

Чичуліна К.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ПІДГОТОВКА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Мета проведених в статті експериментальних досліджень полягає у дослідженні характеру роботи, визначенні несучої здатності та граничних руйнувань складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та проведенні їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані скло-пластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети в ході проведеного дослідження було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. На дію стискаючих зусиль було випробувано 9 дослідних дерев'яних зразків форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 64x38x100 мм, волокнами вздовж дії навантаження і проведено випробування згідно ГОСТ 16483.10-73. Для визначення характеристик міцності на згин деревини було випробувано 3 зразка розмірами 64x38x400 мм на дію згинаючих зусиль. Дослідження проводились за допомогою універсальної випробувальної машини «УМ-5А» згідно ГОСТ 16483.3-84. У ході проведеного дослідження було визначено межі міцності при стисканні некондиціонованих зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка, розрахунковий опір, характеристичне значення міцності. Дослідження базуються на експериментальних методиках і підходах. В ході дослідження було визначено характеристики міцності орієнтовано-стружкової плити. Для проведення випробувань було виготовлено 6 серій зразків, усі вони були виготовлені з матеріалу OSB-3 виробництва «Кроно-Україна», який в подальшому був застосований для стінок балок. Для досліджень міцності та деформативності композитної арматури було відібрано і підготовлено 3 зразка арматури діаметром 4 і довжиною 400 мм, усі вони з склопластикової арматури, яка являє собою стрижень отриманий поєднанням епоксидної смоли і електроізоляційного скляного ровінгу (ниток).

Ключові слова: дерев'яні балки, OSB, експеримент, руйнування, міцність, стиск, згин.

Постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь все більше стикається з проблематикою використання екологічних та натуральних матеріалів. Історично деревина являється матеріалом з відновлювального природного ресурсу, за допомогою якого, на протязі багатьох років зводяться надійні та довговічні будівлі і споруди в усьому світі. З появою нових інноваційних технологій деревообробки з'явилась маса конструктивних форм, які дозволяють вирішити низку питань. Конструкції з клеєної деревини, армовані конструкції та багато інших типів дерев'яних конструкцій підштовхують до пошуку нових форм і технологій, експериментальних випробувань такого типу конструкцій. Тож, все більше набуває актуальності дослідження в сфері конструкцій з деревини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] колективом авторів проведені експериментальні дослідження двох двотаврових балок, які складаються із ОСБ-стілки, вкладеної в пази дерев'яних поясів. Сумісну роботу поясів та стінки забезпечують при цьому за допомогою поліуретанового клею.

Автори випробували балки як вільнооперті однопролітні з навантаженням у третинах прольоту. Також було визначено несучу здатність, прогин і деформації в зонах розтягу та стиску для кожного зразка та проаналізовано отримані експериментальні дані. Розглянуто результати експериментальних досліджень відповідно до схеми випробування. Треба відмітити, що руйнування обох балок відбувалося в місці стикування плит ОСБ-стілки з поступовою появою тріщин у поясах. В статті [2] науковцями досліджені нові типи балок, пояси яких виготовлено з дерев'яних брусків сосни II-го сорту, а стінки балки є складними з орієнтовано-стружкової плити, з'єднання стінки з поясами здійснено за допомогою клею. Результатами досліджень є задовільна робота дерев'яної балки двотаврового перерізу з стінками із OSB плити. У роботі [3] досліджуються два скінченно елементні рішення, розроблені для аналізу поперечної вигину на скручування дерев'яних балок-настилів, що складаються з двох балок, скріплених настилом через кріплення. Обидва рішення забезпечують гнучкість обертання, що забезпечується з'єднаннями між дошками

та балками. На основі проведеного аналізу було виявлено, що дослідження представлених у роботі подальших дерев'яних конструкцій вимагають його вивчення та експериментального підтвердження експлуатації. В [4] проведено аналіз досліджень в сфері армування конструкцій з клеєної деревини, інших конструкцій підсилених новітніми композитними матеріалами та акумульовано досвід підсилення композитними матеріалами конструкцій з клеєної деревини, що надає можливість збільшення межі використання композитних матеріалів для покращення несучої здатності балок, рам, арок тощо. Державні стандарти, які регламентують розрахунок та проектування дерев'яних конструкцій представлено в [5-6].

Постановка завдання. Метою експериментальних досліджень, представлених в статті є дослідження роботи, визначення несучої здатності та характеру руйнування складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та проведення їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані скло-пластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. Дослідження базуються на експериментальних методиках і підходах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення межі міцності деревини при стисненні та згині. Стиск. На дію стискаючих зусиль було випробувано 9 дослідних дерев'яних зразків форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 64x38x100 мм, волокнами вздовж дії

навантаження і проведено випробування згідно ГОСТ 16483.10-73.

Зразок поміщають в пристосування для випробування на стиснення (рис. 1, а). Зразок навантажують рівномірно з постійною швидкістю навантаження або постійною швидкістю переміщення навантажувальної головки машини. Швидкість повинна бути такою, щоб зразок зруйнувався через $(1,0 \pm 0,5)$ хв після початку навантаження. При використанні машини з електромеханічним приводом допускається проводити навантаження зразка рівномірно зі швидкістю (25000 ± 5000) Н/хв.

Руйнування зразків супроводжувалося появою характерної складки (рис.1, б), що утворювалася в результаті місцевого зламу волокон. Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск наведені в таблиці 1.

У ході проведеного дослідження було визначено межю міцності при стисканні некондиціонованих зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка, розрахунковий опір, характеристичне значення міцності відповідно [8].

Середнє значення руйнівного навантаження становило 79 кН, що створювало в перерізі зразка напруження $f_{c,0,d}=13.05$ МПа, яке і використовувалось для подальших розрахунків.



а) б)
Рис. 1. а – Загальний вигляд випробування на стиск деревини; б – Вигляд дослідних зразків після руйнування

Таблиця 1

Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск

№ зразка	Розміри поперечного перерізу зразків, мм		Руйнівне навантаження, P_{max}		$P_{середнє}$, кН	s , МПа	$S_{середнє}$, МПа	Модуль пружності E , МПа	Середній розрахунковий опір, $f_{c,0,d}$, МПа
	a	b	кГ	кН					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	64,5	38	5500	55	79	22,4	30.8	9943	13.05
2	64	37,5	6400	64		25,8		8301	
3	64	38	6800	68		27,7		10198	
4	64	38	9500	95		40,4		7717	
5	64	37	7300	73		31,1		9314	
6	63.5	38	8200	82		35,2		7043	
7	64	38	7400	74		31,0		10690	
8	64	37.5	10000	100		40.6		10112	
9	64.5	38	10000	100		41.9		9338	

Згин. Для визначення характеристик міцності на згин деревини було випробувано 3 зразка розмірами 64x38x400 мм на дію згинаючих зусиль (рис. 2, а). Дослідження проводились за допомогою універсальної випробувальної машини «УМ-5А» згідно ГОСТ 16483.3-84. Результати досліджень зразків для визначення характеристик міцності на згин деревини представлено (Табл. 2). Руйнування зразків супроводжувалося появою характерної складки (рис.2, б), що утворювалася в результаті місцевого зламу волокон. Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск наведені (Табл. 2).



Рис. 2. а – Загальний вигляд випробування на згин деревини; б – Вигляд дослідних зразків після руйнування

У ході наступних досліджень визначимо межу міцності при стисканні некондиційних зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка (E_i), розрахунковий опір, характеристичне значення міцності.

Середнє значення руйнівного навантаження становило 8.09 кН, що створювало в перерізі зразка напруження $f_{m,d}=14.9$ МПа, яке і використовувалося для подальших розрахунків. Загальний графік залежності деформацій від напруження в даному випадку представлено (рис. 3).

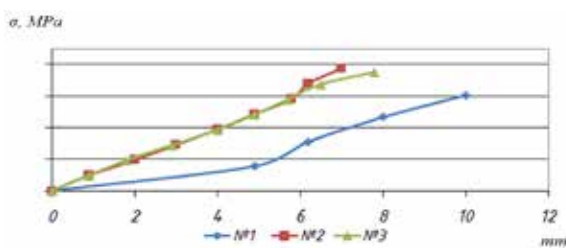


Рис. 3. Графік залежності деформацій від напруження

Визначення характеристик міцності орієнтовано-стружкової плити. Для проведення випробувань було виготовлено 6 серій зразків, усі вони були виготовлені з матеріалу OSB-3 виробництва «Кроно-Україна», який в подальшому був застосований для стінок балок.

Перша серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 150x50x10 мм, що маюць повздовжнє направлення волокон.

Друга серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x50x10 мм, що маюць поперечне направлення волокон.

Третя серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x170x10 мм, що маюць повздовжнє направлення волокон.

Четверта серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x150x10 мм, що маюць поперечне направлення волокон.

П'ята та шоста серія зразків – це OSB-плити квадратної форми розмірами 50x50x10 мм. При проведенні випробувань зразки даних серій розташовувались у випробувальній машині таким чином, щоб руйнування відбувалось вздовж або впоперек волокон.

Підготовка до випробувань і експериментальні дослідження складених дерев'яних балок виконувались в такій послідовності:

- 1) Підготовка зразка до випробування;
- 2) Кріплення вимірювальних приладів;
- 3) Встановлення зразка у випробувальну машину;
- 4) Випробування з'єднання з фіксацією необхідних параметрів на всіх ступенях завантаження.

Випробування проводилося на універсальній випробувальній машині «УВМ-5». Машина служить для статичних випробувань зразків матеріалів, деталей і вузлів машин на розтяг, стиск та згин. Мак-

Таблиця 2

Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск

№ зразка	Розміри попер. перерізу зразків, см			Руйнівне навантаження, P_{max}		$P_{середнє}$ кН	M , кН*см	W , см ³	σ , МПа	$\sigma_{середнє}$ МПа	Середній розрахунковий опір, $f_{m,d}$
	b	h	l	кг	кН						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
1	3.8	6.4	40	780	7.8	8.09	78	15.40	30.18	36.46	14.19
2	3.8	6.45	40	862	8.62		86.2	15.52	41.70		
3	3.7	6.4	40	785	7.85		78,5	14.60	37.5		

симальне зусилля машини складає 5 тс (50 кН). Для вимірювання деформацій взаємного зсуву елементів всіх серій були використані індикатори годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0,01 мм.

При проведенні випробувань на згин, використовувалася ГОСТ 10635-88. Ці зразки було встановлено на шарнірні опори випробувального приладу по відмітках так, щоб повздовжня вісь зразка була перпендикулярна осям опор, а поперечна вісь знаходилася у одній вертикальній площині з віссю прикладання сили. На кожному кроці навантажень знімались відліки по приладам, для всіх зразків було зафіксовано критичну силу та відповідні деформації.

При випробуванні першої серії зразків навантаження прикладались з кроком 3 кг з однаковою швидкістю аж до руйнування (рис. 4-5).

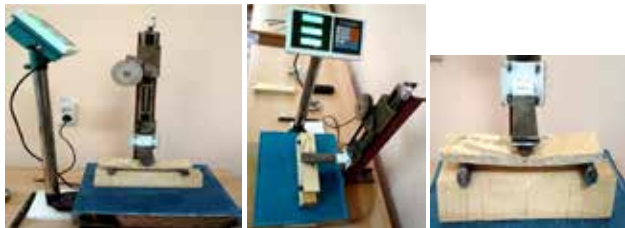


Рис. 4. Загальний вигляд випробувань зразків першої та другої серії



Рис. 5. Загальний вигляд випробувань зразків третьої та четвертої серії

При випробуванні перших двох серій зразків навантаження прикладались в залежності від шкали деформації матеріалу з кроком 5 поділом аж до руйнування. А випробуванні третьої і четвертої серії зразків навантаження прикладались з кроком 20 кг з однаковою швидкістю аж до руйнування.

Відмінність перших двох серій зразків від третьої і четвертої полягає у тому, що випробування проводилось на іншій дослідній установці.

При випробуванні п'ятої та шостої серії зразків навантаження прикладались з кроком 120 кг до руйнування зразка.

У ході роботи були визначені фізико-механічні характеристики орієнтовано-стружкових плит, використаних в якості стінки. Було виготовлено

та випробувано зразки на згин та стиск. При проведенні експерименту за ГОСТ 10635-88.

Руйнування зразків першої серії мало крихкий характер, середня руйнуюча сила при згині уздовж волокон складає 45,8 кг, межа міцності 27 МПа, модуль пружності 2300 МПа. Руйнування зразків другої серії мало крихкий характер, середня руйнуюча сила при згині поперек волокон складає 29,7 кг, межа міцності 13,1 МПа, модуль пружності 700 МПа (рис. 6-7).



Рис. 6. Руйнування зразків першої і другої серії

Рис. 7. Залежність деформацій від навантажень для першої серії зразків

До двох останніх зразків із другої серії прикладалося навантаження із витримкою 5 хв, для того щоб визначити як змінюється навантаження з часом (рис. 8).

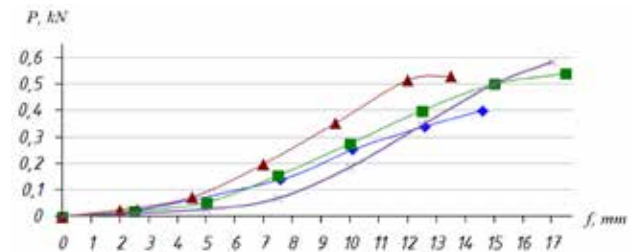


Рис. 8. Залежність деформацій від навантажень для другої серії зразків з витримкою в часі

Руйнування зразків третьої серії мало крихкий характер, руйнуюча сила при згині уздовж волокон складає близько 165 кг, межа міцності складає 27 МПа, модуль пружності 3500 МПа. Залежність деформацій від навантажень для третьої серії зразків представлено (рис. 9). А для четвертої серії руйнуюча сила при згині поперек волокон складає близько 85 кг, межа міцності складає 17,7 МПа, модуль пружності 2600 МПа.

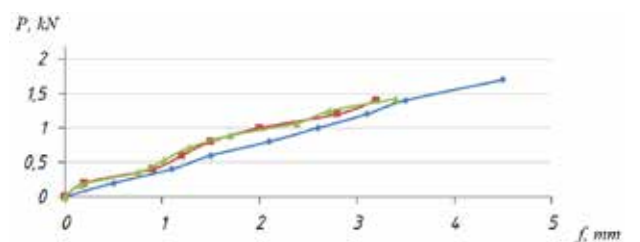


Рис. 9. Залежність деформацій від навантажень для третьої серії зразків

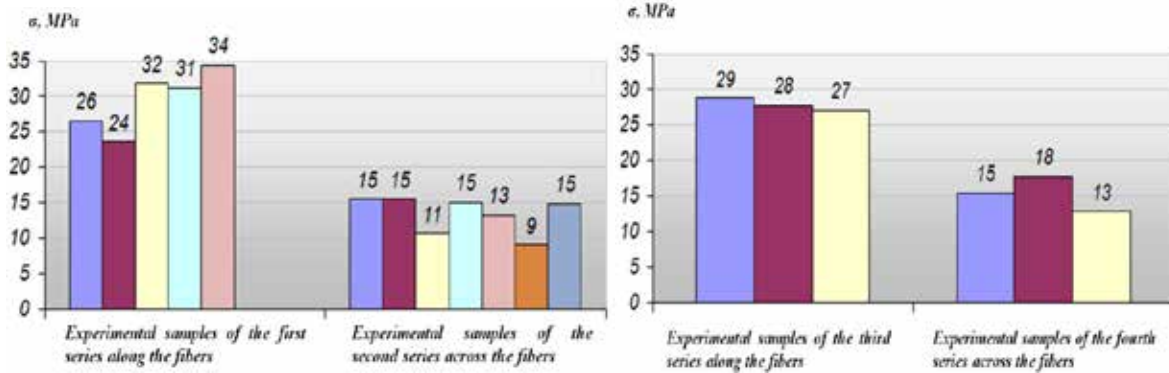


Рис. 10. Межа міцності чотирьох серій зразків OSB при випробуванні на згин

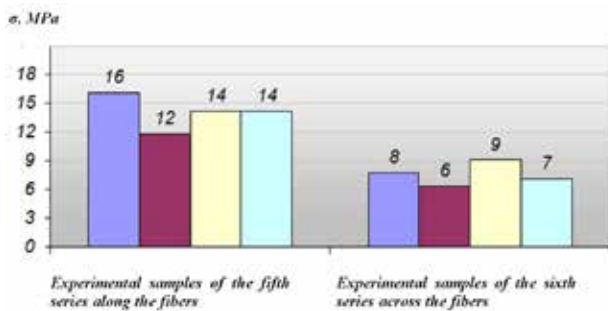


Рис. 11. Межа міцності п'ятої і шостої серії зразків OSB при випробуванні на стиск



Рис. 13. Загальний вигляд випробувань зразків із склопластикової арматури



Рис. 12. Руйнування зразків п'ятої та шостої серії

Межа міцності чотирьох серій зразків OSB при випробуванні на згин представлено (рис. 10). Руйнування зразків п'ятої та шостої серії мало крихкий характер, руйнуюча сила при стиску вздовж волокон складає близько 700 кг, а впоперек 390 кг. Межа міцності п'ятої і шостої серії зразків OSB при випробуванні на стиск та характер руйнування представлено (рис. 11–12).

Визначення межі міцності склопластикової арматури при розтягуванні. Для досліджень міцності та деформативності композитної арматури було відібрано і підготовлено 3 зразка арматури $\varnothing 4$ і довжиною 400 мм, усі вони з склопластикової арматури, яка являє собою стрижень отриманий поєднанням епоксидної смоли і електроізоляційного скляного ровінгу (ниток).

Особливе місце серед композитних матеріалів займає арматура склопластикова. Використовувалася композитна арматура з піском ТМ "Hard +". Випробування проводилося на універсальній випробувальній машині «УМ-5А», яка рекомендована для випробування металевих та інших зразків матеріалів на розтяг, стиск, поперечний вигин при статичних навантаженнях з найбільшим зусиллям 50 кН. При проведенні випробувань на розтяг, використовувався ГОСТ 12004-81 і зразки було закріплено в губках випробувального приладу та підключений прилад «АИД-4» за допомогою якого фіксувалися деформації в зразку по тензорезисторі. На кожному кроці навантажень знімалися відліки по приладам, для всіх зразків було зафіксовано критичну силу та відповідні деформації.

Руйнування композитної арматури відбувалося в робочій зоні стержня (рис. 13). Середнє значення руйнівного навантаження для склопластикової арматури становило 3,2 кН.

Висновок. Стаття презентує результати проведення ґрунтовних експериментальних випробувань складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами. Зокрема, визначено межі

міцності деревини при стисненні та згині, характеристики міцності орієнтовано-стружкової плити та межі міцності склопластикової арматури при розтягуванні. Представлені результати порівняльного аналізу результатів експериментального дослідження зразків балок.

Список літератури:

1. Демчина Б., Сурмай М., Вознюк Л., Данкевич І., Шидловський Я. Випробування дерев'яних двотаврових балок каркасних будинків. *Вісник Львівського національного аграрного університету*, вип. 21, с. 41-46. Львівський національний аграрний університет, Львів. (2020). DOI:10.31734/architecture2020.21.041.
2. Кислюк Д.Я., Чапюк О.С., Самчук В.П., Залета А.О., Савенко В.І. Дослідження роботи двотаврових дерев'яних балок із OSB стінкою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, вип. 17, с. 61-67. Луцький НТУ, Луцьк. (2022). [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-08).
3. Dmytrenko, A. Dmytrenko, T., Derkach T., Klochko L.: Experimental Investigation and Computer-Generated Simulation of Reinforced Double-Tee Girders with a Wall of Oriented Standard Board. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.8), pp. 115-119. Elsevier, UK. (2018). <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27224>.
4. Михайловський Д., Комар М. Армування конструкцій з деревини композитними матеріалами, стан і перспективи. Збірник наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика», вип. 9, с. 72-80. К.:КНУБА, Київ (2021). DOI:10.32347/2522-4182.9.2021.
5. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 111 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2017 Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. К.: ДП «УкрНДНЦ» 7, 2017. 131 с.

Chichulina K.V. PREPARATION AND CONDUCT OF EXPERIMENTAL TESTS OF REINFORCED WOODEN BEAMS

The purpose of the experimental studies carried out in the article is to study the nature of the work, determine the bearing capacity and limit failures of assembled wooden beams reinforced with fiberglass reinforcement with an OSB wall with one-piece belts and compare them. The object of the study is glued wooden beams of I-beam cross-section with a wall made of OSB and integral belts of the floor and covering of buildings and structures, reinforced with glass-plastic reinforcement. In order to achieve the set goal, in the course of the conducted research, six assembled, glued, reinforced with fiberglass reinforcement wooden beams of I-beam cross-section with an OSB wall and one-piece belts were made. 9 experimental wooden samples of the shape of a rectangular parallelepiped with dimensions of 64x38x100 mm were tested for compressive forces, with fibers along the action of the load and tested according to GOST 16483.10-73. To determine the characteristics of the bending strength of wood, 3 samples with dimensions of 64x38x400 mm were tested under bending forces. The research was carried out using the universal testing machine "UM-5A" according to GOST 16483.3-84. In the course of the research, the limit of compressive strength of unconditioned samples along the fibers, the modulus of elasticity during compression of the sample, the calculated resistance, and the characteristic strength value were determined. In the course of the study, the strength characteristics of oriented strand board were determined. For testing, 6 series of samples were made, all of them were made of OSB-3 material produced by "Krono-Ukraine", which was later used for the walls of the beams. For research on the strength and deformability of composite reinforcement, 3 samples of reinforcement with a diameter of 4 and a length of 400 mm were selected and prepared, all of them from fiberglass reinforcement, which is a rod obtained by a combination of epoxy resin and electrically insulating glass roving (thread).

Key words: wooden beams, OSB, experiment, destruction, strength, compression, load.