

ЩОДО ДЕЯКИХ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРАСНОЇ ДОШКИ З ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ РІЗНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Н. В. БУЙСЬКИХ, кандидат технічних наук

<http://orcid.org/0000-0003-3229-7235>, e-mail: nataby@meta.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Одним із напрямів перероблення деревинних відходів є їх використання у виробництві деревинно-полімерних композитів (ДПК). Актуальність деревинно-полімерних виробів зумовлено широким спектром застосування та якостями цього матеріалу. ДПК не гниє, не ушкоджується комахами та грибами, не містить шкідливих в'яжучих. Вироби з ДПК не розтріскуються, не жолобляться, водостійкі, що робить їх гарним матеріалом для виготовлення терасної дошки. Разом з тим, у терасної дошки мають бути певні механічні якості, що дасть змогу використовувати її в досить жорстких умовах – під дією вологи, УФ-випромінювання та з певним навантаженням.

Це дослідження мало на меті визначення основних фізико-механічних характеристик (щільності, міцності на згин, модуля пружності, водопоглинання, твердості, стійкості на стирання, зміни лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища) зразків терасної дошки, виготовленої з ДПК з різними наповнювачами. Для дослідження було відібрано зразки з пустотілої терасної дошки, у яких як наповнювач застосовано поліетилен (ПЕ) та полівінілхлорид (ПВХ).

На основі проведених експериментальних досліджень було встановлено, що щільність обох зразків є достатньо високою, близькою до максимальної; різниця є несуттєвою, однак при дослідженні мікрорізів під мікроскопом у зразках, у яких як в'яжуче застосовано ПЕ, спостерігається більша кількість порожнин, що свідчить про наявність зайвої вологи або нестачу мінеральних наповнювачів. Також це може бути ознакою деструкції полімеру. Визначено, що низка інших важливих показників, як-от міцність на згин, модуль пружності, водопоглинання, стійкість до стирання, найкращими виявилися у зразках із наповнювачем із полівінілхлориду. Найбільша різниця була у показника міцності на згин – 35 %. Також встановлено, що за твердістю обидва зразки виявилися рівнозначними. Проте модуль пружності у зразка з наповнювачем з ПЕ перевищує показники зразка з наповнювачем із ПВХ майже у 2,5 разу. Отже, на основі проведених досліджень можливо виявити низку чітких залежностей, які свідчать, що застосування полівінілхлориду як в'яжучого значно покращує фізико-механічні показники терасної дошки на основі деревинно-полімерного композиту.

Результати проведених досліджень дадуть змогу вирішувати проблеми покращення міцнісних характеристик деревинно-композиційного матеріалу для розширення асортименту на основі деревинних відходів.

Ключові слова: щільність, твердість, модуль пружності, водопоглинання, стійкість до стирання.

Актуальність та аналіз останніх досліджень. Одним із напрямів перероблення деревинних відходів є їх використання у виробництві деревинно-полімерних композитів (ДПК). Актуальність деревинно-полімерних виробів зумовлюється широким спектром застосування, починаючи від внутрішнього оздоблення будинків, офісів, будівництва альтанок, терас і закінчуючи деталями виробів автомобільної промисловості. До недоліків наявних аналогічних виробів можна віднести високу вартість, пов'язану з використанням тільки первинної сировини (Galiyev, 2015).

Ураховуючи те, що основна частка виробів із ДПК припадає на терасні настили, актуальним є завдання розроблення підлогового настилу у вигляді дощок і плит на основі деревинних відходів і вторинних полімерів, що виготовляють традиційними методами перероблення полімерних композитів. Деревинно-полімерний композит – сучасний матеріал, що містить деревинний наповнювач (50–80 %), полімери та спеціальні хімічні домішки (адитиви). Швидкий розвиток ДПК зумовлено низкою переваг, що зауважено у роботах (Klesov, 2010; Safin et al., 2014). Властивості, що мають ДПК, залежать від властивостей полімерної матриці, часточок деревини та характеру зв'язку і взаємодії між ними. ДПК не гниє, не ушкоджується комахами та грибами, не містить шкідливих в'язучих. Вироби з ДПК не розтріскуються, не жолобляться, є водостійкими. Низка авторів зазначають, що на вологостійкість більшою мірою впливає вид в'язучого, а не відсоткове співвідношення деревинного наповнювача (Khasanshin et al., 2011). Також встановлено функціональну залежність, що описує зміни водопоглинання та щільності ДПК залежно від кількості полімеру (Safin et al., 2014).

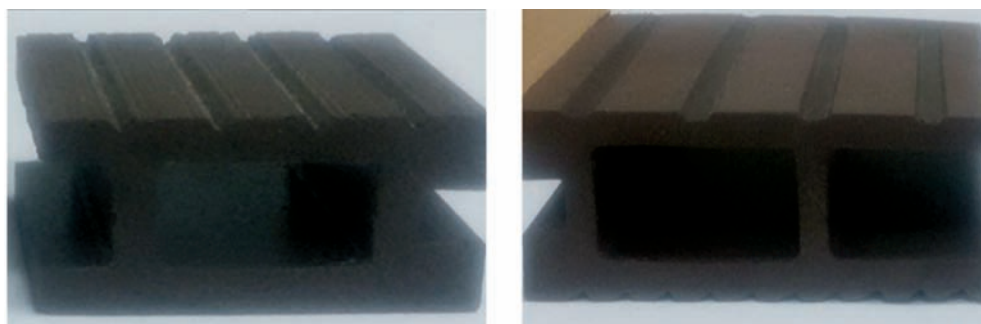
Оскільки ДПК часто застосовують як конструкційні елементи, важливого значення набувають їхні фізико-механічні якості. В літературі є досить обмежені відомості щодо залежності фізико-механічних властивостей ДПК від їхнього складу. Деякі автори зазначали, що жорсткість і міцність є задовільними тільки в тому випадку, якщо до складу матеріалу додано дороге в'язуче: це необхідно для збільшення сумісності між деревним борошном і полімером, які в іншому випадку не мали б жодних подібностей перебігу відповідних хімічних реакцій (Lu et al., 2005; Yang et al., 2012), і для створення ефективного передання навантаження між деревинними волокнами та довшолишнім полімером (Mazzanti et al., 2012).

Оскільки ДПК крихкі, до їхнього складу часто входять домішки, що підвищують ударну в'язкість (Mazzanti et al., 2019, 2019, 2020).

Matseyevich & Askadskiy (2017) помітили, що ДПК на основі матричного полімеру ПВХ мають набагато кращі властивості, ніж ДПК на основі таких матричних полімерів, як поліетилен та поліпропілен. Це стосується таких важливих показників, як міцність на згин і модуль пружності.

На основі аналізу зазначених літературних джерел було встановлено, що деревинно-полімерний композит – сучасний матеріал, який набуває все більшої популярності завдяки своїм якостям. Основний напрям досліджень – вивчення полімерної складової матеріалу та його впливу на фізико-механічні показники.

Метою дослідження є визначення основних фізико-механічних характеристик (щільності, міцності на згин, модуля пружності, водопоглинання, твердості, стійкості до стирання, зміни лінійних розмірів у разі зміни атмо-



а **Рис. 1.** Дослідні зразки терасної дошки:
а – з наповнювачем ПЕ, *б* – з наповнювачем ПВХ

ферного середовища) зразків ДПК із різним наповнювачем.

Матеріали і методи дослідження.

Для дослідження було відібрано зразки пористілої терасної дошки з деревинно-полімерного композиту з поперечним перетином 23×128 мм темно-коричневого кольору, пласть із тильного боку рівна, профільована з лицьової сторони з різним наповнювачем. У зразку 1 наповнювачем був поліетилен (ПЕ), у зразку 2 – полівінілхлорид (ПВХ) (рис. 1, *а*, *б*).

Оскільки ДПК – досить новий матеріал, державної нормативної бази для проведення випробування на механічні властивості немає. Щільність визначали за міжнародним стандартом ISO 1183-1. Щільність для ДПК є довідковим показником і дає непряму оцінку показників міцності, характеризує наявність у складі ДПК мінеральних наповнювачів, залежить від виду полімеру й складу композита. Потрібно зауважити, що знижена щільність прискорює процес окиснення ДПК і є результатом підвищеної пористості (наявності порожнин) дощок через наявність вологи у вихідних компонентах ДПК (насамперед, деревинних волокон) і деструкцію полімеру під час перероблення (у разі перегріву, надмірного зсуву й/або нестачі адитивів).

Надлишкова пористість дає змогу кисню проникати у ДПК матеріал «зсередини», значно збільшуючи доступну площу поверхні поряд зі швидкістю окиснення. Ефективним катализатором окиснення полімерів є вологи.

Дуже важливим показником для терасної дошки є твердість, що характеризує контактну міцність виробу, дає змогу оцінити опір вдавлюванню й стійкість до подряпин. Величина показника залежить від типу полімерної матриці, кількості наповнювача, щільності готового композита. Твердість визначали за Шором. Застосовували методику, викладену в ГОСТ 24621-91. Для дослідження використовували індентор для дюрометра типу D (від 20 до 90) у вигляді сталюго стрижня діаметром 1,10–1,40 мм.

Межа міцності на згин – один з основних показників механічних властивостей матеріалу. Характеризує правильність обраної композиції і технологічних режимів виробництва, ефективність роботи сумісника в композиції. Величина цього показника характеризує збалансованість формули й правильність ведення технологічного процесу. Міцність на згин визначали за методиками, наведеними в EN 310 та ГОСТ 10635.

Модуль пружності при згинанні безпосередньо пов'язаний із прогином

дошки, що розміщена на опорах, за умов певного навантаження. На відміну від міцності на згин композитних дощок, що, як правило, значно перевищує вимоги будівельних норм за звичай прийнятого кроку вкладання лаг (приблизно 40 сантиметрів (16 дюймів) від центру), модуль пружності при згинанні композитних дощок на полімерній основі часто накладає певні обмеження на їх монтаж: крок вкладання лаг не має перевищувати 1/360 прогону. Цей показник не нормується, проте за такої щільності має бути більшим за 1300 МПа.

Водопоглинання характеризує геометричну стабільність і гігроскопічність ДПК-профілю. Вода є основним агресивним фактором атмосферних впливів, оскільки спричиняє розбухання матеріалу й накопичення дефектів, особливо за перепадів температур від (-) до (+). Для визначення водопоглинання застосовували метод дослідження, наведений в EN 1087-1 та ГОСТ 32399.

Величина показника водопоглинання залежить від рецептури й гомогенізації композиції, свідчить, наскільки компоненти розподілилися та сполучилися в повному обсязі деревинного наповнювача.

Водопоглинання матеріалів із ДПК може призвести до: деформування дощок, розбухання й спучування, поширення цвілі. Крім того, насичення дощок ДПК водою іноді знижує модуль пружності при згинанні дощок, отже, спричиняє більший прогин під навантаженням. Поглинання води призводить також до швидшого руйнування дощок, окиснення (вода є каталізатором окиснення полімерів) та інших негативних наслідків. ДПК-матеріали поглинають воду через їхню пористість (порожнини).

Зразки терасної дошки з ДПК спочатку кондиціонували до постійної маси, потім витримували у воді (рН

7±1) за температури 20 ± 1 °C протягом 72 годин. У воді зразки встановлювали на кромку так, щоб до стінок і дна ємності було не менше ніж 15 мм. Після витримування зразки виймали та протирали фільтрувальним папером. Висушені зразки розміщували у морозильній камері з температурою мінус 12 °C на 24 години. Потім зразки виймали і встановлювали у сушильну камеру на 70 годин із температурою 70 °C. Після висушування і охолодження зразків протягом 4 годин цикл повторювали. Всього було проведено три цикли випробування.

Важливими показниками для терасної дошки є швидкість зношування (стирання) та зміна лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища (висока вологість/низька вологість), мм/100 мм довжини. Дослідження проводили за методикою, наведеною в ГОСТ 9590. Зношувальність визначали на ротаційному абразиметрі Taber 5155. Зразки попередньо зважували з точністю до 0,001 г та закріплювали на приладі. При досягненні 500 об/хв випробування зупиняли і знову зважували зразки з точністю до 0,001 г. Швидкість зношування розраховували за формулою.

Перед визначенням зміни лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища довжину зразків вимірювали з точністю до 0,02 мм. По три зразки розміщували в сушильну шафу і витримували за температури 70 ± 2 °C протягом 24 годин і три зразки в камері з відносною вологістю 92 ± 3 % та температурою 40 ± 2 °C протягом 96 годин.

Результати дослідження та їх обговорення. Щільність обох зразків достатньо висока, близька до максимальної; різниця несуттєва, але при дослідженні мікрорізів під мікроскопом за 600-кратного збільшення у зразку № 1 спостерігається більша кількість по-

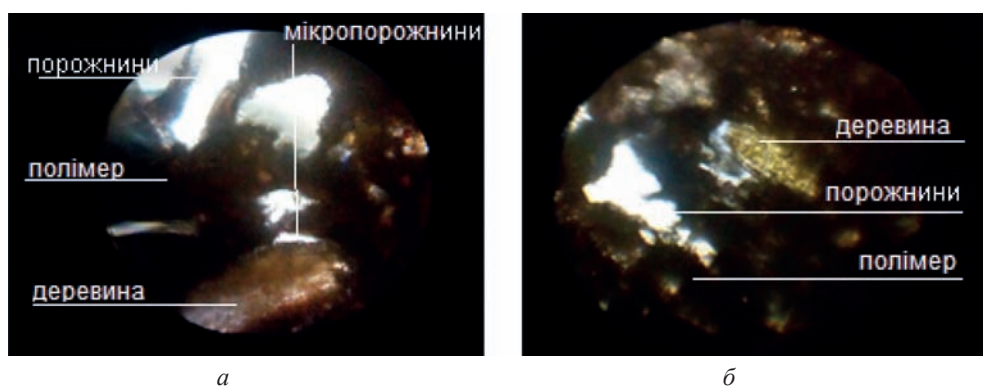


Рис. 2. Знімки зрізів ДПК-дошки під мікроскопом за 600-кратного збільшення:
a – зразок № 1, дошка з більшими порожнинами;
б – зразок № 2, дошка з меншими порожнинами

рожнин (рис. 2а), що свідчить про наявність зайвої вологи в дошці або нестачу мінеральних наповнювачів, а також деструкцію полімеру. У зразку № 2, який має більшу щільність на 1,91 % і меншу пористість (рис. 2б), спостерігається наявність металу, що може прискорити процес окиснення дошки за високих температур.

У табл. 1 наведено результати визначення фізико-механічних показників дощок, виготовлених із ДПК. Як бачимо, твердість зразка № 1 незначно перевищує твердість зразка № 2 – на 5,8 %. Тому цим параметром у комплексі зразки можна вважати рівно значущими.

При дослідженні міцності на згин було встановлено, що зразок № 2 значно перевищує міцність зразка № 1, задовольняє нормативним вимогам (25 МПа) і має переваги у значному запасі міцності на згин під час експлуатації дошки.

Дослідження модуля пружності показало значне перевищення цього показника у зразка № 1 порівняно зі зразком № 2. Значення модуля пружності зразка № 2 можна вважати задовільним, але недостатнім для наявної щільності.

У процесі експерименту з визначення водопоглинання спостерігалось інтенсивне викришування зразків дошки

1. Результати експериментального визначення фізико-механічних показників терасної дошки з ДПК

Показник	Значення параметрів	
	Зразок № 1 ДПК (ПЕ)	Зразок № 2 ДПК (ПВХ)
Щільність, г·см ⁻³ (кг·м ⁻³)	1,258 (1258)	1,282 (1282)
Твердість за Шором (од. Шора за D Дюрометром від 20 до 90)	62,1	58,5
Міцність на згин, МПа (кгс·см ⁻²)	17,1 (174,42)	26 (265,2)
Модуль пружності (жорсткість), МПа	2646	1053
Водопоглинання, %	2,63	2,02
Стирання (швидкість зношування, мг/100 об)	0,08	0,05
Зміна лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища (висока вологість/низька вологість), мм/100 мм довжини	0,72/1,6	0,5/0,3

№ 1, на відміну від цілісності зразків № 2. Також під час підвищення вологості та температури, а також за механічних пошкоджень спостерігалось виділення стійкого неприємного специфічного запаху із зразків дошки № 1. За цим показником зразок № 1 значно перевищує зразок № 2 (на 30,2 %), що вказує на те, що в умовах підвищеної вологості й атмосферного впливу кращі показники за водопоглинанням забезпечить дошка № 2.

Із табл. 1 видно, що зношуваність зразка № 1 значно перевищує зношуваність зразка № 2, що свідчить про більшу стійкість до стирання дошки № 2. Це зумовлюється також армуванням металевими елементами.

Дослідження такого важливого показника для терасної дошки, як зміна лінійних розмірів при зміні умов експлуатації, показало, що подовження 100 мм дошки із ДПК № 1 склало 0,72 мм і 1,6 мм, а зразка № 2 – 0,5 мм і 0,3 мм. Отже, зразок № 2 виявився більш стійким до змін лінійних розмірів в умовах високої вологості (92 ± 3 %) та температури середовища (40 ± 2 °C) і високих температур (70 ± 2 °C) із низькою вологістю. Треба зауважити, що загалом цей показник дощок із ДПК значною мірою непередбачуваний. Підвищення температури на кожні 10 °F ($\approx 3,6$ °C) прискорює окисну деструкцію ДПК приблизно у три рази. Спекотного сонячного дня за температури повітря 90 °F (32 °C) поверхня настилу з ДПК-дощок нагрівається приблизно до 130–140 °F (54–60 °C).

При 110 °F (43 °C) температура поверхні настилу сягає 160 °F (70 °C), а термічне окиснення полімеру в ДПК прискорюється у 240 раз. Два потужні стабілізуючі фактори сприяють продовженню терміну служби композитних терасових дощок – це щільність ДПК і введення антиоксидантів.

Висновки і перспективи. Отримані результати експериментальних досліджень дають можливість оцінити фізико-механічні показники терасної дошки з ДПК з різним наповнювачем. За результатами дослідження встановлено, що якісні показники терасної дошки з деревинно-полімерного композиту мають достатньо високий рівень та загалом відповідають встановленим нормам. Водночас зауважено, що терасна дошка з ДПК із в'язучим на основі ПЕ має гірші показники, що деякою мірою можна пояснити наявністю великої кількості порожнин. Наявність порожнин свідчить про зайву вологу в дошці або нестачу мінеральних наповнювачів, а також деструкцію полімеру. Отже, на основі проведених досліджень можна виявити низку чітких залежностей, які свідчать, що застосування полівінілхлориду як в'язучого значно покращує фізико-механічні показники терасної дошки на основі деревинно-полімерного композиту.

Результати проведених досліджень допоможуть вирішувати проблеми покращення міцнісних характеристик деревинно-композитного матеріалу для розширення асортименту на основу деревинних відходів.

Список літератури

- Galiyev, I. M. (2015). *Creation of multilayer flooring based on wood-polymer composites*. Kazan [in Russian].
- Khasanshin, R. R., Lashkov, V. A., Safin, R. R., & Valiyev, F. G. (2011). Heat treatment of wood filler in the production of composite materials. *Technological University Bulletin*, 20, 150–154 [in Russian].
- Klesov, A. A. (2010). *Wood-polymer composites*. Sankt-Peterburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii [in Russian].
- Lu, J. Z., Wu, Q., & Negulescu, I. I. (2005). Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling agent performance. *J. Appl. Polym. Sci*, 96, 93–102. <https://doi.org/10.1002/app.21410>

- Mazzanti, V., Pariante, R., Bonanno, A., Ruiz de Ballesteros, O., Mollica, F., & Filippone, G. (2019). Reinforcing mechanisms of natural fibers in green composites: Role of fibers morphology in a PLA/hemp model system. *Compos. Sci. Technol*, 180, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.05.015>
- Mazzanti, V., Malagutti, L., Santoni, A., Sbardella, F., Calzolari, A., Sarasini, F., & Mollica, F. (2020). Correlation between mechanical properties and processing conditions in rubber-toughened wood polymer composites. *Polymers*, 12, 278. <https://doi.org/10.3390/polym12051170>
- Mazzanti, V., Malagutti, L., Blanchard, M., Yi S., & Mollica, F. (2019). In-line rheological properties of rubber toughened Wood Polymer Composites. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci.*, 634:012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/634/1/012043>
- Mazzanti, V., Cavalcoli, V., Balbo, A., & Mollica, F. (2019). Hygrothermal degradation effects on a rubber toughened WPC. *Mater. Today*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.062>
- Matseyevich, T. A., & Askadskiy A. A. (2017). Mechanical properties of a terrace board on the basis of polyethylene, polypropylene and polyvinylchloride. *Construction: science and education*, 3 (24), 48–49. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2017.3.4>
- Safin, R. R., Galiyev, I. M., & Akhmadiyev, M. G. (2014). Modeling the properties of highly filled wood-polymer composite materials obtained by extrusion. *Kazan Technological University Bulletin*, 20, 150–154 [in Russian].
- Yang, T. H., Leu, S. Y., Yang, T. H., & Lo, S. F. (2012). Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs). *Constr. Build. Mater*, 29, 120–127.
- Leu SY, Yang TH, Lo SF, Yang TH (2012) Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs). *Constr Build Mater* 29:120-127.

Buiskykh N. V.

REGARDING SOME MECHANICAL PROPERTIES OF TERRACE BOARD MADE OF WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH DIFFERENT FILLER

One of the areas of wood waste processing is their use in the production of wood-polymer composites (WPC). The relevance of wood-polymer products is due to the wide range of applications and qualities of this material.

WPC does not rot, is not damaged by insects and fungi, does not contain harmful binders. Products from the duodenum do not crack, do not gouge, are waterproof, which makes them an excellent material for manufacturing a terrace board. However, the terrace board must have certain mechanical qualities, which will allow it to be used in fairly harsh conditions - under the action of humidity, UV radiation and under a certain load.

This study aimed to determine the main physical and mechanical properties (density, strength at static bending, modulus of elasticity, water absorption, hardness, abrasion resistance, changes in linear dimensions with changing atmospheric environment) samples of terrace board manufacturing from duodenum with different fillers. Samples from a hollow terrace board, which were filled with polyethylene (PE) and polyvinyl chloride (PVC), were used for the study.

Based on experimental studies, it was found that the density of both samples is quite high, close to the maximum; the difference is not significant, but when examining microslices under a microscope in samples with PE as a binder, a larger number of voids is observed, indicating the presence of excess moisture or lack of mineral fillers. It may also indicate the destruction of the polymer.

It was determined that a number of other important indicators such as strength at static bending, modulus of elasticity, water absorption, abrasion resistance were the best in the samples with a filler of polyvinylchloride. The greatest difference was in the bending strength index and was 35 %. It was also found that the hardness of both samples were equivalent. However, the modulus of elasticity of the sample with a filler with PE exceeded the performance of the sample with a filler with PVC by almost 2.5 times.

Thus, based on the research, it is possible to identify a number of clear relationships that indicate that these of polyvinylchloride as a binder significantly improves the physical and mechanical properties of the terrace board based on wood-polymer composite.

The results of the research will solve the problem of improving the strength characteristics of wood-composite material to expand the range based on wood waste.

Keywords: density, hardness, modulus of elasticity, water absorption, abrasion resistance.

Отримано: 2021-03-24