

МІЦНІСТЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДЕРЕВОПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

¹Цапко Ю.В., д.т.н., професор,
juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹Бондаренко О.П., к.т.н., доцент,
bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹Цапко О.Ю., PhD, ст. дослідник,
alekseytsapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

²Мазурчук С.М., к.т.н., доцент,
mazurchuk.s.m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6008-9591

²Касянчук І.О., аспірант,
ivankasianhuk@ukr.net, ORCID: 0009-0004-3741-2903

¹Ющенко А.В., студентка,
alinka29yushchenko@gmail.com, ORCID: 0009-0002-0936-5789

¹Київський національний університет будівництва і архітектури
пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, 03037, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041, Україна

Анотація. У статті акцентується увага на тому, що деревина є добрим теплоізолюючим матеріалом, оскільки має низьку теплопровідність. Але має і негативні властивості, зокрема, схильність до гниття, яка може виникнути через зволоження або неефективну вентиляцію та ін. Для дослідження міцності теплоізоляційних виробів з деревокомпозиційного матеріалу формували зразки різних співвідношень деревини та клею, зокрема, на водорозчинних клеях, а також на поліефірних і епоксидних смолах, шляхом їх змішування з тирсою у пропорції 1:2. Застосування в'язучих на основі синтетичних смол при формуванні теплоізоляційних виробів з тирси деревини підвищує екологічну безпечність, атмосферостійкість виробів, оскільки такі смоли характеризуються стійкістю до води та перепаду температур. А також знижує утворення мікроорганізмів в структурі виробу, адже матеріал, що утеплює споруду, стає більш міцним і твердим та не просідає з часом. Все це зумовлює зменшення трудомісткості укладки теплоізоляції для будівлі й можливості тепло ізолювання теплогенеруючого обладнання та трубопроводів теплоносіїв, витрат будівельних матеріалів і зниження частки енергоносіїв на опалення. Випробовування на міцність при стиску показали, що вироби з тирси на водорозчинних клеях є більш крихкими і міцність на стиск для клею на основі крохмалю знижується у 22 рази, порівняно з клеєм D4 та у понад 30 разів, порівняно з полімерними смолами. Більшу межу міцності мають зразки на клею ПВА D3 та D4, порівняно поліефірною смолою, тому межа міцності зменшується тільки у 1,6 рази. Відповідно деформація при стиску по товщині спресування для виробу на основі епоксидної смоли перевищує значення для поліефірної смоли майже у двічі. Встановлено, що деформація при стиску по площі пресування для виробу, виготовленого на основі епоксидної смоли, перевищує значення для поліефірної смоли.

Ключові слова: будівельні конструкції, тирса деревини, теплоізолювання, міцність на стиск, полімерні смоли, ефективність.

Вступ. Основним матеріалом для виготовлення теплоізоляції є відходи з деревини, оскільки деревина має низьку ціну, довговічність, екологічність. Окрім того, деревина добре вбирає вологу, якщо повітря вологе, а також випаровувати його. Але цей матеріал володіє і негативними властивостями, такими як схильність до гниття, що може виникнути при зволоженні або при впливі мікроорганізмів. Застосування в'язучих речовин на основі синтетичних смол при формуванні виробів з деревини підвищує екологічну безпечність та

атмосферостійкість, оскільки такі смоли характеризуються стійкістю до води та перепаду температур. А також знижує утворення мікроорганізмів в структурі виробу, адже матеріал, що утеплює споруду, стає більш міцним і твердим та не просідає з часом. Все це призводить до зменшення трудомісткості укладки теплоізоляції для будівлі і можливості теплоізолювання теплогенеруючого обладнання та трубопроводів теплоносіїв, витрат будівельних матеріалів та зниження частки енергоносіїв на опалення [1, 2].

Таким чином, виготовлення теплоізоляційних виробів на основі дерево полімерних матеріалів з поліефірних та епоксидних смол потребує встановлення характеристик необхідних для виготовлення виробів і проектування. Що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботі [3] показано розробку інноваційного сипучого теплоізоляційного матеріалу із стружки вільхи сірої (*Alnus incana* L. Moench) та луски берези (*Betula pendula*, *Betula verrucosa*) як залишків виробництва фанери. Стружка та пластівці екологічно ефективно перетворюються на волокнисту масу за технологією парового вибуху (SE) при температурах (Т) від 200 до 235 °С і часовому інтервалі від 0 до 5 хв. Найнижчу насипну щільність (53 кг м⁻³) досягав матеріал SE із стружки сірої вільхи з 12% вологи, обробленої при Т 235 °С протягом 1 хв. Це оптимальний результат, який розкриває промислову конкурентоспроможність сипучих теплоізоляційних матеріалів і вказує на обґрунтованість подальшої експертизи.

У статті [4] показано панелі та ДСП, які виготовлялися з очеретяних матів і сумішей очеретяної тріски для використання всередині будівель для звуко- та теплоізоляції. Проте передача звуку панелей зі зшитой очеретяної циновки (1-3 км/с), виявилася меншою порівняно з пропусканням деревно-стружкових плит (17 км/с). Проте суміші очеретяної стружки (2 см) і деревної стружки дали ДСП із кращими механічними властивостями (5-17 МПа), ніж панелі, виготовлені з очеретяних матів (2 МПа). Зафіксовано, що збільшення кількості очеретяної стружки в випробуваних ДСП покращує як звуко-, так і теплоізоляцію з 17 до 6 км/с і з 0,34 до 0,27 Вт/мК відповідно. Проте міцність на вигин зразків була знижена з 26 до 5 МПа. Відзначено збільшення товщини з 18% до 85% через додавання очеретяної стружки.

Рослинна сировина, як зазначено у [5] була переведена в порошок (SP) шляхом фізичної обробки з метою отримання твердих поліуретанових композитних пінопластів. Отримані піни оцінювали через механічні властивості, термічні властивості та комірчасту структуру. Виявлено, що міцність на стиск композиційних пінопластів різко знизилася порівняно з чистою піною, а розмір порошку не мав явного впливу на міцність на стиск у напрямку росту. Міцність на вигин жорстких поліуретанових композитних піл з кукурудзяною соломкою зменшилася з 0,34 МПа (чисті пінопласти) до 0,22 МПа і 0,26 МПа, що зменшилося на 35,3% і 23,5% відповідно. Міцність на вигин неростучої жорсткої поліуретанової композитної піни трохи зменшилася зі збільшенням розміру порошку. Порівняно з чистими пінопластами, теплові властивості жорстких поліуретанових композитних пінопластів з кукурудзяною соломкою не змінилися.

Основа дослідження [6] полягала у визначенні теплопередачі в природній ізоляції з золи рисового лушпиння і овечої вовни (SWRNA), попелу з рисової лушпиння з сизалевими волокнами (SFRNA), попелу з рисової лушпиння з банановими волокнами (BFRNA) та ізоляція повітряного зазору. Сталеві труби мали внутрішній діаметр 63 мм і довжину 1 метр. Максимальна теплопровідність сизалевого волокна, овечої вовни, бананового волокна та золи рисового лушпиння становила (0,045, 0,044, 0,094 та 0,4) Вт/м·К відповідно. Для труби одиначної довжини при 90°С максимальне енергозбереження BFRNA, SFRNA, SWRNA з повітряним зазором та азбестовою ізоляцією становило (244,708, 242,804, 241,602 і 1443,772) кВт·год/рік, відповідно. Тому, як показав результат, характеристики BFRNA, SFRNA та SWRNA з повітряним зазором кращі, ніж у азбестової ізоляції.

В роботі [7] запропоновано використовувати теплоізоляційні матеріали, які зазвичай використовуються в умовах низьких температур. Нові біоматеріали з волокна пера, розроблені в цій роботі, мають надзвичайно низьку теплопровідність, але зберігають високу

ударостійкість при низьких температурах. Повідомлені експерименти демонструють покращену ударостійкість біоматеріалів із пір'яного волокна порівняно зі спіненим нітрильним каучуком, які дозволяють використовувати їх як ударостійку теплоізоляцію при низьких температурах.

В роботі [8] сказано, що у процесі технічного огляду будівель та споруд, що зведені із застосуванням пиломатеріалів з деяких видів карпатської ялини, масово спостерігаються процеси виходу з робочого стану конструктивних елементів. Рішення можуть бути обумовлені невідповідністю властивостей карпатської ялини до заявлених характеристик у нормативних документах. Проведено порівняльний аналіз результатів комплексних досліджень. Сформульовані рекомендації щодо внесення змін до нормативних документів.

За результатами експерименту, наведених у роботі [9] побудовано математичні моделі та наведено графіки залежності коефіцієнта теплопровідності та міцності на стиск від співвідношень тирса/цемент і вода/цемент при постійних співвідношеннях пісок/цемент і вапно/цемент. Встановлено, що зі збільшенням вмісту тирси в суміші (співвідношення тирса/цемент знаходиться в межах від 0,25 до 0,75) міцність зразків суттєво знижується (до 64%), а коефіцієнт теплопровідності зменшується в середньому на 15%. Підібрано склади сумішей із заданими значеннями коефіцієнта теплопровідності, що мають показники міцності при стиску в діапазоні від 0,4 до 1,1 МПа, які дозволяють отримувати теплоізоляційні деревоцементні матеріали.

Типова міцність деревини робить її придатною як конструкційний матеріал [10]. Розглядаючи ключові структурні особливості, від молекулярного до макроскопічного рівнів, які визначають еластичність і стисливість деревини та стосуються схеми збирання лігноцелюлозних компонентів деревини, відповідного спірального розташування в клітинній стінці та анізотропії, яка контролює властивості пружності та стиснення.

У статті [11] створено новий композит, виготовлений із дугоподібного колотого бамбука та деревини тополі. Середній модуль пружності при вигині та міцність для дугоподібного бамбукового розколу становили 12179,33 МПа та 195,77 МПа відповідно, міцність на зсув адгезійного шару в композиті дугоподібного бамбука та деревини тополі становила надійні 8,02 МПа. Максимальне навантаження на вигин дугоподібного композиту бамбук-тополя становило 9896,29 Н, що майже вдвічі більше, ніж у сплющеного композиту бамбук-тополя.

Високоєфективний дерев'яний скрайбер (HPWS), який наведено у роботі [12], демонструє чудові механічні властивості та стабільність розмірів, що робить його перспективним матеріалом для несучих компонентів у будівництві. Результати показали, що як розмір площі поперечного перерізу, так і довжина значно впливають на міцність на стиск HPWS. Вплив HPWS на розмір виявився слабшим порівняно з іншими конструкційними виробами з деревини або бамбука. Були запропоновані методи розрахунку для кількісної оцінки ефекту розміру на HPWS. Ці висновки закладають міцну основу для просування використання HPWS у будівництві.

У статті [13] досліджували вплив гіперрозгалуженого полієфіру (CHBP) із кінцевими карбоксильними групами на механічні, кристалічні та термічні властивості полімолочної кислоти (PLA)/солом'яного борошна (SF) за допомогою екструзійного лиття під тиском. Крім того, ми додали традиційний пластифікатор поліетиленгліколь (PEG) для синергізму з CHBP для підвищення міцності композитів PLA/SF. Результати показали, що відповідне додавання CHBP ефективно покращило міжфазний зв'язок між PLA і солом'яним борошном. Введення CHBP також покращило міцність на розрив, міцність на вигин, ударну міцність, подовження при розриві, термічну стабільність і швидкість кристалізації композитів. Крім того, додавання як CHBP, так і PEG значно покращило ударну міцність композитів порівняно з використанням лише PEG. Дослідження демонструє доцільність використання гіперрозгалужених полімерів і пластифікаторів для підвищення міцності, термічної стабільності та кристалічних властивостей деревно-пластикових композитів PLA, забезпечуючи новий підхід до покращення властивостей цих композитів.

В роботі [14] сказано, що виготовлення індивідуального шару (ILF) це новий процес адитивного виробництва, розроблений для створення об'єктів із високим вмістом деревини та високою механічною міцністю. Тут тонкі дерев'яні композитні панелі з індивідуальними контурами створюються за допомогою струминної обробки сполучною речовиною та подальшого механічного пресування. Було виявлено, що взаємодія між кількістю клею та тиском, який використовується для виготовлення панелей, має велике значення для геометричних властивостей. Було визначено три основні механізми, які відповідають за механічні властивості виготовлених деталей, а саме: 1) кількість клею в панелях, що зв'язує частинки; 2) щільність панелей; 3) кількість клею для ламінування панелей.

Отже, в результаті аналізу літературних джерел встановлено, що деревокомпозиційні матеріали здатні розкладатися при експлуатації та не встановлені параметри, що забезпечують їх стійкість до втрати міцності. Тому, встановлення параметрів міцності при виготовленні композицій з деревини та впливу речовин, які входять до їх композицій, і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Мета дослідження. Метою роботи є встановлення міцнісних характеристик теплоізоляційного виробу з тирси деревини й клеєних сумішей для визначення умов їх застосування.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження міцності теплоізоляційних виробів з деревокомпозиційного матеріалу формували зразки різних співвідношень деревини та клею, зокрема, на водорозчинних клеях (табл. 1), а також на поліефірних і епоксидних смолах, шляхом їх замішування з тирсою у пропорції 1:2 [15] (рис. 1).

Таблиця 1 – Пропорції тирси та клею при формуванні зразків деревополімерних виробів на водорозчинних клеях

Тирса+клей D4+вода (100 г)			
Параметри	Стружка	Клей	Вода
Вага	60,24	107,72	100
	60,38	120,95	100
	60,72	134,74	100
Тирса +клей ПВА D3+вода (200 г)			
Параметри	Стружка	Клей	Вода
Вага	60,3	100,9	200
	60,3	102,53	200
	60,4	107,9	200
Тирса +крохмаль+вода (100 г)			
Параметри	Стружка	Крохмаль	Вода
Вага	60,56	144,3	240



а)



б)

Рис. 1. Зразки виробів для досліджень: а – напівциліндр; б – сегменти для випробувань

З отриманих сумішей формували напівциліндри розмірами: зовнішній діаметр – 40 мм, внутрішній діаметр – 24 мм і довжиною близько 120 мм. Зразки на водній основі витримували у сухоповітряному середовищі, зразки на сухих сумішах полімерних смол спікали за температури 200 °С протягом 20 хв. (рис. 1).

Для встановлення експлуатаційної ефективності дерево полімерного виробу проводили визначення міцності на стиск. Визначення міцності на стиск виробів з деревини проводили згідно з ISO 13061-3:2014 [15, 16].

Результати досліджень. На рис. 2 та у табл. 2 показано результати досліджень стійкості деревополімерного матеріалу до стиску.



Рис. 2. Дослідження на міцність теплоізоляційних виробів з деревини

Таблиця 2 – Межа міцності зразків виробу з тирси на стиск по товщині спресування

№ зразка	Маса m_0 , г	Розміри, мм			Навантаження, P_{max} , Н	σ , МПа	Деформація, мм
		b	h	d			
Виріб з тирси, клею D4 і води (100 г)							
1	28,81	42,50	56,00	37,91	2235,07	0,99	12,4
2	49,96	55,15	26,30	25,93	2236,64	2,12	7,8
3	43,81	47,92	24,40	31,06	2271,93	1,50	10,4
Виріб з тирси, крохмалю і води (100 г)							
1	63,45	52,41	30,85	40,42	294,36	0,11	4,0
2	83,26	55,62	27,94	30,04	96,70	0,07	3,1
3	63,45	35,15	22,10	36,20	107,56	0,05	2,8
Виріб з тирси, клею ПВА D3 і води (200 г)							
1	48,26	36,03	65,00	29,71	2695,18	1,94	13,5
2	53,73	52,45	25,60	45,85	1494,87	0,45	10,7
3	49,34	42,71	23,80	32,04	2131,87	1,32	12,2
Виріб з тирси і епоксидної смоли							
1.1	14,31	48,55	25,15	25,30	2035,28	3,2	12,20
1.2	15,22	57,17	25,65	23,40	1184,40	2,0	11,70
1.3	14,75	55,77	25,60	25,00	1560,90	2,4	11,50
Виріб з тирси і поліефірної смоли							
2.1	12,82	48,00	35,00	20,00	1139,81	2,3	6,60
2.2	15,12	58,15	25,30	20,05	1324,40	3,2	7,20
2.3	14,14	55,65	23,40	18,20	1184,40	2,0	6,70

Дослідження міцності на стиск для виробів з деревини на водорозчинних клеях по товщині пресування показало їх значну крихкість. Особливу низьку міцність показав зразок виготовлений на основі крохмалю з середнім значенням 0,08 МПа, краще значення отримав зразок на клею ПВА D3 – 1,24 МПа та зразок на клею D4 – 1,54 МПа. Для зразків на основі

полімерних смол міцність на стиск склала: для епоксидної смоли середнє значення 2,53 МПа, поліефірної – 2,5 МПа. Встановлено, що деформація при стиску по площі пресування для виробу виготовленого на основі епоксидної смоли перевищує значення майже в двічі для поліефірної смоли.

Необхідно зазначити, що присутність у дерево полімерному матеріалі синтетичної смоли призводить до утворення з тирсою деревини еластичного шару стійкого до механічних коливань. Вочевидь такий механізм впливу еластичної компоненти є тим фактором регулювання процесу утворення композиційного шару, завдяки якому механічна стійкість зберігається. Це означає, що врахування даного факту відкриває можливість для ефективного регулювання властивостями дерево полімерного матеріалу безпосередньо в умовах серійного промислового виробництва.

Зіставлення експериментальних досліджень з визначення механічних властивостей дерево полімерним матеріалом та теоретичних припущень, дозволяють стверджувати наступне: суттєвий вплив на процес механічної стійкості при застосуванні деревинного матеріалу здійснюється у напрямку орієнтації природного матеріалу та властивостей полімерного матеріалу.

Разом з тим є можливість знизити густину виробу шляхом проведення полімеризації суміші з синтетичної смоли та деревної тирси, що разом з тим гальмує теплопровідність. Все це підвищує екологічність виробів з деревини, оскільки відсутні виділення хімічних речовин та розширює сферу її застосування.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження міцності на стиск наведених деревополімерних виробів показали, що виріб на водорозчинних клеях є більш крихким. Міцність на стиск виробу, виготовленого на основі крохмалю, знижується у 22 рази, порівняно з клеєм D4 та у понад 30 разів, порівняно з полімерними смолами. Більшу межу міцності мають вироби, які виготовлені на клею ПВА D3 та D4, межа міцності яких зменшується тільки у 1,6 рази, порівняно з виробом на основі поліефірної смоли. Встановлено, що деформація при стиску по товщині пресування для виробу на основі епоксидної смоли перевищує значення для поліефірної смоли майже у двічі.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення взаємозв'язку між складовими та властивостями водорозчинних клеїв, а також їх оптимізацію.

Література

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4. No 10 (94). P. 62-68. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>.
2. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. No 10 (98). P. 49-54. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163591. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/163591/165012>.
3. Andzs M., Tupciauskas R., Veveris A., Gravitis J. Impact of wood fraction, moisture and steam explosion on the development of an innovative insulation material. *Vide. Tehnologija. Resursi – Environment, Technology, Resources*. 2015. Vol. 1. P. 11-15. URL: <https://doi.org/10.17770/etr2015vol1.210>.
4. Karademir A., Yetis F., Imamoglu S., Varlibas H. Utilization of water reed in production of various insulation panels. *Science and Engineering of Composite Materials*. 2013. Vol. 20. Issue 4. P. 371-377. URL: <https://docs.opendeved.net/lib/5KQ9PT2X>.
5. Jiang D., Wang Y., Li B., Sun C., Guo Z. Environmentally friendly alternative to polyester polyol by corn straw on preparation of rigid polyurethane composite. *Composites Communications*. 2020. Vol. 17. P. 109-114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.11.007>.
6. Alamnia A.T., Samuel Fatoba O., Jen T.-C. Heat Transfer Investigation in Natural Fibers Insulation for Steam Pipes Application. *IEEE 13th International Conference on Mechanical and*

Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT. 2022. P. 211-216. DOI: 10.1109/ICMIMT55556.2022.9845292. URL: https://www.researchgate.net/publication/362515590_Heat_Transfer_Investigation_in_Natural_Fibers_Insulation_for_Steam_Pipes_Application.

7. Zhao Y., Dieckmann E., Cheeseman C. Low-temperature thermal insulation materials with high impact resistance made from feather-fibres. *Materials Letters: X.* 2022. Vol. 6. 100039. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2020.100039>.

8. Череднік Д.Л., Пригунков О.В., Кузуб Ю.М. Вплив закономірностей структури річних кілець та природних вад на фізико-механічні властивості карпатської ялини. *Науковий вісник будівництва.* 2023. Т. 1. №109. С. 50-55. DOI: 10.33042/2311-7257.2023.109.1.8. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/101>.

9. Kuznetsova N.V., Seleznev A.D. Component Compositions of Mixtures of Cement-Wood Heat-Insulating Material. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2023. Vol. 28. P. 105-113. DOI: 10.1007/978-3-031-12703-8_11. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-12703-8_11.

10. Fu Z., Lu Y., Wu G., Liu S., Rojas O.J. Wood elasticity and compressible wood-based materials: Functional design and applications. *Progress in Materials Science.* 2024. Vol. 147. 101354. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101354>.

11. Wang S., Jiang Z., Wang X., Chen, L., Ma X. Study on interface bonding and mechanical properties of arc-shaped bamboo-poplar wood composites. *Industrial Crops and Products.* 2024. Vol. 222. 119573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119573>.

12. Wu G., Zhang Y., Zhong Y., Ren H., Shen Y. Size effect on the compressive strength of a novel structural wood composite: High-performance wood scrimber. *Industrial Crops and Products.* 2024. Vol. 221. 119381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119381>.

13. Liu C., Yuan W., Ma W., Cui L., Guan C. Influence of carboxy-terminated hyperbranched polyester and polyethylene glycol on the mechanical and thermal properties of polylactic acid/straw flour composites. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2024. Vol. 279. 135226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135226>.

14. Buschmann B., Henke K., Asshoff C., Talke M.-K., Bunzel F. Additive manufacturing of wood composite parts by individual layer fabrication – influence of process parameters on product properties. *Composites Part C: Open Access.* 2024. Vol. 15. 100504. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100504>.

15. Horbachova O.Yu., Tsapko Yu., Tsarenko Y., Mazurchuk S.M., Kasiyanchuk I.O. Justification of the wood polymer material application conditions. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine).* 2023. Vol. 10 (2). P. 49-55. DOI: 10.21272/jes.2023.10(2). URL: <https://jes.sumdu.edu.ua/justification-of-the-wood-polymer-material-application-conditions/>.

16. ISO 13061-3:2014. Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens. *Part 3: Determination of ultimate strength in static bending.* 2014. P. 1-5. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60065/5c53a08bc66943418d5a7d2c31e9869f/ISO-13061-3-2014.pdf>.

References

- [1] Yu. Tsapko, A. Tsapko, "Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings", *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 10 (94), pp. 62-68, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>.
- [2] Yu. Tsapko, O. Bondarenko, A. Tsapko, "Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples", *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 10 (98), pp. 49-54, 2019. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163591. [Online]. Available: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/163591/165012>.

- [3] M. Andzs, R. Tupciauskas, A. Veveris, J. Gravitis, "Impact of wood fraction, moisture and steam explosion on the development of an innovative insulation material", *Vide. Tehnologija. Resursi – Environment, Technology, Resources*, vol. 1, pp. 11-15, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17770/etr2015vol1.210>.
- [4] A. Karademir, F. Yetis, S. Imamoglu, H. Varlibas, "Utilization of water reed in production of various insulation panels", *Science and Engineering of Composite Material*, vol. 20, no. 4, pp. 371-377, 2013. [Online]. Available: <https://docs.opendeved.net/lib/5KQ9PT2X>.
- [5] D. Jiang, Y. Wang, B. Li, C. Sun, Z. Guo, "Environmentally friendly alternative to polyester polyol by corn straw on preparation of rigid polyurethane composite", *Composites Communications*, vol. 17, pp. 109-114, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.11.007>.
- [6] A.T. Alamnia, O. Samuel Fatoba, T.-C. Jen, "Heat Transfer Investigation in Natural Fibers Insulation for Steam Pipes Application", *IEEE 13th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT*, pp. 211-216, 2022. DOI: 10.1109/ICMIMT55556.2022.9845292. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/362515590_Heat_Transfer_Investigation_in_Natural_Fibers_Insulation_for_Steam_Pipes_Application.
- [7] Y. Zhao, E. Dieckmann, C. Cheeseman, "Low-temperature thermal insulation materials with high impact resistance made from feather-fibres", *Materials Letters: X*, vol. 6, 100039, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2020.100039>.
- [8] D.L. Cherednik, O.V. Prygunkov, Yu.M. Kuzub, "The influence of the regularities of the structure of annual rings and natural defects on the physical and mechanical properties of Carpathian spruce", *Scientific bulletin of construction*, vol. 1, no. 109, pp. 50-55, 2023. DOI: 10.33042/2311-7257.2023.109.1.8. [Online]. Available: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/101>.
- [9] N.V. Kuznetsova, A.D. Seleznev, "Component Compositions of Mixtures of Cement-Wood Heat-Insulating Material", *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 28, pp. 105-113, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-12703-8_11. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-12703-8_11.
- [10] Z. Fu, Y. Lu, G. Wu, S. Liu, O.J. Rojas, "Wood elasticity and compressible wood-based materials: Functional design and applications", *Progress in Materials Science*, vol. 147, 101354, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101354>.
- [11] S. Wang, Z. Jiang, X. Wang, L. Chen, X. Ma, "Study on interface bonding and mechanical properties of arc-shaped bamboo-poplar wood composites", *Industrial Crops and Products*, vol. 222, 119573, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119573>.
- [12] G. Wu, Y. Zhang, Y. Zhong, H. Ren, Y. Shen, "Size effect on the compressive strength of a novel structural wood composite: High-performance wood scrimber", *Industrial Crops and Products*, vol. 221, 119381, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119381>.
- [13] C. Liu, W. Yuan, W. Ma, L. Cui, C. Guan, "Influence of carboxy-terminated hyperbranched polyester and polyethylene glycol on the mechanical and thermal properties of polylactic acid/straw flour composites", *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 279, 135226, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135226>.
- [14] B. Buschmann, K. Henke, C. Asshoff, M.-K. Talke, F. Bunzel, "Additive manufacturing of wood composite parts by individual layer fabrication – influence of process parameters on product properties", *Composites Part C: Open Access*, vol. 15, 100504, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100504>.
- [15] O.Yu. Horbachova, Yu. Tsapko, Y. Tsarenko, S.M. Mazurchuk, I.O. Kasiyanchuk, "Justification of the wood polymer material application conditions", *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, vol. 10 (2), pp. 49-55, 2023. DOI:

10.21272/jes.2023.10(2). [Online]. Available: <https://jes.sumdu.edu.ua/justification-of-the-wood-polymer-material-application-conditions/>.

- [16] ISO 13061-3:2014, "Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens", *Part 3: Determination of ultimate strength in static bending*, pp. 1-5, 2014. [Online]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60065/5c53a08bc66943418d5a7d2c31e9869f/ISO-13061-3-2014.pdf>.

STRENGTH OF HEAT-INSULATING WOOD-POLYMER MATERIALS

¹**Tsapko Yu.**, Doctor of Technical Sciences, juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹**Bondarenko O.**, PhD, Associate Professor, bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹**Tsapko A.**, PhD, Senior Researcher, alekseystapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

¹**Mazurchuk S.N.**, PhD, Associate Professor, mazurchuk.s.m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6008-9591

²**Kasyanchuk I.**, Postgraduate student, ivankasianhuk@ukr.net, ORCID: 0009-0004-3741-2903

¹**Yushchenko A.**, Student, alinka29yushchenko@gmail.com, ORCID: 0009-0002-0936-5789

¹*Kyiv National University of Construction and Architecture*

Air Force ave., 31, Kyiv, 03037, Ukraine

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*
Heroiv Oborony str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

Abstract. The article emphasizes that wood is a good insulating material because it has low thermal conductivity. However, it also has negative properties, such as a tendency to rot, which can occur due to moisture or inefficient ventilation, etc. To study the strength of wood-composite insulation products, samples of different ratios of wood and adhesive were formed, in particular, with water-soluble adhesives, as well as with polyester and epoxy resins, by mixing them with sawdust in a 1:2 ratio. The use of binders based on synthetic resins in the formulation of thermal insulation products from sawdust improves environmental safety and weather resistance of products, as such resins are characterized by resistance to water and temperature changes. It also reduces the formation of microorganisms in the structure of the product, because the material that insulates the building becomes stronger and harder, and does not sag over time. All of this leads to a reduction in the labor intensity of laying thermal insulation for a building and the possibility of insulating heat-generating equipment and heat-carrying pipelines, reducing the consumption of building materials and reducing the share of energy for heating. The study of compressive strength showed that sawdust products with water-soluble adhesives are more fragile and the compressive strength for starch-based adhesives is 22 times lower than for D4 adhesive and more than 30 times lower than for polymer resins. The samples with PVAc D3 and D4 adhesive have a higher tensile strength than those with polyester resin, so the tensile strength decreases only 1.6 times. Accordingly, the compressive strain along the compression thickness for the epoxy-based product exceeds the value for polyester resin almost twice.

Keywords: building structures, wood sawdust, thermal insulation, compressive strength, polymer resins, efficiency.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2024