



**О. М. Чернецький, І. І. Кусняк, Н. С. Бехта, М. М. Копанський**

*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна*

## ВПЛИВ ПОРОДИ ДЕРЕВИНИ І ТОВЩИНИ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЇ ПЛІВКИ ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ НИЗЬКОЇ ГУСТИНИ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФАНЕРИ

Сьогодні в Україні проблема перероблення полімерних відходів набуває актуального значення. Це пов'язано не тільки із шкодою довкіллю, але й відсутністю власних значних родовищ вуглеводнів і транзитне в цьому відношенні положення. Вторинне перероблення полімерів дасть змогу істотно економити первинну сировину (нафту), електроенергію та зменшити утворення пластичних відходів. У цій роботі запропоновано використання термопластичних відходів, а саме термопластичних плівок поліетилену низької густини (ПЕНГ) вторинної переробки у виробництві фанери, як один з перспективних напрямків вирішення питання забруднення довкілля негативним впливом полімерних відходів. Основне завдання цього дослідження – оцінити доцільність заміни термореактивних клеїв на термопластичні плівки вторинної переробки у виробництві фанери, склеєної з листів шпону м'яких і твердих листяних порід деревини. Для цього – досліджено фізичні властивості фанери, а саме: щільність, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год. Для виготовлення фанери використовували лущений шпон чотирьох порід деревини (тополі, берези, бука і граба) і термопластичну плівку вторинного ПЕНГ завтовшки 50 мкм. Змінними параметрами були порода деревини та товщина плівки – 50, 100 і 150 мкм. Для порівняння отриманих результатів фізичних властивостей фанери, склеєної ВПЕНГ, виготовляли фанеру, склеєну термореактивним карбамідоформальдегідним клеєм (КФ-МТ) за умовами виробництва. За результати цього дослідження з'ясовано, що зразки фанери, склеєної із шпону листяних порід деревини термопластичною плівкою вторинного ПЕНГ різної товщини, володіють фізичними властивостями, які незначно поступаються матеріалу на основі термореактивного карбамідоформальдегідного клею. Встановлено, що порода деревини більше впливає на фізичні властивості фанери, ніж товщина плівки. Проте збільшення товщини термопластичної плівки вторинного ПЕНГ покращує фізичні показники фанери. Усі зразки фанери, склеєної із листів шпону породи тополі плівкою вторинного ПЕНГ, мали найбільші показники водопоглинання, однак найменші – набрякання за товщиною. Треба зазначити, що заміна традиційних, звичайно токсичних, термореактивних клеїв на вторинні термопластичні в технології виготовлення фанери, дасть змогу зменшити кількість викидів формальдегіду у довкілля, шкідливий вплив на життєдіяльність людини та обсяг пластичних відходів.

**Ключові слова:** фанера; вторинна термопластична плівка; породи деревини; товщина; щільність; водопоглинання; набрякання за товщиною.

### Вступ / Introduction

Виробництво фанери є одним з найперспективніших у деревообробній галузі завдяки широкому спектру використання композитного матеріалу, який володіє високими фізико-механічними властивостями. Приріст світового виробництва фанери в 2018 р., порівняно з 2009 р., становив 101,2 % [3, 10, 11]. Основним матеріалом для виробництва деревинного композиту є лущений шпон. Найширшого застосування для виробництва шаруватої клеєної деревини набув лущений березовий шпон, який має високу механічну міцність. Проте щорічне динамічне зростання обсягів виробництва і споживання фанери потребує значних запасів деревинної сировини. Тому для забезпечення стабільності фанер-

ного виробництва, виробники дедалі частіше використовують інші м'які та тверді листяні породи деревини. Окрім цього, у всьому світі та в Україні велику увагу звертають на екологічність деревинних композитних матеріалів (ДКМ) та виробів із них. Адже головною причиною токсичності ДКМ є їх виготовлення на основі термореактивних клеїв, що містять формальдегід. Міжнародне агентство з досліджень раку (IARC), що є частиною Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВО-ОЗ), прийшло до висновку, що формальдегід є "канцерогенним для людини" на основі більшого ризику розвитку раку носоглотки та лейкемії [12]. Тому існує велика засторога щодо застосування термореактивних клеїв у виробництві ДКМ, а також виробів із них.

### Інформація про авторів:

**Чернецький Орест Миронович**, інженер. Email: [Lokiorest@gmail.com](mailto:Lokiorest@gmail.com)

**Кусняк Ірина Іванівна**, канд. техн. наук, ст. викладач, кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Email: [iryna.rondyak@gmail.com](mailto:iryna.rondyak@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>

**Бехта Наталія Степанівна**, ст. викладач, кафедра дизайну. Email: [natalijabekhta@gmail.com](mailto:natalijabekhta@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4336-2901>

**Копанський Микола Михайлович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Email: [m\\_kopansky@nltu.edu.ua](mailto:m_kopansky@nltu.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0002-3897-4818>

**Цитування за ДСТУ:** Чернецький О. М., Кусняк І. І., Бехта Н. С., Копанський М. М. Вплив породи деревини і товщини термопластичної плівки вторинного поліетилену низької густини на фізичні властивості фанери. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 3. С. 73–78.

**Citation APA:** Chernetskyi, O. M., Kusniak, I. I., Bekhta, N. S., & Kopanskyy, M. M. (2022). The influence of wood species and thickness of thermoplastic film of secondary low density polyethylene on physical properties of plywood. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(3), 73–78. <https://doi.org/10.36930/40320312>

Сьогодні у всьому світі є велике зацікавлення до проблеми токсичності, що збільшує кількість наукових досліджень щодо виготовлення нетоксичних деревинних композитів, зокрема фанери.

Одним із перспективних напрямів вирішення проблеми токсичності фанери є використання термопластичних полімерів замість токсичних термореактивних клеїв. З іншого боку, добре відомо, що забруднення довкілля та дефіцит природних ресурсів стають важливими проблемами. Кожен українець викидає близько 250-270 кг сміття на рік. Більшість відходів на звалищах країни – промислові, з яких тільки 2-3 % утилізуються, інші нагромаджуються на полігонах та місцевих сміттєзвалищах [24]. Із загального обсягу утворених відходів майже 50,0 тис. т припадає на полімерні відходи, з яких ПЕНГ та ПЕВГ (поліетилен високої густини) становлять більше 30 % в загальному обсязі полімерних відходів в Україні [23]. Проте зараз переробляються тільки 10 % відходів полімерних матеріалів, тоді як період розкладання полімерів, наприклад поліетиленових пакетів, сягає сотні років [19]. Під час спалювання полімерних матеріалів виділяються небезпечні речовини, що спричиняє велику загрозу довкіллю. Саме тому проблема рециклінгу полімерних відходів є дуже актуальною.

Сьогодні перероблення відходів шляхом їх використання у виробничих процесах є дуже привабливим, оскільки може запобігти забрудненню довкілля та знизити виробничі витрати. Тому, одним із перспективних напрямів є використання термопластичних полімерів у вигляді плівки, особливо вторинних, для виготовлення фанери [5, 9, 8, 21, 20]. Це дає змогу не тільки покращити екологічні показники фанери та умови її виробництва, що головню впливає на якість та вартість виготовлення фанери, але й зменшити негативний вплив таких полімерів на довкілля внаслідок довготривалого процесу їх біоруйнування.

Склеювання шпону вторинними термопластичними полімерами у виробництві фанери є актуальним питанням, що потребує детального вивчення. Потрібно вивчити питання склеювання термопластичних полімерів вторинного ПЕНГ з деревиною м'яких і твердих листяних порід. Виконано експериментальні дослідження, спрямовані на вирішення *актуальної проблеми* – виробництва фанери різних порід деревини на основі нетоксичної термопластичної плівки вторинного ПЕНГ (ВПЕНГ) різної товщини.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес виготовлення фанери з використанням як клею термопластичної плівки ВПЕНГ.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу породи деревини та товщини термопластичної плівки ВПЕНГ на фізичні властивості фанери.

*Мета роботи* – з'ясувати фізичні властивості фанери, виготовленої з використанням лущеного шпону м'яких і твердих листяних порід деревини, склеєного термопластичною плівкою ВПЕНГ різних товщин.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) проаналізувати основні літературні джерела щодо можливості застосування термопластичних відходів (вторинних полімерів) у виробництві фанери;
- 2) дослідити вплив породи деревини на фізичні властивості фанери;
- 3) з'ясувати вплив товщини термопластичної плівки ВПЕНГ на фізичні властивості фанери.

*Аналіз літературних джерел та публікацій.* Застосування відходів термопластичних плівок у виробництві фанери є перспективним і набуває щораз більшого зацікавлення у дослідженнях. Заміна первинних термопластичних плівок на вторинні дасть змогу виготовляти нетоксичну фанеру за зниженою собівартістю, а також вирішить питання утилізації первинних термопластичних відходів. Повторно перероблені термопластичні плівки піддаються додатковим механічним, хімічним і термоокисним впливам, проте можуть витримувати більше двох-трьох циклів перероблення, не погіршуючи фізико-механічних показників [15]. Наприклад, відходами полістиролу, отриманими з одноразового посуду, склеювали листи лущеного березового та соснового шпону, завтовшки 1,5 мм за температури пресування 200 °С, тиску пресування – 1,5 МПа, тривалості пресування – 300 с [4]. Найбільші показники міцності на зріз були для зразків фанери, склеєної із березового шпону, тому що більша щільність деревини, ніж у соснового шпону, і менше зминання листів шпону, а отже – краще проникнення полімеру. У роботах [7, 22] підтверджено можливість використання пластикових пакетів з поліетилену (ПЕ), поліпропілену (ПП) та полівінілхлориду (ПВХ) у виробництві фанери. Полімерні пакети обробляли хімічним реактивом, висушували, подрібнювали та наносили між листами тополевого шпону і склеювали за температури пресування 130-160 °С, тривалості пресування – 3-6 хв. За результатами досліджень встановлено, що оптимальним режимом склеювання листів шпону подрібненими полімерними пакетами є: температура пресування – 150 °С; тривалість пресування – 6 хв.

Окрім цього, були дослідження із використання відходів побутової плівки (тетра-пакування, переробленого ПП та поліаміду-6) [13] та текстильного волокна (поліуретану (ПУ), поліаміду-6) [14] як гарячих розплавів для виготовлення термопластичних плівок у виробництві фанери. Kajaks et al. [13] використовували гарячі розплави відходів побутової плівки для склеювання березового шпону завтовшки 1,4 мм та вологістю 12 %. Для армування використовували тканину з льону, коноплі та базальту. Оптимальними параметрами пресування для склеювання листів шпону були: тиск – 2 МПа, час – 1-2 хв, температура для склеювання листів шпону ПЕ – 130 °С, для склеювання ПП – 180 °С та для склеювання поліамідом-6 – 220 °С. Пакети листів шпону, склеєних гарячими розплавами відходів термопластичного текстильного волокна [14], пресували за температури 140-230 °С, тиску – 2 МПа та часу – 1-8 хв. Одержані результати фізико-механічних показників фанери, склеєної з різних відходів термопластичних полімерів були вищими за показники фанери, склеєної термореактивними клеями.

Проте, незважаючи на низку досліджень [4, 5, 7, 9, 8, 13, 14, 21, 20, 22], спрямованих на склеювання шпону відходами термопластичних полімерів, їх результати важко зіставити, адже в кожному дослідженні використовували різні відходи термопластичних полімерів, різні породи деревини та різні режими пресування, що вимагає подальших експериментальних досліджень.

*Матеріали та методи дослідження.* У процесі експериментальних досліджень застосовано низку методів. Зокрема, метод плоского пресування – для виготов-

лення зразків фанери, фізичний метод – для визначення фізичних властивостей фанери та статистичний і дисперсійний методи – для оброблення результатів досліджень. Нагадаємо, що дисперсійний аналіз є статистичним методом аналізу результатів, які залежать від якісних ознак. Кожен фактор може бути дискретною чи неперервною випадковою змінною, яку розділяють на декілька сталих рівнів (градацій, інтервалів). Якщо кількість вимірювань (проб, даних) на всіх рівнях кожного з факторів однакова, то дисперсійний аналіз називають рівномірним, інакше – нерівномірним.

Для виконання досліджень використовували лущений шпон розміром 300×300 мм: тополі завтовшки 0,75 мм, берези завтовшки 1,55 мм, бука завтовшки 0,45 мм і граба завтовшки 1,5 мм вологістю  $6^{+2}$  %. Для склеювання шпону як клей використовували термопластичну плівку ВПЕНГ від компанії "Планета Пластик" завтовшки 50, 100 та 150 мкм. Товщини плівки ВПЕНГ 50, 100 та 150 мкм – рівносильні витраті плівки 46, 92 і 138 г/м<sup>2</sup>. Для порівняння результатів використовували кар-

бамідоформальдегідний клей (КФ-МТ), який готували за рецептом виробника [1].

Виготовлення фанери, склеєної ВПЕНГ для випробування на фізичні властивості, відбувалося в декілька етапів: розкрій полімерної плівки на формат 300×300 мм, формування пакетів шпону, гаряче пресування пакетів шпону, холодне пресування фанери, кондиціонування фанери та розкрій фанери на зразки. Паралельно виготовляли фанеру, склеєну КФ-МТ клеєм за такою послідовністю: приготування клею, нанесення клею на поверхню шпону, формування пакетів шпону, гаряче пресування пакетів шпону, кондиціонування фанери та розкрій фанери на зразки.

Виготовляли тришарову фанеру. Листи шпону різних порід деревини відбирали без видимих вад і дефектів і вкладали в пакет із взаємно перпендикулярним напрямком волокон деревини у суміжних шарах. Між суміжними листами шпону вкладали плівку ВПЕНГ відповідної товщини (замість нанесення шару рідкого клею) (рис. 1).



Рис. 1. Схема виготовлення фанери / The scheme of plywood production

Табл. 1. Умови виготовлення фанери / Conditions of plywood production

| Умови виробництва фанери |                 |                                                                 |                            |                      |                           |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------|
| Вид клею                 | Порода деревини | Товщина плівки, мкм (для КФ-МТ витрати клею, г/м <sup>2</sup> ) | Температура пресування, °С | Тиск пресування, МПа | Тривалість пресування, хв |
| ВПЕНГ                    | тополя, береза, | 50, 100, 150                                                    | 160                        | 1,4                  | 4,5                       |
| КФ-МТ                    | бук, граб       | 110                                                             | 110                        | 1,8                  | 6                         |

Сформовані пакети шпону піддавалися гарячому пресуванню за режимними параметрами наведеними в табл. 1. Після завершення гарячого пресування, фанеру, виготовлену на основі ВПЕНГ, піддавали стадії холодного пресування за кімнатної температури впродовж 5 хв. Було виготовлено 32 листи фанери, які після склеювання кондиціонували 7 діб ( $T = 20^{+2}$  °С,  $W = 65^{+5}$  %). З кожного листа фанери вирізали зрізки для визначення щільності (EN 323 (1993)), водопоглинання та набря-

кання після витримки у воді впродовж 24 год (EN 317 (1993)).

## Результати дослідження / Research results and their discussion

Для визначення впливу однієї незалежної змінної та взаємодії двох змінних на іншу залежну було проведено дисперсійний аналіз ANOVA (англ. *Analysis of Variance*), результати якого наведено у табл. 2.

Табл. 2. Результати тесту ANOVA впливу факторів взаємодії на фізичні властивості фанери, виготовленої з термопластичної плівки ВПЕНГ / The results of the ANOVA test of the influence of interaction factors on the physical properties of plywood made of thermoplastic film SLDPE

| № з/п | Залежна змінна        | Факторна взаємодія               | Сума квадратів (SS) | Ступінь свободи (df) | Середній квадрат (MS) | Значення F-статистики | Значущість (P) |
|-------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1     | Щільність фанери      | Порода деревини                  | 1673558,052         | 3                    | 557852,684            | 803,681               | 0,001*         |
|       |                       | Товщина плівки ВПЕНГ             | 19004,920           | 2                    | 9502,460              | 13,690                | 0,001*         |
|       |                       | Порода деревини × Товщина плівки | 20245,018           | 6                    | 3374,170              | 4,861                 | 0,001*         |
| 2     | Водопоглинання фанери | Порода деревини                  | 48991,953           | 3                    | 16330,651             | 872,270               | 0,001*         |
|       |                       | Товщина плівки ВПЕНГ             | 9431,159            | 2                    | 4715,579              | 251,873               | 0,001*         |
|       |                       | Порода деревини × Товщина плівки | 625,926             | 6                    | 104,321               | 5,572                 | 0,001*         |
| 3     | Набрякання фанери     | Порода деревини                  | 749,406             | 3                    | 249,802               | 103,392               | 0,001*         |
|       |                       | Товщина плівки ВПЕНГ             | 221,167             | 2                    | 110,583               | 45,770                | 0,001*         |
|       |                       | Порода деревини × Товщина плівки | 75,866              | 6                    | 12,644                | 5,233                 | 0,001*         |

Примітка: \* – істотна різниця на рівні 5 % ( $P \leq 0,05$ ); \*\* – неістотна різниця.



За результатами тесту ANOVA встановлено, що порода деревини та товщина (витрата) термопластичної плівки ВПЕНГ мають статистично достовірний вплив на щільність, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год ( $p = 0,001 < 0,05$ ). Критерій Фішера ( $F$ ) вказує на значний вплив породи деревини на щільність, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год.

**Щільність фанери.** Згідно з дисперсійним аналізом ANOVA, встановлено, що значний вплив на щільність зразків фанери, склеєних плівкою ВПЕНГ мають порода деревини та товщина плівки ( $p \leq 0,05$ ) (див. табл. 2). Щільність фанери, склеєної із шпону різних порід деревини плівкою ВПЕНГ, зростає в такій послідовності: тополя – 435,4–484,5 кг/м<sup>3</sup>, береза – 632,4–649,9 кг/м<sup>3</sup>, бук – 618,3–673,0 кг/м<sup>3</sup>, граб – 749,4–771,0 кг/м<sup>3</sup> (рис. 2). Клітинна структура деревини є визначальним фактором послідовності зростання щільності фанери відповідно до породи деревини [1, 2, 3, 6].

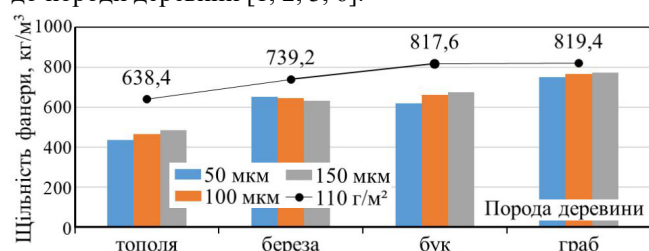


Рис. 2. Залежність щільності фанери від породи деревини, товщини ВПЕНГ та виду клею / Dependence of plywood density on wood species, SLDPE thickness and type of glue

Збільшення товщини полімеру ВПЕНГ від 50 до 150 мкм впливає на незначне збільшення щільності фанери відповідно до породи деревини. Причиною є збільшення кількості заповнених клітин і порожнин деревини шпону в'язкотекучим полімером, що призводить до збільшення питомої ваги пакета шпону. Встановлено, що середні значення щільності фанери від 435,4 до 771,0 кг/м<sup>3</sup>, склеєної термопластичною плівкою ВПЕНГ, дещо менші від середніх значень щільності фанери, склеєної КФ-МТ клеєм – від 638,4 до 819,4 кг/м<sup>3</sup>. Зразки фанери, склеєної КФ-МТ клеєм, пресувалися за більшого тиску 1,8 МПа, ніж зразки фанери склеєної ВПЕНГ – 1,4 МПа, що могло бути причиною різниці між значеннями щільності фанери.

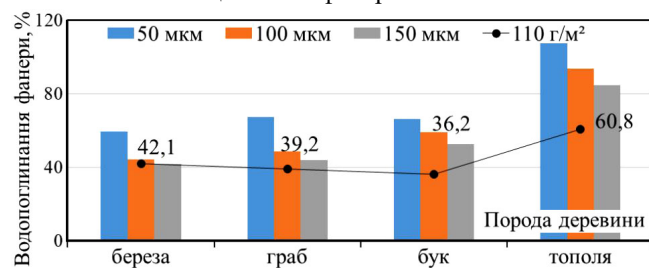


Рис. 3. Залежність водопоглинання фанери від породи деревини, товщини ВПЕНГ та виду клею / Dependence of plywood water absorption on wood species, SLDPE thickness and type of glue

**Водопоглинання фанери.** Результати аналізу ANOVA вказують на вагомість впливу факторів породи деревини та товщини полімеру на водопоглинання фанери ( $p \leq 0,05$ ) (див. табл. 2). Порода деревини найбільше впливає на значення водопоглинання фанери ( $F = 872,270$ ). Зразки фанери, склеєних із тополевого шпону плівкою ВПЕНГ, мають найбільший приріст водопоглинання – 84,8–107,7 % (рис. 3).

Аналогічна тенденція спостерігається для зразків фанери, склеєних із тополевого шпону КФ-МТ клеєм – 60,8 %. Це свідчить про те, що фанера, склеєна з листів тополевого шпону, мала найменшу щільність, порівняно з породами береза, бук та граб, що, цілком ймовірно, вплинуло на збільшення показників водопоглинання.

Встановлено, що із збільшенням товщини плівки ВПЕНГ водопоглинання зразків фанери зменшується для всіх порід деревини. Адже, чим більша товщина термопластичної плівки, тим більша кількість заповнюється клітин та порожнин шпону в'язкотекучим полімером. Унаслідок заповнення полімером структури деревини шпону відбувається блокування вільного переміщення води у деревині. Отримані результати середніх значень водопоглинання взірців фанери, склеєних плівкою ВПЕНГ та КФ-МТ клеєм – різняться, що свідчить про низькі гідрофобні властивості фанери, склеєної плівкою ВПЕНГ [1, 2].

**Набрякання фанери за товщиною.** Цікаву залежність виявлено під час визначення набрякання зразків фанери за товщиною після замочування у воді впродовж 24 год. Порода деревини та товщина полімеру ВПЕНГ істотно впливають на показники набрякання фанери за товщиною, що підтверджується результатами тесту ANOVA ( $p \leq 0,05$ ) (див. табл. 2). Показники набрякання зразків фанери за товщиною, склеєних ВПЕНГ, як і водопоглинання зменшуються зі збільшенням товщини полімеру від 50 до 150 мкм (рис. 4).

Проте вплив породи деревини на показники набрякання фанери, склеєної ВПЕНГ, істотно відрізняється від показників водопоглинання, що також можна прослідкувати для фанери, склеєної первинною плівкою ПЕНГ [3, 6]. Фанера, склеєна з листів тополевого шпону ВПЕНГ, має найменші показники набрякання за товщиною – від 5,1 до 6,1 %, тоді як для решти порід деревини найвищі – від 8,6 до 13,6 %. З іншого боку, фанера, склеєна з листів тополевого шпону КФ-МТ клеєм, має найбільше середнє значення набрякання за товщиною – 10,9 %.

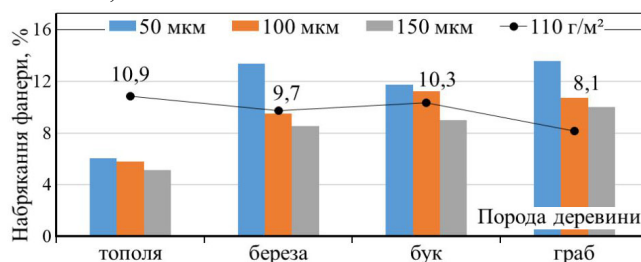


Рис. 4. Залежність набрякання фанери за товщиною від породи деревини, товщини ВПЕНГ та виду клею / Dependence of plywood swelling by thickness on wood species, SLDPE thickness and type of glue

Така залежність показників набрякання фанери за товщиною від породи деревини вказує на те, що фанера, склеєна плівкою ВПЕНГ, найбільше поглинає воду із зовнішніх боків, ніж із торців. Тонкі клейові шари термопластичної плівки між листами шпону блокують потрапляння води в центральні листи шпону. Фанера склеювалася з дуже тонких листів шпону породи тополя ВПЕНГ, які відповідно, достатньо проклеювалися полімером, що запобігало глибокому проникненню води в структуру шпону. Решту зразків фанери виготовляли із товстішого шпону, окрім бука. Але буковий шпон, порівняно із топовим шпоном, має набагато більшу

щільність, що не дає змоги термопластичному полімеру з високою в'язкістю добре проникати в порожнини шпону, і цим самим блокувати потрапляння води.

Щодо показників набрякання фанери, склеєної КФ-МТ клеєм, то тут відіграє важливу роль саме щільність деревини. Оскільки порода тополя має найменшу щільність, порівняно з іншими листяними породами деревини, тому й найбільше поглинає воду.

**Обговорення результатів дослідження.** Експериментально досліджено вплив породи деревини та товщини термопластичної плівки вторинного ПЕНГ на фізичні властивості фанери, результати яких порівняно з результатами досліджень інших науковців [2, 3, 6, 9]

**Табл. 3.** Фізичні властивості фанери на основі термопластичних полімерів /  
Physical properties of plywood based on thermoplastic polymers

| Показник                            | Вид полімеру      |                   |                           |                           |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                     | ПЕВГ <sup>1</sup> | ПЕВГ <sup>2</sup> | ПЕНГ <sup>3</sup>         | ВПЕНГ <sup>4</sup>        |
| Порода деревини                     | вільха            | тополя            | тополя, береза, бук, граб | тополя, береза, бук, граб |
| Щільність фанери, кг/м <sup>3</sup> | 553,2             | -                 | 463,9-802,1               | 435,4-771,0               |
| Водопоглинання за 24 год, %         | 51,4              | 60,0              | 40,3-90,0                 | 42,0-107,7                |
| Набрякання за товщиною 24 год, %    | 8,8               | 8,0               | 5,0-12,9                  | 5,1-13,6                  |

Примітка: ПЕВГ<sup>1</sup> – поліетилен високої густини, [2]; ПЕВГ<sup>2</sup> – поліетилен високої густини, [9]; ПЕНГ<sup>3</sup> – поліетилен низької густини, [3, 6]; ВПЕНГ<sup>4</sup> – поліетилен низької густини (результати експериментальних досліджень).

Водночас, в роботах [16, 17, 18] наведено результати з визначення водопоглинання та набрякання (або розбухання) три- та п'ятишарової фанери, виготовленої зі шпону берези, личкваної з обох боків деревними зрізами (чіпсами) берези, горіха та липи. Для склеювання фанери та просочування зрізів використано полівінілацетатну дисперсію зі ступенем водостійкості ДЗ. Подано графіки з порівнянням водопоглинання та набрякання фанери, облицьованої зрізами різних порід. Визначено, що фанера з деревними зрізами берези поглинає менше води порівняно зі зрізами інших досліджуваних порід.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати таку наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

**Наукова новизна результатів дослідження** – вперше виконано експериментальні дослідження щодо використання термопластичних плівок ВПЕНГ як клею для склеювання листів шпону м'яких і твердих листяних порід деревини для виготовлення фанери.

**Практична значущість результатів дослідження** – результати експериментальних досліджень можна використовувати у виробництві фанери, що дасть змогу виготовляти нетоксичну фанеру, а також зменшити шкідливий вплив полімерних відходів на довкілля.

## Висновки / Conclusions

Встановлено доцільність заміни термореактивних клеїв на вторинні термопластичні плівки ПЕНГ у виробництві фанери. З'ясовано, що щільність фанери, водопоглинання та набрякання за товщиною відповідають стандартам EN 323 та EN 317.

Доведено результатами досліджень, що найбільший вплив на фізичні властивості фанери, склеєної вторинним полімером ПЕНГ, чинить порода деревини. Для фанери, виготовленої з лущеного шпону деревини бука та граба, склеєного плівкою вторинного ПЕНГ, показники щільності збільшуються на 19-42 % порівняно із фанерою, виготовленою з лущеного березового та тополевого шпонів. Тоді як водопоглинання фанери, виго-

(табл. 3). Порівняння результатів показує, що водопоглинання, набрякання за товщиною та щільність фанери, склеєної вторинною плівкою ПЕНГ, незначно відрізняються від результатів фанери, склеєної первинними плівками ПЕНГ і ПЕВГ.

В роботі [1, 2, 3] встановлено, що під час експлуатації полімерні відходи піддаються природному старінню, що супроводжується частковою деструкцією полімеру і, як наслідок, могло вплинути на зменшення фізичних показників фанери. Отже, наведені результати наших досліджень підтверджують можливість використання у виробництві фанери не тільки первинних, але й вторинних термопластичних полімерів.

товленої з лущеного тополевого шпону, збільшується на 156,4 %, а набрякання за товщиною – зменшується на 62,5 % порівняно із фанерою, виготовленою з лущеного березового, букового та грабового шпонів.

Товщина плівки ВПЕНГ впливає на фізичні властивості фанери меншою мірою: щільність фанери збільшується від 2,7 до 11,3 %, водопоглинання – зменшується від 20,3 до 34,3 %, а набрякання за товщиною – зменшується від 16,4 до 36,5 % відповідно до породи деревини.

Використання термопластичних плівок вторинного ПЕНГ у виробництві фанери дасть змогу зменшити негативний вплив пластичних відходів на довкілля, а також виготовляти нетоксичну фанеру, фізичні властивості якої відповідають вимогам стандартів.

## References

1. Bekhta, P., & Kusniak, I. (2019). The properties of plywood with thermoplastic film using as glue. *Collection of scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. Lviv, 19, 209–222. <https://doi.org/10.15421/411943>
2. Bekhta, P., & Sedláček, J. (2019). Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers (Basel)*, 11(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym11071166>
3. Bekhta, P., Chernetskyi, O., Kusniak, I., Bekhta, N., & Bryn, O. (2022). Selected Properties of Plywood Bonded with Low-Density Polyethylene Film from Different Wood Species. *Polymers*, 14. <https://doi.org/10.3390/polym14010051>
4. Borysiuk, P., Mamiński, M. Ł., Parzuchowski, P., & Zado, A. (2010). Application of polystyrene as binder for veneers bonding – the effect of pressing parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(4), 487–489.
5. Chang, L., Guo, W., & Tang, Q. (2017). Assessing the tensile shear strength and interfacial bonding mechanism of poplar plywood with high-density polyethylene films as adhesive. *BioResources*, 12(1), 571–585. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.571-585>
6. Chernetskyi, O., Kusniak, I., & Bekhta, N. (2022). The influence of wood species and thickness of thermoplastic film of primary low density polyethylene on physical properties of plywood. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(1), 73–78. <https://doi.org/10.36930/40320111>
7. Cui, T., Song, K., & Zhang, S. (2010). Research on utilizing recycled plastic to make environment-friendly plywood. *Forestry*

- Studies in China*, 12(4), 218–222. <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0401-y>
8. Fang, L., Chang, L., Guo, W., Chen, Y., & Wang, Z. (2012). Manufacture of environmentally friendly plywood bonded with plastic film. *Forest Products Journal*, 63(7/8), 283–288. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00062>
  9. Fang, L., Chang, L., Guo, W., Ren, Y., & Wang, Z. (2013). Preparation and characterization of wood-plastic plywood bonded with high density polyethylene film. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71, 739–746. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0733-0>
  10. FAO. (2013). Yearbook of Forest Products 2015. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/i4746.m/i4746.m.pdf>
  11. FAO. (2018). Yearbook of Forest Products 2020. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb0513.m/CB0513M.pdf>
  12. IARC. (2006). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 88, 1–478. PMID:17366697. Retrieved from: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono88.pdf>
  13. Kajaks, J., Kalniņš, K., Reihmane, S., & Bernava, A. (2014). Recycled thermoplastic polymer hot melts utilization for birch wood veneer bonding. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 30(2), 87–102.
  14. Kajaks, J., Reihmane, S., Grinbergs, U., & Kalniņš, K. (2012). Use of innovative environmentally friendly adhesives for wood veneer bonding. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 61(3), 207–211. <https://doi.org/10.3176/proc.2012.3.10>
  15. Nazarenko, V. V., Bereznenko, N. M., Novak, D. S., & Skrypyuk, S. P. (2018). Research of compositions based on secondary polyethylene with improved properties. *Electronic scientific journal "Technology and Design"*, 4(29), 9. Retrieved from: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10882>. [In Ukrainian].
  16. Pinchevska, E., Skliar, D., Golovach, I., & Chausov, N. (2017). Water Effects on Plywood Coated with Wooden Slices on Both Sides. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(1), 138–141. <https://doi.org/10.15421/40270131>
  17. Pinchevska, O. O., & Lakyda, Iu. P. (2016). Obhruntuvannia struktury novoho kompozytsiinoho material. *Naukovyi visnyk NUBiP*, 238, 260–267. [in Ukrainian].
  18. Pinchevska, O. O., Šmidriaková, M. (2016). Wood particleboard covered with slices made of pine tree dranches. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 58, 67–74.
  19. Shepelyuk, I., Kusniak, I., Melnyk, Y., & Skorokhoda, T. (2018). Polymer-wood composites based on secondary polyethylene. *Progress in the oil and gas refining and petrochemical industries: Materials IX int. scientific and technical conf.*, may 14–18. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 410–413. [In Ukrainian].
  20. Song, W., Wenbang, W., Congrong, R., Shuangbao, Z. (2016). Developing and evaluating composites based on plantation eucalyptus rotary-cut veneer and high-density polyethylene film as novel building materials. *BioResources*, 11(2), 3318–3331.
  21. Song, W., Wenbang, W., Xuefei, L., & Shuangbao, Z. (2017). Utilization of polypropylene film as an adhesive to prepare formaldehyde-free, weather-resistant plywood-like composites: Process optimization, performance evaluation, and interface modification. *BioResources*, 12(1), 228–254.
  22. Tang, L., Zhao-gang, Z., Jiao Q., Ji-ruo, Z., & Ying, F. (2011). The preparation and application of a new formaldehyde-free adhesive for plywood. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31(6), 507–512.
  23. Waste generation and management (1995–2020). State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from: <https://www.ukrstat.gov.ua/>. [In Ukrainian].
  24. Waste generation by sources (1995–2020). State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from: <https://www.ukrstat.gov.ua/>. [In Ukrainian].

**O. M. Chernetskyi, I. I. Kusniak, N. S. Bekhta, M. M. Kopanskuy**

*Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*

## THE INFLUENCE OF WOOD SPECIES AND THICKNESS OF THERMOPLASTIC FILM OF SECONDARY LOW DENSITY POLYETHYLENE ON PHYSICAL PROPERTIES OF PLYWOOD

Given the world market economy, the plywood production is one of the most promising. Plywood is used in almost all industries – engineering, wagon, ship and automotive, construction, furniture, for the manufacture of musical instruments, toys, for decoration, etc. Due to the increased interest in plywood products, great attention is paid to improving its environmental performance. It is well known that the main reason for the toxicity of wood composite is its manufacture on the basis of adhesives that emit free formaldehyde. This article proposes one of the possible ways to reduce the toxicity of plywood – the replacement of liquid thermosetting adhesives with dry thermoplastic films of secondary production. Such an alternative replacement will both reduce the toxicity of plywood, and will increase the culture of production and solve the problem of polymer waste disposal as well. This paper considers the possibility of using thermoplastic films of secondary low-density polyethylene (SLDPE), which is the largest segment of the polymer market. The physical properties of plywood such as density, water absorption and thickness swelling after soaking in water for 24 h were studied. Three-layer plywood from four wood species (poplar, birch, beech and hornbeam) was made using thermoplastic film of SLDPE with a thickness of 50 µm, 100 µm and 150 µm. Urea-formaldehyde (UF) adhesive, which was prepared according to the manufacturers prescription, was used for comparison of results. The results of this research have shown that the plywood samples glued of hardwood veneer with thermoplastic film SLDPE of different thickness in physical properties meet the requirements of the standards. It was found that the wood species has a greater effect on the physical properties of plywood than the thickness of the film. However, increasing the thickness of the SLDPE thermoplastic film improves the physical performance of plywood. All samples of plywood glued of poplar veneer with SLDPE film had the highest rates of water absorption, but the lowest – swelling in thickness. In general, the use of recycled thermoplastic films in the production of plywood has a number of the following advantages: inexpensive, non-toxic, easy to use, increase production culture, solve the problem of recycling polymer waste and can be easily implemented at existing plants without additional investment.

**Keywords:** plywood; secondary thermoplastic film; wood species; thickness; density; water absorption; thickness swelling.