9. РЕСУРСОЩАДНІ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ

Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411943>
Article received 2019.07.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Bekhta
bekhta@ukr.net

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674-419.32

Властивості фанери з використанням як клею термопластичної плівки

П. А. Бехта¹, І. І. Кусняк²

Запропоновано використання термопластичної плівки поліетилену низької густини (ПЕНГ) у виробництві фанери замість класичних синтетичних клеїв, що дає змогу одержувати екологічно чистий матеріал. Здатність термопластичної плівки склеювати шпон оцінювали визначенням міцності фанери на зріз. Крім того, були досліджені й інші фізико-механічні властивості фанери, зокрема вологість, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год, межа міцності на статичний згин і модуль пружності. Змінними параметрами у дослідженні були температура пресування 140°C, 160°C, 180°C та витрата термопластичної плівки 130 г/м², 150 г/м², 170 г/м² та 190 г/м². Для порівняння властивостей фанери, виготовленої з термопластичної плівки, було виготовлено фанеру з використанням карбамідоформальдегідного клею.

Результати показали, що склеювання листів шпону ПЕНГ позитивно впливає на властивості фанери. Міцність на зріз зразків фанери, склеєних термопластичною плівкою, знаходиться в межах 1,46-1,69 МПа, що перевищує нормативне значення міцності в 1,0 МПа згідно стандарту EN 314-2. Температура пресування помітно впливає на проникнення полімеру у клітини та судини шпону. Механічне блокування, яке спостерігалось за час випробування зразків фанери на зріз, утворюється між неполярною плівкою і полярною деревиною. Крім того, з'ясовано розподіл температури всередині пакета шпону за різної витрати та виду клею. Оптимальними умовами для склеювання листів шпону у виробництві фанери, враховуючи товщину фанери та економічні затрати, є температура пресування 160°C та витрата термопластичної плівки 130 г/м².

Ключові слова: луцений шпон; поліетилен низької густини (ПЕНГ); карбамідо-формальдегідний клей; товщина; вологість; спресування; щільність; водопоглинання; набрякання; міцність на зріз; межа міцності на статичний згин; модуль пружності.

¹ Бехта Павло Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. Факс: +38-032-237-89-05. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

² Кусняк Ірина Іванівна – асистент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>

Вступ. Деревинні композити мають комплекс цінних властивостей, що надає їм перевагу над традиційним конструкційним матеріалом (масивною натуральною деревиною). Невід'ємною складовою деревинних композиційних матеріалів є фанерна продукція, до якої відносяться різноманітні види фанери, а також LVL, PSL, LSL, OSL і продукти переробки деревинних відходів (деревинні пресовані маси) тощо (American wood council, 2017). Обсяги виробництва фанери в Україні впродовж 2000-2018 рр. зростали і станом на 2018 р. сягали 190 тис. м³ (рис. 1), тоді як світове виробництво фанери у 2017 р. досягло 157 млн м³ (FAOSTAT, 2017).

Для виготовлення такої кількості фанери необхідно використати багато смоли, приблизно 18 тис. тонн (Bekhta & Sedliačik, 2019). У виробництві фанери до сих пір найчастіше використовують синтетичні термореактивні клеї на основі феноло-формальдегідних (PF) та карбамідо-

формальдегідних (UF) смол. Суттєвим недоліком цих клеїв є висока токсичність, зумовлена виділенням вільного формальдегіду. Крім того, формальдегід виділяється в процесі експлуатації деревинних композитів, отриманих з використанням таких полімерів. На сьогодні існує значний попит на екологічно чисті речовини, тоді як широко використовувані смоли містять токсичні та канцерогенні сполуки. Важливим чинником, який впливає на погіршення екологічної ситуації, є викиди формальдегіду.

Шкідливі екологічні наслідки використання синтетичних термореактивних клеїв можуть призвести до пошкодження органів дихання, очей та нервової системи і навіть призвести до раку та лейкемії. Всесвітня організація охорони здоров'я (World Health Organization, 2004) також недавно прийшла до висновку, що формальдегід є канцерогеном для людини.

Рис. 1. Обсяги виробництва фанери в Україні (State Statistics Service of Ukraine, 2008-2018)

Впродовж останніх років здійснюють інтенсивний пошук вирішення проблеми зменшення токсичності деревинних композитних матеріалів. Однак, шляхи та засоби зменшення шкідливих викидів виробництва деревинних композитів, на жаль, до кінця не є вирішеними. Одним із можливих напрямів зменшення токсичності деревинних композитів – заміна термореактивних клеїв (PF та UF) на термопластичні клеї (поліетилен, поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид). На сьогоднішній день є багато напрацювань у цьому напрямі. Запропоновано можливість склеювання листів шпону з пінополістиролом (Hu et al., 2005), фурановою смолою (Matsi et al., 2010, Piirlaid et al., 2010), поліуретановими клеями (Beaud et al., 2006) та поліефірними смолами (Hagdan et al., 2015). Одним із напрямів покращення якості фанери є використання як клею термопластичних полімерів – поліетилену високої густини (ПЕВГ), поліпропілену, полістиролу, полівінілхлориду у вигляді плівки (Lustosa et al., 2015, Fang et al., 2013, Fang et al., 2012, Han & Lee, 1997, Chang et al., 2017, Liiri, 2013, Zike & Kalnins, 2011, Song et al., 2016, 2017, Sorensen & Ky, 1933, Bekhta & Sedliačik, 2019).

Крім того, оскільки поліолефінові плівки можуть бути виготовлені з переробленої пластмаси, то деревинні композити на їхній основі також сприяють зменшенню пластичних відходів, що має величезні економічні, соціальні та екологічні переваги. Це дає можливість використовувати у виробництві деревинних композитів не лише первинні термопластичні полімери, але й вторинні полімери (відходи) (Borysiuk et al., 2010, Climenhage, 2003, Yorur, 2016, Kajaks et al., 2014, Smith et al., 2002, Cui et al., 2010).

В Україні фанеру виготовляють в основному з використанням березового шпону, тоді як багато зазначених вище робіт присвячені склеюванню лущеного шпону таких порід як тополя, червоне дерево, ялина, сосна та евкаліпт за допомогою термопластичних полімерів. Березовий лущений шпон намагалися склеїти за допомогою полістиролу та відходів термопластів (Borysiuk et al., 2010, Kajaks et al., 2014, Zike & Kalnins, 2011).

Виконані експериментальні дослідження присвячені вирішенню *актуальної проблеми* – виробництва деревинного композиту (фанери) на основі нетоксичних клеючих матеріалів. У способі виго-

товлення екологічно чистих деревинних композитних матеріалів на основі шпону завдяки тому, що замість рідкого синтетичного клею використовують термопластичну плівку, досягається зменшення токсичності готового матеріалу, скорочення циклу виготовлення композитних матеріалів, підвищення культури виробництва, зменшення втрат синтетичних клеїв, відпадає потреба в чищенні обладнання для нанесення клею (за його відсутності).

Матеріали та методика досліджень. Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення фанери з використанням як клею термопластичної плівки поліетилену низької густини (ПЕНГ). Предмет дослідження – закономірності впливу витрати термопластичної плівки і температури пресування на властивості фанери. Мета дослідження – з'ясувати фізико-механічні властивості фанери, виготовленої з використанням лущеного березового шпону, склеєного термопластичною плівкою поліетилену низької густини (ПЕНГ).

Матеріали. Для виготовлення фанери використовували лущений березовий шпон розміром $300 \times 300 \times 1,6$ мм і вологістю $6 \pm 2\%$. Листи шпону відбирали візуально без видимих дефектів. Для склеювання листів шпону використовували термопластичну плівку з поліетилену низької густини (ПЕНГ) трьох товщин – 0,025 мм, 0,069 мм та 0,138 мм. З метою отримання різної витрати плівки 130 г/м^2 , 150 г/м^2 , 170 г/м^2 та 190 г/м^2 використовували набір плівок різної товщини. Зокрема, для витрати 130 г/м^2 використано один шар плівки товщиною 0,138 мм; для витрати 150 г/м^2 – два шари плівки товщиною 0,138 мм та 0,025 мм; 170 г/м^2 – три шари плівки товщиною 0,138 мм та два шари плівки 0,025 мм; 190 г/м^2 – два шари плівки товщиною 0,138 мм та 0,069 мм. У табл. 1 наведено основні властивості термопластичної плівки ПЕНГ.

Таблиця 1

Властивості поліетиленової плівки ПЕНГ

Параметр	Значення
Товщина плівки, δ , мм	1* – $0,025 \pm 0,002$; 2* – $0,069 \pm 0,002$; 3* – $0,138 \pm 0,003$;
Густина, ρ^{20} , г/см^3	1 – 0,911; 2 – 0,907; 3 – 0,916;
Температура плавлення, $T_{\text{пл}}$, °C	1 – 114 (105 – початок плавлення); 2 – 110 (103 – початок плавлення); 3 – 112 (108 – початок плавлення).

Примітка. 1*, 2*, 3* – поліетиленові плівки (ПЕНГ).

Термопластичні плівки формували таких самих розмірів, що й листи шпону. Для порівняння результатів використовували карбамідо-формальдегідний клей, який готували відповідно з рецептом виробництва. Як затверджувач використовували 20%-ий розчин NH_4Cl , як наповнювач – каолін.

Виготовлення зразків фанери. Для виготовлення п'ятишарової фанери листи шпону у пакеті вкладали за взаємно перпендикулярним напрямком волокон деревини у суміжних шарах. Між суміжними листами шпону вкладали термопластичну плівку (замість нанесення шару рідкого клею) (рис. 2). Карбамідо-формальдегідний клей під час формування пакета шпону наносили за допомогою валика вручну.

Рис. 2. Технологічний процес формування пакета шпону та його пресування

Сформований пакет шпону подавали в прес для гарячого пресування за наступними режимними параметрами (табл. 2).

Температура пресування пакетів шпону залежить від виду клею, зокрема від температури плавлення термопластичних плівок. Значення температур плавлення ПЕНГ знаходиться в межах $110\text{--}114^\circ\text{C}$, тому температура гарячого пресування має бути вищою ніж 114°C , щоб полімер добре розтікався по поверхні і проникав всередину шпону (Suberliak & Bashtannik, 2006). Також не рекомендується склеювати фанеру за температури вище 200°C , оскільки відбувається термічне розкладання компонентів деревини, що призводить до зменшення когезійної міцності клейового з'єднання (Gupalo, 1993).

Після гарячого пресування зразки фанери, виготовленої на основі термопластичних полімерів, піддавали стадії холодного пресування за кімнатної температури протягом 5 хв, щоб не допустити їх жолоблення. Для кожного режиму склеювання листів шпону з використанням термопластичної плівки та карбамідо-формальдегідного клею, було виготовлено три зразки фанери, які після склеювання кондиціювали 7 діб ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 65 \pm 5\%$). З кожної фанери вирізали зразки для визначення вологості, щільності, водопоглинання та набрякання після витримки у воді впродовж 24 год, межі міцності на зріз, межі міцності на згин та модуль пружності.

Визначення властивостей фанерних зразків. Товщину, щільність, вологість, водопоглинання і набря-

кання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год, міцність на зріз, межу міцності на статичне згинання та модуль пружності визначали відповідно до стандартів (EN 323 (1993), EN 310 (1993), EN 314-1 (2004), EN 314-2 (1993), EN 317 (1993)). Перед початком визначення водопоглинання після витримки у воді впродовж 24 год зразки фанери зважували, а для визначення набрякання після витримки у воді впродовж 24 год – заміряли товщину та занурювали у дистильовану воду на 24 год. Після замочування зразки виймали, залишки води приби-

рали фільтрувальним папером і зважували з точністю до 0,01 г – для визначення водопоглинання після витримки у воді впродовж 24 год. Також заміряли товщину зразків з точністю до 0,001 мм – для визначення набрякання після витримки у воді впродовж 24 год. Для визначення вологості зразки фанери зважували з точністю до 0,01 г і висушували у сушильній шафі з природною циркуляцією повітря за температури $103 \pm 2^\circ\text{C}$ до постійної маси. Після охолодження в ексікаторі з безводним хлористим кальцієм зразки зважували з тією ж точністю.

Таблиця 2

Умови виробництва фанери

Випробування	Умови виробництва фанери				
	Вид клею	Витрата клею, г/м ²	Температура пресування, °C	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв
1	ПЕНГ	130, 150, 170, 190	140, 160, 180	1,8	6,5
2	КФ-МТ	110	110		

Щільність зразків визначали їх зважуванням та замірюванням лінійних розмірів. Вимірювання товщини зразка розміром $50 \times 50 \times S$ мм здійснювали у точці перетинання діагоналей з точністю до 0,01 мм. Довжину і ширину зразків вимірювали відповідно до поперечної і повздовжньої осей з точністю до 0,1 мм.

Для випробування зразків фанери на міцність на зріз, їх попередньо замочували у воді кімнатної температури впродовж 24 год.

Визначення межі міцності на згин здійснювали навантаженням на взірець з постійною швидкістю до руйнування і фіксуванням максимального навантаження з точністю до 1 %. Модуль пружності визначали замірюванням прогинання центральної частини зразка, досягнувши зусилля $F_1 = 10\%$ та $F_2 = 40\%$ максимального навантаження.

Спресування фанери C (%) обчислювали за формулою:

$$C = \left(1 - \frac{S_\phi}{S_n} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де S_n – товщина пакета шпону до склеювання, мм;

S_ϕ – товщина фанери, мм.

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

Результати досліджень. Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на фізичні і механічні властивості фанери проаналізовано за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA). Цей аналіз здійснювали за допомогою програми SPSS версії 22 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Отримані результати підсумовані в табл. 3.

Для визначення значущості впливу температури пресування та витрати термопластичної плівки на фізико-механічні властивості фанери, використовували тест множинних діапазонів Дункана з різницею між групами.

Групи з однаковими літерами в кожному стовпчику вказують, що між значеннями фізико-механічних показників фанери, згідно з тестом Дункана, немає статистичної різниці ($p \geq 0,05$). Результати множинного діапазону Дункана для зразків фанери, склеєної з плівкою ПЕНГ, порівнювали також із зразками фанери, склеєної КФК (табл. 6).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на товщину, спресування та щільність фанери. Метою замірювання товщини фанери було вибрати параметри пресування, за якими товщина фанери знаходилася в допустимих межах, щоб уникнути зайвої витрати сировини. Товщина фанери повинна відповідати Європейському стандарту EN 315. Згідно стандарту, середнє значення товщини фанери, склеєної з п'яти листів лущеного шару, має складати 6,5 мм і знаходитися у межах від 5,91 до 7,50 мм. У цьому дослідженні значення товщини фанери були 7,36 мм для зразків, виготовлених з використанням карбамідо-формальдегідного клею і, відповідно, 7,46-7,79 мм для зразків, виготовлених з використанням термопластичної плівки. Середні значення товщини та спресування зразків фанери наведені у табл. 7.

Аналіз ANOVA показав, що температура пресування, витрата та вид клею суттєво впливають на товщину фанери, тоді як на величину спресування фанери – тільки температура пресування та вид клею. На щільність фанери має суттєвий вплив лише вид клею (див. табл. 7).

Таблиця 3

Значення змінних параметрів у визначенні фізичних та механічних властивостей фанери, виготовленої з термопластичної плівки ПЕНГ за ANOVA

Залежні змінні	Товщина фанери		Спресування фанери		Щільність фанери		Вологість фанери		Водопоглинання фанери	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Витрата	124,273	0,000*	2,319	0,101**	0,110	0,954**	10,653	0,000*	33,773	0,000*
Температура	75,438	0,000*	51,164	0,000*	0,315	0,730**	11,998	0,000*	2,344	0,098**
Витрата × Температура	1,973	0,110**	0,119	0,993**	0,088	0,997**	1,614	0,150**	5,208	0,000*

Залежні змінні	Набрякання фанери		Міцність на зріз		Межа міцності на статичний згин		Модуль пружності	
	F	P	F	P	F	P	F	P
12	13	14	15	16	17	18	19	20
Витрата	3,138	0,026**	2,285	0,080**	43,487	0,000*	12,537	0,000*
Температура	77,644	0,000*	3,005	0,052**	65,585	0,000*	47,282	0,000*
Витрата × Температура	0,479	0,823**	0,471	0,829**	19,143	0,000*	3,623	0,003*

Таблиця 4

Значення змінного параметру клею у визначенні фізичних та механічних властивостей фанери за ANOVA

Залежні змінні	Товщина фанери		Спресування фанери		Щільність фанери		Вологість фанери		Водопоглинання фанери	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Клей	29,720	0,000*	38,439	0,000*	25,221	0,000*	147,448	0,000*	54,266	0,000*

Залежні змінні	Набрякання фанери		Міцність на зріз		Межа міцності на статичний згин		Модуль пружності	
	F	P	F	P	F	P	F	P
12	13	14	15	16	17	18	19	20
Клей	11,301	0,000*	64,865	0,000*	11,429	0,000*	6,030	0,000*

Примітка. F – значення F; * – суттєва різниця на рівні 5% ($P \leq 0,05$); ** – несуттєва різниця.

Таблиця 5

Тест Дункана для зразків фанери, виготовлених з плівки ПЕНГ

№ з.п.	Витрата плівки, г/м ²	Середнє значення	Група	Температура пресування, °C	Середнє значення	Група
1	2	3	4	5	6	7
Фізико-механічні властивості фанери						
Товщина, мм						
1	130	7,52	A	140	7,71	B
	150	7,57	B	160	7,60	A
	170	7,69	C	180	7,58	A
	190	7,74	D			

Продовж. табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
Спресування, %						
2	130	9,54	В	140	9,05	А
	150	9,44	А, В	160	9,51	В
	170	9,38	А, В	180	9,72	С
	190	9,35	А			
Щільність, кг/м³						
3	130	675,04	А	140	675,28	А
	150	672,83	А	160	672,46	А
	170	672,26	А	180	671,38	А
	190	672,03	А			
Вологість, %						
4	130	4,77	В	140	4,66	В
	150	4,30	А	160	4,26	А
	170	4,26	А	180	4,17	А
	190	4,12	А			
Водопоглинання за 24 год, %						
5	130	40,20	С	140	38,33	А
	150	38,38	В	160	38,85	В
	170	38,24	В	180	38,46	А, В
	190	37,36	А			
Набрякання за 24 год, %						
6	130	10,95	А, В	140	10,25	А
	150	11,25	В	160	10,78	В
	170	10,82	А	180	12,23	С
	190	11,32	В			
Міцність на зріз, МПа						
7	130	1,49	А	140	1,50	А
	150	1,55	А, В	160	1,59	А, В
	170	1,58	А, В	180	1,61	С
	190	1,63	В			
Межа міцності на статичний згин, МПа						
8	130	96,97	А	140	97,99	А
	150	112,74	С	160	109,83	В
	170	106,82	В	180	110,50	В
	190	107,90	В			
Модуль пружності, МПа						
9	130	10709,95	А	140	10552,69	А
	150	11841,39	С	160	1198,37	В
	170	11154,04	В	180	12198,87	С
	190	11561,21	С			

Таблиця 6

Тест Дункана для зразків фанери, виготовлених з плівки ПЕНГ та КФК

Фізико-механічні властивості фанери						
№ з.п.	Товщина, мм					
1	2	3	4	5	6	7
1	Клей	КФ-МТ ¹	ПЕНГ130 ²	ПЕНГ150 ³	ПЕНГ170 ⁴	ПЕНГ190 ⁵
	Середнє значення	7,36	7,52	7,57	7,69	7,74
	Група	А	В	В	С	С

Продовж. табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
Спресування, %						
2	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 6,99 А	ПЕНГ190 9,35 В	ПЕНГ170 9,38 В	ПЕНГ150 9,44 В	ПЕНГ130 9,54 В
Щільність, кг/м³						
3	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ190 672,03 А	ПЕНГ170 672,26 А	ПЕНГ150 672,83 А	ПЕНГ130 675,04 А	КФ-МТ 748,73 В
Вологість, %						
4	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ190 4,12 А	ПЕНГ170 4,26 А	ПЕНГ150 4,30 А	ПЕНГ130 4,77 В	КФ-МТ 8,63 С
Водопоглинання за 24 год, %						
5	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 34,09 А	ПЕНГ190 37,36 В	ПЕНГ170 38,24 С	ПЕНГ150 38,38 С	ПЕНГ130 40,20 D
Набрякання за товщиною за 24 год, %						
6	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 9,08 А	ПЕНГ170 10,82 В	ПЕНГ130 10,95 В	ПЕНГ150 11,24 В	ПЕНГ190 11,32 В
Міцність на зріз, МПа						
7	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 1,49 А	ПЕНГ150 1,55 А	ПЕНГ170 1,58 А	ПЕНГ190 1,63 А	КФ-МТ 2,89 В
Межа міцності на статичний згин, МПа						
8	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 96,97 А	ПЕНГ170 106,82 В	ПЕНГ190 107,90 В	КФ-МТ 109,29 В	ПЕНГ150 112,74 В
Модуль пружності, МПа						
9	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 10709,95 А	ПЕНГ170 11154,04 А, В	ПЕНГ190 11561,21 В, С	ПЕНГ150 11841,39 С	КФ-МТ 12002,82 С

Примітка. КФ-МТ¹ – карбамідо-формальдегідний клей; ПЕНГ130², ПЕНГ150³, ПЕНГ170⁴, ПЕНГ190⁵ – відповідно термопластична плівка поліетилену низької густини з витратою 130, 150, 170 та 190 г/м².

Таблиця 7

Значення товщини, спресування та щільності фанери

Вид клею	Режим пресування				Товщина, мм	Спресування, %	Щільність, кг/м³
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °C	Витрата клею, г/м²			
1	2	3	4	5	6	7	8
КФК¹			110	110	7,36	6,98	748,73
ПЕНГ²	1,8	6,5	140	130	7,62	9,16	680,96
				150	7,68	9,06	673,74
				170	7,77	9,02	673,48
				190	7,79	8,97	672,95

Продовж. табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8
ПЕНГ ²	1,8	6,5	160	130	7,48	9,65	672,85
				150	7,53	9,54	672,87
				170	7,67	9,45	671,96
				190	7,74	9,39	672,18
			180	130	7,46	9,79	671,31
				150	7,51	9,72	671,88
				170	7,66	9,67	671,35
				190	7,70	9,68	670,97

Примітка. КФК¹ – карбамідо-формальдегідний клей; ПЕНГ² – поліетилен низької густини.

Середня товщина зразків фанери, склеєних термопластичною плівкою, виготовлених за різної температури та витрати клею, перевищує товщину контрольних зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм. Встановлено, що найменшу товщину (7,36 мм), найменше спресування (6,98%) та найбільшу щільність (748,73 кг/м³) мали зразки фанери, склеєної КФК. Дещо більшу товщину (7,79 мм), найбільше спресування (9,79%) та найменшу щільність (670,97 кг/м³) мали зразки фанери, склеєної ПЕНГ. Цей факт можна пояснити низькою витратою КФК (110 г/м²) через значну величину висихання клею. У зв'язку з цим, шви з КФК повинні бути більш тонкими і рівномірними за товщиною. Відповідно до цього, зразки фанери, склеєної КФК, матимуть низькі значення товщини та спресування. Дещо менші значення щільності зразків фанери, склеєних ПЕНГ, пояснюються найменшими значеннями їхньої вологості (до 5,29%).

Своєю чергою, поступове збільшення витрати ПЕНГ – від 130 до 190 г/м² впливає на збільшення

товщини фанери, а поступове підвищення температури пресування від 140 до 180°C – на зменшення товщини фанери (табл. 7). Тобто, чим більша витрата термопластичної плівки, тим більша буде товщина утвореного клейового шару (плівки) між листами шпону. Крім того, із збільшенням температури пресування плівка ПЕНГ стає еластичнішою, відповідно, легше стискається, і тим самим збільшується величина спресування (табл. 7).

Вплив параметрів пресування на товщину зразків фанери підтверджується їх значимістю на основі тесту Дункана (див. табл. 5, 6), тобто спресування залежатиме лише від температури (див. табл. 3). Встановлено, що різниця у значеннях щільності зразків фанери є незначною ($p \geq 0,05$), а тому залежить лише від виду клею (див. табл. 3, 6).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на вологість, водопоглинання та набрякання фанери. Середні значення вологості, водопоглинання та набрякання зразків фанери представлені у табл. 8.

Таблиця 8

Значення вологості, водопоглинання та набрякання фанери

Вид клею	Режим пресування				Вологість, %	Водопоглинання за 24 год, %	Набрякання за 24 год, %
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °C	Витрата клею, г/м ²			
ПЕНГ	1,8	6,5	110	110	8,63	34,09	9,08
				130	5,29	39,69	10,15
				150	4,58	38,22	10,41
				170	4,54	37,95	9,90
			140	190	4,22	37,45	10,53
				130	4,39	41,53	10,79
				150	4,25	39,10	10,95
				170	4,25	37,89	10,34
			160	190	4,17	36,89	11,03
				130	4,63	39,38	11,92
				150	4,08	37,82	12,38
				170	3,99	38,89	12,21
			180	190	3,97	37,74	12,40

Встановлено, що значний вплив на вологість зразків фанери, склеєних термопластичними плівками, має температура пресування, витрата та вид клею ($p \leq 0,05$). Вологість фанери, склеєної на основі КФК, становить 8,63%, тоді як для фанери, склеєної на основі плівки ПЕНГ, волога знаходиться в межах від 3,97 до 5,29% (див. табл. 8). Насамперед, це можна пояснити низькою температурою пресування – 110°C для зразків фанери, склеєних КФК і, як наслідок, зростання температури всередині пакету шпона, що збільшує інтенсивність виділення вологи. Крім того, відбувається додаткове внесення вологи у пакет шпону карбамідо-формальдегідним клеєм, що є відсутнім у випадку використання термопластичних плівок. Більше того, із збільшенням температури пресування та витрати полімеру вологість фанери зменшується (див. табл. 8). На такий характер залежностей впливає здатність термопластичного полімеру під час склеювання листів шпону проникати в судини шпону, утворюючи механічне блокування шляхом формування ґратки в клейових шарах по всій діагоналі, не блокуючи структури деревини, тому волога легко може виходити із шпону через судини та волокна, розташовані поздовжньо (Lustosa et al., 2015, Goto et al., 1982, Kajaks et al., 2012). Відповідно, чим більша витрата ПЕНГ, тим більша його кількість проникатиме у шпон, і таким чином виштовхуватиме вологу із поверхні шпону.

Витрата клею, співвідношення витрати клею і температури та вид клею суттєво впливають на водопоглинання фанери після витримки у воді впродовж 24 год ($p \leq 0,05$). Невеликий приріст водопоглинання зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєних ПЕНГ (від 9,9 до 12,4%), порівняно із зразками фанери, склеєними КФК (9,08%), спостерігається у разі збільшення

температури пресування та зменшення витрати полімеру, що можна пояснити наслідком більшого спресування фанери.

Подібні закономірності спостерігаються і під час дослідження набрякання за товщиною зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год. Згідно тесту множинного діапазону Дункана, не існує статистичної різниці між значеннями набрякання фанери, склеєної ПЕНГ за різної витрати полімеру (див. табл. 5). Своєю чергою, суттєвий вплив на набрякання за товщиною зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год чинить температура пресування та вид клею (див. табл. 3, 4). Відповідно, набрякання зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєних ПЕНГ, дещо збільшується порівняно із зразками фанери, склеєними КФК (на 8,28-26,77%), у разі збільшення температури пресування, як наслідок більшого спресування фанери (див. табл. 8).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на міцність на зріз, межу міцності на згин і модуль пружності фанери. Середні значення межі міцності на зріз, межі міцності на згин і модуль пружності зразків фанери наведено у табл. 9.

За результатами досліджень зразки фанери, склеєні термопластичною плівкою, дещо відрізняються від зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, за значенням межі міцності на зріз. Незважаючи на відмінність між отриманими показниками міцності на зріз для КФК (2,89 МПа) та ПЕНГ (1,46-1,69 МПа), зразки фанери, склеєні термопластичною плівкою, мають досить високі показники міцності на зріз, які перевищують нормативне значення міцності в 1,0 МПа згідно стандарту EN 314-2.

Таблиця 9

Значення межі міцності на зріз та згин, модуля пружності фанери

Вид клею	Режим пресування				Міцність на зріз, МПа	Межа міцності на згин, МПа	Модуль пружності, МПа
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °С	Витрата клею, г/м²			
КФК	1,8	6,5	110	110	2,89	109,29	12002,82
ПЕНГ			140	130	1,46	94,76	9786,71
				150	1,47	97,41	10525,37
				170	1,49	98,98	10422,44
				190	1,58	100,84	11476,28
				130	1,56	105,83	10502,63
			160	150	1,57	118,32	12070,65
				170	1,58	110,30	11077,61
				190	1,65	104,87	11142,57
				180	130	1,47	90,34
			150		1,61	122,49	12928,14
			170		1,69	111,17	11962,07
			190		1,67	118,00	12064,79

Дещо вище значення міцності на зріз фанери, виготовленої з використанням карбамідоформальдегідного клею, можна пояснити вищою її щільністю ($748,73 \text{ кг/м}^3$) порівняно з фанерою, виготовленою з використанням термопластичних плівок ($670,97\text{--}680,96 \text{ кг/м}^3$). Із збільшенням температури пресування зразків фанери та витрати термопластичного клею, межа міцності на зріз для зразків фанери, склеєних ПЕНГ, зростає (див. табл. 9). Цю тенденцію можна пояснити тим, що зі збільшенням

температури клейового шару (плівки) зумовлюється перехід полімеру із високоеластичного стану у в'язкотекучий ($T_m - T_g$), посилюється тепловий рух молекул і покращується процес проникнення рідкого полімеру в порожнини шпону, утворюючи механічне блокування (рис. 3). Відповідно, із збільшенням витрати термопластичної плівки, більша кількість рідкого полімеру проникає в шпон і заповнює більшу кількість його клітин та судин, що, своєю чергою, сприяє збільшенню міцності на зріз.

Рис. 3. Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування

Щоб вивчити розподіл температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, необхідної для розтікання термопластичного полімеру ПЕНГ на поверхні шпону, було застосовано термопару, яку під час формування пакета шпону розміщували всередині пакета та підключали до цифрового мультиметра. Після розміщення пакета шпону в гарячому пресі в момент зімкнення плит преса включали секундомір. Температуру всередині пакета фіксували кожну секунду до того часу, поки вона не досягла температури пресування. Найповільніше прогрівався пакет шпону, склеєний карбамідоформальдегідним клеєм за температури 110°C . Всередині пакета шпону температура пресування була досягнута впродовж 170 с, тоді як для пакета шпону, склеєного термопластичними плівками за температур $140\text{--}180^\circ\text{C}$, час пресування становив 45–115 с, оскільки більшою була температура пресування.

Важливим чинником у виробництві фанери, склеєної термопластичними плівками, є їх температура плавлення (див. табл. 1). Температура плавлення всередині пакета шпону була досягнута за 120–125 с, 75–85 с та 60–80 с, відповідно для температур пресування 140, 160, 180°C та витрати полімеру від 130 до 190 г/м^2 . Зі збільшенням температури пресування швидкість нагрівання пакета шпону зростає, а зі збільшенням витрати клею – зменшується. Тривалість прогрівання пакета шпону, склеєного термопластичною плівкою ПЕНГ, залежно від температури пресування та витрати полімеру, складала 250–370 с (4,2–6,12 хв).

Під час випробувань зразків фанери на міцність на зріз було підтверджено відсутність хімічних зв'язків між плівкою та деревиною, оскільки елементи деревини можна легко відокремити від шару клею після короточасного занурення у воду. Таким чином, міцність клейового з'єднання, отримана під час механічного випробування, свідчить про механізм механічного закріплення полімеру, який проникає в різні елементи деревини та просвіти в шпоні (рис. 4).

Рис. 4. Зразки фанери, склеєні КФ-МТ та ПЕНГ, для визначення міцності на зріз

Досить цікавою є поведінка термопластичного полімеру з витратою 130 та 190 г/м^2 за температури пресування 180°C . Спостерігалось зменшення показника міцності на зріз за витрати клею в 130 г/м^2 і температури пресування 180°C , що можливе через збільшення температури пресування, яка пришвидшує процес проникнення полімеру в порожнини шпону, тим самим зменшуючи його

кількість між поверхнями шпону. Аналогічне зменшення показника міцності на зріз було спостережено за витрати клею в 190 г/м^2 та температури пресування 180°C , що спричинено занадто високою витратою полімеру. Як наслідок, під час пресування частина розплавленої плівки витікала з фанери, відповідно, не вистачило плівки для склеювання листів шпону.

Враховуючи той факт, що вплив параметрів пресування на межу міцності на зріз фанери є несуттєвим ($p \geq 0,05$), а також беручи до уваги споживчі потреби в електроенергії, то, як наслідок, температура пресування 160°C буде економічно вигіднішою.

Отримані значення межі міцності на статичний згин та модуля пружності фанери з використанням термопластичної плівки співставні зі значеннями межі міцності на статичний згин та модулем пружності фанери з використанням карбамідо-формальдегідного клею.

Температура, витрата клею та вид клею суттєво впливають на межу міцності на статичний згин і модуль пружності фанери ($p \leq 0,05$). Середнє значення межі міцності на згин для зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, становить $109,29 \text{ МПа}$, а для зразків фанери, склеєних термопластичними плівками – $90,34\text{--}122,49 \text{ МПа}$ (див. табл. 9). Поряд з цим, середнє значення модуля пружності для зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, становить $12002,82 \text{ МПа}$, а для зразків фанери, склеєних термопластичними плівками, – $9786,71\text{--}12928,14 \text{ МПа}$ (див. табл. 9).

Однак варто зазначити, що встановлені експериментальні залежності модуля пружності практично подібні до залежностей межі міцності на статичний згин, тому що вплив досліджуваних чинників на обидва показники в основному однаковий. Із збільшенням температури пресування та витрати термопластичних плівок межа міцності на згин та модуль пружності зростають подібно до міцності на зріз. Найменше значення межі міцності на згин ($90,34 \text{ МПа}$) було отримане для зразків фанери, склеєних за температури 180°C та витрати полімеру 130 г/м^2 . За тих же умов пресування було зафіксовано низьке значення міцності на зріз. Тому, з економічної погляду, доцільнішим є гаряче пресування листів шпону, склеєних термопластичними плівками за температури 160°C .

Висновки. Фанера, виготовлена з використанням термопластичної плівки ПЕНГ, має добрі показники щільності, вологості, водопоглинання та набрякання після витримки у воді впродовж 24 год, міцності на зріз, межі міцності на згин і модуля пружності.

Щільність досліджуваної фанери, склеєної ПЕНГ, зменшується незначно і не залежить від впливу температури пресування та витрати плівки.

За витрати полімеру 130 г/м^2 і температури пресування 140°C вологість фанери, склеєної ПЕНГ, є найбільшою – $5,29\%$; меншою ($3,97\%$) вона є у фанери, склеєної за витрати полімеру 190 г/м^2 і температури пресування 180°C .

Невеликий приріст водопоглинання фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєної ПЕНГ, (від $9,9$ до $12,4\%$) порівняно зі зразками фанери, склеєними КФК ($9,08\%$), спостережено у разі збільшення температури пресування та зменшення витрати полімеру.

Набрякання фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєної ПЕНГ, дещо збільшується порівняно із фанерою склеєною КФК – на $8,28\text{--}26,77\%$ у разі зростання температури пресування.

Значення межі міцності на згин ($90,34\text{--}122,49 \text{ МПа}$) та модуля пружності ($9786,71\text{--}12928,14 \text{ МПа}$) для зразків фанери, склеєних ПЕНГ, співставні зі значеннями для зразків фанери, склеєних КФК (межа міцності на згин – $109,29 \text{ МПа}$, модуль пружності – $12002,82 \text{ МПа}$). Із збільшенням температури пресування та витрати термопластичної плівки межа міцності на згин і модуль пружності зростають.

Міцність на зріз фанери, склеєної ПЕНГ щільністю від $670,97$ до $680,96 \text{ кг/м}^3$, відповідає вимогам стандарту EN 314-2. Збільшення витрати полімеру від 130 до 190 г/м^2 збільшує значення міцності на зріз від $1,46$ до $1,69 \text{ МПа}$. Поряд з цим, спостережено зменшення показника міцності на зріз для фанери, склеєної ПЕНГ, за витрати полімеру 130 і 190 г/м^2 за температури пресування 180°C .

Враховуючи той факт, що вплив параметрів пресування на міцність на зріз для фанери є несуттєвим ($p \geq 0,05$), тому з економічного погляду доцільнішим є гаряче пресування листів шпону, склеєних термопластичними плівками за температури 160°C та витрати полімеру в 130 г/м^2 .

У підсумку можна зазначити, що використання термопластичної плівки ПЕНГ замість рідкого синтетичного клею дає змогу скоротити цикл виготовлення фанери (відсутність операції приготування рідкого клею), підвищити культуру виробництва, зменшити токсичність готового матеріалу. Важливо також, що відпадає потреба у чищенні обладнання для нанесення клею.

References

- Adhesives awareness guide (2017). American wood council. Available at <http://www.woodaware.info>
- Beaud, F., Niemz, P., & Pizzi, A. (2006). Structure-property relationships in one-component polyurethane adhesives for wood: Sensitivity to low moisture content. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 4181–4192. <https://doi.org/10.1002/app.24334>
- Bekhta, P., & Sedláčik, J. (2019). Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers (Basel)*, 11 (7), 1166, 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym11071166>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0418-x>

- 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>
- Climenhage, D. (2003). *Recycled Plastic Lumber: A strategic Assessment of its production, use and future prospects*. Ontario: Environment & Plastics Industry Council
- 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>
- 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>
- 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>
- FAO. Global Production and Trade of Forest Products in 2017. Available online: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (accessed on 19 January 2019)
- 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>
- Gupalo, O. P. (1993). *Wood Chemistry*. Kyiv: NMKVO. (in Ukrainian).
- Haghdan, S., Tannert, T., & Smith, G. (2015). Wettability and impact performance of wood veneer/polyester composites. *BioResources*, 10 (3), 5633-5654. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5633-5654>
- Han, K.-S., & Lee, H.-H. (1997). Adhesion characteristics and anatomic scanning of plywood bonded by high density polyethylene. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 25 (3), 16-23 (in Korea).
- Hu, Y., Nakao, T., Nakai, T., Gu, J., & Wang, F. (2005). Vibrational properties of wood plastic plywood. *Journal of Wood Science*, 51 (1), 13-17. <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0624-9>
- 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 <https://doi.org/10.1177/147776061403000202>
- Liiri, M. (2013). Properties of a new thermoplastic plywood product. School of Chemical Technology Degree Programme of Forest Products Technology. Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, Espoo, 110 p.
- 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. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.010615>
- The basic industrial products manufacture (2000–2018). Express issue. State Statistics Service of Ukraine. Available at <http://www.ukrstat.gov.ua> (in Ukrainian).
- Matsi, M., Rohumaa, A., Piirlaid, M., Hughes, M., & Meier, P. (2010). Assessing the potential of furan polymer-based resin development in bonded veneer processing factors on adhesive bond strength. *Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE)*. Tallinn: Estonia
- Piirlaid, M., Rohumaa, A., Matsi, M., Hughes, M., & Meier, P. (2010). Effect of birch veneer processing factors on adhesive bond strength development. *Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE)*. Tallinn: Estonia
- Smith, M.J., Dai, H., & Ramani, K. (2002). Wood-thermoplastic adhesive interface—method of characterization and results. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 22 (3), 197-204. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(01\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(01)00055-0)
- 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. <https://doi.org/10.15376/biores.11.2.3318-3331>
- 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. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.228-254>
- Sorensen, R., & Ky, L. (1933). Dry film gluing in plywood manufacture. *The American Society of Mechanical Engineers*, 37-48.
- Suberliak O. V. & Bashtannik P. I. (2006). The polymeric and composite materials processing technology. Kyiv: ISDO (in Ukrainian).
- World Health Organization. (2004). IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. International Agency for Research on Cancer. Available at www.iarc.fr/ENG/Press-Releases/archives/pr153a
- Yorur, H. (2016). Utilization of waste polyethylene and its effects on physical and mechanical properties of oriented strand board. *BioResources*, 11 (1), 2483-2491. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.2483-2491>
- Zike, S., & Kalnins, K. (2011). Enhanced impact absorption properties of plywood. *Civil Engineering' 11 3rd International Scientific Conference*

- Proceedings, Vol. 3*, 125-130. Jelgava, Latvia: University of Agriculture
- TU U 33.2-30291682-002 (2004). The «Microtech» Micrometers. Technical conditions of the private research and production enterprise company «Mikroteh»: Kharkiv, Ukraine (in Russian).
- GOST 15139 (1969). Plastics. Density determination methods (mass density); The state standard of the USSR: Moscow, Russia (in Russian).
- GOST 21553 (1976). Plastics. Plastics. Melting temperature determination methods; An International standard: Moscow, Russia (in Russian).
- EN 323 (1993). Wood-Based Panels-Determination of Density; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 310 (1993). Wood-Based Panels-Determination of Modulus of Elasticity in Bending and of Bending Strength; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 314-1 (2004). Plywood-Bonding Quality-Part 1: Test Methods; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 314-2 (1993). Plywood-Bonding Quality-Part 2: Requirements; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 317 (1993). Particleboards and Fibreboards. Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 315 (2000). Plywood. Tolerances for Dimensions; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium

Свойства фанеры с использованием как клея термопластичной пленки

П. А. Бэхта¹, И. И. Кусняк²

Предложено использование термопластичной пленки низкой плотности (ПЭНП) в производстве фанеры вместо классических синтетических клеев, что позволяет получать экологически чистый материал. Способность термопластичной пленки склеивать шпон оценивали определением прочности фанеры на срез. Кроме того, исследованы и другие физико-механические свойства фанеры, в

частности, влажность, водопоглощение и набухание по толщине после выдержки в воде в течение 24 ч, предел прочности при статическом изгибе и модуль упругости. Переменными параметрами в исследовании были температура прессования 140°C, 160°C, 180°C и расход термопластичной пленки 130, 150, 170 и 190 г/м². Для сравнения свойств фанеры, изготовленной из термопластичной пленки, было изготовлено фанеру с использованием карбамидо-формальдегидного клея.

Результаты показали, что склеивание листов шпона ПЭНП положительно влияет на свойства фанеры. Плотность исследуемой фанеры, склеенной ПЭНП, уменьшается незначительно и не зависит от влияния температуры прессования и расхода пленки. При расходе полимера в 130 г/м² и температуры прессования 140°C влажность фанеры, склеенной ПЭНП, несколько выше – 5,29%. Меньшая влажность (3,97%) обнаружена у фанеры, склеенной при расходе полимера в 190 г/м² и температуры прессования 180°C. Небольшой прирост водопоглощения фанеры после выдержки в воде в течение 24 ч, склеенной ПЭНП (от 9,9 до 12,4%), по сравнению с образцами фанеры, склеенными КФК (9,08%) наблюдается при увеличении температуры прессования и уменьшении расхода полимера. Набухание фанеры после выдержки в воде в течение 24 ч, склеенной ПЭНП, несколько увеличивается по сравнению с фанерой, склеенной КФК (на 0,82-3,32%) при увеличении температуры прессования. Значение предела прочности на изгиб (90,34-122,49 МПа) и модуля упругости (9786,71-12928,14 МПа) для образцов фанеры, склеенных ПЭНП, сопоставимы со значениями для образцов фанеры, склеенных КФК (предел прочности при изгибе – 109,29 МПа, модуль упругости – 12002,82 МПа). Предел прочности на срез фанеры, склеенной ПЭНП плотностью от 670,97 до 680,96 кг/м³, соответствует требованиям стандарта EN 314-2. Увеличение расхода полимера от 130 до 190 г/м² увеличивает значение предела прочности на срез от 1,46 до 1,69 МПа.

Температура прессования заметно влияет на проникновение полимера в клетки и сосуды шпона. На этом основании было установлено распределение температуры внутри пакета шпона с различным расходом и видом клея. Оптимальными условиями для склеивания листов шпона в производстве фанеры, учитывая толщину фанеры и экономические затраты, является температура прессования 160°C и расход термопластичной пленки в 130 г/м².

Необходимо отметить, что использование термопластичной пленки ПЭНД вместо жидкого синтетического клея позволяет сократить цикл изготовления фанеры (отсутствие операции приготовления жидкого клея), повысить культуру производства, уменьшить токсичность готового материала и отпадает необходимость в чистке оборудования для нанесения клея (при его отсутствии).

Ключевые слова: лущенный шпон; полиэтилен низкой плотности (ПЭНП); карбамидо-формальдегидный клей; толщина; влажность;

¹ Бэхта Павло Антонович – академик Лесной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-238-44-99, E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>.

² Кусняк Ирына Ивановна – ассистент кафедры технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-238-44-99, + 38-093-622-18-08. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>.

спрессованные; плотность; водопоглощение; набухание; предел прочности на срез; предел прочности при статическом изгибе; модуль упругости.

The properties of plywood with thermoplastic film using as glue

P. Bekhta¹, I. Kusniak²

Using of low density polyethylene thermoplastic film (LDPE) in the plywood production instead of classic synthetic adhesives enabling environmentally friendly material is proposed. The ability of the thermoplastic film to glue veneer was evaluated by determining the shear strength of the plywood. Furthermore, other physical and mechanical plywood properties were studied, in particular, moisture, water absorption and thickness swelling after soaking in water for 24 h, the bending strength and the modulus of elasticity in bending. Variable parameters in the research were the pressing temperature of 140°C, 160°C, 180°C and the thermoplastic film dosage 130 g/m², 150 g/m², 170 g/m² and 190 g/m². The plywood using urea-formaldehyde adhesive (UFA) was made to compare with the plywood properties made of thermoplastic film.

The results showed that gluing the sheets of veneer LDPE has a positive effect on the plywood properties. The density of the studied glued plywood LDPE decreases slightly and does not depend on the influence of the pressing temperature and the film dosage. For the polymer dosage of 130 g/m² and the pressing temperature of 140°C, the moisture content of

the glued LDPE is the highest – 5,29%, less 3,97% – for the plywood glued at the polymer dosage 190 g/m² and the pressing temperature 180°C. Small increase in the plywood water absorption after soaking in water during 24 hours glued LDPE from 9,9 to 12,4% compared to the glued plywood samples of UFA – 9,08% is observed in case of pressing temperature increasing and the polymer dosage reducing. The plywood swelling after soaking in the water during 24 h glued LDPE slightly increases compared to the glued plywood UFA by 0,82-3,32% in case of the pressing temperature increasing.

The values of the bending strength (90,34-122,49 MPa) and the modulus of elasticity in bending (9786,71-12928,14 MPa) for the glued plywood samples of LDPE are comparable with the values for glued plywood samples of LDPE (the bending strength – 109,29 MPa, the modulus of elasticity in bending – 12002,82 MPa). The glued plywood shear strength of LDPE with a density from 670,97 to 680,96 kg/m³ correspond with the standard requirements EN 314-2. The polymer dosage increasing from 130 g/m² to 190 g/m² increases the tensile strength limit value from 1,46 to 1,69 MPa.

Pressing temperature significantly effects on the polymer penetration into cells and veneer vessels. On this basis, the temperature distribution inside the veneer package at different dosage and types of glue was determined.

The optimal conditions for bonding veneer sheets in the plywood production, taking into account the plywood thickness and economic costs, are the compression temperature of 160°C and the thermoplastic film dosage 130 g/m².

It should be noted that using a LDPE thermoplastic film instead of liquid synthetic glue is allowed to shorten the plywood production cycle (no operation of liquid glue preparation), increase the culture production, reduce the finished material toxicity and there is no need in cleaning equipment and the glue application (in its absence).

Key words: rotary-cut veneer; low density polyethylene (LDPE); urea-formaldehyde adhesive; thickness; humidity; compression; density; water absorption; thickness swelling; shear strength; bending strength; modulus of elasticity in bending.

¹ *Pavlo Bekhta* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, Generala Chuprynyk st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-44-99, E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

² *Iryna Kusniak* – assistant of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, Generala Chuprynyk st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: + 38-032-238-44-99. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>