



О. М. Чернецький¹, І. І. Кусняк², Н. С. Бехта²

¹ ТОВ "Шпон Шепетівка", м. Шепетівка, Україна

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

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

Потенційною альтернативою термореактивним клеям, що застосовуються у виробництві фанери, є термопластичні плівки. У цій роботі запропоновано використання первинних термопластичних плівок поліетилену низької густини (ППЕНГ) у виробництві фанери. Основним завданням цього дослідження було оцінити доцільність використання ППЕНГ різної товщини для склеювання листів шпону з м'яколистяних і твердолистяних порід деревини. Оцінено фізичні властивості фанери, враховуючи товщину, щільність, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год. Змінними параметрами були породи деревини – тополя, береза, бук і граб та товщини плівки – 50, 80, 100, 150 мкм. Отримані результати фізичних властивостей фанери, склеєної ППЕНГ, порівнювали із результатами аналогічних властивостей фанери, склеєної карбамідоформальдегідним клеєм (КФ-МТ), який готували за рецептом виробника. Результати досліджень показали, що порода деревини помітно впливає на фізичні властивості фанери ($p \leq 0,05$). Збільшення товщини плівки від 50 до 150 мкм також позитивно впливає на фізичні властивості фанери. Порівняння властивостей між зразками фанери, склеєних ППЕНГ і КФ-МТ, вказують на схожість результатів. Цей результат є важливим для склеювання листів шпону різних порід деревини термопластичними плівками, оскільки він вказує на альтернативний спосіб виробництва фанери клеями, які не містять формальдегіду. Результати дослідження підтверджують доцільність заміни КФ-МТ на ППЕНГ для виготовлення фанери для внутрішнього застосування. Вміст формальдегіду у фанері, виготовленій на основі термопластичної плівки ППЕНГ, дорівнює майже нулю. Запропонований спосіб виготовлення фанери розширює можливості подальшого її застосування для виготовлення меблів, елементів інтер'єру, дитячих іграшок тощо. Проте подальше вивчення має бути спрямоване на вирішення питання сумісності деревини шпону та плівки ППЕНГ, що допоможе розширити сферу застосування фанери.

Ключові слова: фанера; лущений шпон; термопластична плівка; спресування; вологість; щільність; водопоглинання; набрякання.

Вступ / Introduction

Фанера – один з основних конструкційних матеріалів, що застосовується в деревообробній галузі. Вагома частка виробництва припадає на фанеру загального призначення – для застосування у виготовленні меблів, будівництві, судно- і вагонобудуванні тощо [18]. Така фанера має значні переваги не тільки з масивною деревиною, але і з іншими композитними матеріалами. Тенденції світового зростання виробництва фанери з 2009 до 2018 рр. сягнули 203,1 %, а приріст – 103,1 %, що становить 163 млн м³ (рис. 1) [12].

Загалом, фанера – це багатошаровий будівельний матеріал, який виробляється з листів шпону, склеєних

між собою. Для кращої міцності волокна розташовуються під кутом 90° (тобто перпендикулярно). Це дає змогу збільшити міцність матеріалу і підвищити його опірність до деформації. В основному, для створення фанерного листа використовуються хвойні або екзотичні породи деревини, а також Береза. Остання ж має гарний зовнішній вигляд і володіє високою міцністю. Для Берези характерна стійкість до різних механічних і температурних впливів. Залежно від сфери використання фанера ділиться на кілька типів: будівельна, вологостійка, полегшена, шпонована, гнучка.

Фанера – це універсальний матеріал, яку виготовляють з натуральної деревини. Її застосовують практично скрізь: в обшивці стін, підлог і фасадних поверхонь,

Інформація про авторів:

Чернецький Орест Миронович, інженер. Email: Lokiorest@gmail.com

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

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

Цитування за ДСТУ: Чернецький О. М., Кусняк І. І., Бехта Н. С. Вплив породи деревини і товщини термопластичної плівки первинного поліетилену низької густини на фізичні властивості фанери. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 1. С. 73–78.

Citation APA: Chernetskyi, O. M., Kusniak, I. I., & Bekhta, N. S. (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>

в збірці меблів та ін. В основному, фанера підходить для загального застосування. Існує два види фанери – ФК та ФСФ. Фанера може бути поздовжньою або поперечною. Основними сферами застосування фанери є: як високоміцний конструкційний матеріал; збирання та оброблення інтер'єру; спорудження конструкцій для літаків (ламінована і березова фанера); декоративне оздоблення (бакелізована фанера).

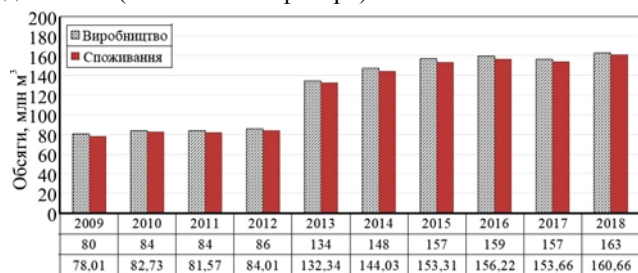


Рис. 1. Обсяги світового виробництва і споживання фанери / World production and consumption of plywood

Гарна структура фанери, висока якість поверхні, пластичність, легкість у виготовленні різноманітних виробів, а також низька ціна порівняно з масивною деревиною, роблять фанеру незамінним матеріалом в оформленні інтер'єру, екстер'єру і в багатьох дизайнерських рішеннях. Попри значні переваги, головним недоліком виробництва фанери є емісія формальдегіду з готового матеріалу і токсичність самих клеїв. Адже відомо, що для виготовлення фанери використовують феноло- і карбамідоформальдні смоли та інші похідні фенолу і формальдегіду. Всесвітньою організацією охорони здоров'я [21] доведено канцерогенність формальдегіду для людини, а також підвищення ризику виникнення ракових захворювань. Тому впродовж останніх років стають суворішими санітарні вимоги до композитних матеріалів, а також до умов їх виробництва. Це змушує виробників фанерної продукції зменшувати викиди формальдегіду до мінімально можливих значень.

Одним із можливих напрямів вирішення питання токсичності фанери та можливості її використання всередині житлових і робочих приміщень – використання замість термореактивних (зазвичай токсичних) клеїв термопластичних полімерів у вигляді плівки [4, 3, 1]. Застосування плівкових термопластичних полімерів (поліетилену низької густини (ПЕНГ), поліетилену високої густини (ПЕВГ), поліпропілену (ПП), полістиролу (ПС), полівінілхлориду (ПВХ)) у виробництві фанери є перспективним і має низку переваг: нетоксичність, зручність у використанні, підвищують культуру виробництва, спрощують технологічний процес і легко впроваджуються в технологію виробництва [15].

Питання склеювання термопластичних полімерів з деревиною є актуальним, але маловивченим. Потрібно досліджувати процес склеювання термопластичних полімерів ППЕНГ з деревиною різних порід. В Україні більшість підприємств тяжіють до виготовлення фанери з використанням березового та вільхового шпону, хоча сировиною для виробництва фанери можуть бути й інші листяні породи деревини, зокрема тополя, бук, граб.

Виконані експериментальні дослідження спрямовані на вирішення актуальної проблеми – виробництва фанери різних порід деревини на основі нетоксичних первинних термопластичних полімерів.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення фанери.

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

Мета роботи – з'ясувати фізичні властивості фанери, виготовленої з лущеного шпону м'яколистяних і твердолистяних порід деревини, склеєного первинною термопластичною плівкою ПЕНГ різних товщин.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) дослідити вплив породи деревини на фізичні властивості фанери;
- 2) встановити вплив товщини термопластичної плівки на фізичні властивості фанери.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як показують дослідження [2, 5, 10, 11, 16, 17, 19, 20], використання термопластичних полімерів (ПЕВГ, ПЕНГ, ПП, ПС) у вигляді плівки – один із напрямів покращення екологічних показників фанери. Клейові плівки усувають з технологічного процесу виготовлення фанери трудомісткі й небезпечні для здоров'я людини операції змішування та нанесення рідкого клею. Окрім цього, плівка зручна у використанні, зберіганні та нанесенні між листами шпону під час формування пакета шпону. Найбільша перевага термопластичних плівок – нетоксичність. У роботах [10, 11, 17, 19, 20] підтверджено можливість використання термопластичних плівок ПЕВГ і ПП у виробництві фанери. Фізико-механічні показники фанери, склеєної з ПЕВГ і ПП, відповідали стандарту (GB/T 17657-1999) і є подібними або вищими за показники фанери, склеєної термореактивними клеями. У цих дослідженнях для виготовлення фанери використовували лущений шпон порід: тополя, вільха, береза, бук, евкаліпт, амескла (amescla), червоне дерево. За цією ж тематикою є низка інших публікацій [2, 5, 10, 11, 13, 16, 17, 19, 20]. Основну увагу авторів цих публікацій спрямовано на залучення термопластичних плівок для виготовлення фанери, щоб зменшити емісію формальдегіду. Проте перелік проблемних питань у цьому напрямі ще не вичерпано й потребує подальших експериментальних досліджень.

Матеріали та методи дослідження. Дослідні зразки фанери виготовлено методом плоского пресування. Для визначення товщини, щільності, водопоглинання і набрякання фанери за товщиною застосовано фізичні методи дослідження. Оброблення експериментальних даних проведено методом статистичного і дисперсійного аналізу.

Для здійснення експериментальних досліджень використовували такі матеріали: лущений шпон породи тополя (300×300×0,75 мм), береза (300×300×1,55 мм), бук (300×300×0,45 мм), граб (300×300×1,5 мм), вологістю 6^{±2} % та первинну термопластичну плівку ПЕНГ завтовшки 50, 80, 100 і 150 мкм. Дані товщини рівно-сильні витрати плівки 46, 73,6, 92,0 і 138 г/м². Запропоновані товщини плівок ППЕНГ підбирали відповідно до наявних на українському ринку товщин великотоннажних полімерів. Для порівняння результатів використовували карбамідоформальдегідний клей (КФ-МТ), який готували за рецептом виробника [3]. Виготовляли тришарову фанеру за схемою формування пакета шпону, зображеною на рис. 2, за режимних параметрів пресування, наведених у табл. 1.

Нагадаємо, що карбамідоформальдегідні смоли широко використовуються в будівництві, деревообробній

галузі і деяких інших галузях народного господарства. Промисловим способом виробляти їх вперше почали в США в 1927 році. За водостійкості і міцності поліефірним і епоксидним матеріалами такі смоли дещо поступаються. Зате і виготовлення їх обходиться набагато дешевше.

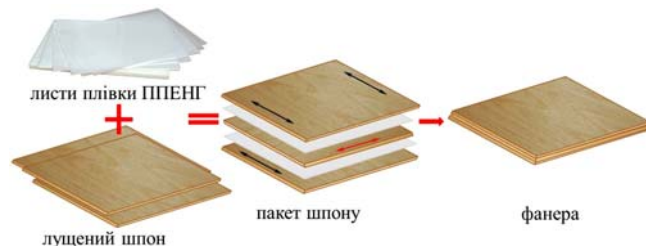


Рис. 2. Схема виготовлення фанери / The scheme of plywood production

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

Умови виробництва фанери					
Вид клею	Порода деревини	Товщина плівки, мкм (для КФ-МТ витрата клею, г/м ²)	Температура пресування, °С	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв
ППЕНГ	тополя, береза,	50, 80, 100, 150	160	1,4	4,5
КФ-МТ	бук, граб	110	110	1,8	6

Табл. 2. Середні значення фізичних показників фанери, виготовленої з використанням плівки ППЕНГ / Average values of physical parameters of plywood bonded with LDPE film

№ з/п	Залежна змінна	Порода деревини				Товщина плівки ППЕНГ, мкм			
		тополя	береза	бук	граб	50	80	100	150
1	Товщина фанери, мм	2,2 В	4,6 D	1,3 А	4,5 С	3,1 А	3,2 В	3,2 В	3,2 С
2	Щільність фанери, кг/м ³	481,8 А	662,5 В	689,9 С	790,8 D	644,5 А	656,8 В	652,0 А, В	671,7 С
3	Водопоглинання фанери, %	84,0 D	43,7 А	56,8 С	48,0 В	61,4 С	60,7 С	56,7 В	51,7 А
4	Набрякання фанери, %	5,4 А	9,1 В	10,9 С	11,7 D	9,7 В	9,1 А, В	9,5 А, В	8,9 А

Примітка: різні букви в межах рядка позначають істотну різницю; середні значення в межах рядка, за якими стоїть одна і та сама буква, статистично не відрізняються один від одного ($p \leq 0,05$).

Табл. 3. Середні значення фізичних показників фанери, виготовленої з використанням КФ-МТ / Average values of physical parameters of plywood bonded with UF adhesive

№ з/п	Залежна змінна	Порода деревини			
		тополя	береза	бук	граб
1	Товщина фанери, мм	1,8 В	4,3 С	1,2 А	4,4 D
2	Щільність фанери, кг/м ³	638,4 А	739,2 В	817,6 D	819,4 D
3	Водопоглинання фанери, %	60,8 Е	42,1 D	36,2 В	39,2 С
4	Набрякання фанери, %	10,9 С	9,7 В, С	10,3 В, С	8,1 А

Примітка: різні букви в межах рядка позначають істотну різницю; середні значення в межах рядка, за якими стоїть одна і та сама буква, статистично не відрізняються один від одного ($p \leq 0,05$).

Вплив породи деревини та товщини термопластичної плівки на товщину фанери. У цьому дослідженні усі значення товщини зразків фанери, склеєних з використанням первинних термопластичних плівок ПЕНГ, відповідають Європейському стандарту EN 315. Згідно з результатами аналізу ANOVA порода деревини істотно впливає на товщину фанери, що також підтверджує значущість середніх значень товщини на основі тесту Дункана (див. табл. 2).

Показники товщини фанери, склеєної ППЕНГ, збільшуються відповідно до породи деревини в такій послідовності: бук – 1,31-1,39 мм, тополя – 2,19-2,23 мм, граб – 4,43-4,52 мм і береза – 4,47-4,62 мм (рис. 3). На такий характер залежностей впливає товщина лущеного шпону відповідної породи деревини, що застосовувалася в дослідженнях: 0,45 мм – для бука; 0,75 мм – для тополі; 1,5 мм – для граба і 1,55 мм – для берези.

Після завершення гарячого пресування фанеру подавали холодному пресуванню за кімнатної температури впродовж 5 хв, для уникнення її жолоблення. Було виготовлено 40 взірців фанери, які після склеювання кондиціонували 7 діб ($T = 20^{\pm 2} \text{ } ^\circ\text{C}$, $W = 65^{\pm 5} \%$). З кожної фанери вирізали зразки для визначення щільності, водопоглинання та набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год відповідно до стандартів EN 315 (2000), EN 323 (1993) і EN 317 (1993) [9, 8, 7].

Товщину, густину та температуру плавлення первинних термопластичних плівок ПЕНГ визначали відповідно до TU U 33.2-30291682-002 (2004), GOST 15139 (1969) та GOST 21553 (1976).

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Для визначення впливу факторних взаємодій (породи деревини і товщини плівки) на залежні змінні (товщину, щільність, водопоглинання і набрякання фанери за товщиною) застосовано дисперсійний аналіз (ANOVA). На підставі отриманих результатів дисперсійного аналізу проведено тест Дункана, щоб з'ясувати, які саме середні значення групи істотно відрізняються один від одного. Отримані результати підсумовано в табл. 2 та 3. Нагадаємо, тест Дункана – це не що інше, як порівняння середніх більш, ніж двох незалежних вибірок.

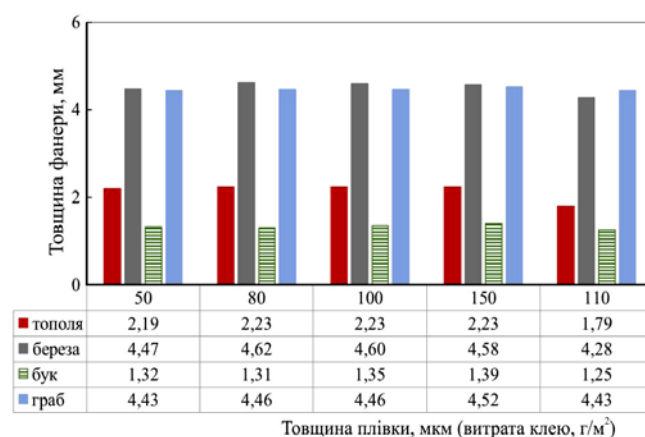


Рис. 3. Вплив породи деревини і товщини плівки ППЕНГ на товщину фанери / The influence of wood species and thickness of primary LDPE film on plywood thickness

Товщина плівки ППЕНГ від 50 до 150 мкм впливає на товщину фанери дещо менше, що чітко можна прос-тежити на наведений гістограмі (див. рис. 3). Річ у тім, що різниця між товщинами плівки незначно велика, а тому товщина утвореного клейового шару (плівки) між листами шпону істотно не збільшується. Варто зауважити, що середні значення товщини зразків фанери, склеєних ППЕНГ за різної товщини, незначно переви-щують товщину контрольних зразків фанери, склеєної КФ-МТ (див. табл. 2 та 3). Цей факт можна пояснити витратою клею, яка для КФ-МТ клею – 110 г/м², а для ППЕНГ – від 46 г/м² до 138 г/м², а також значною вели-чиною всихання КФ-МТ клею.

Вплив породи деревини та товщини термопластич-ної плівки на щільність фанери. Результати аналізу ANOVA вказують на значущість впливу породи дере-вини та товщини плівки на щільність фанери, склеєної з термопластичних плівок ППЕНГ. Тест Дункана (див. табл. 2) підтверджує, що між значеннями показників щільності фанери є статистично істотна різниця ($p \leq 0,05$). Найбільший вплив на показники щільності фане-ри має порода деревини, тоді як товщина плівки ППЕНГ впливає менше.

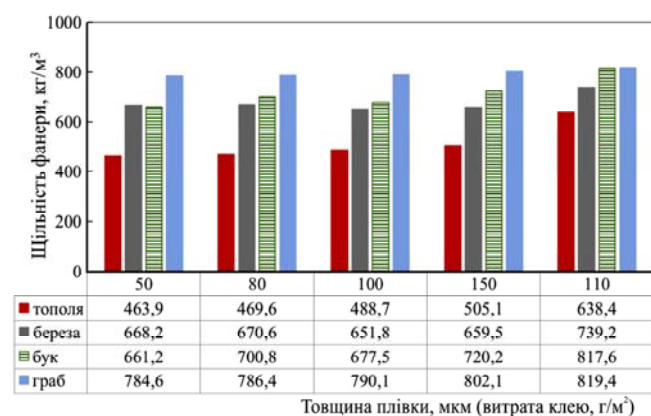


Рис. 4. Вплив породи деревини і товщини плівки ППЕНГ на щільність фанери / The influence of wood species and thickness of primary LDPE film on plywood density

Гістограма (рис. 4) ілюструє чітку залежність зна-чень щільності фанери від породи деревини та товщини плівки ППЕНГ. Із збільшенням її товщини щільність фанери зростає відповідно до породи деревини. Це зумовлено збільшенням питомої ваги пакета шпону вна-слідок заповнення структури деревини рідким термо-пластичним полімером. Середні значення щільності взір-ців фанери збільшуються відповідно до породи дере-вини у такій послідовності: тополя, береза, бук і граб. На такий характер залежності щільності фанери від породи деревини впливає клітинна структура деревини. Показ-ники щільності фанери від 463,9 до 802,1 кг/м³, склеєної плівкою ППЕНГ – дещо менші від значень щільності фанери склеєної КФ-МТ від 638,4 до 819,4 кг/м³, ймовірно, через різницю тиску пресування паке-тів шпону.

Вплив породи деревини та товщини термопластич-ної плівки на водопоглинання фанери. Згідно з диспер-сійним аналізом і тестом Дункана встановлено, що найбільший вплив на водопоглинання зразків фанери, склеєних плівкою ППЕНГ, має порода деревини, а тов-щина плівки ППЕНГ, впливає дещо менше ($p \leq 0,05$) (див. табл. 2). Оскільки фанера має пористу структуру, то великий вплив на неї мають різні види вологи. Водо-

поглинання – здатність фанери поглинати крапельно-рідку вологу. Цей процес відбувається за безпосе-реднього контакту фанери з водою – у деревині збіль-шується вміст як зв'язаної, так і вільної вологи.

Зростання середніх значень водопоглинання у зраз-ках фанери склеєних різними клеями, відбувалося в та-кій послідовності: для КФ-МТ – від 36,2 до 60,8 %, для ППЕНГ – від 40,3 до 90,0 %, (рис. 5).

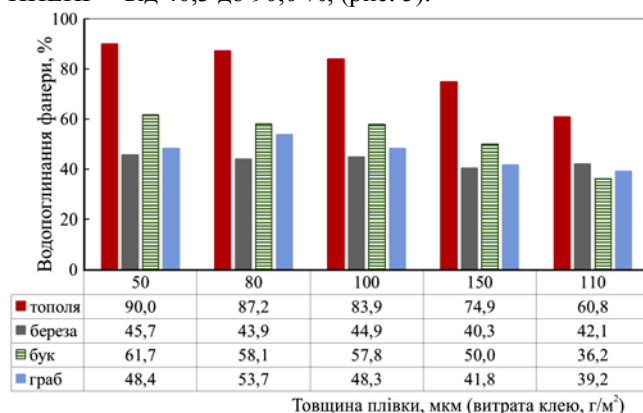


Рис. 5. Вплив породи деревини і товщини плівки ППЕНГ на во-допоглинання фанери / The influence of wood species and thickness of primary LDPE film on water absorption of plywood

Найбільший приріст водопоглинання виявлено у зразках фанери, склеєних із шпону породи тополя – від 74,9 до 90,0 %, відповідно до виду клею. Цей факт мож-на пояснити залежністю водопоглинання від щільності матеріалу: чим менша щільність фанери, тим більший показник водопоглинання. Варто зазначити, що із збіль-шенням товщини плівки ППЕНГ водопоглинання взір-ців фанери зменшується відповідно до породи дере-вини. Річ у тім, що чим більша товщина термопластичної плівки, тим більше заповнення клітин і порожнин шпо-ну в'язкотекучим полімером, який перешкоджає вільно-му переміщенню води у деревині. Отримані результати середніх значень водопоглинання взірців фанери, склеєних плівкою ППЕНГ та КФ-МТ клеєм – різняться, що вказує на низькі гідрофобні властивості фанери, склеєної плівкою ППЕНГ.

Вплив породи деревини і товщини термопластичної плівки на набрякання фанери. Аналогічну тенденцію спостережено і під час дослідження впливу породи де-ревини і товщини плівки ППЕНГ на показники набря-кання фанери. Згідно з дисперсійним аналізом і тестом множинного діапазону Дункана, існує статистично і-стотна різниця між значеннями набрякання фанери, скле-єної із шпону різних порід деревини за різної товщини полімеру (див. табл. 2 і 3). Водночас істотний вплив на показники набрякання зразків фанери чинить порода деревини і тип клею. Із збільшенням товщини термо-пластичної плівки від 50 до 150 мкм – показники набря-кання фанери за товщиною зменшуються, але незначно. Практично однакові значення показників набрякання за товщиною встановлено у зразках фанери, склеєних ППЕНГ і КФ-МТ (рис. 6).

Найбільше середнє значення набрякання за товщи-ною встановлено для зразків фанери, склеєної КФ-МТ із шпону породи тополя – 10,9 %, тоді як для зразків фанери, склеєної з ППЕНГ із шпону породи тополя – найменше – 5,0 %, за товщини полімеру – 80-150 мкм. Вірогідно, причиною такого результату могло бути не-достатнє проникнення в'язкотекучого полімеру в струк-

туру шпону. Це могло вплинути на здатність деревини більше поглинути води через недостатньо заповнені клітини і порожнини полімером [5].

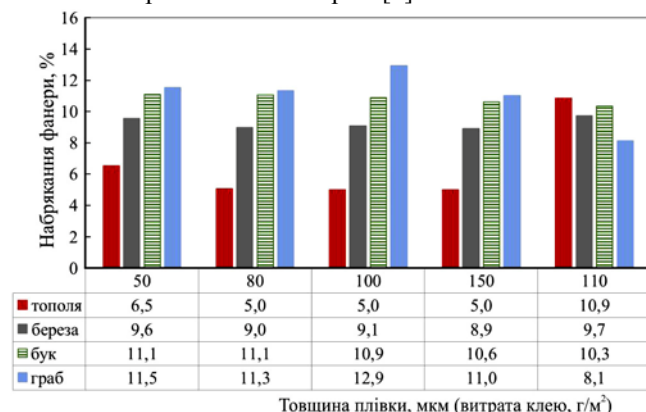


Рис. 6. Вплив породи деревини і товщини плівки ППЕНГ на набрякання фанери / The influence of wood species and thickness of primary LDPE film on thickness swelling of plywood

Табл. 4. Фізичні властивості фанери на основі термопластичних полімерів / Physical properties of plywood based on thermoplastic polymers

Показник	Вид полімеру					
	ПЕВГ ¹	ПЕНГ ²	ПЕВГ ³	ПЕВГ ⁴	ПП ⁵	ПЕНГ ⁶
Порода деревини	вільха	береза	тополя	тополя	евкаліпт	тополя, береза, бук, граб
Товщина фанери, мм	4,6	7,5	8,0	4,5	7-8	1,31-4,62
Щільність фанери, кг/м ³	553,2	672,9	—	—	—	463,9-802,1
Водопоглинання за 24 год, %	51,4	41,0	81,7	60,0	—	40,3-90,0
Набрякання за товщиною за 24 год, %	8,8	10,8	7,7	8,0	8,2	5,0-12,9

Примітка: 1. ПЕВГ¹ – поліетилен високої густини, [4]; 2. ПЕНГ² – поліетилен низької густини, [3]; 3. ПЕВГ³ – поліетилен високої густини, [11]; 4. ПЕВГ⁴ – поліетилен високої густини, [10]; 5. ПП⁵ – поліпропілен, [20]; 6. ПЕНГ⁶ – поліетилен високої густини (результати експериментальних досліджень).

До того ж фанеру, виготовлену з ППЕНГ, можна віднести до екологічно чистого матеріалу. Емісія формальдегіду у фанері низька, порівняно із традиційною фанерою, виготовленою із карбамідоформальдегідного клею [6].

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

Наукова новизна результатів дослідження: на основі виконаних експериментальних досліджень доведено доцільність використання первинних термопластичних плівок ПЕНГ як клею для склеювання листів шпону м'яколистяних і твердолистяних порід деревини для виготовлення фанери із задовільними фізичними властивостями; встановлено закономірності впливу породи деревини та товщини термопластичних плівок ППЕНГ на фізичні властивості фанери, що дає змогу розробити параметри режиму склеювання шпону різних порід деревини з використанням як клею термопластичної плівки ППЕНГ.

Практична значущість отриманих результатів – запропонований вид термопластичної плівки ППЕНГ для виготовлення фанери із шпону м'яколистяних і твердолистяних порід деревини, замість рідкого термоактивного клею, дає змогу усунути з виробництва трудомісткі операції змішування і нанесення клею, а також зменшити викиди формальдегіду.

Висновки / Conclusions

Виробництво фанери, склеєної первинними термопластичними плівками ПЕНГ, є перспективним. Отрима-

Обговорення результатів дослідження. Отримані в цій роботі значення фізичних властивостей фанери, склеєної ППЕНГ, збігаються із результатами досліджень в інших роботах [4, 3, 10, 11, 20] (табл. 4). Окрім цього, з отриманих даних випливає, що порода деревини істотно впливає на здатність деревини склеюватися термопластичними плівками.

Як вже було зазначено вище, розглянутий в дослідженні тип фанери є вологостійкими, проте за рахунок з'єднуючої речовини ФСФ в цьому відношенні має явні переваги. Справа в тому, що фенолформальдегідний клей достатньою мірою просочує шари шпону і при цьому надійно їх скріплює між собою. Навіть набухання деревини не призводить до будь-яких критичним наслідків, оскільки після висихання фанера приймає первинний вигляд. Що ж стосується типу ФК, листи здатні витримувати вплив вологи тільки до певної міри. Потім відбувається набухання шпону з наступним розшаруванням цієї фанери, після якого матеріал вже не повертається в первісний стан.

ні результати підтверджують, що фізичні показники фанери, склеєної ППЕНГ, не поступаються відповідним показникам контрольних взірців фанери, склеєних клеєм КФ-МТ. Товщина фанери, склеєної ППЕНГ, відповідає вимогам стандарту EN 315. Щільність досліджуваної фанери, склеєної ППЕНГ, становить від 463,9 до 802,1 кг/м³, порівняно із зразками фанери, склеєної КФ-МТ – від 638,4 кг/м³ до 819,4 кг/м³. Водопоглинання зразків фанери, склеєної ППЕНГ, становить від 40,3 до 90,0 %, тоді як для зразків фанери, склеєної КФ-МТ – від 36,2 до 60,8 %.

Встановлено, що набрякання за товщиною фанери, склеєної ППЕНГ, становить від 5,0 до 12,9 %, а для зразків фанери, склеєної КФ-МТ – від 8,1 до 10,9 %. Порода деревини істотно впливає на фізичні показники фанери. Для фанери, виготовленої з лущеного шпону м'яколистяних порід деревини, склеєного ППЕНГ, показники щільності зменшуються на 42,16 %, водопоглинання збільшується на 115 %, а набрякання за товщиною – зменшується на 61,2 % порівняно із фанерою, виготовленою з лущеного шпону твердолистяних порід деревини. Вплив товщини термопластичної плівки на фізичні властивості фанери – менший, ніж вплив породи деревини.

Використання термопластичних полімерів ПЕНГ первинної переробки дасть змогу зменшити забруднення довкілля, а також отримувати на їх основі нетоксичну фанеру. З результатів досліджень випливає, що фанера, виготовлена на основі ППЕНГ, відповідає стандарту EN 314-1 для 1 класу з'єднання: сухі умови експлуатації.

References

1. Bekhta, P. A., & Kusniak, I. I. (2020). The manufacturing method of the environmentally friendly wood composite materials based on the veneer. Patent of Ukraine for useful model. IPC V27N 3/00. № 141281; declared 29.10.19; published 25.03.20, no. 6 p. [In Ukrainian].
2. Bekhta, P., & Kusniak, I. (2018). Thermoplastic polymers in the production of plywood products: advantages, opportunities and perspectives of application. Collection of scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. Lviv, 16, 131–140. <https://doi.org/10.15421/411815>
3. 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>
4. Bekhta, P., & Sedliačik, J. (2019). Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers (Basel)*, 11(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym11071166>
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. Cui, T., Song, K., & Zhang, S. (2010). Research on utilizing recycled plastic to make environment-friendly plywood. *Forestry Studies in China*, 2(4), 218–222. <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0401-y>
7. EN 315 (2000). Plywood. Tolerances for Dimensions; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium. [In English].
8. EN 317 (1993). Particleboards and Fibreboards. Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium. [In English].
9. EN 323 (1993). Wood-Based Panels – Determination of Density; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium. [In English].
10. 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/FJP-D-12-00062>
11. 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>
12. FAO. (2020). Yearbook of Forest Products 2018. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb0513m/CB0513M.pdf>
13. Goto, T., Saiki, H., & Onishi, H. (1982). Studies on wood gluing. XIII: Gluability and scanning electron microscopic study of wood-polypropylene bonding. *Wood Sci. Technol*, 16, 293–303. <https://doi.org/10.1007/BF00353157>
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. Kusniak, I. I. (2020). Efficiency of the glued plywood production with thermoplastic film. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(2), 88–92. <https://doi.org/10.36930/40300216>
16. Liiri, M. (2013). Properties of a new thermoplastic plywood product. School of Chemical Technology Degree Programme of Forest Products Technology. Masters thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, Espoo, 110.
17. Lustosa, ECB, Del Menezzi, CHS, de Melo, R. R. (2015). Production and properties of a new wood laminated veneer/high-density polyethylene composite board. *Materials Research*, 18(5), 994–999. <https://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.010615>
18. Sagal, S. (2014). Potential analysis of the forest sector of Ukraine and identification of factors that inhibit its innovative development. Woodworking segment. Retrieved from: <https://www.fleg.org.ua/docs/213>
19. 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
20. 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.
21. World Health Organization. (2004). IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. International Agency for Research on Cancer. www.iarc.fr/ENG/Press-Releases/archives/pr153a

O. M. Chernetskyi¹, I. I. Kusniak², N. S. Bekhta²

¹ TOV "Shpon Shepetivka", Shepetivka, Ukraine

² Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

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

The thermoplastic films are potential alternative to thermosetting adhesives that are used for the production of plywood. In this work, the use of thermoplastic films of primary low density polyethylene (LDPE) in the production of plywood is offered. The aim of the research was to determine the physical properties of plywood, such as thickness, density, water absorption and thickness swelling after soaking in water for 24 h, made of peeled hardwood veneer bonded with primary LDPE thermoplastic film of different thicknesses. Variable parameters were the wood species such as poplar, birch, beech and hornbeam and thermoplastic film of thicknesses including 50 µm, 80 µm, 100 µm, and 150 µm, which is equivalent to the adhesive consumption of 46 g/m², 73,6 g/m², 92,0 g/m² and 138 g/m². Urea-formaldehyde (UF) adhesive, which was prepared according to the manufacturers prescription, was used for comparison of results. We have found that wood species significantly affects the physical properties of plywood ($p \leq 0.05$). Increase of thickness of film from 50 µm to 150 µm also positively influences physical properties. The obtained results allow introducing a more efficient method of veneer gluing with the use of thermoplastic films into the technological process of plywood production instead of the existing method of gluing with the use of thermosetting adhesives. The production of plywood using thermoplastic films as an adhesive will avoid the time-consuming operation of applying the adhesive, as well as reduce the consumption of thermal energy associated with the absence of evaporation of the adhesive solvent and the possibility of using veneer of high moisture content. Since thermoplastic films do not pose a danger to human health, it is much easier and safer to work with them. The obtained physical parameters of plywood bonded with LDPE film are not inferior to the parameters of control UF-bonded plywood samples. From the obtained results, it follows that the use of plywood bonded with thermoplastic LDPE film is limited to the dry conditions. In addition, the content of formaldehyde in plywood bonded with thermoplastic LDPE film is almost zero. The provided method of manufacturing plywood expands the possibilities of its further application for the manufacture of furniture, interior elements, childrens shock games, etc.

Keywords: plywood; rotary-cut veneer; thermoplastic film; compression; moisture content; density; water absorption; thickness swelling.