул, приведених в [13], було визначено міцність та модуль пружності при розтягуванні вздовж волокон.

Характер руйнування зразків при випробуванні на розтяг можна умовно розділити на дві основні групи: 1) руйнування в зоні захвату та 2) руйнування безпосередньо від розриву поздовжніх волокон. На величину руйнівного навантаження значно впливає наявність дефектів (особливо сучків), які значно знижують міцність деревини. Слід відзначити, що руйнування по волокнам деревини спостерігалось лише в «чистих» зразках без дефектів або пороків деревини. Оскільки в заводських умовах при виготовленні клеєних дерев'яних балок або інших елементів дефекти окремих ламелей видаляються, проводити дослідження ламелей слід на «чистих» пиломатеріалах, якщо немає інших вимог.

Обробка отриманих даних виконувалась відповідно до вимог [5]. Міцність на розтяг вздовж волокон визначалася для кожного випробуваного зразка за формулою:

$$f_{t,0} = F_{\max} / A, \quad (1)$$

де F_{\max} – руйнівне навантаження; A – площа поперечного перерізу.

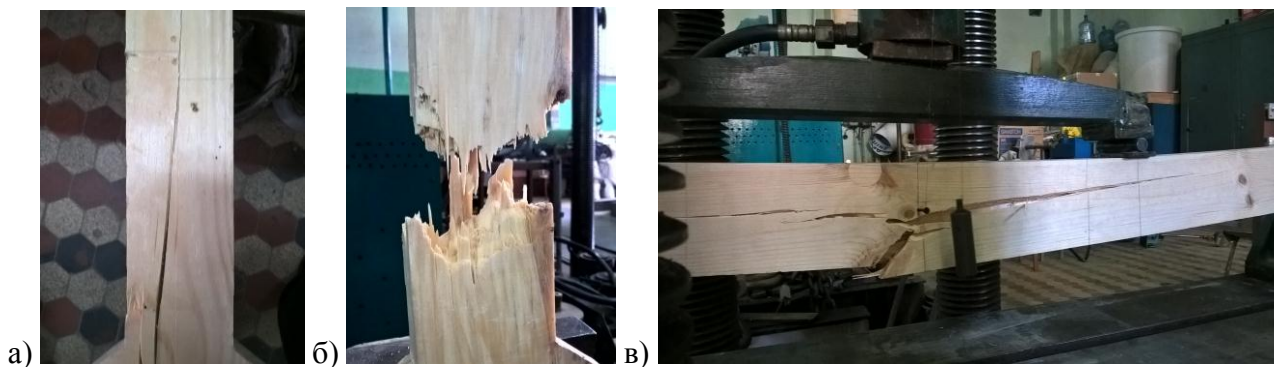


Рис. 2. Характер руйнування зразків при випробуванні на розтяг:
а – руйнування в зоні захвату; б – руйнування по волокнам; в – балок при випробуванні на згин

Модуль пружності при розтягуванні вздовж волокон визначався за формулою:

$$E_{t,0} = \frac{l_1 (F_2 - F_1)}{A (w_2 - w_1)}, \quad (2)$$

де $(F_2 - F_1)$ – приріст навантаження на прямолінійній ділянці графіку «навантаження – деформація»; $(w_2 - w_1)$ – приріст деформацій на ділянці, що відповідає $(F_2 - F_1)$; A – площа поперечного перерізу; l_1 – база вимірювань.

В результаті обробки експериментальних даних були отримані наступні значення характеристик: міцність ламелі на розтяг вздовж волокон $f_{t,0,l,k} = 18,73 \text{ Н/мм}^2$, модуль пружності $E_{0,l,mean} = 15092 \text{ Н/мм}^2$ та густина 467 кг/м^3 . З використанням кореляційних залежностей (табл. 1) були визначені відповідні фізико-механічні характеристики, згідно з якими клеєна деревина з випробуваних ламелей за класом міцності може бути класифікована як GL28h (табл. 4).

Таблиця 4 – Фізико-механічні характеристики клеєної деревини за результатами випробувань

Найменування та умовне позначення характеристики		Експериментальне значення	Значення для стандартного класу міцності GL28h
Міцність на згин, МПа	$f_{m,g,k}$	28.5	28
Міцність на розтяг паралельно волокнам, МПа	$f_{t,0,g,k}$	20	19.5
Міцність на розтяг перпендикулярно волокнам, МПа	$f_{t,90,g,k}$	0.48	0.45
Міцність на стиск паралельно волокнам, МПа	$f_{c,0,g,k}$	26.6	26.5
Міцність на стиск перпендикулярно волокнам, МПа	$f_{c,90,g,k}$	3	3.0
Міцність на сколювання, МПа	$f_{v,g,k}$	3.31	3.2
Середній модуль пружності паралельно волокнам, МПа	$E_{0,g,mean}$	15846	12600
Модуль зсуву, МПа	$G_{g,mean}$	981	780
Густина, кг/м^3	$\rho_{g,k}$	513	410

В результаті випробування стандартних зразків (балок) на згин були отримані фактичні значення руйнівного навантаження та міцності клеєної деревини на згин. Згідно отриманих даних для випробуваних балок побудовано графіки залежності прогину від навантаження, які приведено на рис. 3.

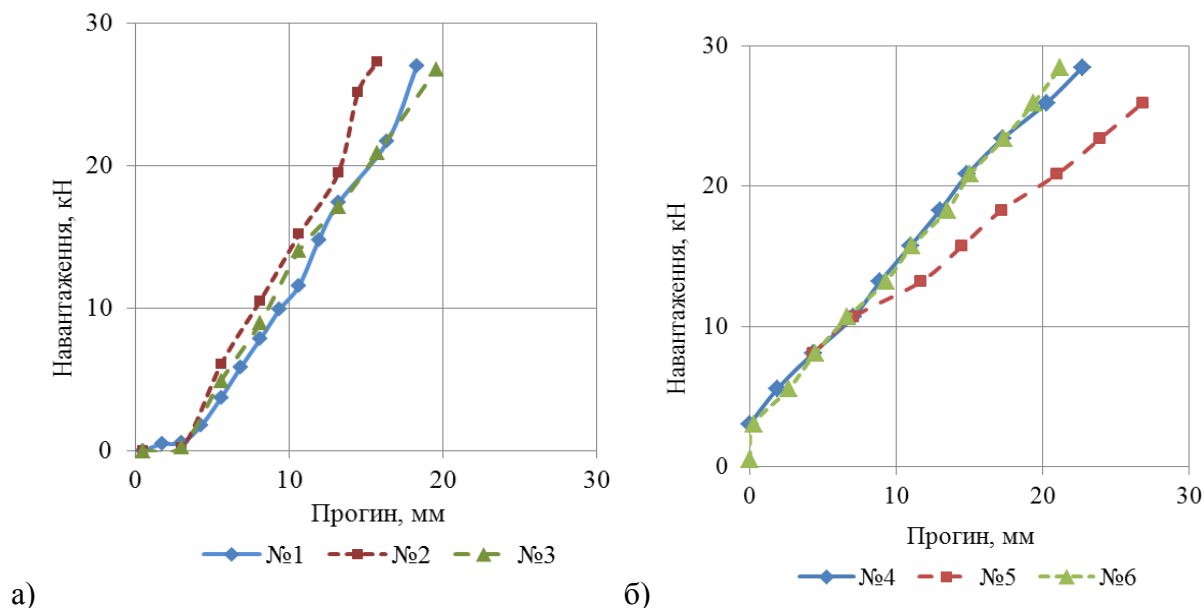


Рис. 3. Графіки залежності прогину від навантаження для балок:
а – тип 1; б – тип 2

Теоретичне значення руйнівного навантаження балки на згин відповідно до встановленого класу міцності визначалося за формулою:

$$F_{\max,t} = 6 f_{m,g,k}^t W / l, \quad (3)$$

де $f_{m,g,k}^t$ – міцність клеєної деревини на згин; M_{\max} – максимальний згинальний момент в небезпечному перерізі; l – розрахунковий проліт; W – момент опору перерізу.

Міцність на згин за результатами випробувань визначалась за формулою:

$$f_{m,g,k}^e = 0.5 a F_{\max,e} / W, \quad (4)$$

де a – відстань між точкою прикладання навантаження та найближчою опорою; F_{\max} – руйнівне навантаження.

Фактичні значення руйнівного навантаження та міцності клеєної деревини на згин, а також їх порівняння з теоретичними значеннями приведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Результати випробування балок на згин

Номер балки	Розміри перерізу, мм		Руйнівне навантаження, кН		γ_1	Міцність на згин, Н/мм ²		γ_2
	ширина, b	висота, h	$F_{\max,t}$	$F_{\max,e}$		$f_{m,g,k}^t$	$f_{m,g,k}^e$	
1	60	120	10.5	20.8	1.98	28	52.1	1.86
2				18.3	1.74		45.75	1.63
3				19.5	1.86		48.75	1.74
4	120	120	21.04	41.8	1.99		52.25	1.87
5				39.9	1.9		49.85	1.78
6				43	2.4		53.75	1.92

Примітка. Коефіцієнти безпеки $\gamma_1 = F_{\max,e} / F_{\max,t}$, $\gamma_2 = f_{m,g,k}^e / f_{m,g,k}^t$ де $F_{\max,e}$, $F_{\max,t}$, $f_{m,g,k}^e$, $f_{m,g,k}^t$ – відповідно, експериментальне та теоретичне руйнівне навантаження та міцність на згин.

Як видно з отриманих даних, деформування балок характеризується близькою до лінійної залежністю. Випробувані балки характеризуються незначними розбіжностями

значень руйнівного навантаження та міцності на згин, що свідчить про однорідність властивостей. Тим не менше, отримані експериментальні величини в 1.63-2.4 рази перевищують очікувані теоретичні значення, відповідно до експериментально встановленого класу міцності.

Висновки. Для визначення фізико-механічних характеристик клеєної деревини, що виготовляється з деревини сосни місцевого походження були проведені стандартні випробування на розтяг вздовж волокон зразків пиломатеріалів ламелей. В результаті були отримані наступні характеристики: міцність ламелі на розтяг вздовж волокон $f_{t,0,l,k}=18,73 \text{ Н/мм}^2$, модуль пружності $E_{0,l,mean}=15092 \text{ Н/мм}^2$ та густина 467 кг/м^3 . Відповідно до чинних вітчизняних та європейських норм, клеєна деревина з випробуваних ламелей за класом міцності може бути класифікована як GL28h.

Для оцінки несучої здатності клеєної деревини згідно експериментально визначеного класу міцності були виконані випробування стандартних зразків (балок) на згин. Руйнівне навантаження для зразків з розмірами поперечного перерізу $60 \times 120 \text{ мм}$ склало 19.5 – 20.8 кН, для зразків $120 \times 120 \text{ мм}$ – 39.9 – 43 кН. Фактична міцність клеєної деревини на згин становить $45.75 - 53.75 \text{ Н/мм}^2$, що в 1.63 – 2.4 рази перевищує очікувані теоретичні значення.

Література

1. Кліменко В.З. Ефективний конструкційний матеріал - клеєна деревина. *Будівництво України* : Науково-виробничий журнал. 2009. Вип. 9/10. С. 16-20.
2. Калугин А.В. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве. Промышленное и гражданское строительство : *Научно-технический и производственный журнал*. 2011. Вип. 7(2). С. 32-37.
3. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [чинні від 2018-01-02]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 111 с. (Державні будівельні норми України).
4. Гомон С. Методика досліджень основних механічних та деформативних властивостей суцільної та клеєної деревини. *Праці Міжнародної науково-технічної конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування»*, 24-27 вересня 2019 р. Тернопіль : ТНТУ, 2019. С. 198–200.
5. Гомон С. С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. № 1. С. 134-138. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi_2017_1_21 (дата звернення: 08.05.2020).
6. Васильєв О. Ю. Довговічність плоских та просторових наскрізних дерев'яних конструкцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.23.01. Харків, 2015. 23 с.
7. Новицький С. В. Деревинознавчі аспекти сухостійної деревини сосни звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, т. 28, № 6. С. 109–112.
8. Sousa H.S., Branco J.M., Lourenço P.B. Glulam Mechanical Characterization. *Trans Tech Publications: Materials Science Forum, Advanced Materials Forum VI*, 2013, Vol. 730-732, pp. 994-999. URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.994 (дата звернення: 20.03.2020).
9. Steiger R., Arnold M., Fontana M. Revisiting EN 338 and EN 384 basics and procedures. *Conference: Meeting 39 of CIB-W18*, At Florence, Italy. 2006, Vol. 39, pp. 39-62. URL: https://www.researchgate.net/publication/278673351_Revisiting_EN_338_and_EN_384_basics_and_procedures (дата звернення: 20.03.2020).
10. Hiramatsu Y., Fujimoto K., Miyatake A. Strength properties of glued laminated timber made from edge-glued laminae II: bending, tensile, and compressive strength of glued laminated timber. *J Wood Sci.* 2011. Vol. 57. pp. 66–70. URL: <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1127-0> (дата звернення: 08.05.2020).
11. Gao S., Xu M., Guo N., Zhang Y. Mechanical Properties of Glued-Laminated Timber with Different Assembly Patterns. *Advances in Civil Engineering*. 2019. Vol. 2019. URL: <https://doi.org/10.1155/2019/1234567>

<https://doi.org/10.1155/2019/9495705> (дата звернення: 08.05.2020).

12. Ehrhart T., Steiger R., Fink G., Frangi A. Experimental investigation of tensile strength and stiffness indicators regarding European beech timber. *World Conference on Timber Engineering WCTE*. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/306915201_Experimental_investigation_of_tensile_strength_and_stiffness_indicators_regarding_European_beech_timber (дата звернення: 08.05.2020).

13. EN 1194:1999. Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values. 1999. URL: <https://webstore.ansi.org/standards/bsi/bsen11941999> (дата звернення: 20.03.2020)

14. ДСТУ EN 408:2003. Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей [чинні від 01.07.2009]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2009. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66659 (дата звернення: 20.03.2020).

References

- [1] V.Z. Klimenko, “Efektivniy konstruktsiyniy material – kleyena derevyna”, *Budivnitstvo Ukrainy : Naukovo-vyrobnychiy jurnal*, vol. 9/10, pp. 16-20, 2009.
- [2] A.V. Kalugin, “Kleyeniye derevyaniye konstruktii v sovremennom stroitelstve”, *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo : Nauchno-tehnicheskii I proizvodstvenniy jurnal*, vol. 7(2), pp. 32-37, 2011.
- [3] DBN B.2.6-161:2017. Derevyani konstrukcii. Osnovni polozhennia. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2017.
- [4] S. Gomon, “Metodyka doslidzhen osnovnykh mekhanichnykh ta deformatyvnykh vlastyvostei sutsilnoi ta kleienoi derevyny”, *Pratsi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Poshkodzhennia materialiv pid chas ekspluatatsii, metody yoho diaagnostuvannia i prohnozuvannia»*, 24-27 September 2019, Ternopil : TNTU, 2019, pp. 198-200.
- [5] S.S. Gomon, S.S. Gomon, A.V. Zinchuk, “Doslidzhennia modyfikovanoi sylorom kleienoi derevyny na styk vzdovzh volokon”, *Visti Donetskoho hirnychoho institutu*, vol. 1, pp. 134-138, 2017. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi_2017_1_21. Accessed on: May 08, 2020.
- [6] O.Yu. Vasyliiev, “Dovhovichnist plaskykh ta prostorovykh naskriznykh derevianykh konstruktsii” : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Kharkiv, 2015. 23 p.
- [7] S.V. Novytskyi, “Derevynoznavchi aspekty sukhostiinoi derevyny sosny zvychainoi”, *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, vol. 28, no. 6, pp. 109–112, 2018.
- [8] H.S. Sousa, J.M. Branco, P.B. Lourenço, “Glulam Mechanical Characterization”, *Trans Tech Publications: Materials Science Forum*, Advanced Materials Forum VI, vol. 730-732, pp. 994-999, 2013. Available: doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.994. Accessed on: March 20, 2020.
- [9] R. Steiger, M. Arnold, M. Fontana, “Revisiting EN 338 and EN 384 basics and procedures”, *Conference: Meeting 39 of CIB-W18*, At Florence, Italy, vol. 39, pp. 39-62, 2006. Available: https://www.researchgate.net/publication/278673351_Revisiting_EN_338_and_EN_384_basics_and_procedures. Accessed on: March 20, 2020.
- [10] Y. Hiramatsu, K. Fujimoto, A. Miyatake, “Strength properties of glued laminated timber made from edge-glued laminae II: bending, tensile, and compressive strength of glued laminated timber”, *J Wood Sci*, vol. 57, pp. 66–70, 2011. Available: <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1127-0>. Accessed on: May 08, 2020.
- [11] S. Gao, M. Xu, N. Guo, Y. Zhang, “Mechanical Properties of Glued-Laminated Timber with Different Assembly Patterns”, *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, 2019. Available:

- <https://doi.org/10.1155/2019/9495705>. Accessed on: May 08, 2020.
- [12] T. Ehrhart, R. Steiger, G. Fink, A. Frangi, “Experimental investigation of tensile strength and stiffness indicators regarding European beech timber“, *World Conference on Timber Engineering WCTE*, 2016. Available: https://www.researchgate.net/publication/306915201_Experimental_investigation_of_tensile_strength_and_stiffness_indicators_regarding_Europe_an_beech_timber. Accessed on: May 08, 2020.
- [13] EN 1194:1999. Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values. 1999.
- [14] DSTU EN 408:2003. Lisomaterialy konstruktsiyni. Konstruktsiyna ta kleyna sharuvata dereyna. Vyznachennya deyakih fizichnyh ta mehanichnyh vlastyvostey. Kyiv: Minregion Ukrainy, 2009.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

¹**Шехоркина С.Е.**, к.т.н., доцент,

S_VT@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4377-3746

¹**Махинько Н.Н.**, к.т.н., доцент,

kolia2785@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5541-8672

¹**Мыслицкая А.А.**, аспирант,

mislitska2508@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9609-7270

¹*Государственное высшее учебное заведение*

«Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, 49000, Украина

Аннотация. Элемент из клееной древесины по характеристическим значениям физико-механических свойств может быть отнесен к одному из классов прочности (GL24h, GL28h, GL32h или GL36h). Классификация клееной древесины выполняется путем определения прочности на растяжение параллельно волокнам и среднего модуля упругости параллельно волокнам древесины ламелей, из которых изготавливается конструкция.

Для определения физико-механических характеристик клееной древесины, которая изготавливается из древесины сосны, были проведены стандартные испытания ламелей. Характер разрушения образцов при испытании на растяжение можно условно разделить на две основные группы в зоне захвата и непосредственно от разрыва продольных волокон. Разрушение по волокнам древесины наблюдалось только в «чистых» образцах без дефектов или пороков древесины. Поскольку в заводских условиях дефекты отдельных ламелей удаляются, проводить исследования ламелей следует на «чистых» пиломатериалах, если нет других требований. С использованием полученных данных выполнена классификация клееной древесины по прочности в соответствии с действующими нормами. Испытанная древесина отнесена к классу GL28h.

Для оценки несущей способности клееной древесины согласно определенному классу прочности были выполнены испытания стандартных образцов (балок) на изгиб. В результате испытания были получены значения разрушающей нагрузки, фактической прочности клееной древесины на изгиб, а также графики зависимости прогиба от нагрузки. Деформирование балок характеризуется зависимостью, близкой к линейной. Испытываемые балки характеризуются незначительными расхождениями значений разрушающей нагрузки и прочности на изгиб, что свидетельствует об однородности свойств.

По результатам испытаний определены коэффициенты безопасности, как отношение экспериментальных разрушающего усилия и прочности на изгиб к соответствующим теоретическим значениям. Во всех случаях экспериментальная несущая способность балки

из клееной древесины в 1.63 – 2.4 раза превышает ожидаемые теоретические значения в соответствии с экспериментально установленным классом прочности.

Ключевые слова: клееная древесина, ламель, физико-механические свойства, класс прочности.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF GLUED LAMINATED TIMBER

¹**Shekhorkina S.Yev.**, Ph.D., Associate Professor,
S_VT@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4377-3746

¹**Makhinko M.M.**, Ph.D., Associate Professor,
kolia2785@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5541-8672

¹**Myslytska A.**, post-graduate student,
mislitska2508@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9609-7270

¹*State higher educational institution
«Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»
24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine*

Abstract. An element made of glued laminated timber can be assigned to one of the strength classes according to the characteristic values of physical and mechanical properties (GL24h, GL28h, GL32h or GL36h). Glued laminated timber is classified by determining the tensile strength parallel to the fibers and the elastic modulus parallel to the timber fibers of the lamellas from which the structure is made.

Standard tests of lamellas were carried out to determine the physical and mechanical characteristics of glued laminated timber, which is made from pine wood. The nature of the destruction of the samples during tension tests can be divided into two main groups – in the capture zone and directly from the rupture of longitudinal fibers. Destruction of wood fibers was observed only in «clear» samples without defects of timber. Since the defects of single lamellae are removed at the factory, tests should be carried out on «clear» lumber, if there are no other requirements. Using the data obtained, glued laminated timber is classified by strength in accordance with current standards. Tested glued laminated timber was classified as GL28h.

Standard samples (beams) were tested in bending to assess the bearing capacity of glued laminated timber according to the determined strength class. As a result, the values of the failure load, the actual bending strength of glued timber and the graphs of the dependence of the deflection on the load were obtained. The tested beams were characterized by slight differences in the values of the failure load and bending strength, which indicates the uniformity of properties.

Based on the test results, safety factors were determined as the ratio of the experimental failure load and bending strength to the corresponding theoretical values. In all cases, the experimental load-bearing capacity of a glued laminated timber beam is 1.63 – 2.4 times higher than the expected theoretical values, in accordance with the established strength class.

Keywords: glued laminated timber, lamella, physical and mechanical properties, strength class.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2020