

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу


УДК 674-419.32

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра на тему:

“ Дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ ”

Виконав: студент групи ТДКМ-61м спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія”

 Харчук М.О.

(підпис)


Керівник: доц. каф. ТДКМ, к.т.н.

 Кусняк І.І.

(підпис)

Рецензент: доцент, к.т.н., доцент

(посада, вчене звання, науковий ступінь)

 Гогольовський І.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Львів – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревобробних технологій і дизайну
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри 

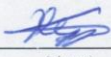
д.т.н., проф. Козак Р.О.

“ 16 ” 12 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Харчукові Миколі Олександровичу

1. Тема роботи Дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ.
керівник роботи доц. кафедри ТДКМ Кусняк Ірина Іванівна, к.т.н.,
затверджені наказом університету від “ 24 ” липня 2024 року № С-477
2. Термін подання студентом роботи 16.12.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати світове виробництво фанери, проаналізувати сировину для виробництва фанери, проаналізувати режими склеювання пакетів шпону у виробництві фанери, проаналізувати застосування вторинних термопластичних плівок у виробництві фанери, дослідити вплив породи деревини, виду і товщини плівки на процес прогрівання фанери, а також на міцність фанери на зріз.
4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)
 1. Стан питання та завдання дослідження.
 2. Методика експериментальних досліджень.
 3. Результати досліджень.
 4. Висновки
5. Дата видачі завдання 25.07.2024 р.

Студент 

(підпис)

М.О. Харчук

Керівник роботи 

(підпис)

І.І. Кусняк

Анотація

Метою дипломної роботи є дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини за допомогою вторинної термопластичної плівки ПЕНГ. Завдання полягає у визначенні температури в заданій точці пакета шпону та тривалості, необхідної для його нагрівання до певної температури, залежно від породи деревини та товщини термопластичної плівки. Процес затвердіння термопластичних полімерів має суттєві відмінності від термореактивних клеїв. Під час пресування пакетів шпону, склеєних термопластичними полімерами, відсутня надлишкова волога, а затвердіння таких полімерів відбувається після завершення процесу склеювання.

У першому розділі роботи проаналізовано проблему використання деревинної сировини та традиційних клеїв у виробництві фанери, а також режими склеювання пакетів шпону з різних порід деревини термопластичними полімерами.

У другому розділі наведено перелік обладнання та матеріалів, описано методику проведення експериментів і зняття показників.

У третьому розділі представлено результати досліджень впливу породи деревини та товщини плівки ПЕНГ(в) на тривалість прогрівання фанери. Виявлено, що порода деревини суттєво впливає на швидкість прогрівання пакета шпону, тоді як зміна товщини плівки ПЕНГ(в) не показала значних відмінностей у результатах.

Магістерська робота складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дипломної роботи складає 69 сторінок, з них 48 сторінок основного тексту, список літератури із 65 назв та 3 додатки.

Ключові слова: луцений шпон, породи деревини, фанера, прогрівання пакета шпону, термопластична плівка.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1. Світове виробництво фанери.....	7
1.2. Сировина для виробництва фанери.....	11
1.3. Аналіз режимів склеювання пакетів шпону у виробництві фанери.....	17
1.4. Аналіз застосування вторинних плівок у виробництві фанери.....	23
1.5. Висновки.....	28
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1. Матеріали та обладнання, використані в експериментальних дослідженнях.....	30
2.2. Методика досліджень товщини і температури плавлення термопластичних плівок.....	31
2.3. Методика досліджень процесу прогрівання пакетів шпону.....	33
2.3.1. Підготування листів шпону до випробування.....	33
2.3.2. Формування пакетів з листів шпону і термопластичною плівкою.....	34
2.3.3. Вимірювання температури всередині пакета шпону.....	37
2.4. Методика визначення міцності фанери на зріз.....	38
2.5. Статистична обробка результатів досліджень.....	40
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1. Вплив товщини вторинної плівки ПЕНГ на тривалість прогрівання пакета шпону.....	42
3.2. Вплив породи деревини на тривалість прогрівання пакета шпону.....	45
3.3. Вплив виду клею на тривалість прогрівання пакета шпону.....	47
3.4. Вплив породи деревини і товщини плівки на міцність фанери на зріз.....	49
3.5. Висновки.....	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТКИ	61

ВСТУП

Фанера є одним із найбільш перспективних деревинних композитів (ДК) у сфері деревообробки, завдяки своєму широкому спектру використання та відмінним фізико-механічним характеристикам. З 2009 по 2020 рік світове виробництво та споживання фанери значно зросло, збільшившись на 102,1%. [1-3].

Основним сировинним матеріалом для виробництва фанери залишається лушений шпон, причому березовий шпон є особливо цінним через свою високу міцність і стійкість до деформацій. Однак постійне збільшення попиту на фанеру призводить до того, що промисловість все частіше шукає альтернативні джерела деревини, зокрема, застосовує інші породи, як-от тополя, вільха та евкаліпт, що забезпечують додаткову гнучкість у виробництві та підтримують ресурсну стабільність.

Зростаючі екологічні та санітарні вимоги також змінюють підходи до виробництва фанери. Деревообробні підприємства змушені використовувати для виробництва деревинних композитів нетоксичні смоли та клеї, зокрема на основі карбаміду та фенолу, для того, щоб зменшити вплив шкідливих речовин. Одним із напрямків розвитку є виробництво екологічно чистої фанери, яка відповідає вимогам щодо викидів формальдегіду класу E0, що робить продукцію безпечнішою для внутрішнього використання в житлових і комерційних приміщеннях.

Також варто зазначити, що технологічний прогрес сприяє появі нових методів лушення та обробки шпону, що дозволяє підвищити ефективність використання деревини та зменшити кількість відходів, що позитивно впливає на екологію і знижує загальне навантаження на ресурси.

Тенденції глобального ринку демонструють, що попит на фанеру зростає, особливо в будівельній галузі, де вона широко використовується для створення міцних конструкцій, меблів та підлоги. Водночас, виробники активно шукають способи скорочення витрат і підвищення екологічної відповідальності, інтегруючи більш стійкі матеріали та технології виробництва.

Токсичність фанери зумовлена використанням термореактивних клеїв, таких як карбамідоформальдегідні (КФ), фенолоформальдегідні (ФФ), резорциноформальдегідні (РФ), меламіноформальдегідні (МФ), і меламінокарбамідоформальдегідні (МКФ). Незважаючи на їхні численні переваги – висока адгезія, хороша стійкість до біологічного розкладання та низькі температури затвердіння, ці клеї мають суттєвий недолік – токсичність із-за вмісту у цих клеях формальдегіду, який є небезпечним для здоров'я. Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC), частина ВООЗ, класифікує формальдегід як канцероген для людини через підтверджений зв'язок із підвищеним ризиком розвитку раку носоглотки та лейкемії [4]. Через це виникають серйозні занепокоєння щодо використання подібних клеїв у виробництві деревинних композитів, включаючи фанеру.

Останнім часом було проведено багато досліджень, спрямованих на зменшення токсичності фанери, що зумовлена використанням формальдегідних клеїв. Різні наукові підходи включають впровадження як первинних термопластичних плівок, так і вторинних матеріалів, таких як пластикові відходи, які не містять шкідливого формальдегіду. Використання вторинних термопластичних полімерів у виробництві фанери стає привабливим через їхню здатність знижувати забруднення довкілля та зменшувати витрати виробництва. Більшість досліджень у цій галузі фокусуються на фізико-механічних властивостях готового продукту, розробляючи оптимальні умови склеювання шпону [5]. На відміну від термореактивних клеїв, термопластичні полімери затвердівають після процесу пресування, що виключає наявність надлишкової вологи. Це вимагає додаткового дослідження процесу прогрівання пакетів шпону різної породи деревини, склеєних різною товщиною вторинною полімерною плівкою.

Метою даної роботи є дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ, що дає змогу визначити як температуру в заданій точці пакета шпону, так і тривалість, потрібну для нагрівання пакета шпону до заданої температури, залежно від породи деревини та товщини полімерної плівки.

Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Світове виробництво фанери

Виробництво фанери є складним процесом, який, попри значні зусилля, дозволяє отримати високоякісний матеріал з відмінними характеристиками. Він передбачає обробку деревини, контроль вологості і якості лушеного шпону, а також правильно підібраний режим пресування пакетів шпону і кінцеву обробку фанери. Хоча в Україні технології фанерного виробництва часто залишаються застарілими, дедалі більше підприємств починають запроваджувати сучасні підходи, спрямовані на покращення процесів.

Важливою складовою цього процесу є професійна підготовка працівників, яка значно впливає на кінцеву якість продукції. Це сприяє не лише вдосконаленню технологій, але й ефективнішому використанню ресурсів та матеріалів, що поступово підвищує конкурентоспроможність України на міжнародному ринку деревинних композитів.

Фанера є одним з основних видів ДК, складаючись із декількох шарів тонкого лушеного шпону, склеєних перпендикулярно для забезпечення високої міцності та стійкості до деформацій. Це робить її універсальною у застосуванні, зокрема в будівництві та виробництві меблів.

Зазвичай для виробництва фанери використовуються м'які породи деревини, проте в Україні особливо цінується березова фанера, яка відзначається високими експлуатаційними характеристиками та привабливим зовнішнім виглядом, що робить її надзвичайно популярною в різних сферах промисловості.

Фанера міцно займає позиції одного з найзатребуваніших матеріалів у виробництві меблів. Високі естетичні якості, різноманітність товщин та легкість обробки роблять її незамінною для створення широкого спектру меблевих виробів. Незважаючи на економічні виклики, ринок фанери продовжує демонструвати стабільне зростання як в Україні, так і на світовій арені.

Зростання світового виробництва фанери в період з 2016 по 2020 рік досягло 101,25 %, що становило приріст у 1,25 % і обсяги 118,4 млн. м³. Споживання фанери зросло на 0,4 %, досягнувши 117 млн. м³ [6]. В Європі

виробництво фанери у 2018 році склало 9,9 млн. м³, а обсяги імпорту сягнули 8,2 млн. м³ (рис. 1.1).

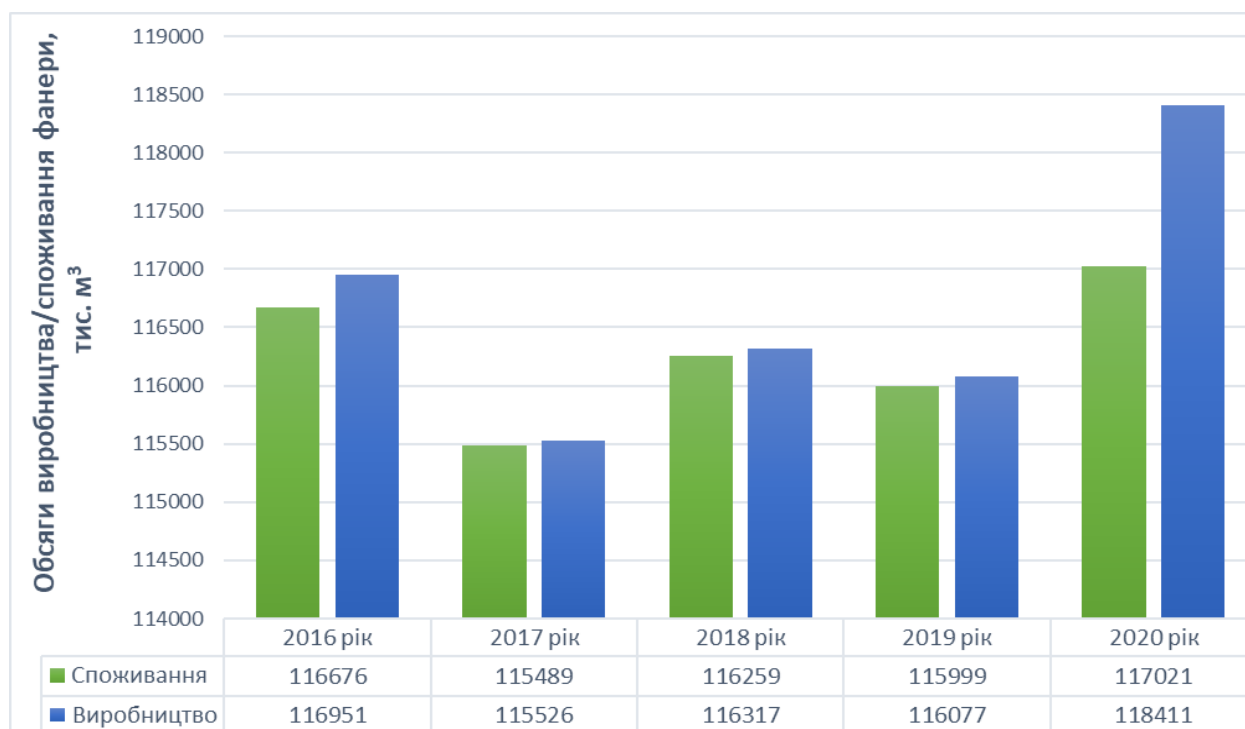


Рис. 1.1. Світовий ринок фанери: виробництво та споживання

Серед усіх ДК фанера займає особливе місце. Вона є найбільш торгівельним товаром на світовому ринку, з обсягами імпорту та експорту, що перевищують 26,8 і 28,2 млн. м³ відповідно (рис. 1.2) [6]. Китай, забезпечуючи понад 70% світового виробництва, є основним постачальником фанери на світовий ринок. Разом з тим, Північна Америка та Південно-Східна Азія також активно беруть участь у виробництві та торгівлі фанерою. Приблизно 30 % фанери, виготовленої в Китаї, експортується на міжнародні ринки [7].

Найбільшими імпортерами фанери у світі є Японія та Корея. У 2018 році Японія імпортувала 2,9 млн. куб. м фанери, а Корея - 1,2 млн. куб. м. Головними експортерами тропічної фанери були Китай (11,8 млн. куб. м) та Індонезія (2,6 млн. куб. м) [6].

Найбільшими імпортерами фанери у світі є Японія та Корея. У 2018 році Японія імпортувала 2,9 млн. куб. м фанери, а Корея - 1,2 млн. куб. м. Головними експортерами тропічної фанери були Китай (11,8 млн. куб. м) та Індонезія (2,6 млн. куб. м) [6].

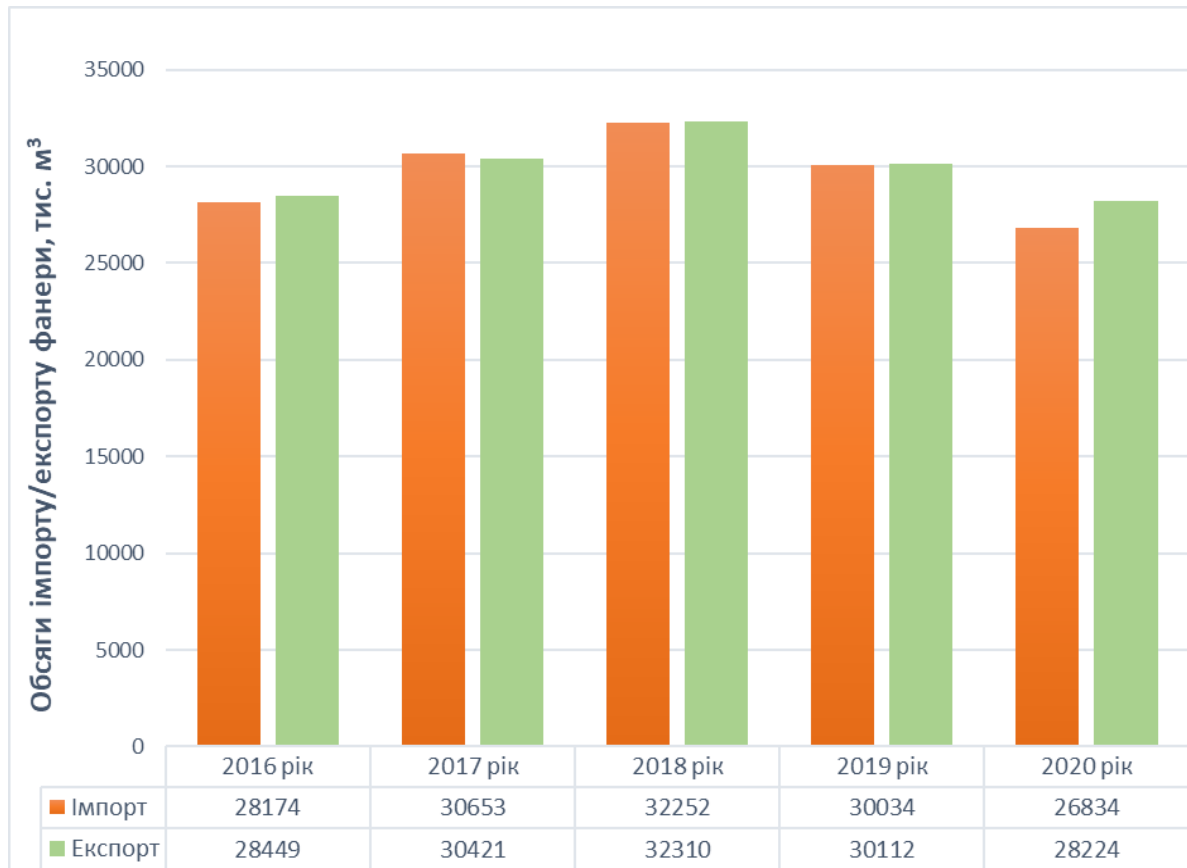


Рис. 1.2. Світовий ринок фанери: імпорт та експорт

Українська фанерна продукція займає гідні позиції як на внутрішньому, так і на світовому ринках. Вітчизняні виробники фанери отримали визнання завдяки високим стандартам якості, особливо березової фанери, яка є основним продуктом. Вона відзначається своєю міцністю, довговічністю і стійкістю до механічних і температурних впливів, що робить її популярною у сферах будівництва, виготовлення меблів та інших галузях. Завдяки цим характеристикам українська фанера успішно конкурує з продукцією світових виробників на міжнародному ринку, а також має стабільний попит всередині країни (рис. 1.3) [6]. Обсяг виробництва фанери в Україні має позитивну динаміку, порівнюючи з 2016 роком, приріст у 2020 році становив 7,34% [6].

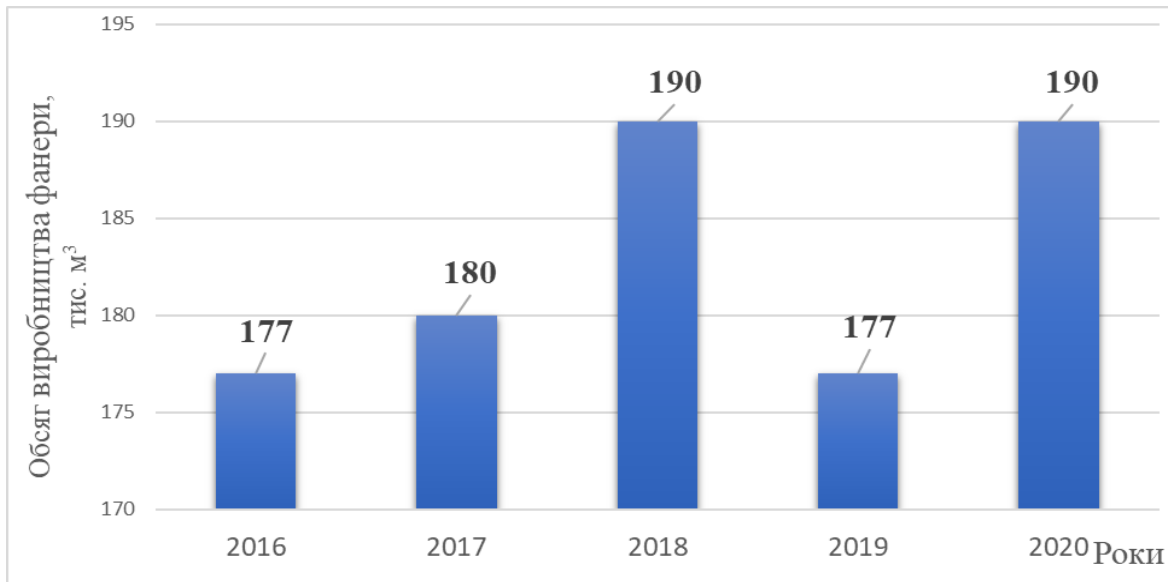


Рис. 1.3. Динаміка виробництва фанери в Україні у період 2016-2020 років [1].

Виробництвом фанери в Україні займаються такі підприємства, як ТЗОВ "ОДЕК Україна", ТЗОВ "Костопільський фанерний завод", ТЗОВ "Уніплит", АТ "Фанплит", ТЗОВ фірма "Язьм", ТЗОВ "Плайтех", ТЗОВ "Олісма" та інші (рис. 1.4) [3]. Важливим гравцем у цій галузі є ТЗОВ "ОДЕК Україна", яке виготовляє 84 тис. м³ фанери, що становить 47 % від загального обсягу виробництва в країні.

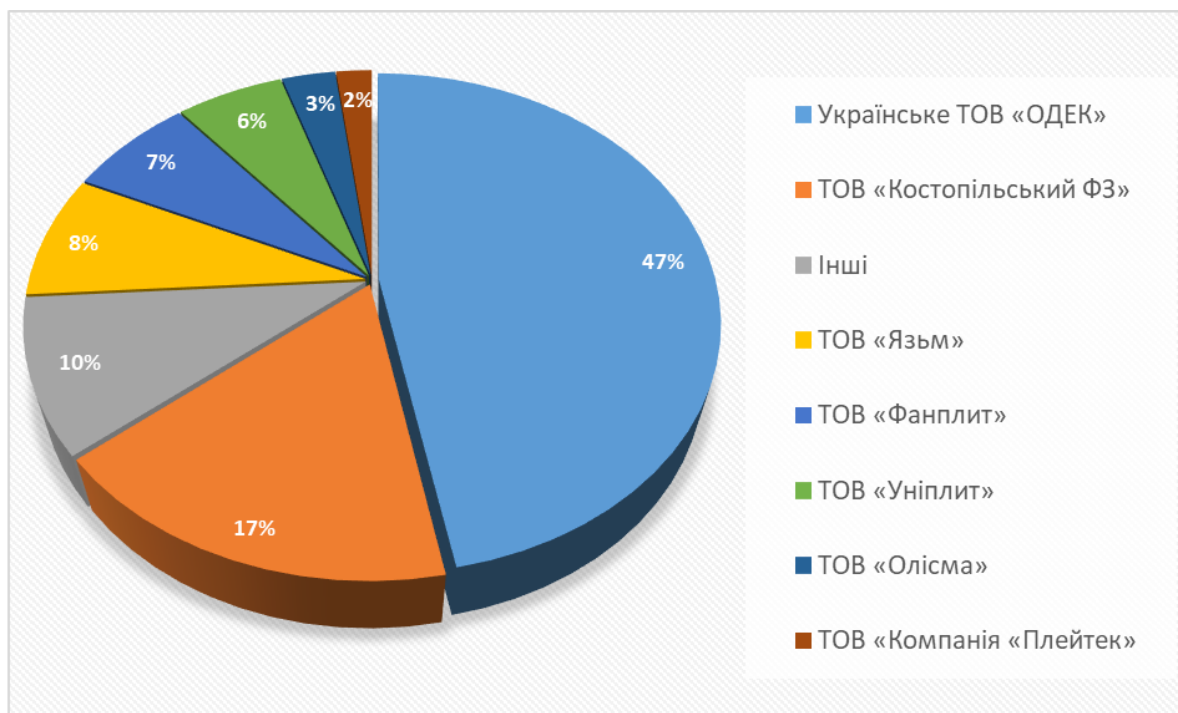


Рис. 1.4. Графічне порівняння частки кожного українського підприємства у загальному обсязі виробництва фанери в 2013 році [2]

Стійкість до вологи, міцність та легкість обробки роблять фанеру незамінним матеріалом у багатьох галузях. Попит на фанеру постійно змінюється залежно від умов ринку та трендів у будівництві і меблевому виробництві. Виробництво фанери в Україні має важливе значення для національної економіки.

1.2. Сировина для виробництва фанери

Фанера – це багат шаровий матеріал, який виготовляється шляхом склеювання тонких листів деревини – шпону. Хоча береза є традиційною сировиною для виробництва фанери, завдяки своїм властивостям, сучасні технології дозволяють використовувати й інші породи дерева, такі як хвойні, листяні та екзотичні види. Для підвищення ефективності виробництва та зменшення впливу на довкілля, виробники фанери все частіше вдаються до використання відходів деревообробки та розробки нових технологій склеювання.

Ринок фанери характеризується постійним зростанням попиту, обумовленим її широким застосуванням у будівництві, меблевому виробництві та інших галузях. Для задоволення цього попиту виробники фанери повинні забезпечувати стабільні поставки продукції високої якості. Однак, зростаюча конкуренція та вимоги до екологічності продукції спонукають виробників шукати нові рішення для оптимізації виробничих процесів та зниження собівартості [9].

Зважаючи на обмежені запаси традиційної сировини для виробництва фанери, зокрема берези, виробники активно шукають альтернативи. Залучення інших видів листяної деревини, а також хвойних порід, таких як сосна, ялина та модрина, дозволяє не тільки забезпечити стабільність виробництва, але й розширити асортимент продукції. Це, в свою чергу, дозволяє задовольнити різноманітні потреби ринку та підвищити конкурентоспроможність галузі. Однак, використання нових видів деревини вимагає вдосконалення технологічних процесів та детального вивчення властивостей різних порід. Використання різних

видів деревини, включаючи хвойні породи, дозволяє знизити навантаження на ресурси берези та інших цінних порід. Такий підхід не тільки сприяє збереженню біорізноманіття, але й забезпечує більш раціональне використання лісових ресурсів. У зв'язку зі скороченням цих ресурсів, для внутрішніх шарів фанери стали використовувати шпон хвойних порід, таких як сосна, модрина, кедр, ялина та ялиця, запаси яких в Україні є більшими (рис. 1.5) [10].

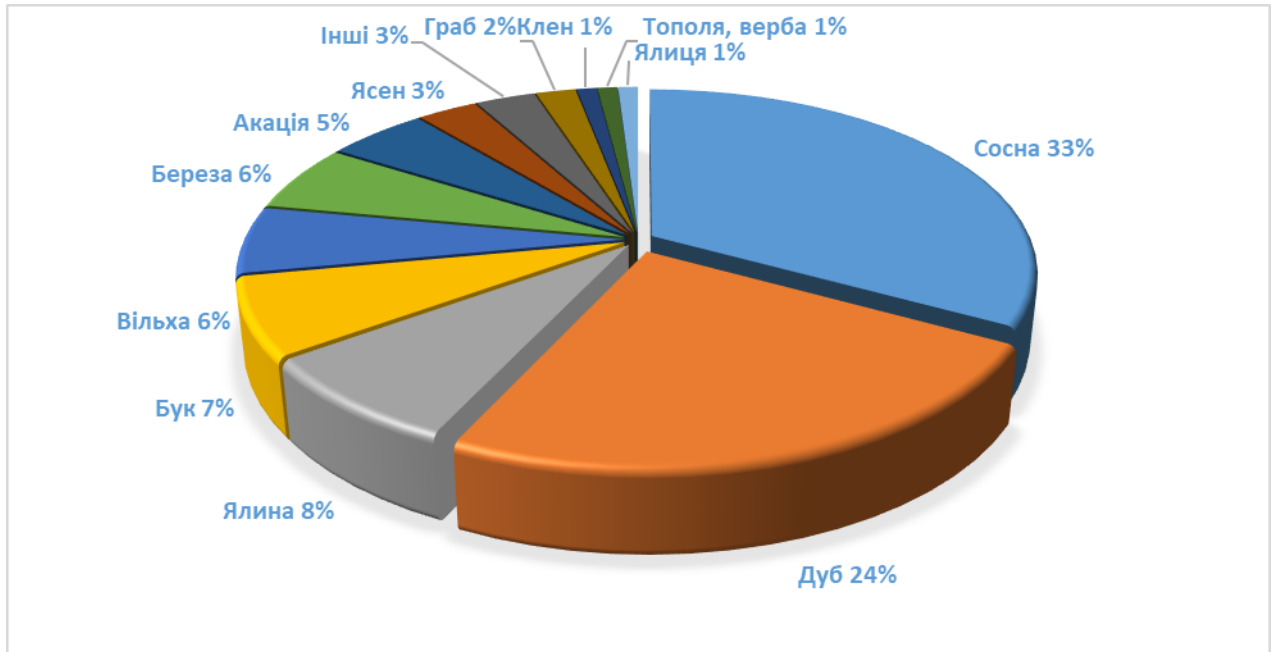


Рис. 1.5 Розподіл лісового покриття України за домінуючими видами деревних порід [10]

Заготівля деревини за видами лісової продукції в Україні станом на 2019 рік зменшилася до 20869,6 тис.м³ (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Заготівля деревини за видами лісової продукції в Україні (2010-2019), тис.м³ [11]

Роки	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кількість заготовленої деревини	18064,6	19746,2	19763,6	20340,6	20672,4	21924,2	22612,8	21923,0	22529,7	20869,6
Усі види круглого лісу	16145,6	17510,3	17506,7	18021,9	18333,2	19267,7	19605,7	18913,9	19695,7	17886,6
Діловий круглий ліс	7536,0	7989,4	7850,8	8102,1	8158,8	8302,6	8311,3	7296,6	8976,0	9303,4
хвойних порід	...	...	...	...	6615,3	6647,4	6762,5	5844,6	6713,2	7314,8
листяних порід	...	...	...	...	1543,5	1655,2	1548,8	1452,0	2262,8	1988,6
пиловник та фанерний кряж	5731,5	6300,0	6306,0	6644,8	7053,7	7019,8	6946,1	5909,2	6021,2	6237,4
хвойних порід	4526,4	4987,3	5024,5	5416,3	5774,4	5706,4	5684,3	4719,1	4457,9	4880,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
листяних порід	1205,1	1312,7	1281,5	1228,5	1279,3	1313,4	1261,8	1190,1	1563,3	1356,6
Балансова деревина (кругла та колота)	1101,7	1117,7	1025,9	986,1	721,5	811,9	873,3	761,4	877,8	263,1
хвойних порід	609,2	682,1	686,9	706,1	525,5	548,5	636,9	572,6	699,8	181,7
листяних порід	492,5	435,6	339,0	280,0	196,0	263,4	236,4	188,8	178,0	81,4
Інші сортименти ділового круглого лісу	702,8	571,7	518,9	471,2	383,6	470,9	491,9	626,0	2077,0	2802,9
хвойних порід	...	...	...	...	315,4	392,5	441,3	552,9	1555,5	2252,3
листяних порід	...	...	...	...	68,2	78,4	50,6	73,1	521,5	550,6
Паливна деревина	8609,6	9520,9	9655,9	9919,8	10174,4	10965,1	11294,4	11617,3	10719,7	8583,2
хвойних порід	...	...	...	...	4446,1	4880,0	5462,2	5972,5	6048,4	3950,6
листяних порід	...	...	...	...	5728,3	6085,1	5832,2	5644,8	4671,3	4632,6
Неліквідна деревина	1919,0	2235,9	2256,9	2318,7	2339,2	2656,5	3007,1	3009,1	2834,0	2983,0

Розширення джерел сировини та диверсифікація використання деревини допомагають підтримувати стабільність та сталість виробництва фанери, що важливо для забезпечення потреб ринку та розвитку галузі.

Використання шпону з хвойних порід деревини, таких як сосна, модрина, ялина, ялиця, за винятком кедр, має свої обмеження у порівнянні з м'якими та твердими листяними породами.

Хвойні породи деревини мають ряд властивостей, які можуть створювати певні проблеми в процесі виробництва фанери. Зокрема, деревина хвойних порід часто є менш міцною і має більш шорстку поверхню, що негативно впливає на якість обробки та естетичні характеристики шпону. Крім того, під час склеювання шарів шпону з хвойної деревини можуть виникати технологічні труднощі через наявність великої кількості смол. Смола ускладнює процес адгезії, що призводить до необхідності додаткової підготовки деревини перед використанням.



Рис. 1.6. Зразки матеріалів : а) листи луценого шпону; б) листи фанери

Фанера – це багатошаровий ДК, який виготовляється шляхом склеювання тонких листів деревини – шпону (рис. 1.6). Вона має широкий спектр застосувань у всьому світі. Використовується в будівництві для створення опалубки, підлогових покриттів, облицювання стін та дахів, допомагає створювати міцні та стійкі конструкції, для виготовлення меблів, включаючи столи, стільці, шафи та ліжка тощо. В автомобільній промисловості її використовують для створення вантажних платформ та внутрішньої обробки салону. У музичній індустрії фанера служить основою для виготовлення корпусів музичних інструментів. Крім того, фанера використовується в легкій промисловості, будівництві та багатьох інших сферах. (рис. 1.7).



Рис.1.7. Варіанти використання фанери

У літакобудуванні фанера використовується для створення легких і міцних конструкцій. Вона також підходить для виготовлення криволінійних поверхонь, що важко реалізувати з використанням інших матеріалів. Для підтримання стабільного виробництва фанери виробники дедалі частіше застосовують м'які та тверді листяні породи деревини, які відзначаються кращими фізико-механічними властивостями та меншим вмістом смол. Вибір деревини для склеювання шарів шпону здійснюється з урахуванням анатомічної будови деревини та її фізико-механічних характеристик, які впливають на міцність склеювання шпону термопластичними полімерами [12, 14-26]. Як будь-який біологічний організм, деревина складається з клітин різної будови, які поділяють на паренхімні та прозенхімні клітини (табл. 1.2) [27].

Кількість клітин в деревині різних порід [27]

Породи деревини	Вміст клітин у різних порід деревини, %					
	паренхімні клітини			прозенхімні клітини		
	камбій	серцевинні промені	смоляні ходи	трахеїди	клітини лібриформ	судини
хвойні породи						
Ялина	0,1	5,0–7,2	0,2–0,3	92,5–95,0	-	-
Сосна	-	5,3–8,4	0,5 – 1,1	91,0–94,0	-	-
Модрина	0,9	10,0	0,1	89	-	-
листяні породи (розсіяносудинні)						
Береза	2,0	10,8–11,7	-	-	68,8–75,7	10,6–21,4
Осика	0,1	11,0	-	-	55,0	34,0
Клен	0,1	11,0–18,0	-	-	61,5–69,0	18,0–21,5
листяні породи (кільцесудинні)						
Тополя	2	14,0	-	-	49,0–53,0	33,0–37,0
Дуб	8,0–13,5	21,5–28,0	-	-	43,5–48,0	16,0–22,0
Ясен	4,0–7,0	12,0	-	-	64,0–69,0	11,5–20,5

Основною відмінністю між паренхімними і прозенхімними клітинами є їх життєвий стан та функції. Паренхімні клітини (живі клітини) – короткі клітини з довжиною і шириною приблизно 0,01-0,1 мм. Прозенхімні клітини (мертві клітини) – довгі клітини з довжиною від 0,5 до 3 мм, іноді до 8 мм, і діаметром приблизно 0,01-0,07 мм [28].

Порожнини (або вакуолі) в клітинах деревини з'єднуються між собою за допомогою пор. Деревина, яка складається з клітинних оболонок та порожнин клітин та інших пустот, може містити від 20% до 50% клітинних оболонок і від 50% до 80% порожнин або пустот. Таким чином, щільність деревини залежатиме від пористості клітинних стінок (табл. 1.3) [29].

Щільність деревини у середньому на 1 кубічний метр [29]

Порода деревини	Щільність деревини, кг/м ³	
	в абсолютно сухому стані	за вологості 12%
Граб	760	795
Дуб	655	690
Клен	655	690
Бук	650	680
Ясен	645	680
Модрина	635	665
В'яз	620	650
Береза	620	640
Вільха	495	525
Сосна	480	505
Осіка	465	495
Ялина	420	445
Тополя	430	452

Клітинні стінки деревини, що утворюють основну скелетну структуру рослинного матеріалу, майже повністю складаються з органічних речовин (близько 99%), тоді як частка мінеральних речовин становить лише близько 1% від загальної маси. Низькомолекулярні сполуки становлять дуже невелику частку загального складу деревини. Органічні сполуки в деревині можна поділити на три основні групи: вуглеводневі, ароматичні та екстрактивні речовини. Вуглеводнева частина деревини складається з великих молекул, і вона становить близько 70% маси абсолютно сухої деревини у хвойних породах і до 80% у листяних породах [33]. У хвойній деревині вміст целюлози складає від 46% до 54%, що є вищим порівняно з листяною деревиною, де цей показник становить 41–45%. Геміцелюлози у деревині містяться в кількості від 17% до 43%, причому листяні породи мають приблизно в 1,5 рази більше геміцелюлоз, ніж хвойні. Лігніну у хвойній деревині міститься від 28% до 30%, тоді як у листяних породах його концентрація варіюється від 12% до 24%. Екстрактивні речовини, такі як ефірні олії, смоляні та жирні кислоти, а також дубильні речовини, становлять близько 3-5% від маси деревини.

Отже, вміст органічних сполук в різних породах деревини є різноманітний, навіть в межах однієї породи деревини. Їх хімічний склад буде змінюватись, залежно від природних умов росту дерева (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Характеристики хімічного складу деревини в залежності від різних видів порід [32]

Порода	Хімічний склад деревини, %				
	<i>целюлоза</i>	<i>лігнін</i>	<i>гексозани</i>	<i>пентозани</i>	<i>смоли та жири</i>
<i>Ялина</i>	45,2	28,1	12,3	10,3	1,9
<i>Сосна</i>	50,6	27,5	11,8	10,4	5,4
<i>Модрина</i>	36,2	28,6	13,5	11,6	2,4
<i>Береза</i>	41,0	21,0	3,0	28,0	1,2
<i>Вільха</i>	44,5	28,0	3,65	22,9	1,8
<i>Осика</i>	43,6	20,1	2,0	26,0	1,5
<i>Клен</i>	48,0	23,1	2,3	26,0	1,6
<i>Бук</i>	49,6	21,8	4,37	25,6	0,9
<i>Дуб</i>	37,1	22,0	2,7	22,6	1,6
<i>Липа</i>	41,1	20,2	2,2	20,5	1,1
<i>Ясен</i>	40,6	21,3	3,47	23,2	1,2
<i>Верба</i>	38,8	20,5	2,6	21,1	0,8
<i>Тополя</i>	42,1	20,8	2,1	20,1	1,3
<i>Граб</i>	41,3	21,0	2,87	20,8	1,0

Для забезпечення стабільності фанерних виробництв, виробникам необхідно враховувати запас деревини в лісах України та їх хімічний склад.

1.3. Аналіз режимів склеювання пакетів шпону у виробництві фанери

З кожним днем деревинні композити на основі термопластичних полімерів набувають все більшої популярності завдяки їхнім унікальним властивостям, що відповідають вимогам сучасних споживачів. Така популярність обумовлена вдалою комбінацією характеристик різних компонентів клею, а також синергічним ефектом, який інколи виникає під час їх взаємодії [33]. На думку багатьох науковців, поєднання деревини з термопластичними матеріалами стає важливим напрямком у розвитку нових видів клеїв. Останнім часом увага дослідників спрямована на використання термопластичних плівок, таких як поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП) і

полівінілхлорид (ПВХ), як зв'язувального елемента у виробництві фанери. Застосування цих плівок замість терморективних клеїв забезпечує простоту й екологічну чистоту виробництва, що є важливими чинниками в сучасному світі, де екологічна безпека виробничих процесів відіграє значну роль.

Термопластичні полімери мають здатність деформуватися під дією температури, що відкриває нові технологічні можливості у виробництві виробів порівняно з традиційними терморективними клеями. Зокрема, це дозволяє створювати багат шарові матеріали з підвищеною міцністю, які можуть використовуватися у будівництві, виробництві меблів та інших галузях. Під час нагрівання ці полімери можуть легко перетворюватися у стан, що забезпечує надійне з'єднання шарів деревини, та, в той же час, при охолодженні повертаються до стану з високою механічною міцністю. Такі особливості термопластичних клеїв роблять їх перспективними для використання не тільки в традиційних галузях, але й у новітніх високотехнологічних сферах, де потрібна надійність, простота і можливість повторної обробки матеріалів.

Термопластичні полімери, такі як ПЕ, ПП, ПВХ, поліуретан (ПУ) та інші, активно використовуються у виробництві фанери [34]. Процес виготовлення фанери із застосуванням цих термопластичних плівок є досить простим і не потребує складного обладнання для приготування клейових сумішей. За підвищеної температури термопластичні плівки переходять у в'язкотекучий стан, що дозволяє їм ефективно заповнювати пори деревини і створювати міцний клейовий шар.

Процес нагрівання пакета шпону (затиснутого між двома плитами пресу) супроводжується переміщенням в ньому вологи і деяким його ущільнення і залежить від породи деревини, виду полімерної плівки, товщини плівки, початкової вологості шпону та інших факторів. Під час склеювання пакетів під тиском у початковому періоді буде відбуватися інтенсивне ущільнення деревини, а потім стабілізація наданої їй деформації. При цьому збільшення фактичної площі контакту між полімером і деревиною буде позитивно впливати на міцність клейових з'єднань. Отже, якщо луцений шпон не буде

підготовлений належним чином (вологість, шорсткість, виключення різнотовщинності), то склеювання між деревиною і полімером пройде неповністю. І в цьому місці можна буде спостерігати розшарування між листами шпону.

Крім умов підготовки пакетів шпону (вологість шпону, товщина пакета шпону, якість шпону, температура шпону, товщина полімерної плівки тощо) до режиму склеювання відносяться тиск і його змінювання за цикл склеювання; температура плит преса; час, який витрачається на допоміжні і технологічні операції циклу склеювання. Оскільки для склеювання пакетів шпону пропонується використовувати термопластичні плівки, замість термореактивних клеїв, то умови пресування суттєво відрізняються. Вибір температури склеювання полімерними плівками залежатиме від виду полімеру і його температури плавлення. Тиск пресування залежатиме від породи деревини, товщини пакета шпону та товщини плівки, а час пресування – від виду полімерної плівки, породи деревини, товщини плівки і вологості шпону.

За останнє десятиріччя проводиться багато наукових досліджень, спрямованих на вивчення можливості застосування термопластичних плівок для склеювання шпону у процесі виготовлення фанери [22-26, 39-42, 46-49]. Дослідники рекомендують використовувати різні термопластичні плівки, включаючи поліетилен високої густини (ПЕВГ) [23-26, 47-49], поліетилен низької густини (ПЕНГ) [41, 42], ПП і полістирольні плівки (ПС) [22, 46], для з'єднання листів шпону під час виготовлення фанери. Кожен науковець пропонував свої умови склеювання.

У дослідженні Song та ін. [22] застосовували евкаліптовий шпон з вологістю 9% та поліпропіленову (ПП) плівку товщиною 0,04 мм. Процес склеювання проходив за умов: тиск від 0,9 до 1,3 МПа, температура від 165 до 195 °С, тривалість пресування від 40 до 70 секунд на міліметр, витрата плівки становила від 100 до 200 г/м². Було виявлено, що оптимальні умови для виготовлення фанери з використанням ПП включають тиск у 0,9 МПа,

температуру 180 °С, тривалість пресування 70 секунд на міліметр, та витрату плівки 150 г/м².

У роботі Chang та ін. [26] розглядався процес виробництва фанери із шпону різної вологості (0, 6, 12, 18, 24%) із використанням плівки ПЕВГ товщиною 0,06 мм. Умови склеювання включали тиск від 0,1 до 1,3 МПа, температуру від 140 до 180 °С, час пресування 6,4 хвилини та витрату плівки від 61,6 до 308 г/м². Дослідження показали, що глибина проникнення полімеру в структуру шпону збільшується зі зростанням кількості ПЕВГ, температури та тиску, але не змінюється зі збільшенням вологості шпону.

Song та ін. [25] виготовляли фанеру із шпону евкаліпта та термопластичної плівки ПЕВГ товщиною 0,06 мм. Умови склеювання: тиск від 0,7 до 1,3 МПа, температура від 140 до 180 °С, час пресування від 50 до 90 с/мм. Найкращі результати отримали при тиску 1,3 МПа, температурі 160 °С та часі пресування 50 с/мм.

Автори Бехта П.А. та Кусняк І.І. [41] запропонували склеювання листів шпону породи береза термопластичною плівкою ПЕНГ. Режим склеювання: тиск – 1,8 МПа; температура – 140, 160 і 180 °С; час пресування – 6,5 хв; витрата термопластичної плівки 130, 150, 170 та 190 г/м². Висновки роботи показують, що міцність фанери на зріз, склеєної ПЕНГ знаходиться в межах 1,46-1,69 МПа, що перевищує нормативне значення міцності в 1,0 МПа згідно стандарту EN 314-2.

Рябишев Р.І. та Кусняк І.І. [43], а також Bekhta P. та ін. [44] досліджували фізико-механічні властивості фанери із хімічно модифікованого шпону, склеєного з використанням первинної термопластичної плівки ПЕНГ. Режим склеювання: тиск – 1,4 МПа; температура – 160 °С; час пресування – 4,5 хв; витрата термопластичної плівки 100 г/м²; витрата модифікаційного розчину – 50, 100, 150 г/м². З'ясовано, що модифікування листів шпону лимонною кислотою збільшує щільність фанери до 718,89 кг/м³, зменшує водопоглинання та набрякання за товщиною до 38,5 та 8,61 % відповідно, зменшує вологість до 4,93 %, підвищує показники міцності на зріз, міцності на згин та модуля пружності до 2,11 МПа, 145,09 МПа та 12699,38 МПа відповідно.

Vekhta та ін. [42] досліджували процес виготовлення фанери зі струганого шпону порід бука, берези та ялини, склеєних термопластичними плівками LDPE (ПЕНГ), CoPA та CoPE. Процес склеювання включав тиск у $0,8 \text{ Н/мм}^2$, температуру $150 \text{ }^\circ\text{C}$ та час пресування 5 хвилин. Найнижчі показники міцності на зріз спостерігались у фанери, склеєної з використанням LDPE, а найвищі – у фанери, склеєної CoPA.

Поліетилен (ПЕ) є одним із найпоширеніших термопластичних матеріалів, який відзначається багатством ресурсів, відновлюваністю, екологічною безпечністю та безпекою для здоров'я людини [35].

Fang та ін. [36] вперше запропонували новий метод виготовлення фанери, використовуючи ПЕВГ та поєднання технологій фіксованого гарячого і подальшого холодного пресування. У своїх дослідженнях Fang та ін. [23] використовували шпон з вологістю 6-8% і плівку ПЕВГ з витратою від 61,6 до 246 г/м^2 для виготовлення фанери. Склеювання листів шпону відбувалося за умов: тиск 1 МПа, температура $160 \text{ }^\circ\text{C}$, час пресування 8 хвилин.

Fang та ін. [24] також виготовляли фанеру, склеєну з листів шпону вологістю 4–6 % та термопластичною плівкою ПЕВГ товщиною 0,05 мм. Режим склеювання: тиск - 0,7 МПа; температура - 150, 160, 170 $^\circ\text{C}$; тривалість пресування - 0,5; 1; 1,5 хв/мм; витрата плівки від 1 до 4 шарів. Найвищі показники міцності фанери на зріз були отримані за таких умов склеювання: тиск - 0,7 МПа; температура - $160 \text{ }^\circ\text{C}$; тривалість пресування - 1 хв/мм.

Chang та ін. [37] досліджували вплив кількості ПЕВГ та умов пресування (температури, тиску і вмісту вологи) на фізико-механічні властивості фанери. За допомогою дисперсійного аналізу встановлено, як кожен з цих параметрів впливає на окремі властивості у такому порядку важливості:

- на ступінь стиснення: вміст вологи > шари ПЕВГ > температура гарячого пресування > тиск гарячого пресування;

- на межу міцності на зріз в порядку: шари ПЕВГ > вміст вологи > температура гарячого пресування > тиск гарячого пресування;

- на водопоглинання у такому порядку: шари ПЕВГ > температура гарячого пресування > тиск гарячого пресування > вміст вологи;

- на набрякання за товщиною: вміст вологи > тиск гарячого пресування > шари ПЕВГ > температура гарячого пресування.

Bekhta and Sedliačik [38] запропонували склеювати фанеру з вільхового шпону та ПЕВГ за різних умов: тиск від 0,8 до 1,6 МПа, температура від 140 до 180 °С, час пресування від 1 до 5 хв. Порівняно з іншими клеями, фізико-механічні властивості фанери склеєної ПЕВГ відповідали європейському стандарту EN 314-2 для фанери I класу. Оптимальні умови склеювання фанери ПЕВГ: температура 160 °С, тиск 0,8 МПа, тривалість пресування 3 хв.

Lustosa та ін. [49] досліджували виготовлення фанери, склеєної термопластичною плівкою ПЕВГ за таких параметрів: тиск - 1 Н/мм², температура - 100, 120, 140 °С, час пресування - 10–15 хв, витрата полімеру - 150, 250, 350 г/м². Фізико-механічні характеристики фанери, виготовленої з використанням ПЕВГ, відповідали встановленим стандартам.

Borysiuk та ін. [48] запропонували використовувати термопластичні плівки, такі як ПЕ, ПП та ПС, для виготовлення трьохшарової фанери. Режимні параметри процесу включали тиск 1,6; 2,0; 2,5 МПа, температуру 195 °С та тривалість пресування 5,5 хв. Найвищі значення міцності клейового шару були зафіксовані для фанери, склеєної плівкою ПЕ при тиску 2,0 та 2,5 МПа.

За результатами наукових досліджень [22-51] з'ясовано наступні режимні параметри пресування пакетів шпону, склеєних термопластичними плівками (табл. 1.5).

Режимні параметри пресування пакетів шпону, склеєних первинними термопластичними плівками

Автори дослідження	Умови пресування					
	Порода деревини	Вид плівки	Витрата/товщина плівки, г/м ² /мм	Температура пресування, °С	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв, хв/мм
Chang та ін. [26]		ПЕВГ	61,6 - 308	140-180	0,1 – 1,3	6,4
Song та ін. [25]	евкаліпт	ПЕВГ	60	140-180	0,7 – 1,3	0,8 - 1,6
Бехта П.А. та Кусняк І.І. [41]	береза	ПЕНГ	130, 150, 170, 190	140, 160, 180	1,8	6,5
Рябишев Р.І. та Кусняк І.І. [43], а також Bekhta Р. та ін. [44]	береза	ПЕНГ	100	160	1,4	4,5
Fang та ін. [36]		ПЕВГ	61,6 - 246	160	1	8
Fang та ін. [24]		ПЕВГ	50	150, 160, 170	0,7	0,5, 1, 1,5
Chang та ін. [37]		ПЕВГ				
Bekhta and Sedliačik [38]	вільха	ПЕВГ		160	0,8	3
Lustosa та ін. [49]		ПЕВГ	150, 250, 350	100, 120, 140	1	10-15
Borysiuk та ін. [48]		ПЕ, ПП, ПС		195	1,6, 2, 2,5	5,5

1.4. Аналіз застосування вторинних плівок у виробництві фанери

На сьогодні значна частина полімерних матеріалів використовується в пакуванні харчових продуктів. Їхня нетоксичність, зручність у використанні, міцність, низька вартість та привабливий вигляд сприяють зростанню виробництва та споживання полімерів, що водночас створює екологічні ризики. В Україні питання переробки полімерних відходів є важливим через їхній негативний вплив на навколишнє середовище, а також через обмеженість власних природних запасів вуглеводнів та складнощі з їхнім транзитом.

Вторинна переробка полімерних матеріалів здатна ефективно скоротити споживання первинної сировини (зокрема, нафти), зекономити електроенергію та зменшити кількість пластикових відходів.

Із загального обсягу утворених відходів майже 50,0 тис. тон припадає на полімерні відходи, з яких ПЕНГ та ПЕВГ складають більше 30 % в загальному обсязі полімерних відходів в Україні [47]. Це передусім відходи плівок та погонажних виробів (рис. 1.6).

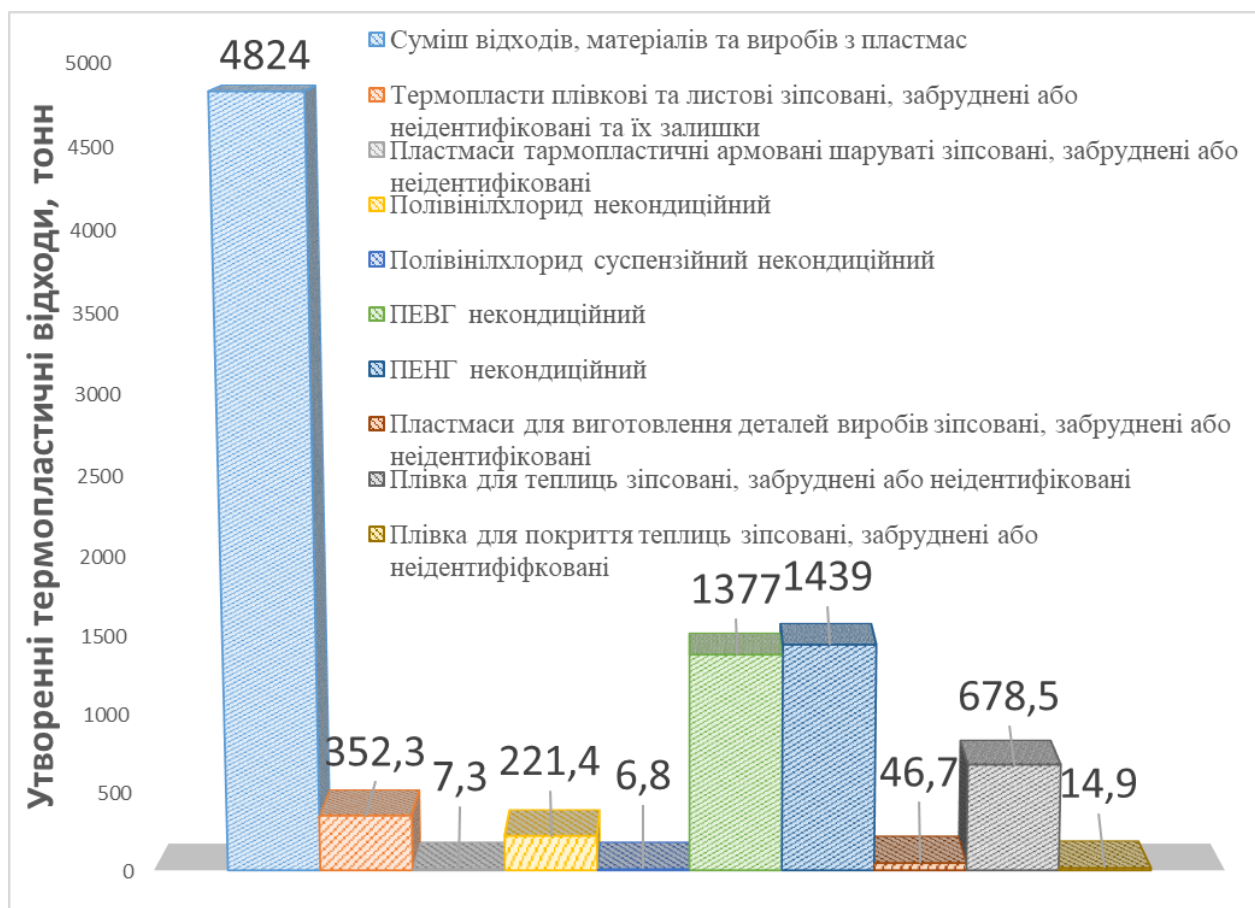


Рис.1.6. Обсяги утворення термопластичних відходів в Україні [46]

В Україні переробляються лише 10 % відходів полімерних матеріалів, тоді як період розкладання полімерів, наприклад, поліетиленових пакетів складає сотні років. При спалюванні полімерних матеріалів виділяються небезпечні речовини, що несе за собою велику загрозу довкіллю.

Обсяг виробництва базових полімерів в Україні станом на 2019 рік склав 15618,3 тис. тон (рис. 1.7) [45].



Рис. 1.7. Обсяг виробництва базових полімерів в Україні [45]

За даними Національного статистичного управління, у 2020 році в Україні утворилося 462,4 млн тонн відходів (рис. 1.8). Кожен українець викидає близько 250-270 кг відходів на рік. Більшість відходів на звалищах по всій країні – це промислові відходи, з яких лише 2-3% утилізуються, а решта накопичується на звалищах і місцевих звалищах [47].

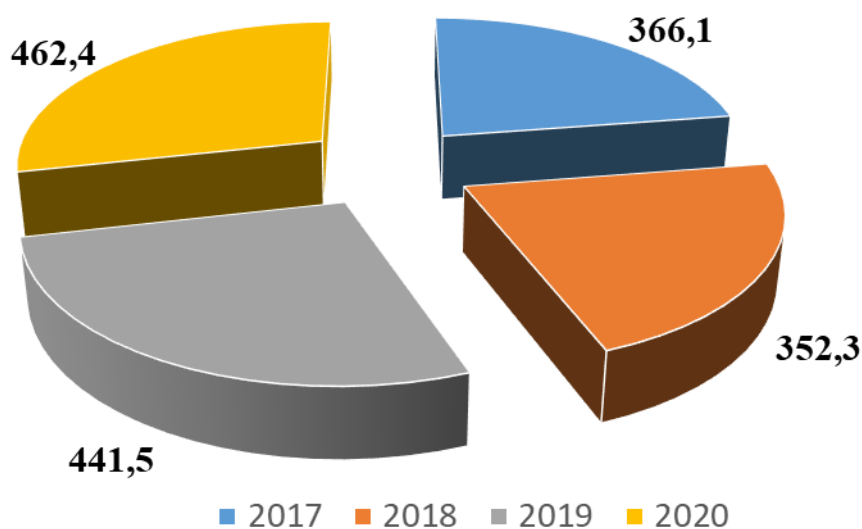


Рис. 1.8. Кількість утворених відходів в Україні [44]

Таким чином, використання вторинних полімерів у виробництві фанери надзвичайно актуальне. Застосування відходів виробництва вторинних термопластичних плівок у виробництві фанери є перспективним і набуває все більшого зацікавлення у дослідженнях. Термопластичні плівки, які пройшли

процес повторної переробки, витримують додаткові механо-хімічні та термо-окиснювальні впливи і можуть пережити більше двох-трьох циклів переробки, не знижуючи фізико-механічних характеристик [52].

Багато досліджень вчених [53-61] зосереджені на використанні вторинних плівок, таких як ПЕ, ПП та ПС [53], а також пластикових пакетів з ПЕ, ПП, ПВХ [59, 62], та вторинних ресурсів текстильних матеріалів (поліуретан, поліамід-6, нитки з поліпропілену та скла), як гарячого розплаву для створення термопластичних плівок [56, 57].

Ворысиук та ін. [53] досліджували можливість виготовлення фанери з використанням вторинного полістиролу (ПС) як клею. Для склеювання вони використовували листи шпону з берези та сосни товщиною 1,5 мм. Процес склеювання проводився за температури 200 °С, тиску 1,5 МПа та часу пресування 300 с. У ході експерименту вивчався вплив виду деревини та характеру зміни тиску (поступова або стрімка) на міцність фанери на зрізі. Тиск пресування змінювався поетапно. Найвищі значення міцності на зрізі були отримані на V етапі пресування (3,5 МПа), у той час як показники міцності на III та IV етапах були однаковими, а на I та II – найнижчими. Висока міцність фанери пояснюється використанням шпону з високою щільністю та мінімальним зминанням, що сприяло кращому проникненню полімеру.

Сіуї та ін. [59] використовували пластикові пакети, переважно з ПЕ, ПП, ПВХ і пінополістиролу (ППС), для склеювання тополевого шпону розміром 350x350x1,5 мм з вологістю 10 %. Пластикові пакети (маса 500 г) піддавалися хімічній обробці, висушуванню та подрібненню перед використанням. Умови склеювання включали температуру пресування від 130 до 160 °С, час пресування від 3 до 6 хв, та витрату полімеру від 60 до 120 г/м². Оптимальними параметрами для склеювання шпону з подрібненими полімерними пакетами були: температура 150 °С, час пресування 6 хвилин, витрата полімеру 100 г/м².

Кажакс та ін. [57] досліджували виготовлення тришарової фанери, склеєної відходами термопластичного текстильного волокна (ПУ, поліамід-6 (ПА-6)) у вигляді гарячих розплавів, а також первинних термопластичних

полімерів (ПЕВГ, ПП) і ФФ смоли. Параметри процесу включали температуру від 140 до 230 °С, тиск 2 МПа і час пресування від 1 до 8 хв. Було встановлено, що фанера, склеєна первинними високоміцними полімерами (ПЕВГ, ПП) та гарячими розплавами відходів (ПУ, ПА-6), мала міцність на зріз у межах 5,6–10 МПа, що значно перевищує аналогічний показник фанери, склеєної ФФ клеєм (2,5–3,7 МПа).

Кажакс та ін. [56] пропонували використовувати вторинні полімери, отримані з переробки відходів побутової плівки, тетрапакування, вторинного ПП та ПА-6, як гарячі розплави для склеювання фанери. Для порівняння фізико-механічних характеристик фанери використовували первинні ПЕВГ та ПП. Для склеювання фанери використовувався березовий шпон товщиною 1,4 мм з вологістю 12 %. Для покращення адгезійних властивостей використовували текстильні відходи поліетилентерефталату (ПЕТ). Оптимальними параметрами пресування для склеювання листів шпону були: тиск – 2 МПа, час – 1–2 хвилини. Температура для склеювання пакетів шпону ПЕ була встановлена на рівні 130 °С, для склеювання ПП – 180 °С та для склеювання ПА-6 – 220 °С. Найвищі значення міцності на зріз були зафіксовані для фанери, склеєної вторинним ПП – 10 МПа, в той час як у випадку з вторинним ПЕ ці значення становили 5–6 МПа.

Використання запропонованих авторами гарячих розплавів термопластичних полімерів первинних та вторинних відходів у виробництві фанери є перспективним і успішно може використовуватися для склеювання листів шпону з високими експлуатаційними властивостями (табл. 1.6).

Режимні параметри пресування пакетів шпону, склеєних вторинними
термопластичними плівками

Автори дослідження	Умови пресування					
	Порода деревини	Вид плівки	Витрата/товщина плівки, г/м ² /мкм	Температура пресування, °С	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв
Ворysiuk та ін. [53]	береза, сосна	ПС		200	1,5	5
Сui та ін. [59]	тополя	ПЕ, ПП, ПВХ, ППС	60 - 120	130 - 160		3 - 6
Кajaks та ін. [57]		ПЕВГ, ПП		140 - 230	2	1 - 8
Кajaks та ін. [56]	береза	ПЕВГ, ПП, ПЕТ		130, 180, 220	2	1 - 2

Дослідження показали, що фізико-механічні властивості фанери, склеєної первинними та вторинними термопластичними полімерами, практично однакові. Умови склеювання пакетів шпону, склеєних полімерними матеріалами також не відрізняються. Це свідчить про те, що використання вторинних полімерів, отриманих із перероблених відходів, дозволить виготовляти економічно вигідну та екологічно безпечну фанеру, одночасно знижуючи негативний вплив шкідливих речовин на навколишнє середовище.

1.5. Висновки

Фанерне виробництво одне з перспективних у деревообробній галузі. Завдяки різноманітним характеристикам, фанера користується попитом серед споживачів, і цей попит стабільно зростає щорічно. Згідно зі статистикою [63], попит на фанеру перевищує обсяги виробництва. З ростом споживання на фанерні вироби виникає потреба в збільшенні їх виробництва.

Однак, значним обмеженням у використанні фанери для внутрішніх потреб є клас емісії формальдегіду. Застосування плівкових термопластичних полімерів у виробництві фанери вважається одним із способів вирішення проблеми токсичності. Для виготовлення фанери найбільш прийнятними є термопластичні плівки на основі ПЕВГ, ПЕНГ, ПП, ПС та ПВХ, які замінюють

рідкий терморективний клей. Попередні дослідження вже підтвердили можливість використання термопластичних плівок у виробництві фанери. Проте, процес затвердіння термопластичних полімерів суттєво відрізняється від терморективних полімерів. Тому, виникає необхідність дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини термопластичною плівкою.

Об'єктом дослідження є процес склеювання пакетів шпону термопластичною плівкою ПЕНГ(в) у виробництві фанери.

Предметом дослідження є вплив різних порід деревини, товщини вторинної термопластичної плівки ПЕНГ та виду клею на процес прогрівання пакета шпону.

Мета роботи – дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ, що дає змогу визначити як температуру в заданій точці пакета шпону, так і тривалість, потрібну для нагрівання пакета шпону до заданої температури, залежно від породи деревини та товщини термопластичної плівки.

Для досягнення поставленої мети було сформовано та вирішено наступні завдання:

- 1 Дослідити вплив товщини термопластичної плівки на процес прогрівання пакета шпону.
- 2 Дослідити вплив породи деревини на процес прогрівання пакета шпону.
- 3 Дослідити вплив виду клею на процес прогрівання пакета шпону.
- 4 Дослідити вплив породи деревини і товщини плівки на міцність фанери на зріз.

Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для виконання поставлених завдань і на основі теоретичного аналізу процесу нагрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ, виникла потреба в експериментальному дослідженні певних аспектів. Планується, що дослідження дозволять визначити температуру всередині пакета шпону та тривалість, необхідну для його нагрівання до температури плавлення термопластичного полімеру, залежно від породи деревини та товщини плівки.

2.1. Матеріали та обладнання, використані в експериментальних дослідженнях

Для виготовлення фанери використовувалися наступні матеріали:

- лущений шпон розміром 300×300 мм і товщиною, залежно від породи: тополя (0,75 мм), береза (1,55 мм), бук (0,45 мм), граб (1,5 мм), вологістю 6 ± 2 %;
- вторинна полімерна плівка (ПЕНГ(в)) розміром 300×300 мм, товщиною 50, 100, 150 мкм;
- карбамідоформальдегідна смола – КФ-МТ-15;
- наповнювач – каолін;
- затверджувач – 20 % NH_4Cl ;
- дистильована вода.

Під час проведення експериментальних досліджень було використане наступне обладнання:

- лінійка металева;
- штангенциркуль;
- секундомір;
- мікромметр;
- індикатор годинникового типу;
- ножиці;

- вологомір НМВ-WS1;
- вага електронна AD 2000 (точність вимірювання 0,01 г);
- мікрометр МКЦ(4)-25-0,001 (ТУ У 33.2-30291682-002-2004) для визначення товщини плівки;
- прилад для визначення температури плавлення плівки;
- лабораторний гідравлічний прес фірми "Хомко";
- термопара ТХА;
- цифровий мультиметр РТ-0102;
- лабораторна випробувальна машина на зріз РМ – 05;
- круглопилковий верстат;
- мірна колба об'ємом 25 см³;
- піпетка об'ємом 10 см³ з ціною поділки 0,1 см³;
- лабораторний термометр з похибкою не більше 1 °С;
- круглодонна колба (об'єм 250 мл);
- воронка Бабо;
- пробірки;
- газовий пальник;
- персональний комп'ютер для обробки результатів досліджень.

2.2. Методика досліджень товщини і температури плавлення термопластичних плівок

Визначення товщини плівок

Товщину термопластичних плівок заміряли на підготовлених смужках зразків (100-120 мм) на відстані не менше 1 м одна від одної. Замірювання проводили використовуючи мікрометр МК-25 0,01 за кімнатної температури (23±2) °С та відносної вологості (50±5) % (рис. 2.1). Кількість замірювань було не менше 10.



Рис. 2.1. Визначення товщини термопластичної плівки мікрометром МК-25 0,01

Визначення температури плавлення плівок

Термометр із прикріпленим зразком поміщали в пробірку, яку опускали в колбу з теплоносієм, яким був гліцерин. Колбу встановлювали в залізну воронку Бабо, щоб забезпечити рівномірний нагрів і дотриматися техніки безпеки. Знизу воронку нагрівали газовим пальником (рис. 2.2).

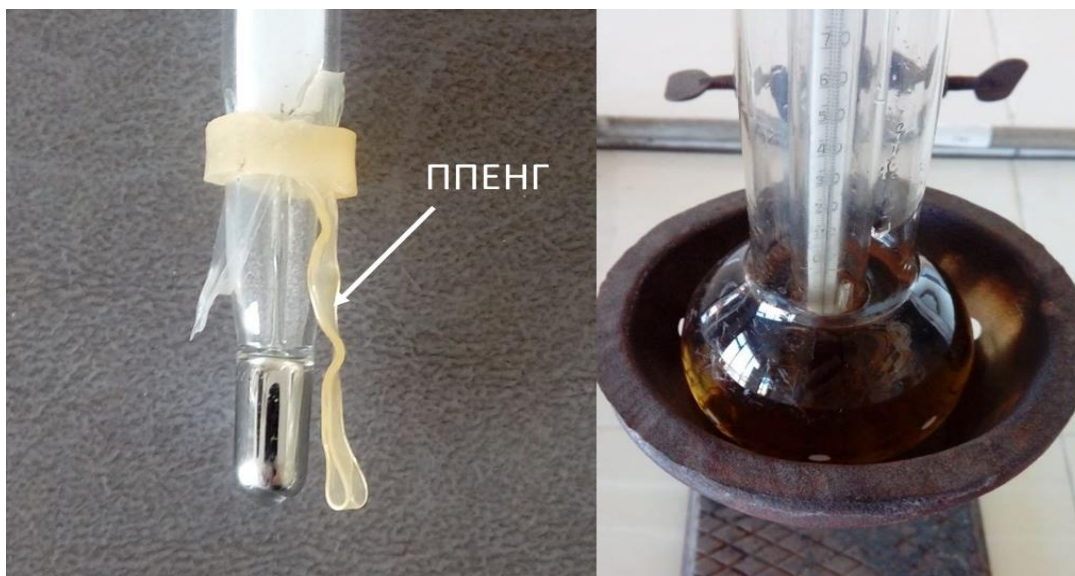


Рис. 2.2. Робочий момент визначення температури плавлення термопластичних плівок

Такий підхід використовували для того, щоб уникнути швидкого нагрівання легкого зразка у порівнянні з масивним термометром, що могло б призвести до спотворених результатів вимірювання температури. У результаті були отримані температури плавлення первинних поліетиленових плівок (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Плівка	Товщина, мкм	Температура плавлення, °С
ПЕНГ(В)	50	109
ПЕНГ(В)	100	108
ПЕНГ(В)	150	105

2.3. Методика досліджень процесу прогрівання пакетів шпону

2.3.1. Підготування листів шпону до випробування

Товщина і вологість лущеного шпону визначалися на зразках розміром 300 мм×300 мм×S мм, де S – товщина шпону.

Визначення товщини. Перед початком формування пакета шпону штангенциркулем заміряли товщину кожного листа шпону в чотирьох точках із точністю до 0,01 мм. Товщину шпону вимірювали індикатором годинникового типу (рис. 2.3). Із заміряних чотирьох товщин листа шпону визначали середнє арифметичне, яке приймали за товщину листа шпону $S_{ш}$.



Рис. 2.3. Робочий момент визначення товщини шпону

Визначення вологості. Вологість лущеного шпону кожної породи деревини визначали за допомогою вологоміра HMB-WS1 (рис. 2.4.).



Рис. 2.4. Робочий момент визначення вологості лущеного шпону

2.3.2. Формування пакетів з листів шпону і термопластичною плівкою

Було виготовлено тришарову фанеру, для склеювання якої використовували термопластичну плівку ПЕНГ(в) різної товщини замість традиційних клеїв на основі КФ та ФФ смол.

Термопластичні плівки ПЕНГ(в) перед початком формування пакетів шпону розкроювали на формат, що відповідав розмірам лущеного шпону (300 x 300 мм) (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Робочий момент розкроювання плівки ПЕНГ(в)

Між кожними двома сусідніми шарами шпону, розмір яких відповідав параметрам полімерної плівки, укладався один аркуш плівки. Пакет шпону формувався згідно зі стандартними технологічними нормами, прийнятими у виробництві фанери. Плівка необхідної товщини розміщувалася між двома шарами шпону, орієнтованими під взаємно перпендикулярними кутами. Для вимірювання температури в середньому шарі шпону робили надріз, куди встановлювали термопару, з'єднану з цифровим мультиметром. Схема формування пакету шпону зображена на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Схема формування пакету шпону

Для порівняння одержаних результатів досліджень проводили визначення прогрівання пакету шпону склеєного КФ клеєм марки КФ-МТ. Рецептuru клею готувалася відповідно до умов виробництва.

Сформовані пакети шпону піддавали гарячому пресуванню:

- пакети шпону сформовані з листів шпону різної породи деревини склеєних термопластичними плівками різної товщини пресувалися за тиску 1,4 МПа та температури 160 °С;
- пакети шпону сформовані з листів шпону різної породи деревини склеєних КФ-МТ клеєм витратою 110 г/м² пресувалися за тиску 1,8 МПа та температури 110 °С (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Лабораторний прес "Хомко"

Температура гарячого пресування була вибрана з урахуванням попередньої оцінки температури плавлення термопластичних плівок, яка визначає нижню межу температурного діапазону пресування. Щоб забезпечити достатню текучість розплаву плівок і їх проникнення в структуру деревини, температура пресування повинна перевищувати температуру плавлення. Сформовані пакети шпону пресували при температурі 160 °С протягом 4,5 хвилин. Після завершення гарячого пресування проводили холодне пресування

фанери при температурі 20 ± 2 °С протягом 5 хвилин, що сприяло завершенню процесу затвердіння полімеру та зниженню короблення фанери.

2.3.3. Вимірювання температури всередині пакета шпону

Після розміщення пакета шпону в гарячому пресі в момент зімкнення плит преса включали секундомір. Температуру всередині пакета фіксували кожну секунду до моменту завершення часу пресування(рис. 2.8-2.9).

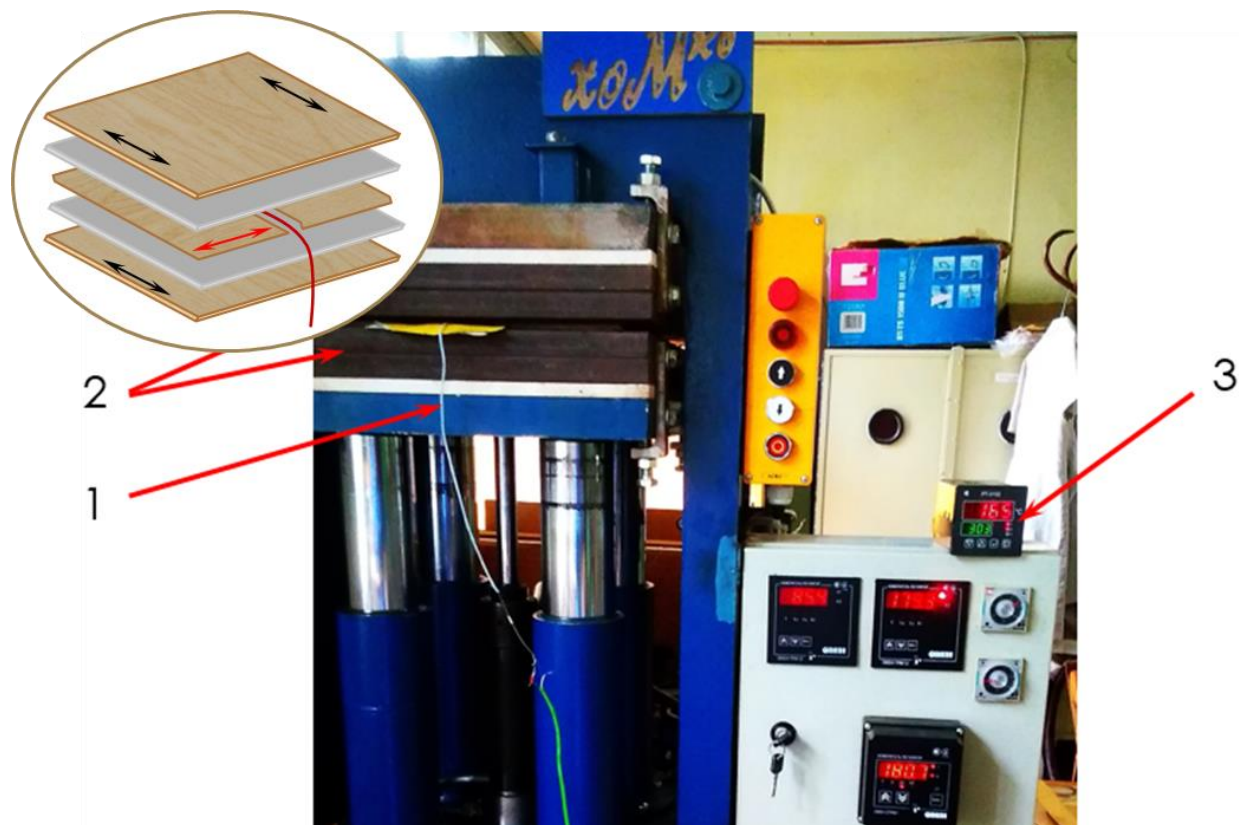


Рис. 2.8. Робочий момент визначення температури прогрівання пакета шпону:

1 – термопара; 2 – плити преса; 3 – цифровий мультиметр РТ-0102

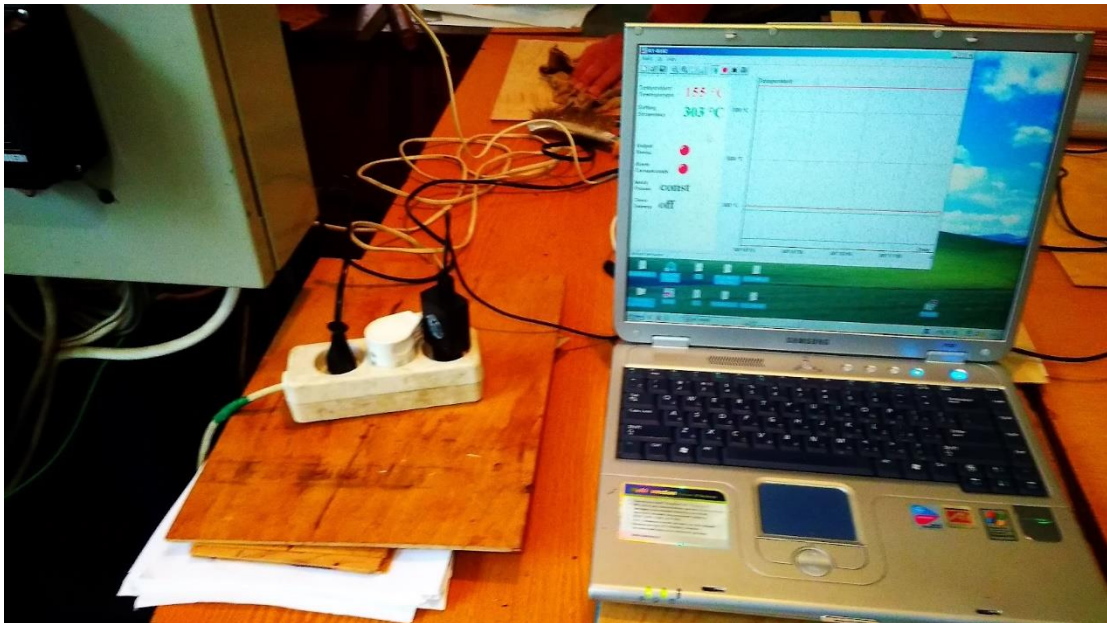


Рис. 2.9. Знімання показів прогрівання пакета шпону

Оскільки температура пресування пакетів шпону була 160 °С, то необхідним було дослідити скільки часу потрібно для того, щоб досягнути необхідної температури всередині пакета. Цей фактор є важливим, оскільки склеювання пакетів шпону термопластичними плівками відбувається шляхом механічної адгезії – проникнення в'язкотекучого полімеру в структуру деревини та утворення там замків склеювання. Щоб полімер якнайглибше проник у структуру деревини, потрібно, щоб він перейшов не лише із твердого стану у плавкий, а у в'язкотекучий для можливості проникати в пори та судини деревини.

2.4. Методика визначення міцності фанери на зріз

Для проведення досліджень відбирали зразки без видимих вад деревини і дефектів обробки в місцях зрізів. Кожен тестовий зразок був розрізаний таким чином, щоб напрямок волокон шару між двома швами проходив по всій довжині зразка. Зразки вирізали так, щоб можна було перевірити кожен шов (рис. 2.10).

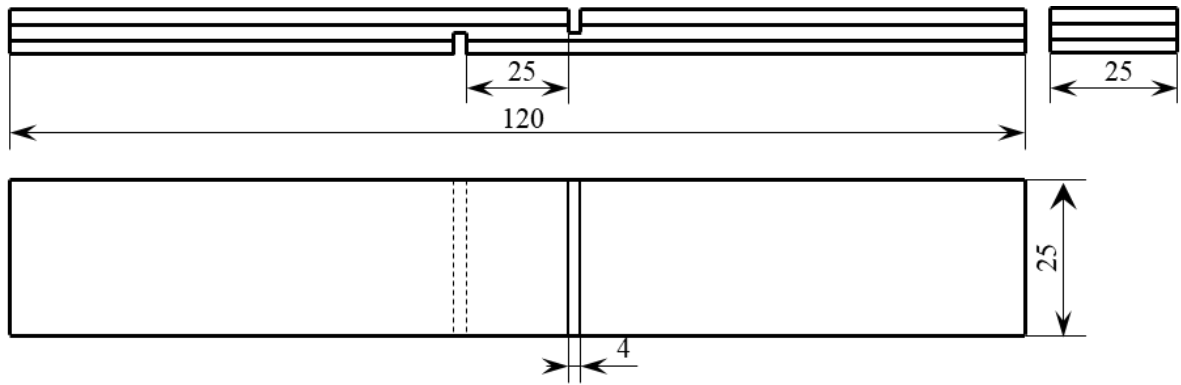


Рис. 2.12. Зразок для випробувань міцності фанери на зріз згідно EN 314-1

У кожному випадку розрізи закінчувалися всередині шару. Перед випробуванням фанерних зразків на зріз, їх попередньо замочували в дистильованій воді при кімнатній температурі протягом 24 годин. Після замочування зразки виймали з води і злегка осушували фільтрувальним папером, щоб видалити залишкову вологу для кращого затискання в захватах випробувальної машини.

Зразки встановлювали в затискні кулачки так, щоб навантаження від машини передавалося через торцеві частини зразків на ділянку розрізу без виникнення бічних сил (2.11).



Рис. 2.11. Момент визначення міцності фанери на зріз на випробувальній машині PM-05

Навантаження прикладалося з постійною швидкістю, щоб руйнування зразка сталося за (30 ± 10) секунди. Руйнування проявлялося в місці зрізу, тобто між надрізами, на деревині або в клеєвих шарах. Якщо руйнування виникало поза цією зоною або, якщо понад 50% руйнування відбувалося на поверхневих шарах фанери, такий результат випробування вважався недійсним і тест повторювався з довжиною розрізу 10 мм. Також вилучалися зразки, де поломка сталася через дефекти, що знижували міцність.

Міцність на зріз кожного зразка для випробування (у МПа) обчислювали за формулою:

$$f_v = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (2.1)$$

де F – сила руйнування зразка, Н;

l – довжина площі зрізу, мм;

b – ширина площі зрізу, мм.

Середнє арифметичне значення міцності на зріз треба обчислювати з точністю до 0,01 Н/мм².

2.5. Статистична обробка результатів досліджень

Після завершення випробувань була проведена обробка експериментальних даних, за результатами яких побудовано графіки. Для проведення статистичної обробки результатів досліджень визначали статистичні параметри [65]:

Середнє арифметичне значення:

$$\bar{y} = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n)}{n}, \quad (2.2)$$

де y_1, y_2, \dots, y_n – одержані результати експериментальних досліджень;

n – кількість результатів.

Вибіркова дисперсія та середньоквадратичне відхилення:

$$S^2 = \frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2}{n - 1}, \quad (2.3)$$

де y_i – значення в i -му досліді;

\bar{y} – середнє арифметичне значення.

Середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (2.4)$$

Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

Середньоквадратична похибка середнього значення:

$$S_y = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.6)$$

Показник точності дослідження (неповинен перевищувати 5 %):

$$P = \pm \frac{S_y}{\bar{y}} \cdot 100, \%, \quad (2.7)$$

Результати проведеної статистичної обробки даних міцності фанери на зріз наведені в додатку **Г**. Тоді за одержаними результатами статистичної обробки проводили дисперсійний аналіз з використанням тесту ANOVA.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою дослідження є дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини вторинною термопластичною плівкою ПЕНГ, визначити температуру і тривалість в заданій точці пакета шпону, потрібну для нагрівання пакета шпону до заданої температури, залежно від породи деревини та товщини термопластичної плівки.

Для досягнення поставленої мети було виготовлено фанеру таких видів:

- 1) шпон тополі та плівка ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм;
- 2) шпон тополі та плівка ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм;
- 3) шпон тополі та плівка ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм;
- 4) шпон берези та плівка ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм;
- 5) шпон берези та плівка ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм;
- 6) шпон берези та плівка ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм;
- 7) шпон бука та плівка ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм;
- 8) шпон бука та плівка ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм;
- 9) шпон бука та плівка ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм;
- 10) шпон з граба та плівка ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм;
- 11) шпон з граба та плівка ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм;
- 12) шпон з граба та плівка ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм;
- 13) шпон тополі та клей КФ-МТ витратою 110 г/м² (контрольний зразок);
- 14) шпон берези та клей КФ-МТ витратою 110 г/м² (контрольний зразок);
- 15) шпон бука та клей КФ-МТ витратою 110 г/м² (контрольний зразок);
- 16) шпон граба та клей КФ-МТ витратою 110 г/м² (контрольний зразок).

3.1. Вплив товщини вторинної плівки ПЕНГ на тривалість прогрівання пакета шпону

За результатами досліджень побудовано графіки розподілу температури всередині пакета з інтервалом у 5 секунд для різних товщин термопластичної плівки ПЕНГ(в).

Для тополевої фанери зміна товщини ПЕНГ(в) від 50 до 150 мкм практично не впливає на час прогрівання внутрішнього шару: для плівки товщиною 50 і 100 мкм він становив 170 с, а для плівки товщиною 150 мкм – 175 с. (рис. 3.1).

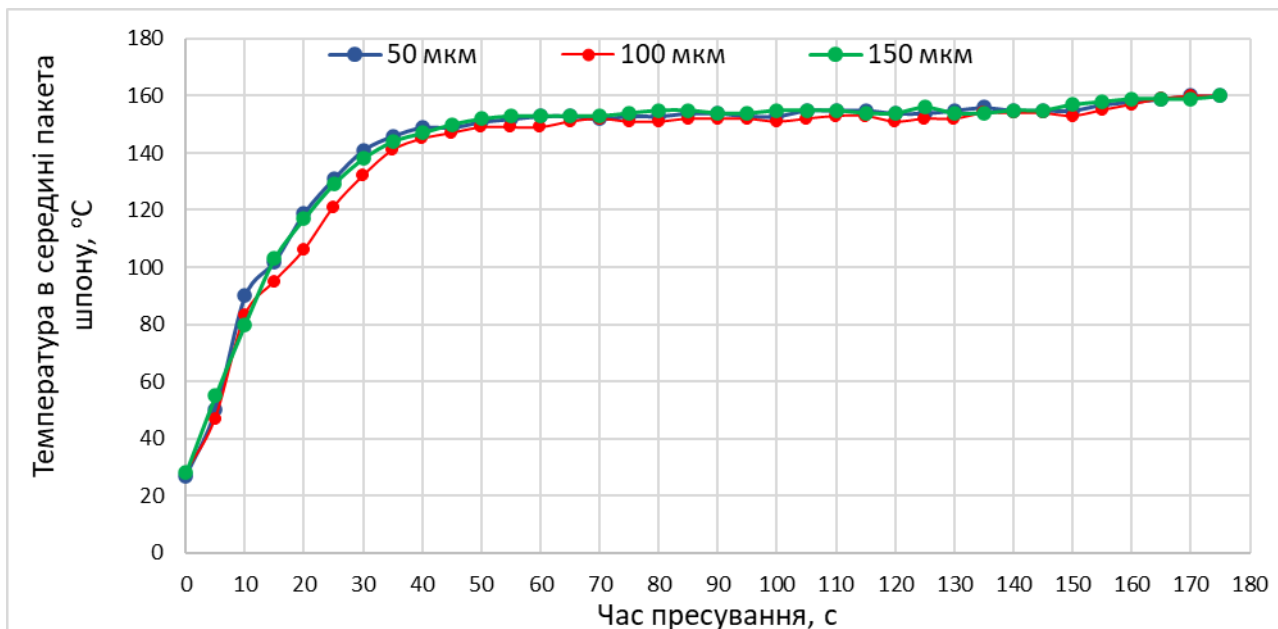


Рис. 3.1. Криві температурного розподілу всередині пакета з тополевого шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 та 150 мкм

Встановлено, що час, необхідний для прогрівання середини пакету з листів березового шпону, був однаковим для всіх товщин ПЕНГ(в) і становив 175 с. (рис. 3.2).

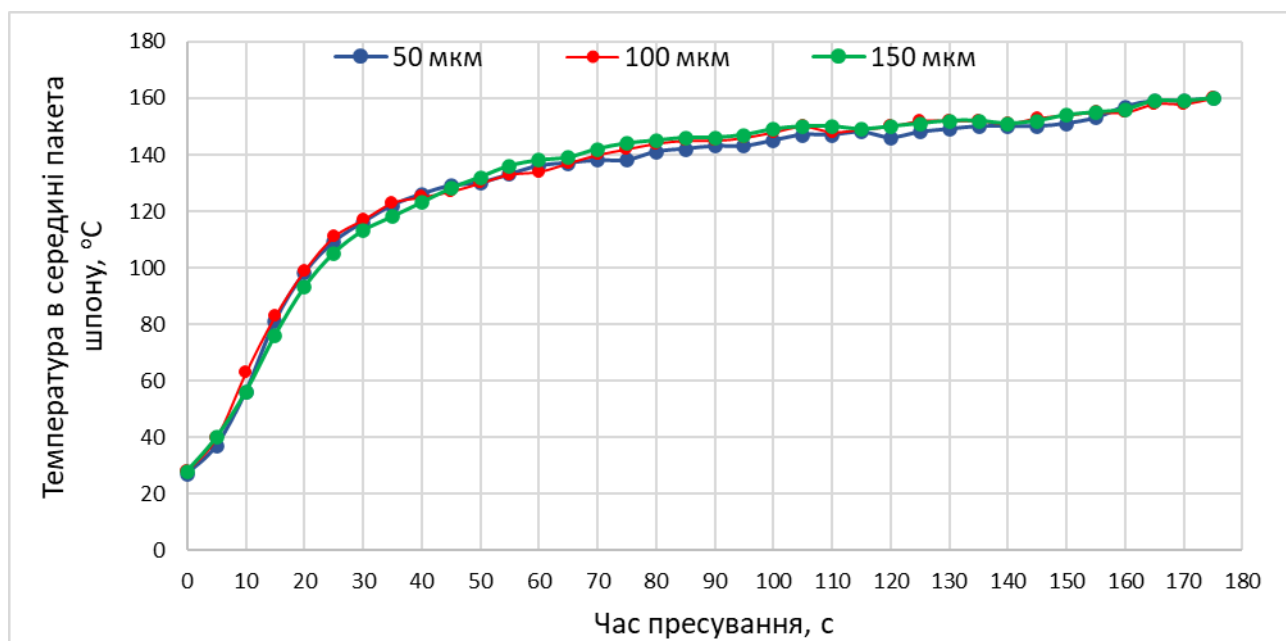


Рис.3.2. Криві температурного розподілу всередині пакета з березового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 та 150 мкм

Для зразків букової фанери результати швидкості прогрівання середини пакету відповідних товщин ПЕНГ(в) були наступні: 50 мкм – 170 с, 100 мкм – 175 с, 150 мкм – 170 с, а отже майже однакові.

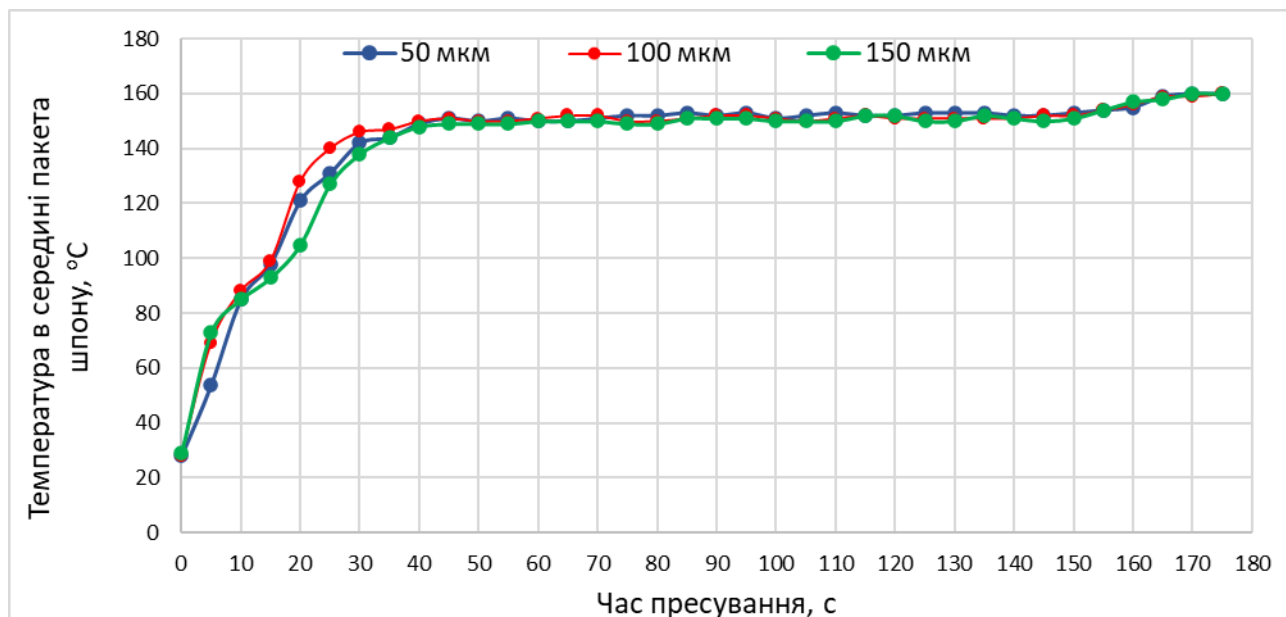


Рис.3.3. Криві температурного розподілу всередині пакета з букового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 та 150 мкм

Грабова фанера, склеєна плівкою ПЕНГ(в), показала такий самий час прогрівання середини пакету, як і у березової фанери, незалежно від товщини плівки ПЕНГ(в) – 175 с.

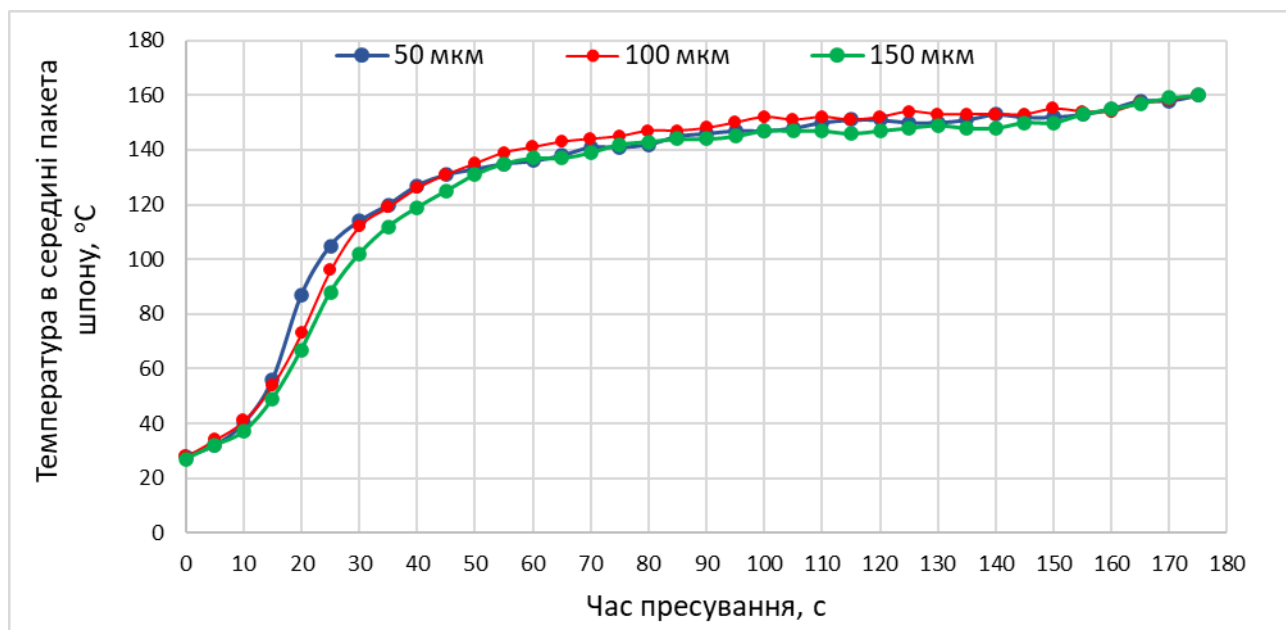


Рис.3.4. Криві температурного розподілу всередині пакета з грабового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 та 150 мкм

За результатами досліджень встановлено, що зміна товщини плівки ПЕНГ(в) у межах 50–150 мкм практично не впливає на час прогрівання середини пакета шпону (рис. 3.1 – 3.4).

3.2. Вплив породи деревини на тривалість прогрівання пакета шпону

Згідно отриманих результатів дослідження, були побудовані графіки впливу породи деревини на розподіл температури в середині фанери кожні 5 с.

Пакети, виготовлені з тополевого шпону, прогріваються швидше, ніж пакети з березового шпону, незалежно від товщини плівки ПЕНГ(в): для тополевого шпону час прогрівання становить 170 с, а для березового – 175 с (рис. 3.5-3.7).

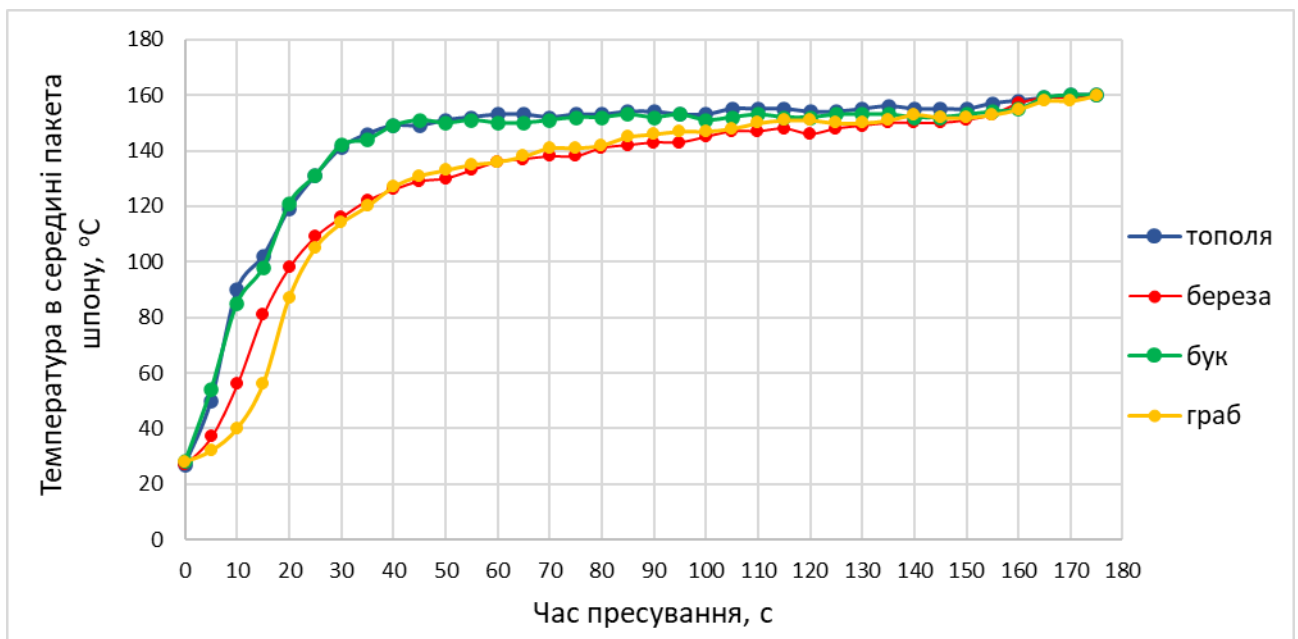


Рис.3.5. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм

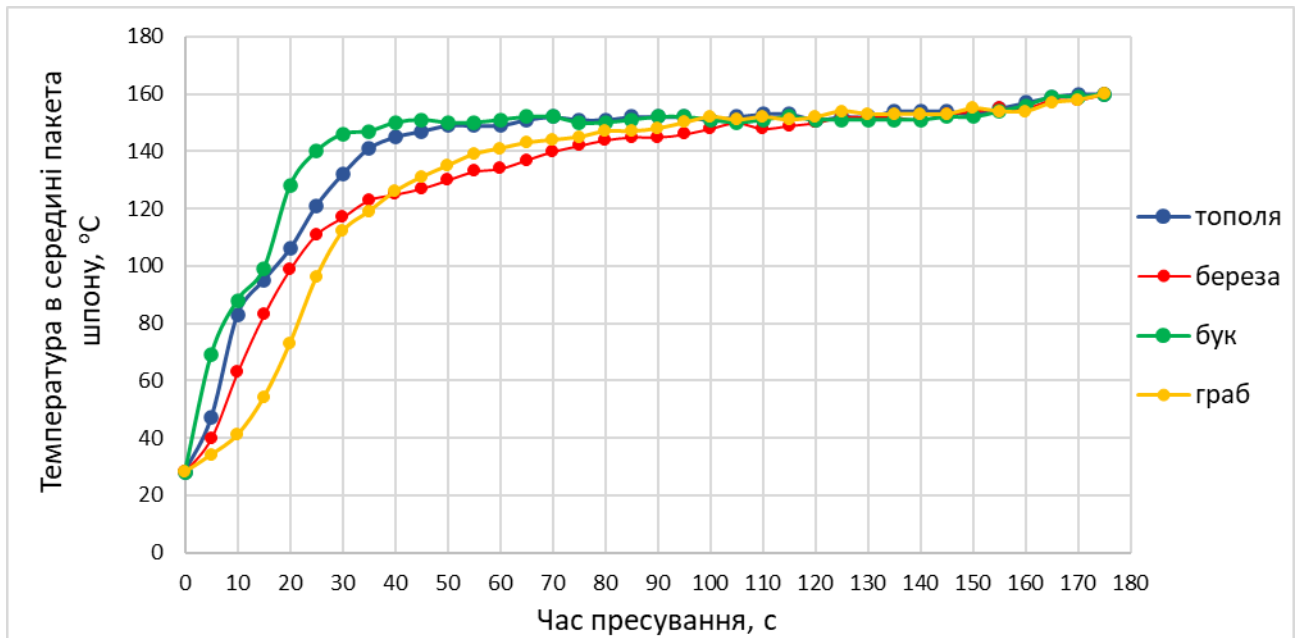


Рис.3.6. Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм

Подібна закономірність відзначається і для пакетів, виготовлених з букового та грабового шпону: пакети з букового шпону прогріваються швидше - 170 с, порівняно з грабовим - 175 с. Це можна пояснити різницею у щільності деревини та товщині шпону, що досліджувався.

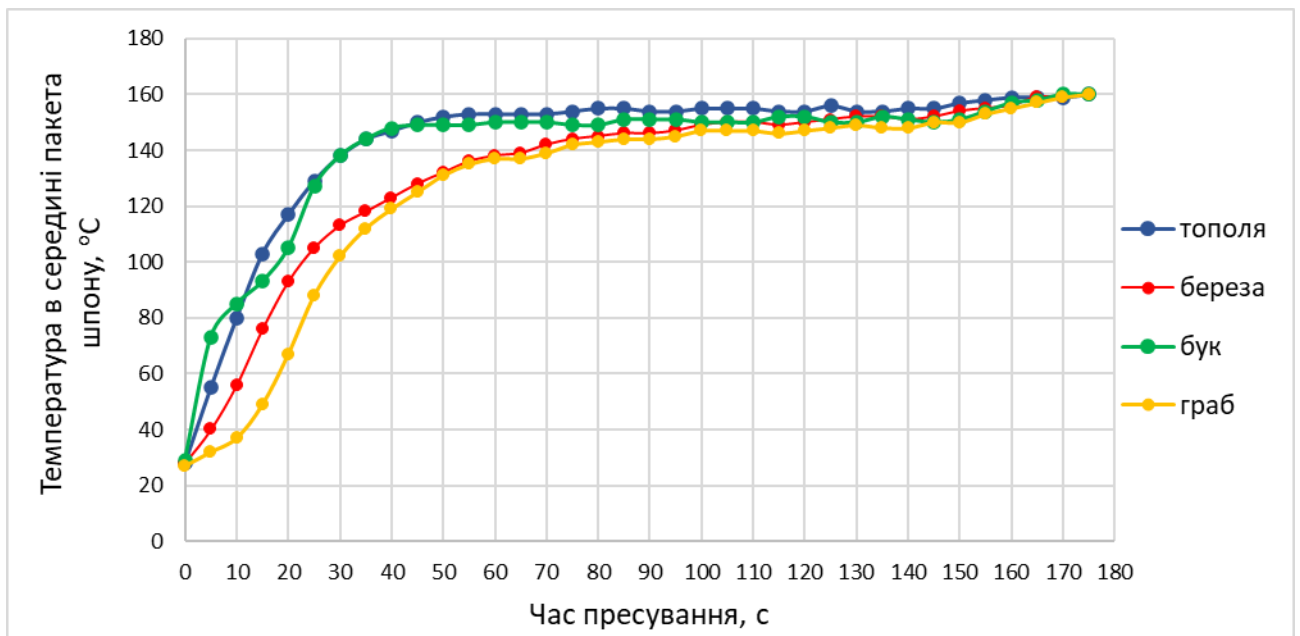


Рис.3.7. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм

3.3. Вплив виду клею на тривалість прогрівання пакета шпону

Однією з причин, що впливає на швидкість прогрівання середини пакета шпону є здатність клею проникати в структуру деревини під час пресування пакета і затвердівати в її клітинних стінках. На рис.3.8-3.11. виразно помітна різниця між перебігом швидкості прогрівання пакета шпону залежно від виду застосовуваного клею.

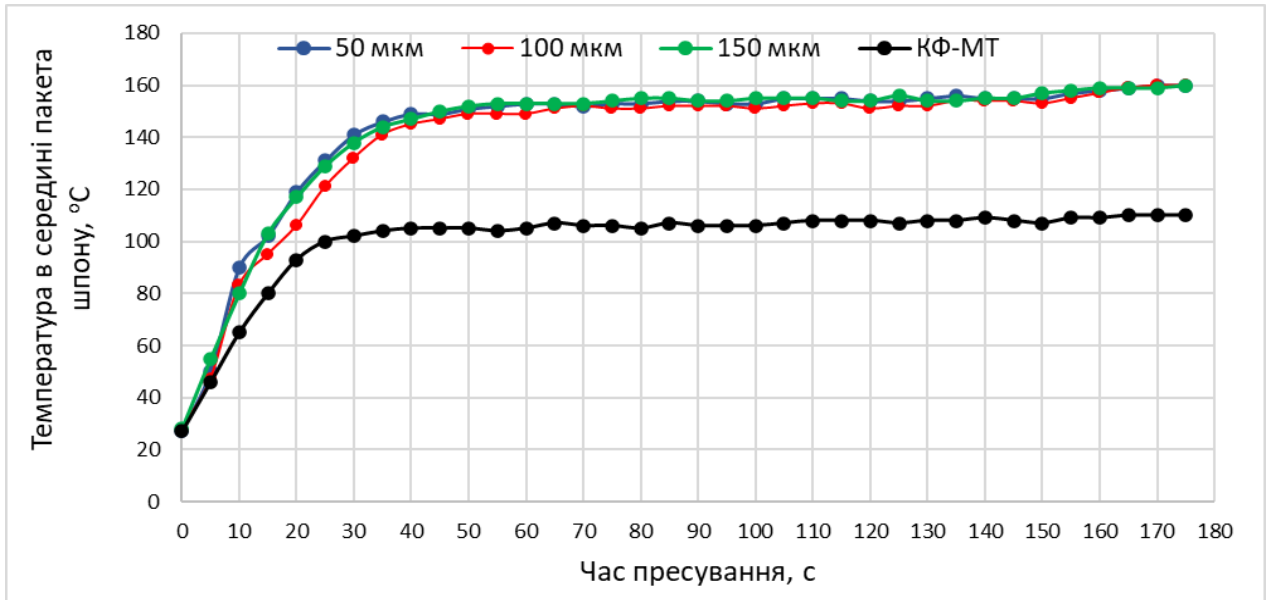


Рис.3.8.Криві розподілу температури всередині пакета з тополевого шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм

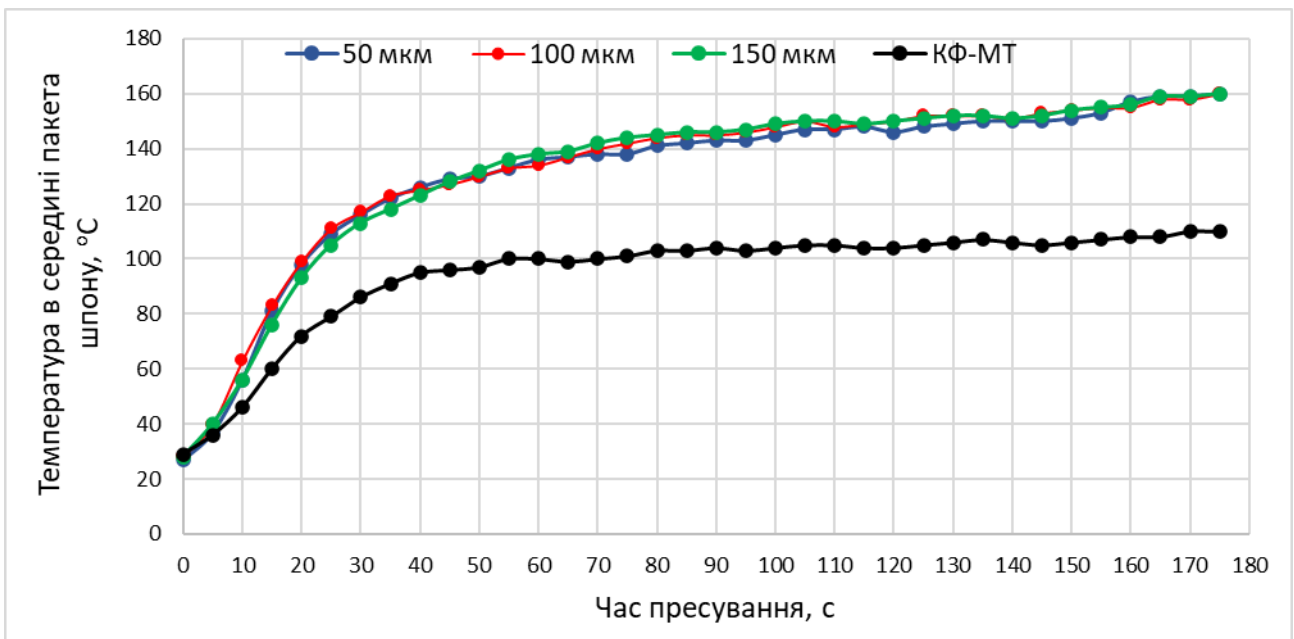


Рис.3.9.Криві розподілу температури всередині пакета з березового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм

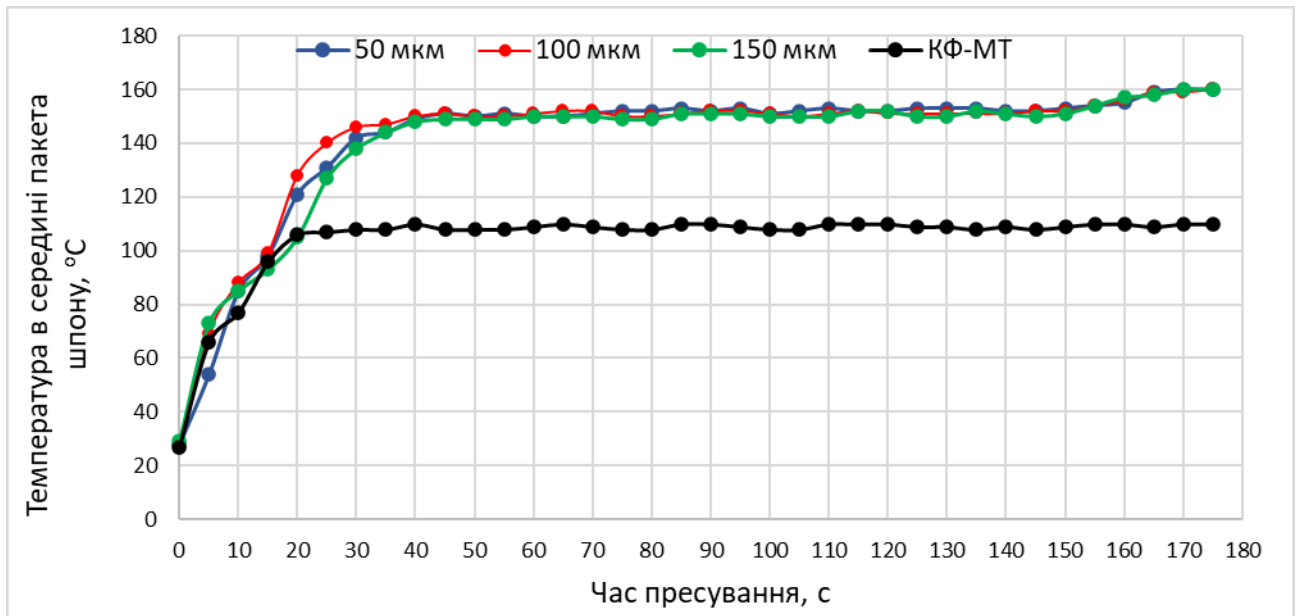


Рис.3.10.Криві розподілу температури всередині пакета з букового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм

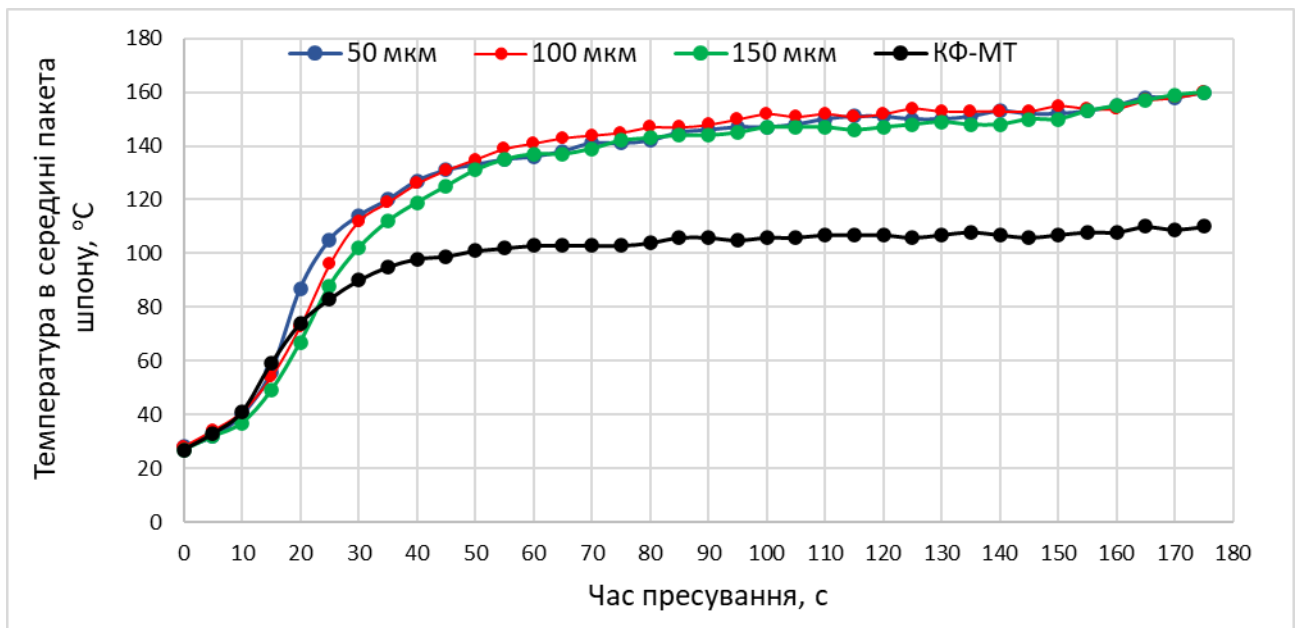


Рис.3.11.Криві розподілу температури в середині пакета з грабового шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм

Дослідження показали, що пакети шпону, склеєні КФ клеєм, прогрівалися найповільніше за температури пресування 110 °С. Температура всередині такого пакета досягала рівня пресування за 40–170 с. Натомість у пакетах

шпону, склеєних термопластичною плівкою, за той самий час температура всередині зростала до 160°C, що майже втричі швидше. Це пов'язано з вищою температурою пресування. Крім того, процес уповільнювався через вологу, внесену разом із КФ клеєм, оскільки частина теплової енергії витрачалася на випаровування води.

3.4. Вплив породи деревини і товщини плівки на міцність фанери на зріз

За результатами дисперсійного аналізу впливу породи деревини та товщини плівки ПЕНГ(в) на межу міцності фанери на зріз є значним ($p = 0,000 \leq 0,05$) (табл. 3.1, 3.2). Найбільший вплив на міцність фанери на зріз має порода деревини, $F = 81,526$ (табл. 3.1-3.2).

Таблиця 3.1

Результати тесту ANOVA впливу факторів взаємодії на міцність фанери на зріз виготовленої з термопластичної плівки ПЕНГ(в)

№ з.п.	Залежні змінні	Факторні взаємодії	Сума квадратів (SS)	Ступінь свободи (df)	Середній квадрат (MS)	Значення F - статистики	Значущість (P)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Міцність фанери на зріз	Порода деревини	8,226	3	2,742	81,526	0,001*
		Товщина плівки ПЕНГ(в)	1,656	3	0,552	16,413	0,001*
		Порода деревини × Товщина плівки	1,015	9	0,113	3,355	0,001*

Таблиця 3.2

Тест Дункана для зразків фанери виготовлених з плівки ПЕНГ(в)

№ з.п.	Залежні змінні	Порода деревини				Товщина плівки ПЕНГ(в), мкм		
		тополя	береза	бук	граб	50	100	150
1	2	3	5	6	7	8	10	11
1	Міцність фанери на зріз, МПа	1,2 В	1,2 В	1,6 С	1,1 А	1,3 В	1,4 С	1,4 С

Для зразків тополевої фанери найнижчий середній показник міцності на зріз був отриманий у пакета, склеєного плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм - 0,906 МПа. Найвищий результат для фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(в) будь-якої товщини, становив 1,199 МПа. Водночас зразки, склеєні КФ-МТ клеєм, продемонстрували дещо кращу міцність — 1,529 МПа (рис. 3.12).

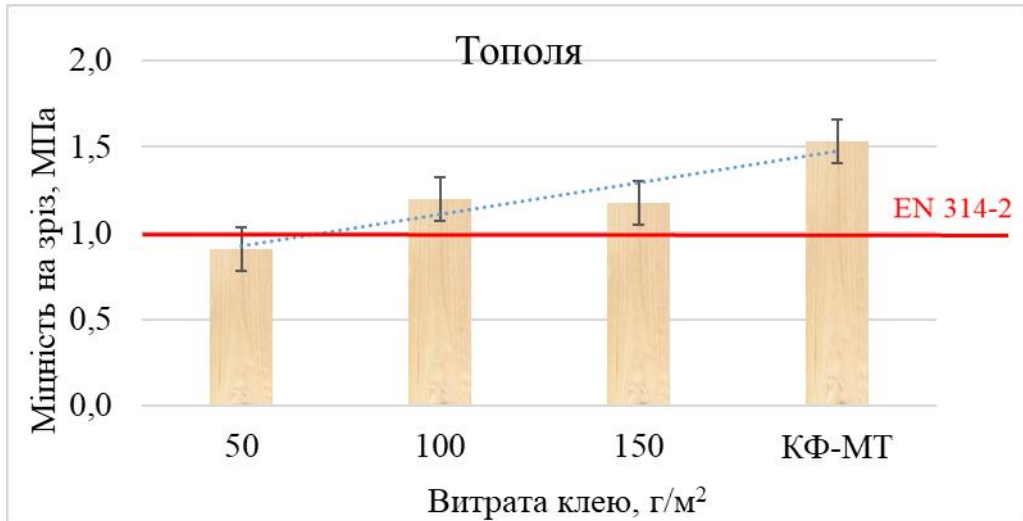


Рис. 3.12. Вплив товщини плівки ПЕНГ(в) на міцність тополевої фанери на зріз

Найгірші показники міцності на зріз були для зразків березової фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(в): 50 мкм – 0,252 МПа, 100 мкм – 1,174 МПа і 150 мкм – 1,456 МПа відповідно. Натомість зразки, склеєні КФ-МТ клеєм, продемонстрували найвищу міцність — 1,773 МПа (рис. 3.13).

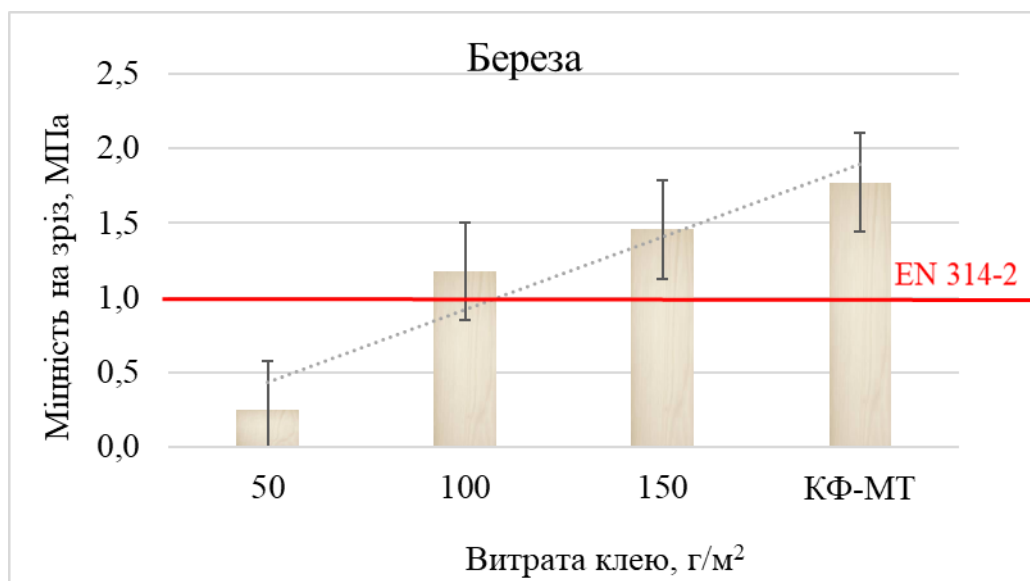


Рис. 3.13. Вплив товщини плівки ПЕНГ(в) на міцність березової фанери на зріз

Найвища міцність на зріз серед зразків, склеєних плівкою ПЕНГ(в), була для букової фанери, незалежно від товщини плівки: 50 мкм – 1,468 МПа, 100 мкм – 1,720 МПа і 150 мкм – 2,042 МПа відповідно. Водночас фанера, склеєна КФ-МТ клеєм, мала дещо вищий показник міцності — 2,073 МПа (рис. 3.14).

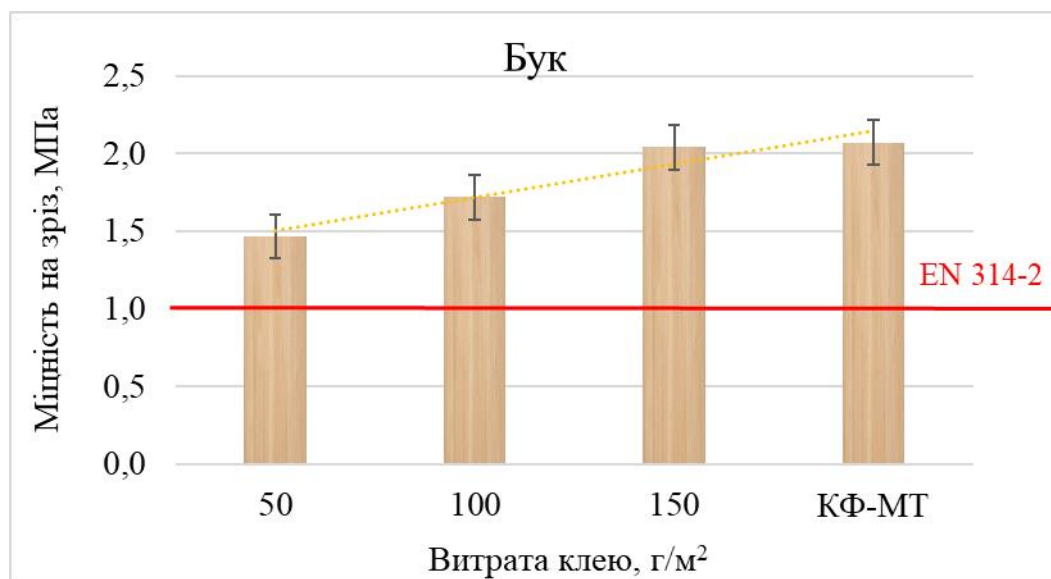


Рис. 3.14. Вплив товщини плівки ПЕНГ(в) на міцність букової фанери на зріз

Для зразків грабової фанери міцність на зріз варіювалася залежно від товщини плівки ПЕНГ(в). Найвищий показник був зафіксований для плівки товщиною 150 мкм — 1,658 МПа, а найнижчий для 50 мкм — 0,288 МПа. Зразки, склеєні КФ-МТ клеєм, мали дещо вищу середню міцність — 2,169 МПа (рис. 3.15).

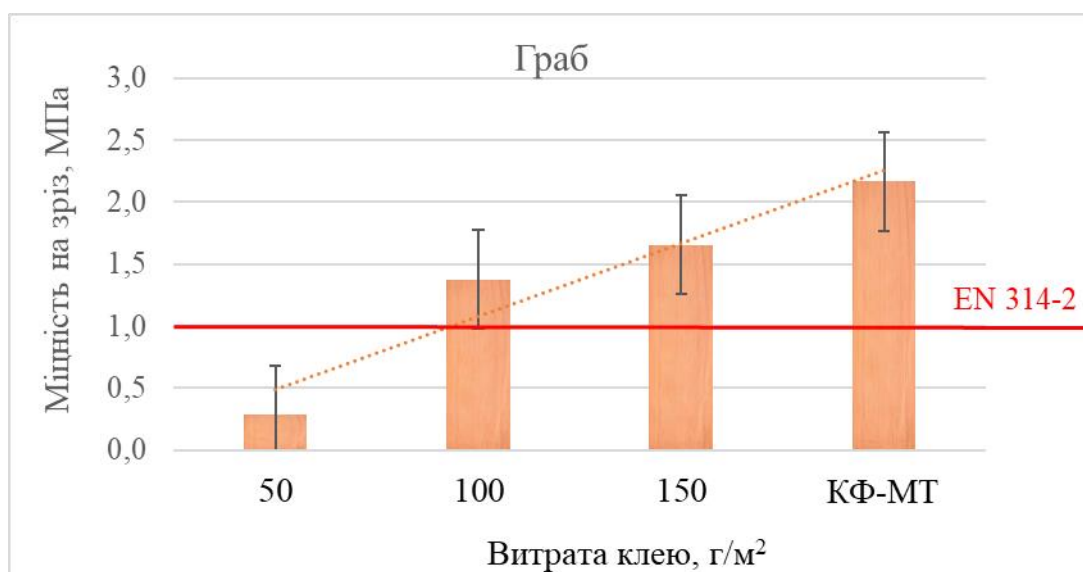
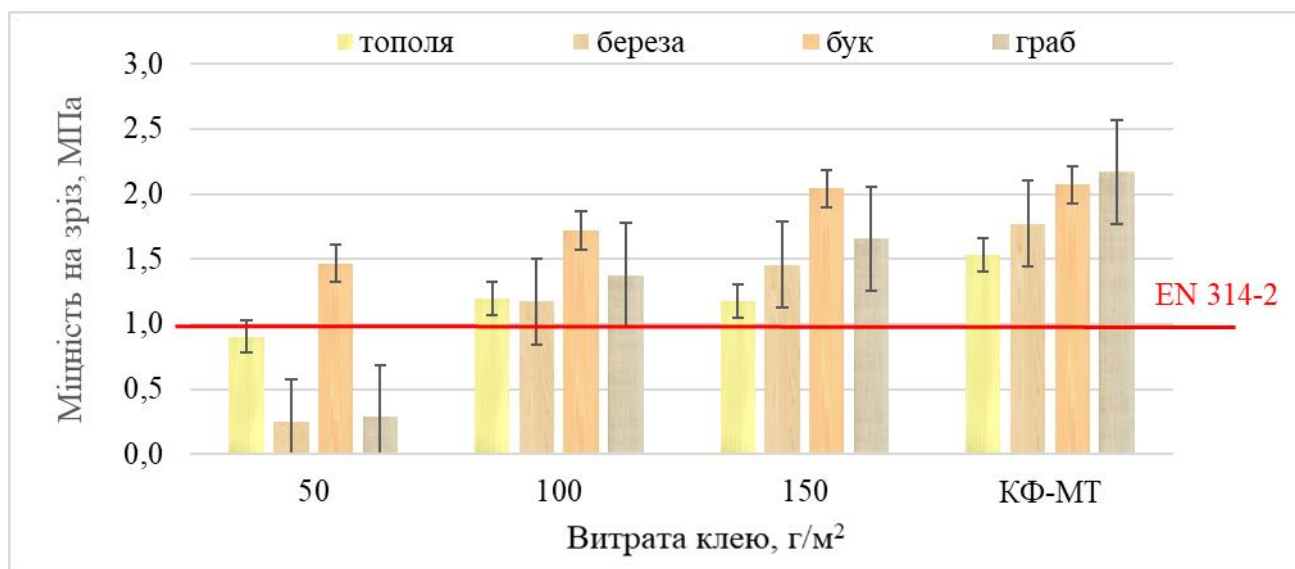


Рис. 3.15. Вплив товщини плівки ПЕНГ(в) на міцність грабової фанери на зріз

Порівняння середніх значень міцності фанери на зріз, склеєної плівкою ПЕНГ(в) і КФ-МТ клеєм, показує різницю у показниках, що обумовлена відмінностями фізико-механічних властивостей деревини кожної породи та її взаємодією з типом зв'язуючого.



За результатами досліджень встановлено, що товщина плівки ПЕНГ(в) 50 мкм є недостатньою для склеювання пакетів з тополевого, березового та букового шпону ($\sigma_{зр} < 1,0$ МПа), оскільки результати не відповідають стандарту EN 314-2.

3.5. ВИСНОВКИ

Результати експериментальних досліджень показують, що порода деревини та товщина термопластичної плівки ПЕНГ(в) істотно впливають на міцність фанери на зріз, який є основним показником якості матеріалу, а також на процес прогрівання пакета шпону. Це дозволяє прогнозувати тривалість основної технологічної операції — гарячого пресування, а також загальний час виготовлення продукції. За результатами аналізу виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримано такі висновки:

1. Проаналізовано вплив породи деревини та товщини вторинної термопластичної плівки ПЕНГ на швидкість прогрівання пакета шпону. Встановлено, що товщина полімеру від 50 до 150 мкм практично не впливає на час прогрівання середини пакету.

2. З'ясовано, що порода деревини впливає на швидкість прогрівання пакета шпону. Пакети, виготовлені з тополевого і букового шпону, прогриваються швидше, ніж пакети з березового шпону, незалежно від товщини плівки ПЕНГ(в) – 170 і 175 с відповідно. Пакети з листів тополевого і букового шпону прогриваються швидше (165–170 с), ніж пакети з березового та грабового шпону (175 с). Це пов'язано як з щільністю деревини, так і товщиною використовуваного шпону.

3. Встановлено, що найвищі показники міцності на зріз є для зразків фанери, склеєних з листів букового шпону плівкою ПЕНГ(в) для всіх товщин: 50 мкм – 1,468 МПа, 100 мкм – 1,720 МПа і 150 мкм – 2,042 МПа відповідно. З'ясовано, що товщина плівки ПЕНГ(в) 50 мкм є недостатньою для склеювання пакетів з тополевого, березового та букового шпону ($\sigma_{зр} < 1,0$ МПа), оскільки результати не відповідають стандарту EN 314-2.

4. На основі досліджень встановлено, що температура пресування 160 °С забезпечує достатнє розплавлення полімеру та його глибоке проникнення в структуру деревини, утворюючи міцне клейове з'єднання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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>.
2. FAO. (2013). Yearbook of Forest Products 2015. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/i4746m/i4746m.pdf>.
3. FAO. (2022). Yearbook of Forest Products 2020. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb0513m/CB0513M.pdf>.
4. IARC. (2006). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tertbutoxypropan-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>.
5. Nazarenko, V. V., Bereznenko, N. M., Novak, D. S., & Skrypnyk, 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>.
6. Yearbook of Forest Products 2022. FAO. 2020. URL: <https://www.fao.org/3/cc3475m/cc3475m.pdf>.
7. FAO. (2022). Yearbook of Forest Products 2021. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb3795m/cb3795m.pdf>.
8. Сагаль С. Аналіз потенціалу лісового сектору України та виявлення факторів, що гальмують його інноваційний розвиток. ENPI EAST FLEG II. 2014. URL: <http://www.fleg.org.ua/docs/213>.
9. 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, 73-78. <https://doi.org/10.36930/40320312>.
10. Загальна характеристика лісів України. Державне агенство лісових ресурсів України. URL: <https://forest.gov.ua/> (дата звернення 12.10.2023).

11. Держстат України, 1998-2020 https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/lisz_vyd_prod_lg_u.htm.
12. Бехта П.А. Виробництво фанери: підручник. Київ: Основа, 2003. 320 с.
13. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Підручник. Київ: Основа, 2003. 336 с.
14. Gardner D.J., & Han Y. Towards structural wood plastic composites: technical innovations. *Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic network in wood material science and engineering (WSE)*. Tallinn, Estonia, 2010. P. 7–22.
15. Wang Y. Morphological characterization of wood plastic composite (WPC) with advanced imaging tools: Developing methodologies for reliable phase and internal damage characterization. Master's thesis (20 July 2007, Oregon). Oregon, 2007. 163 p.
16. Mittal M., & Sharma C.B. Studies on lignin-based adhesives for plywood panels. *Polymer International*. 1992. Vol. 29, №1. P. 7–8.
17. Sowunmi S., Ebewele R.O., Conner A.H., River B.H. Fortified mangrove tannin-based plywood adhesive. *Journal of Applied Polymer Science*. 1996. Vol. 62. P. 577–584.
18. Tohmura S.I., Li G.Y., Qin T.F. Preparation and characterization of wood polyalcohol-based isocyanate adhesives. *Journal of Applied Polymer Science*. 2005. Vol. 98. P. 791–795.
19. Hu Y., Nakao T., Nakai T., Gu J., Wang F. Vibrational properties of wood plastic plywood. *Journal of Wood Science*. 2005. Vol. 51, №1. P. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0624-9>.
20. Liu Y.J., Li K. Development and characterization of adhesives from soy protein for bonding wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2007. Vol. 27, №1. P. 59–67.
21. Jarvela P.K., Tervalo O., Jarvela P.A. Coating plywood with a thermoplastic. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 1999. Vol. 19. P. 295–301.
22. Song W., Wenbang W., Xuefei L., Shuangbao Z. Utilization of polypropylene film as an adhesive to prepare formaldehyde-free, weather-resistant plywood-like composites: Process optimization, performance evaluation, and interface modification. *BioResources*. 2017. Vol. 12, №1. P. 228–254.

23. Fang L., Chang L., Guo W., Ren Y., Wang Z. Preparation and characterization of wood-plastic plywood bonded with high density polyethylene film. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2013. Vol. 71. P. 739–746. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0733-0>.
24. Fang L., Chang L., Guo W., Chen Y., Wang Z. Manufacture of environmentally friendly plywood bonded with plastic film. *Forest Products Journal*. 2012. Vol. 63, №7/8. P. 283–288. DOI: <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00062>.
25. Song W., Wenbang W., Congrong R., Shuangbao Z. Developing and evaluating composites based on plantation eucalyptus rotary-cut veneer and high-density polyethylene film as novel building materials. *BioResources*. 2016. Vol. 11, №2. P. 3318–3331.
26. Chang L., Guo W., Tang Q. Assessing the tensile shear strength and interfacial bonding mechanism of poplar plywood with high-density polyethylene films as adhesive. *BioResourees*. 2017. Vol. 12, №1. P. 571–585. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.571-585>.
27. Пилипчук М.І., Григорєв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень. Київ: Знання, 2007. 270 с.
28. "Textbook of Wood Technology, Volume One: Structure, Identification, Defects, and Uses of the Commercial Woods of the United States" H.P. Brown, A.J. Panshin, and C.C. Forsaith, 1949.
29. "Wood handbook : wood as an engineering material" Richard Bergman, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999.
30. Гупало О.П., Тушницький О.П. Хімія деревини: підручник, 2-ге видання, виправлене і доповнене. Київ: Знання, 2008. 276 с.
31. Ковернінський І.М. Основи технології хімічної переробки деревини: навчальний посібник для вузів. Лісний. пром-сть, 1984. 184 с.
32. Бехта П.А., Тимик Д.В. Закономірності впливу хімічного оброблення поверхні лущеного шпону на властивості шпону та фанери. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2014 (12). 251–258 с.

33. Прудніков А. В., Ревяко М. М., Хрол Є. З., Петрушеня А. Ф. Вплив складів клейових композицій на властивості шаруватих деревних пластиків. *Праці БДТУ. №4. Хімія, технологія органічних речовин та біотехнологія*, 2014, 4 (168). 109-112.
34. Grinbergs U., Kajaks J., Reihmane S. Usage of Ecologically Perspective Adhesives for Wood Bonding. *Scientific Journal of Riga Technical University, Material Science and Applied Chemistry*. 2010. Vol. 22, 114-117.
35. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: Вебер, 2008. 738 с.
36. Fang L., Chang L., Guo W., Chen Y., Wang Z. Manufacture of Environmentally Friendly Plywood Bonded with Plastic Film. *Forest Products Journal*, 2013. 63, 283-287.
37. Chang L., Tang Q., Gao L., Fang L., Wang Z., Guo W. Fabrication and characterization of HDPE resins as adhesives in plywood. *Eur. J. Wood Prod.* 2018. 76, 325–335. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1117-z>.
38. Bekhta P. & Sedliačik J. Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers*. 2019. Vol. 11, 1166. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071166>.
39. Kajaks J., Kalnins K., Matvejs J. Mechanical and rheological properties of wood plastic composites based on polypropylene and birch plywood sanding dust. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 500, 001-012. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/500/1/012001>.
40. Song W., Wei W., Wang D., Zhang, S. Preparation and properties of new plywood composites made from surface modified veneers and polyvinyl chloride films. *BioResource*. 2017. 12, 8320–8339. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8320-8339>.
41. Бехта П.А., Кусняк І.І. Властивості фанери з використанням як клею термопластичної плівки. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів, 2019. Вип. 19. С. 209–222. DOI: <https://doi.org/10.15421/411943>.

42. Bekhta P., Müller M., Hunko I. Properties of Thermoplastic-Bonded Plywood: Effects of the Wood Species and Types of the Thermoplastic Films. *Polymers*, 2020, 12(11), 2582. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12112582>.
43. Рябишев Р.І. Дослідження фізико-механічних властивостей фанери із хімічно модифікованого шпону, склеєного з використанням первинної термопластичної плівки ПЕНГ / Р.І. Рябишев, І.І. Кусняк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2022. – С. 43-46.
44. Bekhta P.; Sedliačik J.; Kusniak I.; Gryc V.; Pipíška T.; Ráhel' J.; Lepcio P.; Pavliňák D.; Тумык D.; Chernetskyi O. Enhancing the properties of thermoplastic-bonded plywood by treating the birch veneers with citric acid. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2024, 134, 103781. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2024.103781>.
45. Виробництво промислової продукції за видами за 2019 рік. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
46. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2020 році. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
47. Утворення та поводження з відходами (1995–2020). Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
48. Borysiuk P. Die Festigkeit thermoplastgebundenen Sperrholzes. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2004. Vol. 55. P. 67–71.
49. Lustosa ECB, Del Menezzi CHS, de Melo R.R. Production and properties of a new wood laminated veneer/high-density polyethylene composite board. *Materials Research*. 2015. Vol. 18, №5. P. 994–999. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.010615>.
50. Han K-S., Lee H-H. Adhesion characteristics and anatomic scanning of plywood bonded by high density polyethylene. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 1997. Vol. 25, №3. P. 16–23.

51. Бехта П.А., Кусняк І.І. Термопластичні полімери у виробництві фанерної продукції: переваги, можливості та перспективи застосування. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів, 2018. Вип. 16. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.15421/411815>.
52. Назаренко В. В., Березненко Н. М., Новак Д. С., Скрипник С. П. Дослідження композицій на основі вторинного поліетилену з покращеними властивостями. *Електронний науковий журнал "Технології та дизайн"*. 2018. Вип. 4. №29. С. 9. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10882>.
53. Borysiuk P., Mamiński M.Ł., Parzuchowski P., Zado A. Application of polystyrene as binder for veneers bonding – the effect of pressing parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2010. Vol. 68, №4. P. 487–489.
54. Climenhage D. Recycled Plastic Lumber. A strategic Assessment of its production, use and future prospects. Ontario, 2003. 42 p.
55. Haghdan S., Smith G.D. Fracture mechanisms of wood/polyester laminates under quasi-static compression and shear loading. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2015. Vol. 74. P. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.04.006>.
56. Kajaks J., Kalniņš K., Reihmane S., Bernava A. Recycled thermoplastic polymer hot melts utilization for birch wood veneer bonding. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*. 2014. Vol. 30, №2. P. 87–102.
57. Kajaks J., Reihmane S., Grinbergs U., Kalniņš K. Use of innovative environmentally friendly adhesives for wood veneer bonding. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*. 2012. Vol. 61, №3. P. 207–211. DOI: <https://doi.org/10.3176/proc.2012.3.10>.
58. Smith M.J., Dai H., Ramani K. Wood–thermoplastic adhesive interface–method of characterization and results. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2002. Vol. 22, №3. P. 197–204. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(01\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(01)00055-0).
59. Cui T., Song K., Zhang S. Research on utilizing recycled plastic to make environment-friendly plywood. *Forestry Studies in China*. 2010. Vol. 12, №4. P. 218–222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0401-y>.

60. Кусняк І.І. Використання відходів термопластичних полімерів у виробництві фанери. *Прикладні науково-технічні дослідження: Матеріали II міжн. наук.-практ. конф.*, 3–5 квітня 2018 р. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2018. С. 136.
61. Шепелюк І., Кусняк І., Мельник Ю., Скорохода Т. Полімер-деревинні композити на основі вторинного поліетилену. *Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: Матеріали IX міжн. наук.-техн. конф.*, 14–18 травня 2018 р. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2018. С. 410–413.
62. Tang L., Zhao-gang Z., Jiao Q., Ji-ruo Z., Ying F. The preparation and application of a new formaldehyde-free adhesive for plywood. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2011. Vol. 31, №6. P. 507–512.
63. UNECE/FAO. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://unece.org/forests/introduction>.
64. Bekhta P., Sedliačik J. Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers (Basel)*. 2019. Vol. 11, №7:1166. P. 1–21. DOI: <https://doi: 10.3390/polym11071166>.
65. Пилипчук М.І., Григорєв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень. Київ: Знання, 2007. 270 с.

ДОДАТКИ

**Таблиця А.1. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з
тополевого шпону**

Час пресування, с	50 мкм	100 мкм	150 мкм	КФ-МТ
0	27	28	28	27
5	50	47	55	46
10	90	83	80	65
15	102	95	103	80
20	119	106	117	93
25	131	121	129	100
30	141	132	138	102
35	146	141	144	104
40	149	145	147	105
45	149	147	150	105
50	151	149	152	105
55	152	149	153	104
60	153	149	153	105
65	153	151	153	107
70	152	152	153	106
75	153	151	154	106
80	153	151	155	105
85	154	152	155	107
90	154	152	154	106
95	153	152	154	106
100	153	151	155	106
105	155	152	155	107
110	155	153	155	108
115	155	153	154	108
120	154	151	154	108
125	154	152	156	107
130	155	152	154	108
135	156	154	154	108
140	155	154	155	109
145	155	154	155	108
150	155	153	157	107
155	157	155	158	109
160	158	157	159	109
165	159	159	159	110
170	160	160	159	110
175	160	160	160	110

Таблиця А.2. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з березового шпону

Час пресування, с	50 мкм	100 мкм	150 мкм	КФ-МТ
0	27	28	28	29
5	37	40	40	36
10	56	63	56	46
15	81	83	76	60
20	98	99	93	72
25	109	111	105	79
30	116	117	113	86
35	122	123	118	91
40	126	125	123	95
45	129	127	128	96
50	130	130	132	97
55	133	133	136	100
60	136	134	138	100
65	137	137	139	99
70	138	140	142	100
75	138	142	144	101
80	141	144	145	103
85	142	145	146	103
90	143	145	146	104
95	143	146	147	103
100	145	148	149	104
105	147	150	150	105
110	147	148	150	105
115	148	149	149	104
120	146	150	150	104
125	148	152	151	105
130	149	152	152	106
135	150	152	152	107
140	150	151	151	106
145	150	153	152	105
150	151	154	154	106
155	153	155	155	107
160	157	155	156	108
165	159	158	159	108
170	159	158	159	110
175	160	160	160	110

**Таблиця А.3. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з
букового шпону**

Час пресування, с	50 мкм	100 мкм	150 мкм	КФ-МТ
0	28	28	29	27
5	54	69	73	66
10	85	88	85	77
15	98	99	93	96
20	121	128	105	106
25	131	140	127	107
30	142	146	138	108
35	144	147	144	108
40	149	150	148	110
45	151	151	149	108
50	150	150	149	108
55	151	150	149	108
60	150	151	150	109
65	150	152	150	110
70	151	152	150	109
75	152	150	149	108
80	152	150	149	108
85	153	151	151	110
90	152	152	151	110
95	153	152	151	109
100	151	151	150	108
105	152	150	150	108
110	153	151	150	110
115	152	152	152	110
120	152	151	152	110
125	153	151	150	109
130	153	151	150	109
135	153	151	152	108
140	152	151	151	109
145	152	152	150	108
150	153	152	151	109
155	154	154	154	110
160	155	156	157	110
165	159	159	158	109
170	160	159	160	110
175	160	160	160	110

Таблиця А.4. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з грабового шпону

Час пресування, с	50 мкм	100 мкм	150 мкм	КФ-МТ
0	28	28	27	27
5	32	34	32	33
10	40	41	37	41
15	56	54	49	59
20	87	73	67	74
25	105	96	88	83
30	114	112	102	90
35	120	119	112	95
40	127	126	119	98
45	131	131	125	99
50	133	135	131	101
55	135	139	135	102
60	136	141	137	103
65	138	143	137	103
70	141	144	139	103
75	141	145	142	103
80	142	147	143	104
85	145	147	144	106
90	146	148	144	106
95	147	150	145	105
100	147	152	147	106
105	148	151	147	106
110	150	152	147	107
115	151	151	146	107
120	151	152	147	107
125	150	154	148	106
130	150	153	149	107
135	151	153	148	108
140	153	153	148	107
145	152	153	150	106
150	152	155	150	107
155	153	154	153	108
160	155	154	155	108
165	158	157	157	110
170	158	158	159	109
175	160	160	160	110

Таблиця Б.1. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з тополевого, березового, букового і грабового шпону, склеєних плівкою ПЕНГ(в) товщиною 50 мкм

Час пресування, с	тополя	береза	бук	граб
0	27	27	28	28
5	50	37	54	32
10	90	56	85	40
15	102	81	98	56
20	119	98	121	87
25	131	109	131	105
30	141	116	142	114
35	146	122	144	120
40	149	126	149	127
45	149	129	151	131
50	151	130	150	133
55	152	133	151	135
60	153	136	150	136
65	153	137	150	138
70	152	138	151	141
75	153	138	152	141
80	153	141	152	142
85	154	142	153	145
90	154	143	152	146
95	153	143	153	147
100	153	145	151	147
105	155	147	152	148
110	155	147	153	150
115	155	148	152	151
120	154	146	152	151
125	154	148	153	150
130	155	149	153	150
135	156	150	153	151
140	155	150	152	153
145	155	150	152	152
150	155	151	153	152
155	157	153	154	153
160	158	157	155	155
165	159	159	159	158
170	160	159	160	158
175	160	160	160	160

Таблиця Б.2. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з тополевого, березового, букового і грабового шпону, склеєних плівкою ПЕНГ(в) товщиною 100 мкм

Час пресування, с	тополя	береза	бук	граб
0	28	28	28	28
5	47	40	69	34
10	83	63	88	41
15	95	83	99	54
20	106	99	128	73
25	121	111	140	96
30	132	117	146	112
35	141	123	147	119
40	145	125	150	126
45	147	127	151	131
50	149	130	150	135
55	149	133	150	139
60	149	134	151	141
65	151	137	152	143
70	152	140	152	144
75	151	142	150	145
80	151	144	150	147
85	152	145	151	147
90	152	145	152	148
95	152	146	152	150
100	151	148	151	152
105	152	150	150	151
110	153	148	151	152
115	153	149	152	151
120	151	150	151	152
125	152	152	151	154
130	152	152	151	153
135	154	152	151	153
140	154	151	151	153
145	154	153	152	153
150	153	154	152	155
155	155	155	154	154
160	157	155	156	154
165	159	158	159	157
170	160	158	159	158
175	160	160	160	160

Таблиця Б.3. Результати дослідження тривалості прогрівання пакета з тополевого, березового, букового і грабового шпону, склесних плівкою ПЕНГ(в) товщиною 150 мкм

Час пресування, с	тополя	береза	бук	граб
0	28	28	29	27
5	55	40	73	32
10	80	56	85	37
15	103	76	93	49
20	117	93	105	67
25	129	105	127	88
30	138	113	138	102
35	144	118	144	112
40	147	123	148	119
45	150	128	149	125
50	152	132	149	131
55	153	136	149	135
60	153	138	150	137
65	153	139	150	137
70	153	142	150	139
75	154	144	149	142
80	155	145	149	143
85	155	146	151	144
90	154	146	151	144
95	154	147	151	145
100	155	149	150	147
105	155	150	150	147
110	155	150	150	147
115	154	149	152	146
120	154	150	152	147
125	156	151	150	148
130	154	152	150	149
135	154	152	152	148
140	155	151	151	148
145	155	152	150	150
150	157	154	151	150
155	158	155	154	153
160	159	156	157	155
165	159	159	158	157
170	159	159	160	159
175	160	160	160	160

Таблиця В.1. Результати статистичної обробки експериментальних даних визначення міцності фанери на зріз

Порода	Витрата плівки, г/м ²	Зріз, МПа	Сер. зн.	min	max	N	S ²	S	V	Sy	P, %
тополя	50		0,906	0,72	1,104	14	0,011	0,104	11,442	0,028	3,058
	100		1,199	0,736	1,44	14	0,028	0,167	13,959	0,045	3,731
	150		1,173	0,896	1,472	10	0,033	0,182	15,199	0,058	4,806
береза	50		0,252	0,192	0,320	9	0,001	0,037	14,597	0,011	4,214
	100		1,174	0,93	1,68	17	0,051	0,226	19,556	0,055	4,743
	150		1,456	1,008	1,824	20	0,075	0,274	18,842	0,061	4,213
бук	50		1,468	1,088	1,856	11	0,057	0,238	16,353	0,069	4,721
	100		1,720	1,296	2,000	16	0,029	0,171	9,923	0,043	2,481
	150		2,042	1,664	2,464	15	0,043	0,206	10,044	0,052	2,511
граб	50		0,288	0,192	0,320	10	0,002	0,042	15,136	0,013	4,564
	100		1,377	0,960	1,760	13	0,058	0,240	17,391	0,060	4,348
	150		1,658	1,184	2,016	13	0,053	0,231	13,868	0,064	3,846

КФ-МТ	тополя	Зріз, МПа	1,529	0,912	1,840	12	0,051	0,226	14,888	0,065	4,298
	береза		1,773	1,272	2,080	12	0,064	0,253	14,411	0,073	4,160
	бук		2,073	1,760	2,592	12	0,063	0,251	11,987	0,072	3,460
	граб		2,169	1,472	2,576	12	0,084	0,290	13,596	0,084	3,925

