

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 первинною термопластичною плівкою ПЕНГ ”**

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

\_\_\_\_\_ Яковенко А.В.  
(підпис)

**Керівник:** ст. викл. каф. ТДКМ, к.т.н.

\_\_\_\_\_ Кусняк І.І.  
(підпис)

**Рецензент:** \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь)

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. Бехта П.А.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Яковенкові Артурові Валерійовичу

1. Тема роботи Дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склееного з різних порід деревини первинною термопластичною плівкою ПЕНГ.  
керівник роботи ст. викладач кафедри ТДКМ Кусняк Ірина Іванівна, к.т.н.,  
затверджені наказом університету від “ 31 ” серпня 2023 року № С-403А
2. Термін подання студентом роботи 22.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати забезпечення деревинної сировини у виробництві фанери, проаналізувати використання первинних і вторинних термопластичних полімерів у виробництві фанери, дослідити вплив товщини термопластичної плівки, породи деревини і виду клею на процес прогрівання пакета шпону, дослідити вплив породи деревини і товщини плівки 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 01.09.2023 р.

Студент \_\_\_\_\_ А.В. Яковенко  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ І.І. Кусняк  
(підпис)

## Анотація

Метою даної дипломної роботи є дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини первинною термопластичною плівкою ПЕНГ, та визначити температуру в заданій точці пакета шпону, і тривалість, потрібну для нагрівання пакета шпону до заданої температури, залежно від породи деревини та товщини термопластичної плівки. Процес затвердіння термопластичних полімерів суттєво відрізняється від термореактивних полімерів. Під час пресування пакетів шпону, склеєних термопластичними полімерами відсутня надлишкова волога, а затвердіння таких полімерів відбувається після пресування, тому дуже важливо дослідити скільки необхідно часу для склеювання пакетів шпону термопластичними полімерами, щоб отримати фанеру із задовільними показниками міцності.

В першому розділі розкрита та проаналізована проблема використання деревинної сировини та традиційних клеїв у виробництві фанери і запропоновано використання як клею термопластичних полімерів.

В другому розділі наведений перелік задіяного обладнання та використаних матеріалів, описана методика проведення експериментальних досліджень та зняття показників.

В третьому розділі приведені результати досліджень впливу породи деревини та товщини плівки ПЕНГ(п) на тривалість прогрівання пакета шпону. Встановлено, що порода деревини впливає на швидкість прогрівання пакета шпону, а різні товщини плівок ПЕНГ(п) не показали суттєвих відмінностей у результатах.

Дисперсійний аналіз (ANOVA) показав, що вплив породи деревини та товщини плівки ПЕНГ(п) на межу міцності фанери на зріз є значним ( $p = 0,000 \leq 0,05$ ). За результатами роботи зроблено висновки.

Магістерська робота складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дипломної роботи складає 66 сторінок, з них 49 сторінок основного тексту, список літератури із 60 назв та 5 додатків.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	7
1.1. Виробництво фанери в Україні та світі.....	7
1.2. Аналіз забезпечення деревинної сировини у виробництві фанери.....	11
1.3. Аналіз використання первинних термопластичних полімерів у виробництві фанери.....	18
1.4. Аналіз використання вторинних термопластичних полімерів у виробництві фанери.....	24
1.5. Висновки.....	28
<b>Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	30
2.1. Матеріали та реактиви.....	30
2.2. Обладнання та вимірювальні прилади.....	30
2.3. Методика досліджень властивостей термопластичних плівок.....	31
2.3.1. Визначення товщини плівок.....	31
2.3.2. Визначення температури плавлення плівок.....	32
2.4. Методика досліджень розподіл температури всередині пакета шпону.....	33
2.4.1. Підготування матеріалів до випробування.....	33
2.4.2. Формування пакетів шпону.....	34
2.4.3. Зняття показів зміни температури всередині пакета шпону.....	36
2.5. Визначення міцності фанери на зріз.....	38
2.6. Обробка результатів досліджень.....	40
<b>Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	42
3.1. Вплив товщини термопластичної плівки на процес прогрівання пакета шпону.....	42
3.2. Вплив породи деревини на процес прогрівання пакета шпону.....	45
3.3. Вплив виду клею на процес прогрівання пакета шпону.....	47
3.4. Вплив породи деревини і товщини плівки на міцність фанери на зріз...	50
3.5. Висновки.....	54
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	55
<b>ДОДАТКИ</b> .....	61

## ВСТУП

Фанера – один з найперспективніших видів деревинних композитів в деревообробній галузі, із-за широкого спектру застосування цього матеріалу і її високим фізико-механічним властивостям. Світове виробництво та споживання фанери зазнало значного зростання з 2009 по 2018 рік, становив 101,2 % [55-57].

Основним сировинним матеріалом для виробництва фанери є луцений шпон. Березовий шпон має особливо високу механічну міцність, тому він отримав найбільше застосування. Проте, постійне збільшення попиту на фанеру вимагає значних резервів деревини як сировини. Тому, для забезпечення стабільності виробництва фанери, виробники все частіше включають інші види м'яких і твердих листяних порід деревини в процес виробництва. Крім цього, останнім часом санітарні вимоги до продукції, яку споживачі використовують, стали більш жорсткими, а також зросли вимоги до токсичності використовуваних матеріалів у виробництві цієї продукції.

Головною причиною токсичності фанери є її виготовлення з використанням термореактивних клеїв, таких як карбамідоформальдегідні (КФ), фенолоформальдегідні (ФФ), резорциноформальдегідні (РФ), меламіноформальдегідні (МФ), меламінокарбамідоформальдегідні (МКФ) тощо. Ці клеї, хоча є досить вартісними і мають деякі переваги, такі як висока стійкість до біорозкладу, добра адгезія, низька температура затвердіння та висока реакційна активність, мають важливий недолік – токсичність, із-за вмісту у клеях формальдегіду. Міжнародне агентство з досліджень раку (IARC), що належить до Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), визнало, що формальдегід є "канцерогенним для людини", основуючись на доказах збільшеного ризику розвитку раку носоглотки та лейкемії [58]. Тому, існує засторога щодо використання термореактивних клеїв у виробництві деревинних композитів і виробів із них.

Останнім часом було проведено інтенсивні дослідження, спрямовані на зменшення токсичності фанери. У рамках цих досліджень висуваються різні підходи, включаючи використання первинних термопластичних плівок та різних

пластичних відходів (вторинних термопластичних плівок) для склеювання лущеного шпону, які не містять формальдегіду. Сьогодні використання вторинних термопластичних полімерів у виробництві фанери є дуже привабливою альтернативою, оскільки сприяє зменшенню забруднення довкілля і зниженню виробничих витрат. Важливо відзначити, що усі наукові дослідження щодо використання термопластичних полімерів у виробництві фанери були спрямовані на дослідження фізико-механічних властивостей деревинного композиту, шляхом підбору режиму склеювання пакетів шпону [59]. Проте, процес затвердіння термопластичних полімерів суттєво відрізняється від термореактивних полімерів. Під час пресування пакетів шпону, склеєних термопластичними полімерами відсутня надлишкова волога, а затвердіння таких полімерів відбувається після пресування. Тому, виникає необхідність дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини термопластичною плівкою.

Метою даної роботи є дослідження процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини первинною 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.

## **Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1. Виробництво фанери в Україні та світі**

Виробництво фанери є складним і трудомістким процесом, але в результаті отримується високоякісний і дуже міцний матеріал, який виправдовує всі зусилля. Цей процес включає в себе обробку деревини, вплив вологості та тиску, а також процес склеювання пакетів шпону. На жаль, технологія виробництва фанери в Україні часто залишається застарілою, але багато підприємств починають впроваджувати сучасні методи виробництва.

Крім того, надзвичайно важливою є кваліфікація працівників, оскільки вона впливає на якість виробленої продукції. Усе це сприяє поступовому вдосконаленню технології виробництва фанери. Цей процес дозволяє створювати нові види деревинних композитів, раціонально використовувати ресурси та сировину і наближати Україну до більш розвинених країн у цій галузі.

Фанера – це деревинний композиційний матеріал (ДКМ), яка складається з трьох чи більше шарів тонкого лушеного шпону, склеєних між собою. Щоб забезпечити максимальну міцність, напрям волокон між шарами шпону розташовується перпендикулярно один до одного. Це поліпшує стійкість матеріалу до деформації і дозволяє використовувати його в різних застосуваннях.

Зазвичай для виготовлення фанери використовують м'які листяні породи деревини, іноді екзотичні види. В Україні березова фанера є досить популярною. Вона має привабливий зовнішній вигляд і відзначається високою міцністю. Цей вид фанери також відзначається своєю стійкістю до механічних та температурних впливів, що робить її важливим матеріалом у будівництві та інших галузях.

Фанера є одним з найперспективніших ДКМ. Вона є незамінним матеріалом у меблевій галузі, завдяки високій якості поверхні, широкому діапазону товщини та простоті виготовлення різноманітних виробів. Незважаючи на складні умови, ринок виробництва фанери в Україні та світі зростає.

Ріст світового зростання виробництва фанери з 2016 року по 2020 рік сягнув – 101,25 %, а приріст – 1,25 %, склавши 118,4 млн. м<sup>3</sup>; а споживання – 100,4 %, приріст – 0,4 %, склавши 117 млн. м<sup>3</sup> [1]. В Європі виробництво фанери досягло 9,9 мільйонів кубічних метрів у 2018 році, і при цьому імпортувалося 8,2 мільйонів кубічних метрів фанери (рис. 1.1).

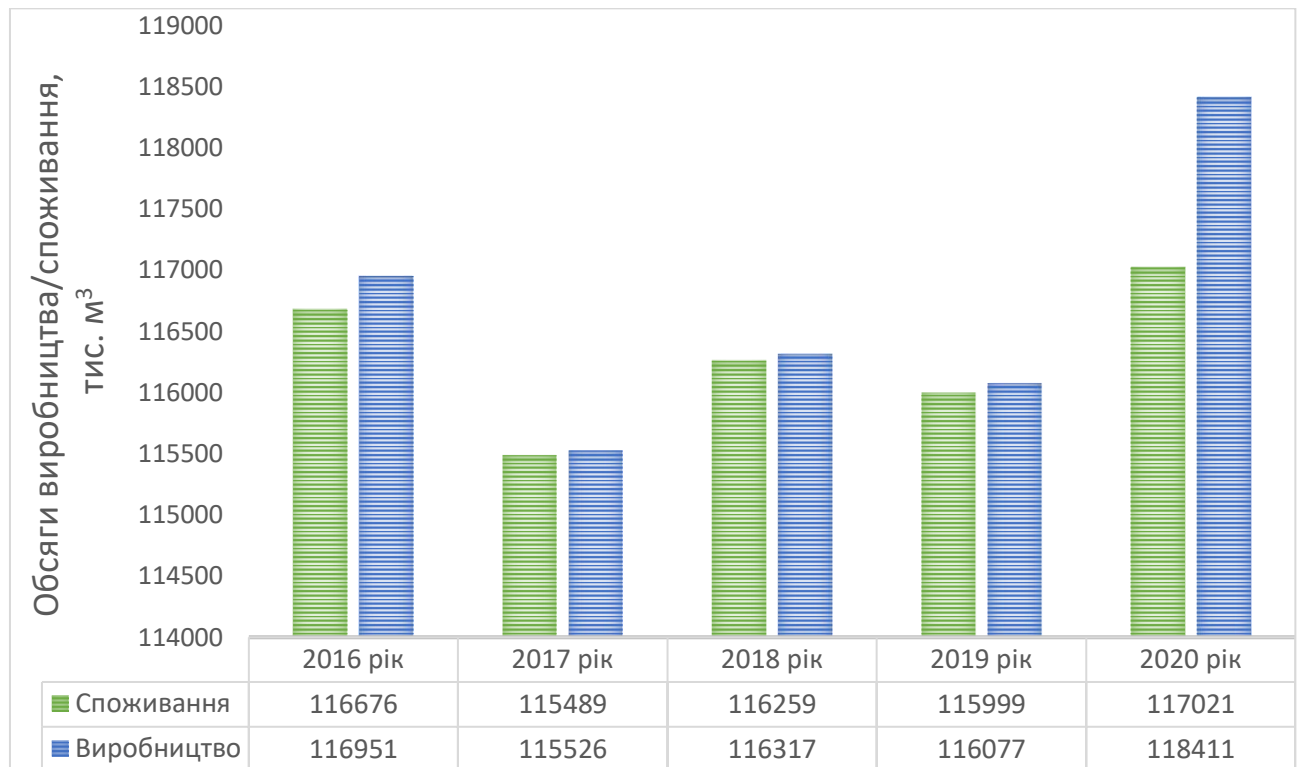


Рис. 1.1. Обсяги світового виробництва та споживання фанери

Китай є найбільшим світовим виробником фанери, забезпечуючи понад 70 % всього обсягу виробництва. Інші країни Північної Америки та Південно-Східної Азії також активно виробляють фанеру. Приблизно 30 % фанери, виготовленої в Китаї, експортується на міжнародні ринки [2].

На сьогоднішній час серед всіх ДКМ, фанера демонструє найбільші показники імпорту – 26,8 млн. м<sup>3</sup> та експорту – 28,2 млн. м<sup>3</sup> (рис. 1.2) [1].

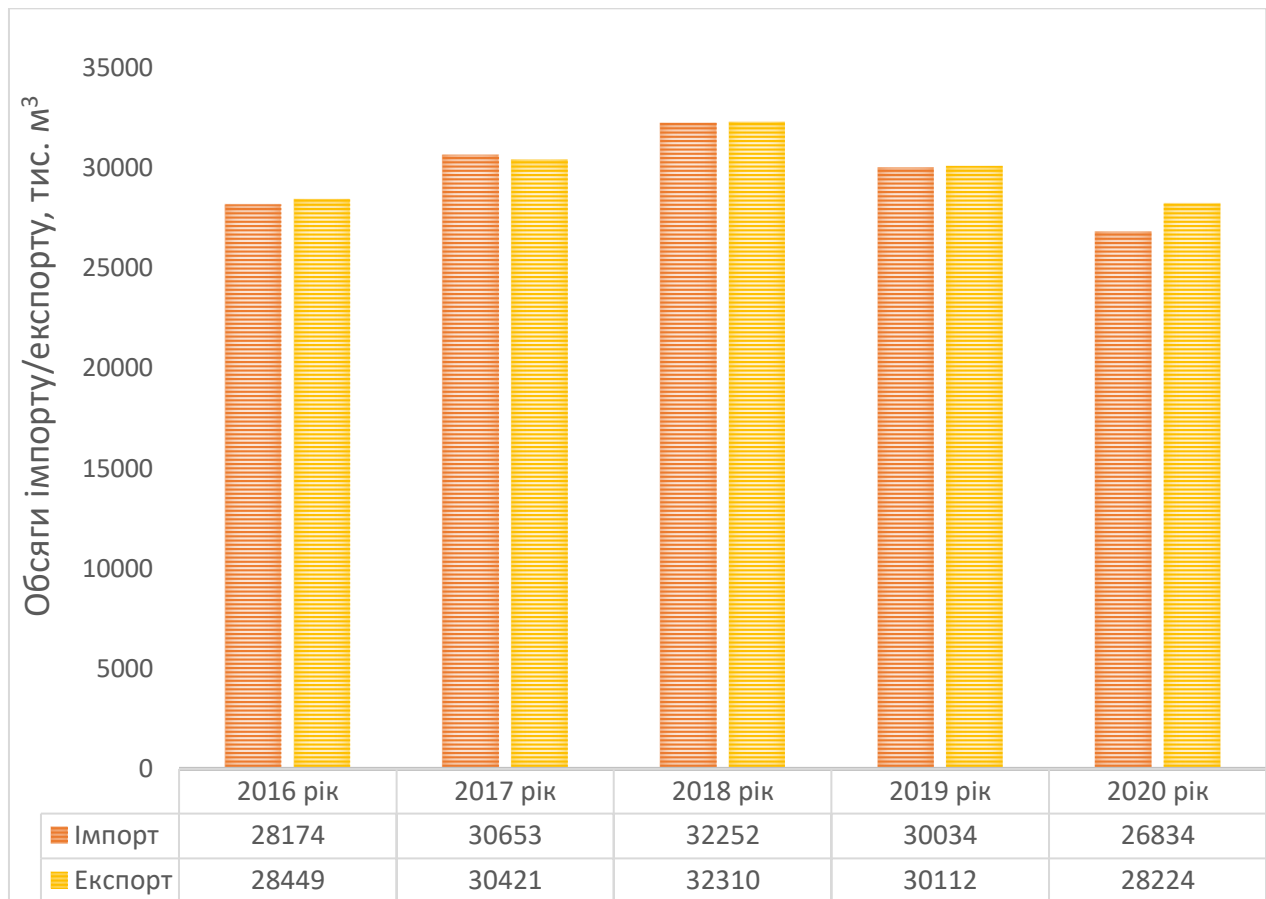


Рис. 1.2. Обсяги світового імпорту та експорту фанери

Найбільшими імпортерами фанери у світі є Японія та Корея, які імпортували 2,9 мільйонів кубічних метрів та 1,2 мільйонів кубічних метрів відповідно. Основні експортери тропічної фанери в 2018 році були Китай та Індонезія, які вивезли 11,8 мільйонів кубічних метрів та 2,6 мільйонів кубічних метрів фанери відповідно [1].

Українська фанерна продукція є конкурентоспроможною як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Національна промисловість фанери здобула визнання завдяки високій якості та гарному зовнішньому вигляду березової фанери, яка виробляється в найбільших обсягах. Цей вид фанери відрізняється високою міцністю і довговічністю, що робить його популярним для різних застосувань. Березова фанера також проявляє стійкість до різних механічних та температурних впливів, що робить її цінним матеріалом у будівництві, меблевому виробництві та інших галузях. Висока якість та надійність української фанери сприяють її успішному впровадженню на ринках

як в Україні (рис. 1.3), так і за кордоном, і вона гідно конкурує з іншими світовими виробниками.

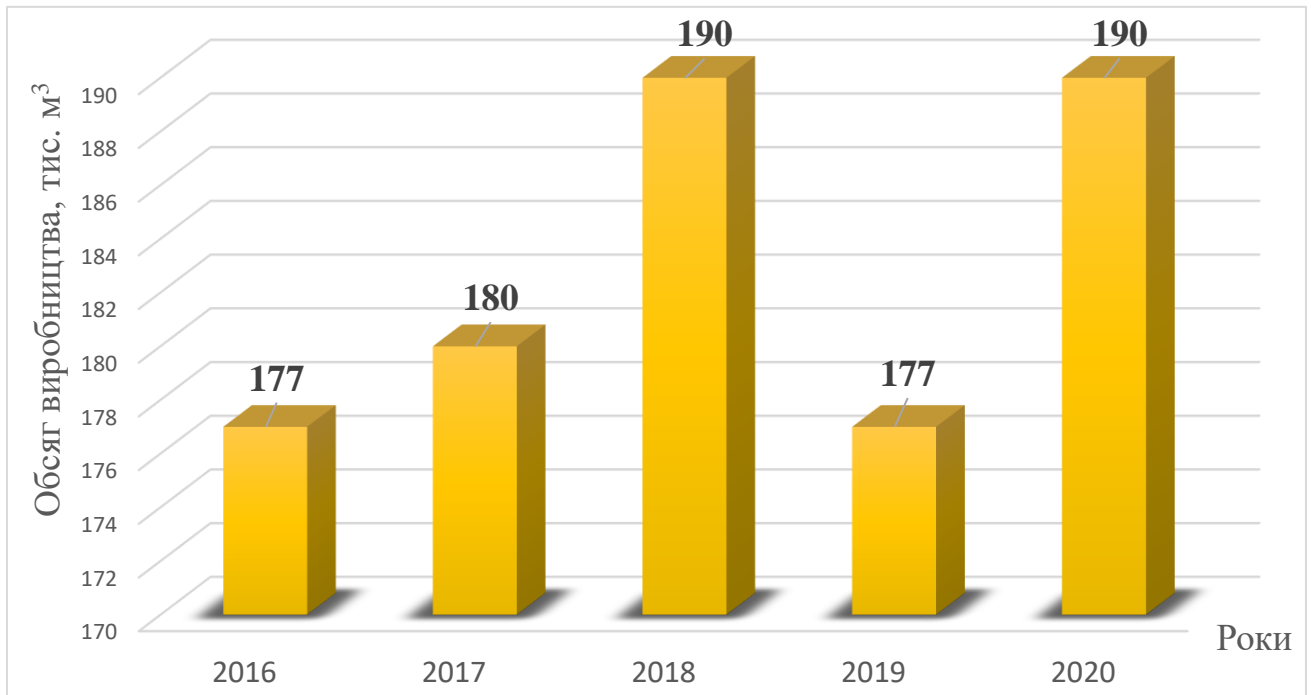


Рис. 1.3. Обсяг виробництва фанери в Україні в період 2016-2020 роки [1].

Обсяг виробництва фанери в Україні має позитивну динаміку, порівнюючи з 2016 роком, приріст у 2020 році становив 7,34% [1].

В Україні фанеру виготовляють наступні підприємства: ТЗОВ “ОДЕК” Україна”, ТЗОВ “Костопільський ФЗ”, ТЗОВ “Уніплит”, АТ “Фанплит”, ТЗОВ фірма “Язьм”, ТЗОВ “Плайтех”, ТЗОВ “Олісма” та інші (рис. 1.4) [3]. Лідером серед виробників фанерної продукції в Україні є підприємство ТЗОВ “ОДЕК” Україна”, яке виготовляє 84 тис. м<sup>3</sup> продукції, що складає 47 % від загального обсягу виробництва.

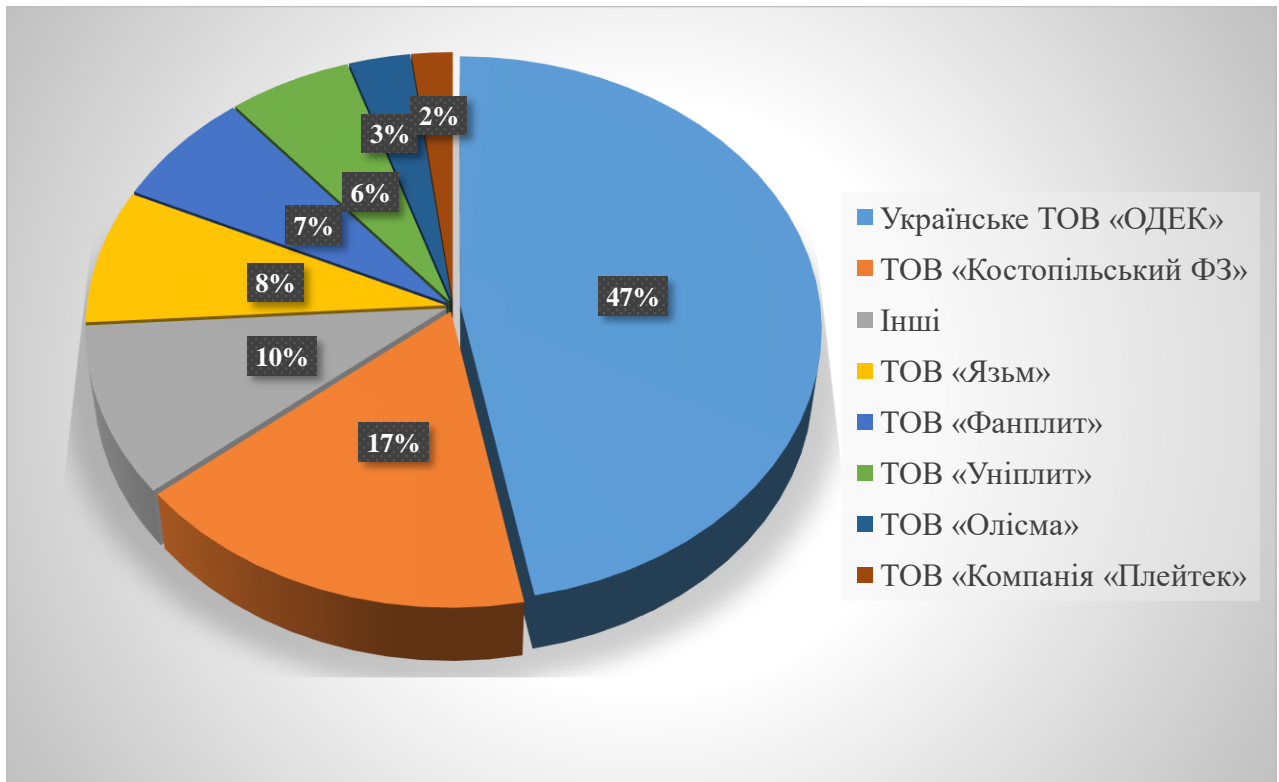


Рис. 1.4. Відсоткове співвідношення обсягів виробництва фанери українськими підприємствами за 2013 рік [2]

Фанера залишається важливим матеріалом завдяки своїм універсальним властивостям, таким як міцність, стійкість до вологи та здатність до обробки. Актуальність виробництва фанери в Україні та світі залежить від конкретного попиту на ринку та тенденцій у будівництві, виробництві меблів та інших галузях.

## 1.2. Аналіз забезпечення деревинної сировини у виробництві фанери

Виробництво фанери вимагає великих обсягів деревини. Джерелами деревини можуть бути ліси, деревообробні підприємства, садові господарства та інші джерела. Для виробництва фанери основним деревинним напівфабрикатом є луцений шпон. Фанеру можна виготовляти з різних порід деревини, такі як береза, дуб, сосна тощо. Березовий луцений шпон є основним матеріалом, завдяки його високій міцності та інших корисних властивостях. Проте, з ростом попиту на фанеру, щорічно збільшується потреба у деревині, що ставить питання сталості постачання сировини [4].

У зв'язку з цим, виробники фанери все частіше використовують інші види м'якої та твердої листяної деревини для забезпечення сталості та різноманітності виробництва. Це допомагає збалансувати попит на деревинну сировину та забезпечує стабільність виробництва фанери. Такий підхід дає можливість розширити асортимент продукції і відповідати різним потребам замовників. При цьому важливо враховувати якість і властивості альтернативних порід деревини, щоб забезпечити виробництво високоякісної фанери. Щорічне динамічне зростання обсягів виробництва і споживання фанери потребує значних запасів деревинної сировини. В зв'язку із зменшенням цих ресурсів, для внутрішніх шарів фанери почали використовувати шпон хвойних порід: сосна, модрина, кедр, ялина, ялиця, запаси яких є більші в Україні (рис. 1.5).

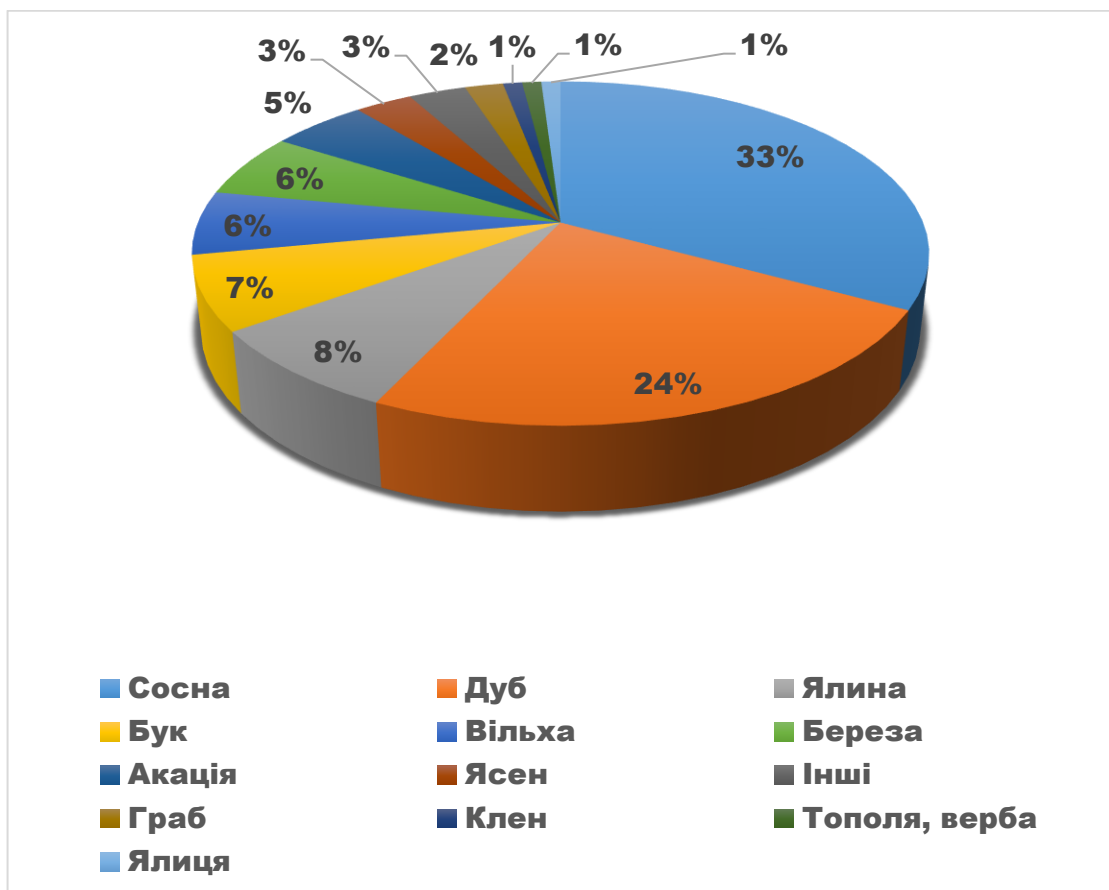


Рис. 1.5. Розподіл лісового покриття в Україні залежно від домінуючих видів деревини [5]

Заготівля деревини за видами лісової продукції в Україні станом на 2019 рік зменшилася до 20869,6 тис.м<sup>3</sup> (табл. 1.1).

Заготівля деревини за видами лісової продукції в Україні (2010-2019),  
тис.м<sup>3</sup> [60]

Роки	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Кількість заготовленої деревини</b>	<b>18064,6</b>	<b>19746,2</b>	<b>19763,6</b>	<b>20340,6</b>	<b>20672,4</b>	<b>21924,2</b>	<b>22612,8</b>	<b>21923,0</b>	<b>22529,7</b>	<b>20869,6</b>
<b>Усі види круглого лісу</b>	<b>16145,6</b>	<b>17510,3</b>	<b>17506,7</b>	<b>18021,9</b>	<b>18333,2</b>	<b>19267,7</b>	<b>19605,7</b>	<b>18913,9</b>	<b>19695,7</b>	<b>17886,6</b>
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
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
<b>Неліквідна деревина</b>	<b>1919,0</b>	<b>2235,9</b>	<b>2256,9</b>	<b>2318,7</b>	<b>2339,2</b>	<b>2656,5</b>	<b>3007,1</b>	<b>3009,1</b>	<b>2834,0</b>	<b>2983,0</b>

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

Шпон, виготовлений з хвойних порід деревини, за винятком кедр, має певні недоліки, порівняно зі шпоном з м'яких та твердих листяних порід деревини (рис. 1.6). Це зумовлено рядом факторів. Хвойні породи зазвичай менш міцні і мають більшу шорсткість поверхні, що може впливати на якість обробки та зовнішній вигляд шпону. Крім того, в процесі виробництва фанери під час

склеювання листів шпону можуть виникати технологічні труднощі, особливо при використанні хвойної деревини. Хвойні породи мають велику кількість смол, які можуть бути присутніми у деревині. Це може ускладнювати технологічний процес виробництва фанери і впливати на якість кінцевого продукту.

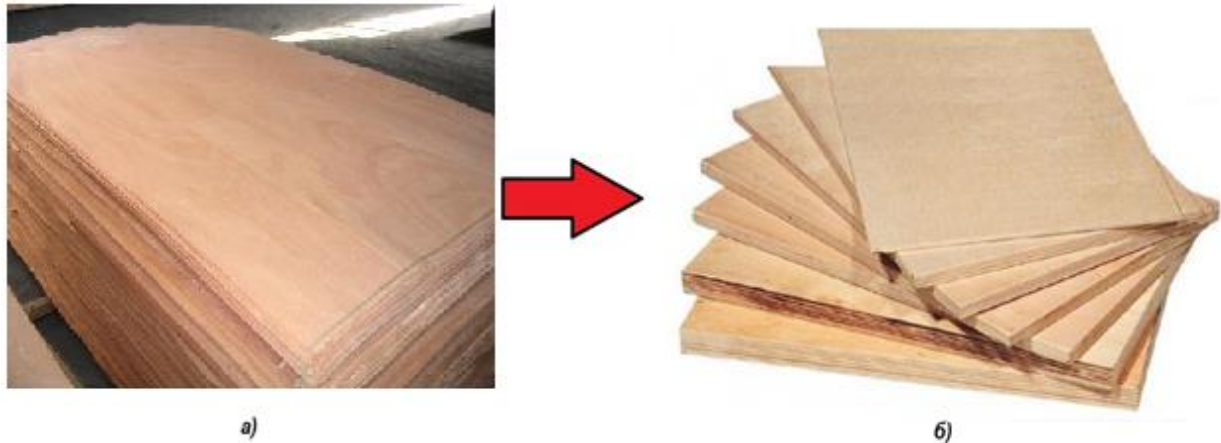


Рис. 1.6. Зразки матеріалів : а) листи лущеного шпону; б) листи фанери

Фанера – це багатофункціональний ДКМ, і 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. У виробництві автомобілів фанера використовується для створення вантажних платформ, внутрішньої обробки та ізоляції. Фанера використовується для виготовлення корпусів та інших деталей у виробництві музичних інструментів, вітряних млинів, іграшок та інших виробів легкої промисловості, виготовлення ящиків та інших пакувальних матеріалів для транспортування і зберігання товарів (рис. 1.7).



Рис.1.7. Приклади застосування фанери

У літакобудуванні фанера може використовуватися для створення легких та міцних структур. Фанера може бути використана для створення криволінійних поверхонь, які складні для інших матеріалів. Відтак, для забезпечення стабільності фанерного виробництва виробники все частіше використовують м'які та тверді листяні породи деревини, які можуть мати кращі фізико-механічні властивості та менше проблем із смолами. Вибір породи деревини для склеювання листів шпону в фанерному виробництві обирається з урахуванням анатомічної будови деревини та її фізико-механічних характеристик, що впливають на міцність склеювання шпону термопластичними полімерами[6, 8-20]. Деревина, як будь-який біологічний організм, складається з клітин різної будови, які поділяють на паренхімні та прозенхімні клітини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Кількість клітин в деревині різних порід

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. Включають клітини камбію (тканина, що сприяє зростанню рослини в ширину), серцевинні промені (система клітин у деревині для транспорту води та харчових речовин) та смоляні ходи (клітини, що виробляють смолу). 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. Включають трахеїди (знаходяться тільки у деревині хвойних порід і служать для транспорту води і мінеральних солей) та клітини лібриформу і судини (знаходяться тільки в листяних породах і служать для транспортування речовин в листяних рослинах).

Порожнини (або вакуолі) в клітинах деревини з'єднуються між собою за допомогою пор. У процесі росту та відмирання клітин пори не збільшуються в розмірах. 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, співвідношення загального об'єму клітинних стінок і об'єму пустот, а також від вологості деревини (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Щільність деревини у середньому на 1 кубічний метр

Порода деревини	Щільність деревини, кг/м <sup>3</sup>	
	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

Стінки клітин в деревині, які формують основну скелетну структуру рослинного матеріалу, складаються переважно з органічних сполук і приблизно на 99%, водночас мінеральні речовини складають лише до 1% їхньої маси. Головні органічні компоненти деревини є високомолекулярними сполуками, які тісно взаємодіють між собою, надаючи деревині міцність та стійкість. Це призводить до того, що деревину можна розглядати як полімерний композиційний матеріал.

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 [24]. Вміст целюлози у хвойних породах деревини – 46–54% і є більшим, ніж у листяних – 41–45%. Вміст геміцелюлоз (пентозани ((C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)<sub>n</sub>) та гексозани ((C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>) у деревині знаходиться в межах – від 17 до 43 %. У листяних породах деревини геміцелюлоз приблизно у 1,5 рази більше, ніж у хвойних. Вміст лігніну у деревині хвойних порід коливається від 28% до 30%, тоді як у деревині листяних порід він становить від 12% до 24%. Вміст екстрактивних речовин (ефірні олії, смоляні та жирні кислоти, а також дубильні речовини) у деревині приблизно 3-5%.

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 [23]

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 використання первинних термопластичних полімерів у виробництві фанери**

З кожним днем ДКМ на основі термопластичних полімерів стають все більш популярними. Все через їхні унікальні властивості, які відповідають потребам споживачів. Це досягається завдяки поєднанню якостей різних складових клею та, іноді, їхній синергії [24]. Багато вчених стверджують, що поєднання деревини з термопластами стає ключовим напрямком у розвитку цих клеїв. Останнім часом вчені досліджують використання термопластичних плівок, таких як поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП) та полівінілхлорид (ПВХ), як клею у виробництві фанери. Використання цих плівок замість терморезистивних клеїв вирізняється простотою та чистотою виробництва. Можливість термопластів деформуватися під час нагрівання відкриває нові технологічні можливості для виготовлення виробів, порівняно з терморезистивними клеями.

Термопластичні полімери, зокрема ПЕ, ПП, ПВХ, поліуретан (ПУ) та інші, широко використовуються в виробництві фанери [25]. Процес виготовлення фанери з використанням цих термопластичних плівок є простим і не вимагає спеціального обладнання для змішування клею. За відповідної температури термопластичні плівки переходять у в'язкотекучий стан, заповнюючи порожнини в деревині та утворюючи міцне клейове з'єднання. ПП, який є найпоширенішим пластиком у світі, вирізняється високою пластичністю, відмінною хімічною стійкістю, в'язкістю, низькою водонепроникністю та низьким водопоглинанням, роблячи його вдалим матеріалом для виготовлення різноманітних товарів.

На ринку доступні різні типи поліетилену, серед яких можна виділити наступні:

- ПЕ низької густини (ПЕНГ);

- Лінійний ПЕ низької густини (ЛПЕНГ);
- ПЕ високої густини (ПЕВГ);
- ПЕ ультрависокомолекулярний (УВМПЕ).

ПЕНГ і ПЕВГ є двома найбільш поширеними видами ПП, відрізняються вони властивостями, які зумовлені різницею в розгалуженні полімерного ланцюга. ПЕВГ має мінімальне розгалуження, роблячи його жорстким і щільним, тоді як ПЕНГ має більше розгалуження, що призводить до менш стійких міжмолекулярних зв'язків, меншої міцності на розрив і кращої пружності.

ПЕВГ є найпоширенішим полімером у світі і часто використовується у вигляді мішків у торгових точках та як сміттєві пакети. Крім того, великі обсяги ПЕВГ використовуються в сільському господарстві.

ПЕНГ є широко використовуваним матеріалом у виробництві пакувальних плівок. Порівняно з плівками ПЕВГ, перспектива використання плівок ПЕНГ для склеювання шпону у виробництві фанери не є достатньо дослідженою.

Сьогодні, питання використання термопластичних плівок для склеювання деревини виявляється досить важливим. Протягом останніх десяти років ведуться наукові дослідження, спрямовані на можливість використання термопластичних плівок для склеювання шпону в процесі виготовлення фанери [16-20, 32, 33, 37-40]. Використання плівки спрощує складні операції в порівнянні з використанням рідкого клею, особливо під час формування пакету шпону. Дослідники рекомендують використовувати термопластичні плівки, такі як ПЕВГ [17-20, 38-40], ПЕНГ [32, 33], ПП та полістирольні (ПС) [16, 37], для склеювання листів шпону в процесі виробництва фанери.

У своїй роботі Song et al. [16] використовували шпон евкаліпта з вологістю 9% та ПП плівку товщиною 0,04 мм. Умови склеювання: тиск від 0,9 до 1,3 МПа, температура від 165 до 195 °С, тривалість від 40 до 70 с/мм, витрата плівки від 100 до 200 г/м<sup>2</sup>. Було встановлено, що оптимальні умови для виготовлення фанери з використанням ПП були наступними: тиск – 0,9 МПа; температура – 180 °С; час пресування – 70 с/мм; витрата плівки – 150 г/м<sup>2</sup>.

Chang et al. [20] виробляли фанеру із шпону різної вологості (0, 6, 12, 18, 24 %) та товщини плівки ПЕВГ 0,06 мм. Умови склеювання: тиск від 0,1 до 1,3 МПа, температура від 140 до 180 °С, час пресування 6,4 хв, витрата плівки від 61,6 до 308 г/м<sup>2</sup>. Виявлено, що глибина проникнення полімеру в структуру шпону збільшується зі збільшенням вмісту ПЕВГ, температури та тиску, але не з підвищенням вмісту вологи.

Song et al. [19] 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. Запропонована фанера була визнана нетоксичною, а тому може застосовуватися в областях меблів та інтер'єру.

Автори Бехта П.А. та Кусняк І.І. [32] 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/м<sup>2</sup>. 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.

Векhta et al. [33] для виготовлення фанери використовували струганий шпон порід бука, берези та ялини, склеєних термопластичними плівками LDPE (ПЕНГ), CoPA, CoPE. Режим склеювання: тиск – 0,8 Н/мм<sup>2</sup>; температура – 150 °С; час пресування – 5 хв. Найменші показники міцності на зріз були для фанери, склеєної LDPE, а найвищі – для фанери склеєної CoPA. Встановлено, що фанера склеєна з листів шпону хвойних порід деревини має набагато нижчі значення міцності на згин (MOR), модуль пружності (MOE) та міцність на зріз, ніж склеєна з листяних порід деревини. Значення міцності на зріз фанери склеєної термопластичними плівками знаходиться в межах від 1,18 до 2,51 МПа та відповідає європейському стандарту EN 314-2 для фанери класу I (сухі умови).

ПЕ, один із найпоширеніших термопластичних матеріалів, є багатим на ресурси, відновлюваним, екологічно чистим і безпечним для здоров'я людини

[26]. Плівка з поліетилену високої густини (ПЕВГ) може служити нерозчинним та відносно жорстким клеєм, який не містить формальдегіду [27].

Fang et al. [27] вперше запропонували новий метод виготовлення фанери, використовуючи ПЕВГ та технології фіксованого гарячого та наступного холодного пресування.

Fang et al. [17] для виготовлення фанери використовували шпон вологістю 6–8 % та термопластичну плівку ПЕВГ з витратою 61,6–246 г/м<sup>2</sup>. Листи шпону склеювали за наступним режимом: тиск - 1 МПа; температура - 160 °С; тривалість пресування - 8 хв.

Fang et al. [18] 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 °С; 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 °С; тривалість пресування - 1 хв/мм.

Chang et al. [28] досліджували вплив кількості ПЕВГ та умов пресування (температури, тиску і вмісту води) 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 води > шари ПЕВГ > температура гарячого пресування > тиск гарячого пресування;

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

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

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

Bekhta and Sedliačik [29] 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.

Результати досліджень демонструють, що значення механічних властивостей фанери, склеєної плівкою ПЕВГ рівні отриманим експериментальним значенням фанери, склеєної КФ і ФФ клеями, навіть у випадку коли кількість нанесеного клею і тиск пресування були нижчими, ніж при використанні КФ і ФФ клеїв.

За результатами наукових досліджень [16, 17, 27, 53] з'ясовано фізико-механічні властивості фанери, склеєної термопластичними плівками (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Результати досліджень фізико-механічних властивостей фанери, склеєної термопластичними полімерами

Показники	Вид клею						Вимоги відповідно до EN 314-2:1993
	ПП [16]	ПЕВГ [17]	ПЕВГ [27]	ПЕВГ [53]	ФФК [53]	КФК [53]	
Водопоглинання, %	-	81,7	60	51,38	61,29	53,12	>1 МПа
Набрякання, %	8,2	7,65	8	8,82	11,84	9,38	
Межа міцності на зріз, МПа	1,41	1,46	1,15	2,38	2,79	2,05	
Межа міцності на згині, МПа	106	82,78	62	119,3	134,6	119,8	
Модуль пружності, $\times 10^3$ МПа	13,7	7,48	6,424	9,51	7,69	8,22	

Lustosa et al. [38] виготовляли фанеру, склеєну з листів шпону термопластичною плівкою ПЕВГ за наступних параметрах: тиск - 1 Н/мм<sup>2</sup>, температура - 100, 120, 140 °С, тривалість пресування - 10–15 хв, витрата полімеру - 150, 250, 350 г/м<sup>2</sup>. Отримані фізико-механічні характеристики фанери, склеєної за допомогою ПЕВГ, відповідали стандартам. Найвищі показники фізико-механічних властивостей були зафіксовані для фанери, склеєної за температури 140 °С і тривалості 15 хв.

Han & Lee [39] провели дослідження адгезійних властивостей фанери, яку виготовили із лущеного шпону, вологістю 11,4 та 19,6%. Для оцінки адгезійних

характеристик використовували електронну мікроскопію. Згідно з отриманими результатами, встановлено, що міцність фанери, склеєної із шпону різної вологості, не погіршується. Виявлено, що полімерна плівка склеює листи шпону через проникнення в тріщини та порожнини, що призводить до формування механічного з'єднання між полімером та шпоном.

Borysiuk et al. [37] висунув ідею використання термопластичних плівок, таких як ПЕ, ПП і ПС, для виготовлення 3-и шарової фанери. Режимні параметри процесу: тиск – 1,6; 2,0; 2,5 МПа, температура – 195 °С, тривалість пресування – 5,5 хв. Найвищі значення міцності фанери на розрив в клейовому шарі були зареєстровані для фанери, склеєної на основі ПЕ за тиску пресування 2,0 та 2,5 МПа.

Зазначено, що фізико-механічні показники фанери, склеєної термопластичними плівками ПЕВГ, ПЕНГ, ПП і ПС, відповідали вимогам стандарту EN 314-2 (табл. 1.6) [40].

Таблиця 1.6.

Фізико-механічні властивості фанери, склеєної термопластичним плівками [40]

Показники	Полімери						Вимоги згідно до EN 314-2
	ПЕВГ [38]	ПЕВГ [17]	ПЕВГ [18]	ПЕВГ [53]	ПЕНГ [40]	ПП [16]	
Порода деревини	амескла	тополя		вільха	береза	евкаліпт	>1 МПа
Водопоглинання за 24 год, %	43,82	81,7	60	51,38	41	-	
Набрякання за товщиною за 24 год, %	5,51	7,65	8	8,82	10,8	8,2	
Межа міцності на зріз, МПа	2,32	1,46	1,15	2,38	1,56	1,41	
Межа міцності на згин, МПа	91	82,78	62	119,3	105,83	106	
Модуль пружності, $\times 10^3$ МПа	10,83	7,48	6,42	9,51	10,5	13,7	

Паралельно з плівками ПЕВГ, також вивчалось використання інших термопластичних полімерів для склеювання пакетів шпону. Kajaks et al. [30] використовували ПЕВГ та плівки ПП для склеювання деревини. Song et al. [31] порівнювали фізико-механічні властивості фанери, склеєної з використанням

водостійких клеїв з плівками ПП, з фанерою на основі плівок ПЕВГ, КФ та ФФ смол. Результати показали, що фізико-механічні параметри фанери, склеєної плівками ПП були більш сприятливими, ніж у фанери на основі плівок ПЕВГ та фанери з КФ смолами. Фізико-механічні властивості фанери з плівками ПП були схожі з властивостями фанери з ФФ смолами.

Таблиця 1.7.

Режими склеювання пакетів шпону ПЕ і ПП плівками та клеями на основі формальдегіду

Показники	Вид клею						
	ПЕНТ [17]	ПЕНТ [28]	ПЕНТ [27]	ПП [16]	ПЕНТ [53]	ФФК [53]	КФК [53]
Температура пресування, °С	160			180	160	145	115
Тиск пресування, МПа	1	1	0,7	0,9	0,8	1,8	1
Час пресування, хв	8	6,4	5	7	3	3	8
Дозування клею, г/м <sup>2</sup>	246	308	123,22	150	130	160	160
Порода деревини	тополя				вільха		
Товщина фанери, мм	8	8	4,5	6	4,8	4,8	4,8

#### 1.4. Аналіз використання вторинних термопластичних полімерів у виробництві фанери

Зараз більшість полімерів застосовується у сфері пакування харчових продуктів. Не токсичність, зручність, міцність, низька вартість та естетичність полімерних матеріалів сприяють збільшенню їх виробництва та споживання, що в свою чергу може становити загрозу для довкілля. В Україні сьогодні важливо вирішувати проблему переробки полімерних відходів, що виникає не лише через негативний вплив на довкілля, але й у зв'язку із відсутністю значних природних ресурсів вуглеводнів та транзиту для їхнього отримання. Вторинна переробка полімерів може ефективно зекономити первинні сировини (нафта), електроенергію та зменшити обсяги утворення пластичних 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 [36]. Це передусім відходи плівок та погонажних виробів (рис. 1.8.).

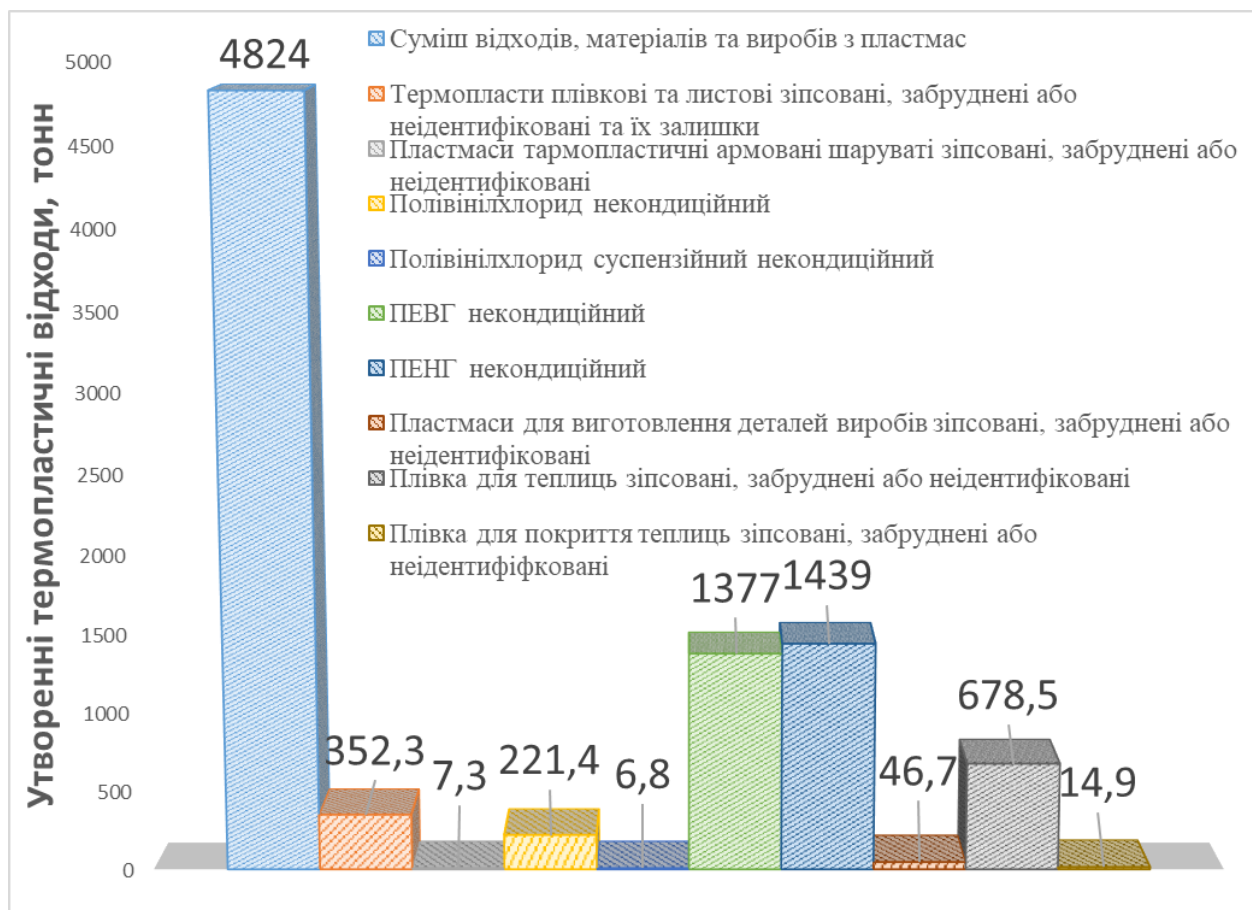


Рис.1.8. Обсяги утворення термопластичних відходів в Україні [35]

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. 1.9.) [34].



Рис. 1.9. Обсяг виробництва базових полімерів в Україні [34]

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 [41].

Багато досліджень вчених [42-51] зосереджені на використанні вторинних плівок, таких як ПЕ, ПП та ПС [42], а також пластикових пакетів з ПЕ, ПП, ПВХ [48, 51], та вторинних ресурсів текстильних матеріалів (поліуретан, поліамід-6, нитки з поліпропілену та скла), як гарячого розплаву для створення термопластичних плівок [45, 46].

Borysiuk et al. [42] досліджували можливість виробництва фанери, склеєної вторинним полістиролом (ПС). Вони використовували вторинний ПС для склеювання листів шпону з берези та сосни товщиною 1,5 мм. Умови склеювання: температура пресування – 200 °С, тиск пресування – 1,5 МПа, час пресування – 300 с. В рамках дослідження вивчався вплив породи деревини та поступової і стрімкої зміни тиску на міцність фанери на зрізі. Тиск пресування пакетів шпону змінювався на п'ятьох етапах. Найвищі значення міцності фанери були досягнуті на V етапі пресування – 3,5 МПа. Значення міцності на зріз за III і IV етапами пресування були однаковими, тоді як за I та II етапами вони були

найменшими. Високі показники міцності фанери на зріз пояснюються тим, що вона була склеєна із шпону, який має більшу щільність та менше зминання, що сприяє кращому проникненню полімеру.

Cui et al. [48] використовували пластикові пакети (масою 500 г), переважно з ПЕ, ПП, ПВХ та пінополістиролу (ППС) для склеювання листів тополевого шпону розміром 350x350x1,5 мм та вологістю 10 %. Полімерні пакети піддавали обробці хімічним реактивом, після чого їх висушували та подрібнювали. Умови склеювання: температура пресування від 130 до 160 °С, час пресування від 3 до 6 хвилин, витрату полімеру від 60 до 120 г/м<sup>2</sup>. Оптимальний режим склеювання листів шпону з подрібненими полімерними пакетами: температура пресування – 150 °С, час пресування – 6 хв, витрата полімеру – 100 г/м<sup>2</sup>.

Kajaks et al. [46] виготовляли тришарову фанеру, яка була склеєна з відходів термопластичного текстильного волокна (ПУ, поліамід-6 (ПА-6)), як гарячих розплавів. Крім того, вони також склеювали фанеру з первинних термопластичних полімерів (ПЕВГ, ПП) та ФФ смоли. Умови пресування включали температуру від 140 до 230 °С, тиск пресування 2 МПа та час пресування від 1 до 8 хвилин. Було встановлено, що міцність фанери на зріз, склеєної високоміцними первинними полімерами (ПЕВГ, ПП) та гарячими розплавами відходів (ПУ, ПА-6), становила 5,6–10 МПа, що значно перевищує міцність на зріз фанери, склеєної ФФ клеєм (2,5–3,7 МПа).

Kajaks et al. [45] 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. 1.8).

Таблиця 1.8

Межа міцності на зріз фанери склеєної з перероблених термопластичних полімерів [40]

Відходи термопластичних полімерів	Межа міцності на зріз, МПа
Відходи ПС для фанери породи [42]:	
береза	3,5
сосна	2,8
Відходи [45]:	
ПЕВГ	2,42
ПП	3,84
Відходи [46]:	
ПЕВГ	2,34
ПП	4,42
ПУ	2,18
Відходи з суміші ПЕВГ, ПП, ПВХ та ПС [48]:	1,1

Дослідженнями доведено, що фізико-механічні характеристики фанери, склеєної як первинними, так і вторинними термопластичними полімерами, практично не розрізняються. Таким чином, використання вторинних полімерів, отриманих з переробки відходів, дозволить створити економічно вигідну та екологічно безпечну фанеру, а також зменшить негативний вплив шкідливих речовин на довкілля.

## 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 [52], 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 у виробництві фанери.

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

*Мета роботи* – дослідити процес прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини первинною 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 вирішення поставлених завдань, з огляду на теоретичний аналіз процесу прогрівання пакета шпону, склеєного з різних порід деревини первинною термопластичною плівкою ПЕНГ, виявлено необхідність експериментального вивчення деяких питань. За результатами досліджень передбачається визначити температуру всередині пакета шпону та тривалість, яка необхідна для нагрівання пакета шпону до потрібної температури текучості термопластичного полімеру, залежно від породи деревини та товщини плівки.

### **2.1. Матеріали та реактиви**

Для виготовлення фанери використовувалися наступні матеріали:

- лущений шпон (ГОСТ 99-96), породи: тополя (300×300×0,75 мм), береза (300×300×1,55 мм), бук (300×300×0,45 мм), граб (300×300×1,5 мм), вологістю  $6\pm 2\%$ ;
- первинна термопластична плівка ПЕНГ розміром 300×300 мм, товщиною 50, 100, 150 мкм;
- карбамідоформальдегідна смола КФ-МТ-15 (ГОСТ 14231-88);
- наповнювач – каолін (ГОСТ 19608-84);
- затверджувач – 20 %  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (ГОСТ 22-10-73);
- дистильована вода.

### **2.2. Обладнання та вимірювальні прилади**

Під час проведення експериментальних досліджень було використане наступне обладнання:

- лінійка металева (ГОСТ 427-75);
- штангенциркуль (ГОСТ 166-80);
- секундомір (ГОСТ 5072-79);
- мікрометр (ГОСТ 166-89) для визначення товщини шпону;
- індикатор годинникового типу (ГОСТ 577-68);
- 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 (ГОСТ 21553-76);
- лабораторний гідравлічний прес фірми "Хомко";
- термопара ТХА;
- цифровий мультиметр РТ-0102;
- лабораторна випробувальна машина на зріз РМ – 05 (ГОСТ 28840);
- круглопилковий верстат;
- мірна колба об'ємом 25 см<sup>3</sup>;
- піпетка об'ємом 10 см<sup>3</sup> з ціною поділки 0,1 см<sup>3</sup>;
- 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.

## **2.3. Методика досліджень властивостей термопластичних плівок**

### **2.3.1. 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.

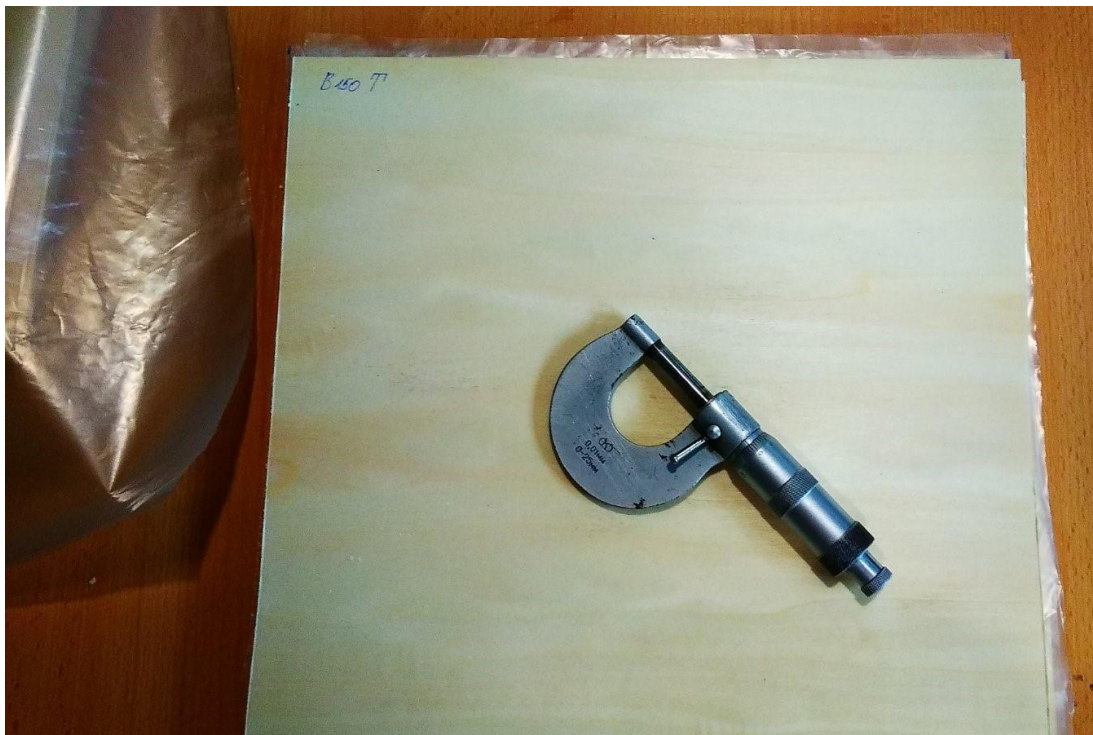


Рис. 2.1. Мікрометр МК-25 0,01

### 2.3.2. Визначення температури плавлення плівок

Термометр з приєднаним зразком поміщався у пробірку, яка занурювалася у колбу з теплоносієм. У ролі теплоносія застосовувався гліцерин. Колба поміщалася у залізну воронку Бабо. Воронка використовувалася з метою техніки безпеки і отримання рівномірного нагрівання. Знизу воронка нагрівалася газовим пальником (рис. 2.2).

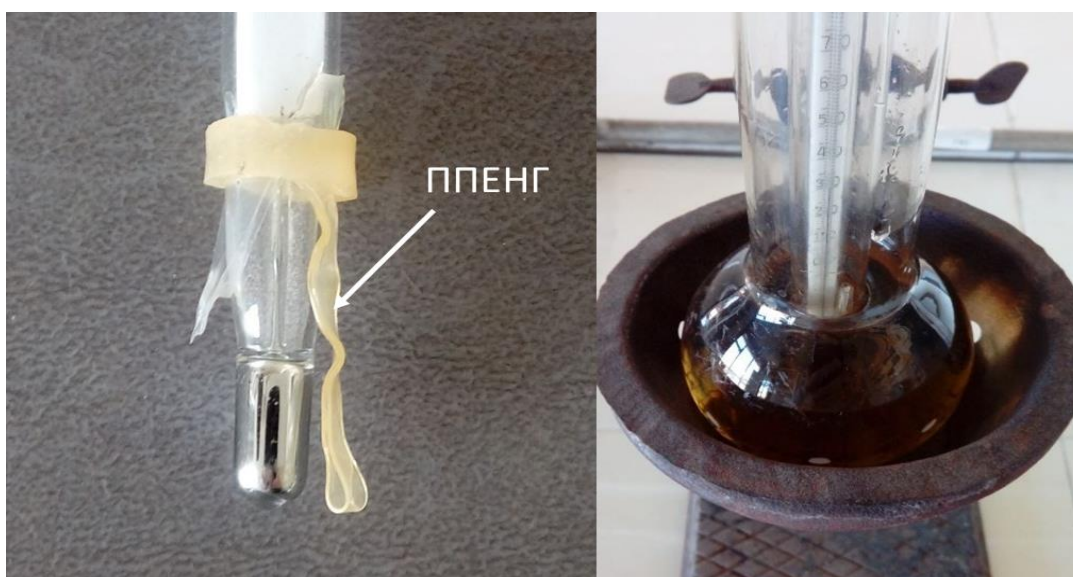


Рис. 2.2. Робочий момент визначення температури плавлення термопластичних плівок

Такий спосіб був обраний через те, що якщо гріти на відкритому повітрі, то легкий зразок може нагрітися швидше ніж масивний термометр, і в такому випадку, отримуються хибні значення температури. Були отримані температури плавлення первинних поліетиленових плівок (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

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

## 2.4. Методика досліджень розподіл температури всередині пакета шпону

### 2.4.1. Підготування матеріалів до випробування

Товщина і вологість лушеного 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 НМВ-WS1 (рис. 2.4.).



Рис. 2.4. Робочий момент визначення вологості лущеного шпону

#### 2.4.2. Формування пакетів шпону

Виготовляли тришарову фанеру. Для склеювання шпону замість традиційних клеїв на основі КФ та ФФ смол використовували термопластичну плівку ППЕНГ різної товщини.

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



листи плівки ППЕНГ

Рис. 2.5. Робочий момент розкроявання плівки ППЕНГ

Один аркуш полімерної плівки, того ж розміру, що й шар шпону, укладався між кожними двома сусідніми шарами шпону. Paket шпону формувався з врахуванням правил формування, прийнятих у виробництві фанери. Між двома взаємно перпендикулярними листами шпону вкладалася одна плівка відповідної товщини. Для фіксування температурних показників у середньому листі шпону здійснювали проріз для того, щоб можна було розмістити термопару в центрі досліджуваного пакета та підключали до цифрового мультиметра. Схема формування пакета шпону зображена на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Схема формування пакета шпону

Для порівняння одержаних результатів досліджень проводили визначення прогрівання пакета 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/м<sup>2</sup> пресувалися за тиску 1,8 МПа та температури 110 °С (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Робочий момент закладання пакета шпону в лабораторний прес "Хомко"

Температура гарячого пресування була обрана на основі попередньої оцінки температури плавлення термопластичних плівок. Температура плавлення плівок є нижнім порогом температури гарячого пресування. Для забезпечення достатньої текучості розплаву плівок та його проникнення в порожнини деревини, температура пресування має перевищувати температуру плавлення. Сформовані пакети шпону пресували за температури 160 °С протягом 4,5 хв. Після завершення гарячого пресування виконували холодне пресування фанери за  $T=20\pm 2$  °С впродовж 5 хв. Дана операція виконувалася для завершення процесу затвердіння полімеру та зменшення короблення фанери.

### 2.4.3. Зняття показів зміни 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

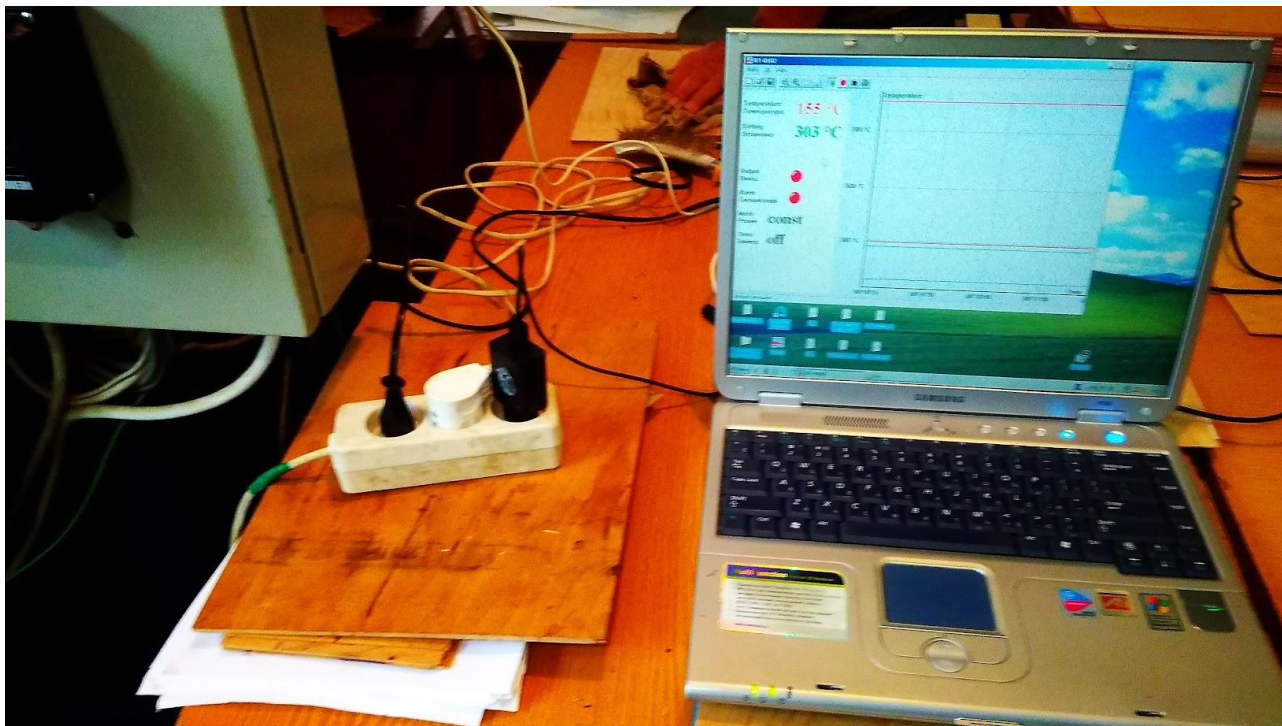


Рис. 2.9. Знімання показів прогрівання пакета шпону

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.

## **2.5. 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).

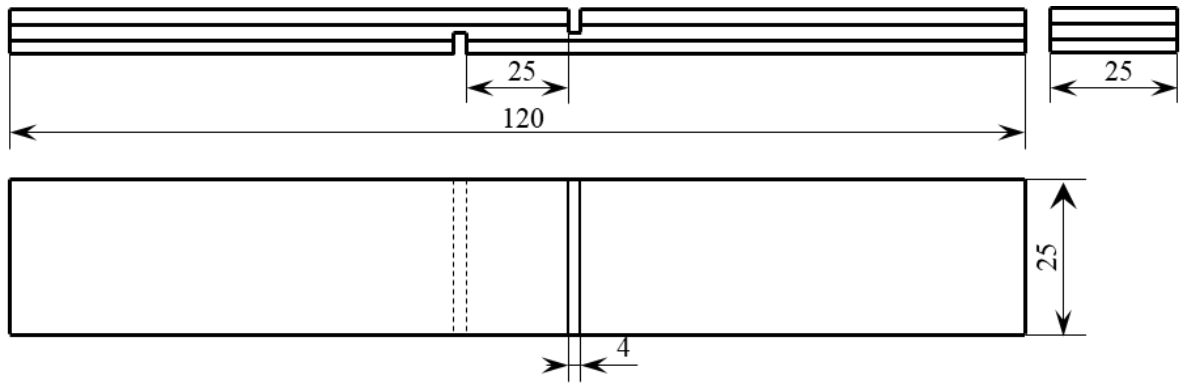


Рис. 2.12. Зразок для випробувань міцності фанери на зріз згідно EN 314-1

У кожному випадку розрізи закінчувалися всередині шару. Перед початком випробування зразків фанери на зріз проводили їх попереднє замочування в ємкості з дистильованою водою за кімнатної температури впродовж 24 год. Витримані зразки виймали з ємкості та протирали фільтрувальним папером з метою зняття залишків води для кращого затискання між кулачками у випробувальній машині.

Зразки встановлювали в затискні кулачки таким чином, щоб навантаження випробувальної машини без бічних сил передавалося через торці зразків на ділянку розрізу (2.11).

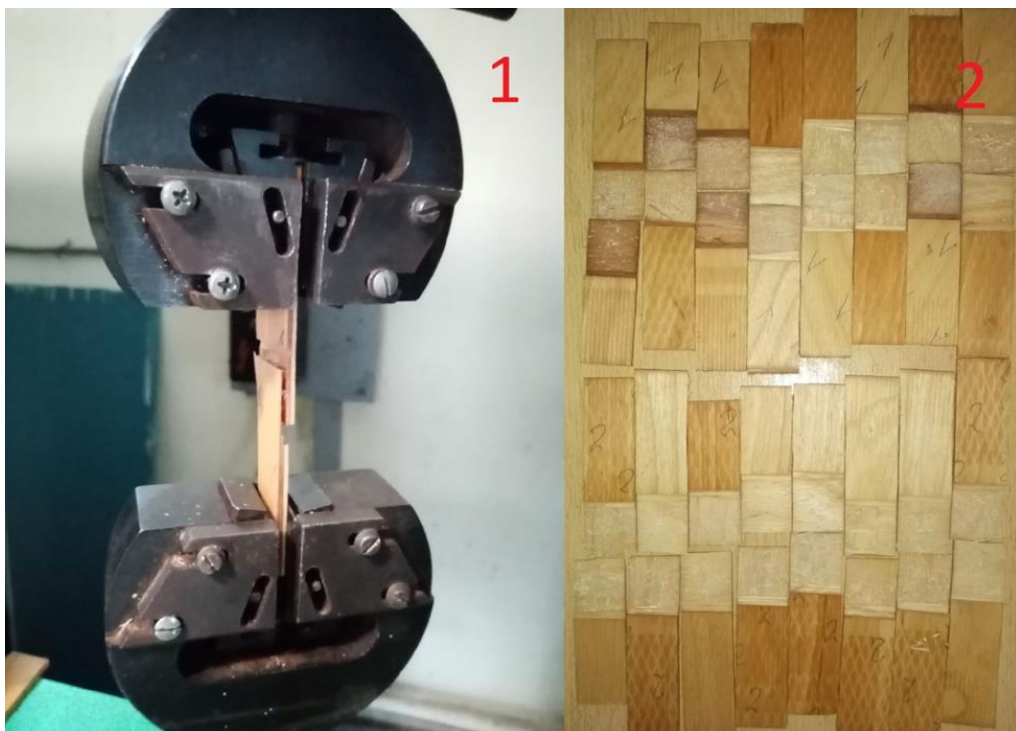


Рис. 2.11. Момент визначення міцності фанери на зріз: 1 – зразок фанери в момент випробування; 2 – зразки фанери після випробування

Навантаження прикладалося з постійною швидкістю таким чином, що руйнування відбувалося через  $(30 \pm 10)$  с. Руйнування виявляється на деревині або на шарах клею в місці зрізу, тобто між надрізами. Якщо руйнування відбувається за межами цієї зони або після 50 % руйнування фанери на поверхневих шарах, цей результат випробування слід виключити і випробування слід повторити з довжиною розрізу 10 мм. Необхідно також видалити ті зразки, поломка яких була викликана дефектами, що знижують 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/мм<sup>2</sup>.

## 2.6. 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 [54]:

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 дослід (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 первинною 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) зі шпону з тополі та плівки ПЕНГ(п) товщиною 50 мкм;
- 2) зі шпону з тополі та плівки ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм;
- 3) зі шпону з тополі та плівки ПЕНГ(п) товщиною 150 мкм;
- 4) зі шпону з берези та плівки ПЕНГ(п) товщиною 50 мкм;
- 5) зі шпону з берези та плівки ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм;
- 6) зі шпону з берези та плівки ПЕНГ(п) товщиною 150 мкм;
- 7) зі шпону з бука та плівки ПЕНГ(п) товщиною 50 мкм;
- 8) зі шпону з бука та плівки ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм;
- 9) зі шпону з бука та плівки ПЕНГ(п) товщиною 150 мкм;
- 10) зі шпону з бука та плівки ПЕНГ(п) товщиною 50 мкм;
- 11) зі шпону з граба та плівки ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм;
- 12) зі шпону з граба та плівки ПЕНГ(п) товщиною 150 мкм;
- 13) зі шпону з тополі та клею КФ-МТ витратою 110 г/м<sup>2</sup> (контрольний зразок);
- 14) зі шпону з берези та клею КФ-МТ витратою 110 г/м<sup>2</sup> (контрольний зразок);
- 15) зі шпону з бука та клею КФ-МТ витратою 110 г/м<sup>2</sup> (контрольний зразок);
- 16) зі шпону з граба та клею КФ-МТ витратою 110 г/м<sup>2</sup> (контрольний зразок).

#### **3.1. Вплив товщини термопластичної плівки на процес прогрівання пакета шпону**

За результатами досліджень було побудовано графіки розподілу температури в середині пакета кожні 5 секунд згідно досліджуваних товщин термопластичної плівки ПЕНГ.

Товщина ПЕНГ для фанери з тополі не показала жодної різниці, час необхідний на прогрівання внутрішнього шару фанери дорівнював 160 с для всіх видів товщин плівки.

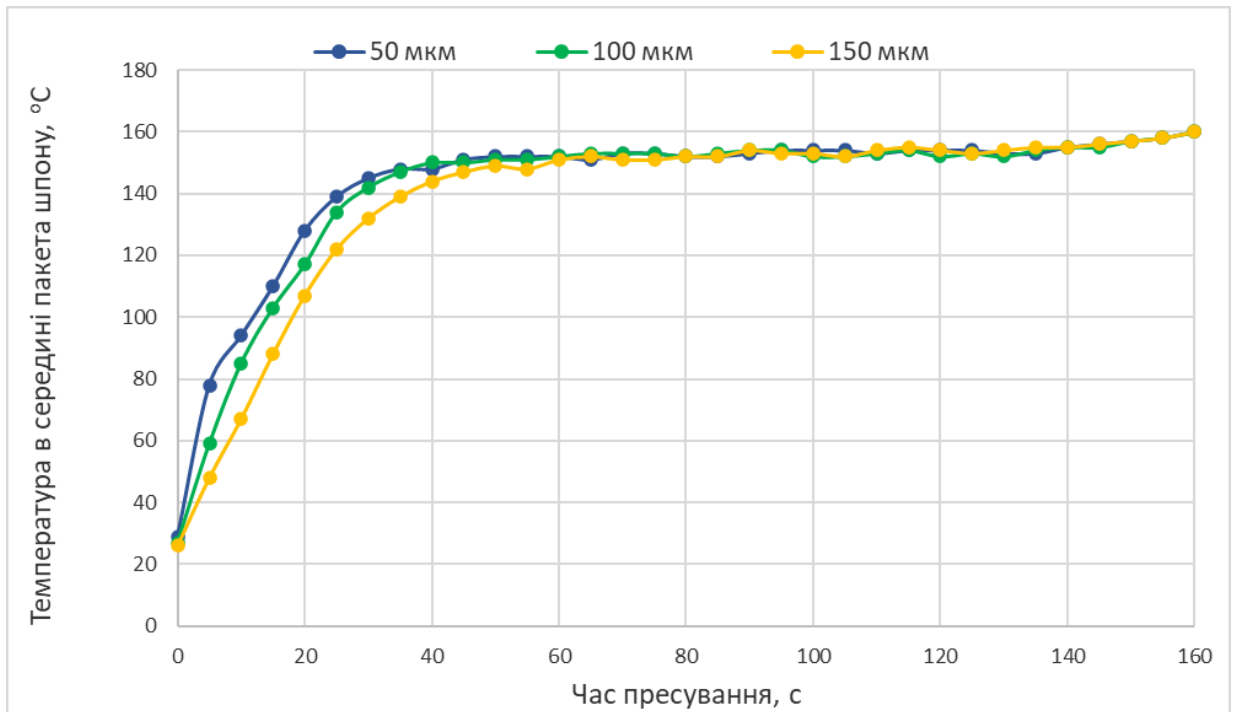


Рис. 3.1. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм з листів тополевого шпону

Було встановлено, що витрачений час на прогрівання середини пакету з листів березового шпону був більший та спільний для всіх видів товщини ПЕНГ – 175 с.

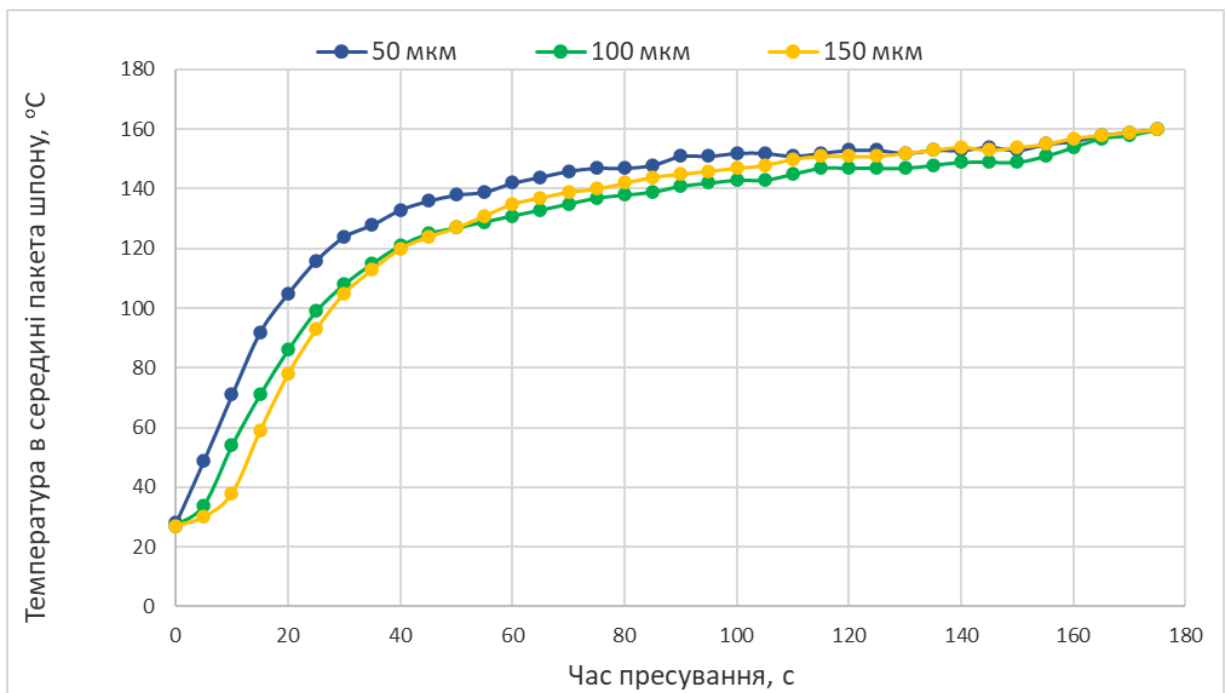


Рис.3.2. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм з листів березового шпону

За зразками фанери виготовлених зі шпону бука зберіглась тенденція відсутності різниці швидкості прогрівання середини пакету від товщин ПЕНГ-170 с для всіх видів плівок.

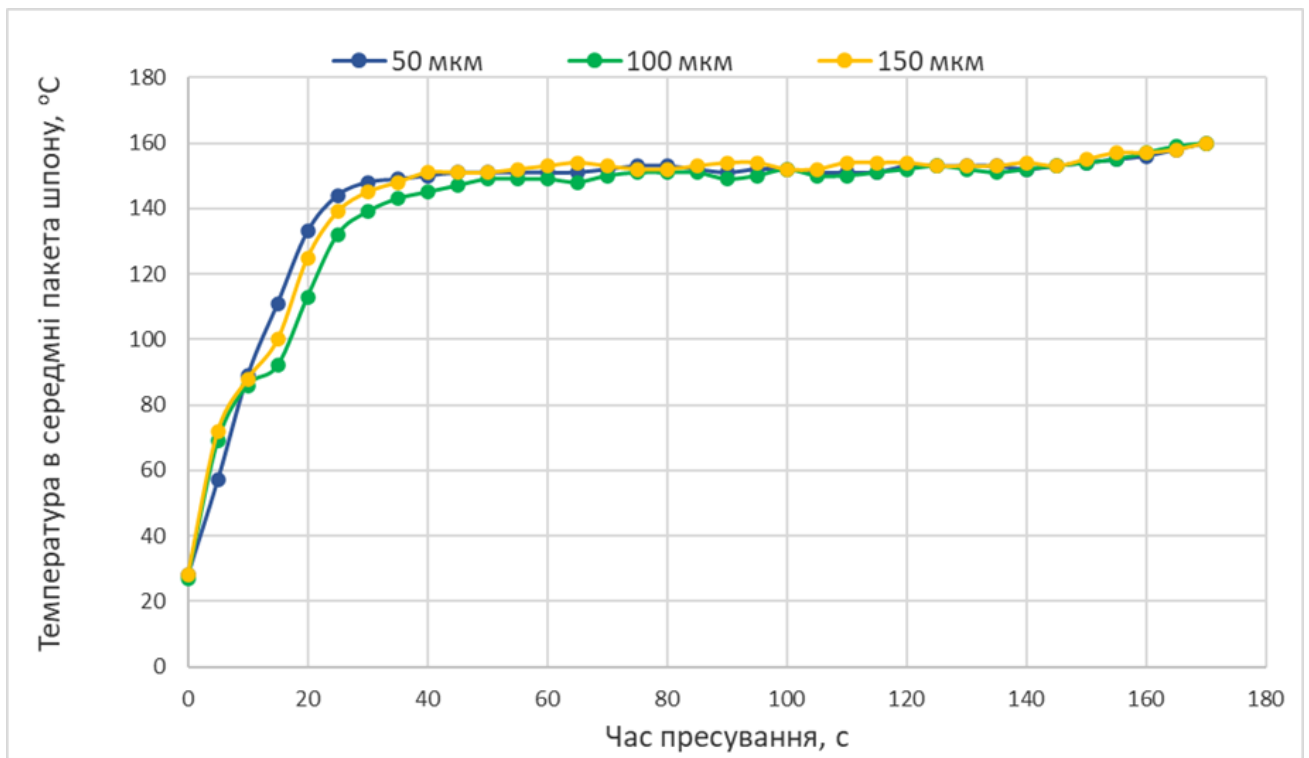


Рис.3.3. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 з листів букового шпону

Фанера виготовлена з грабового шпону і склеєна плівкою ПЕНГ продемонструвала аналогічні результати прогрівання середини пакету, як і фанера з березового шпону, для всіх видів товщини плівок ПЕНГ – 175 с.

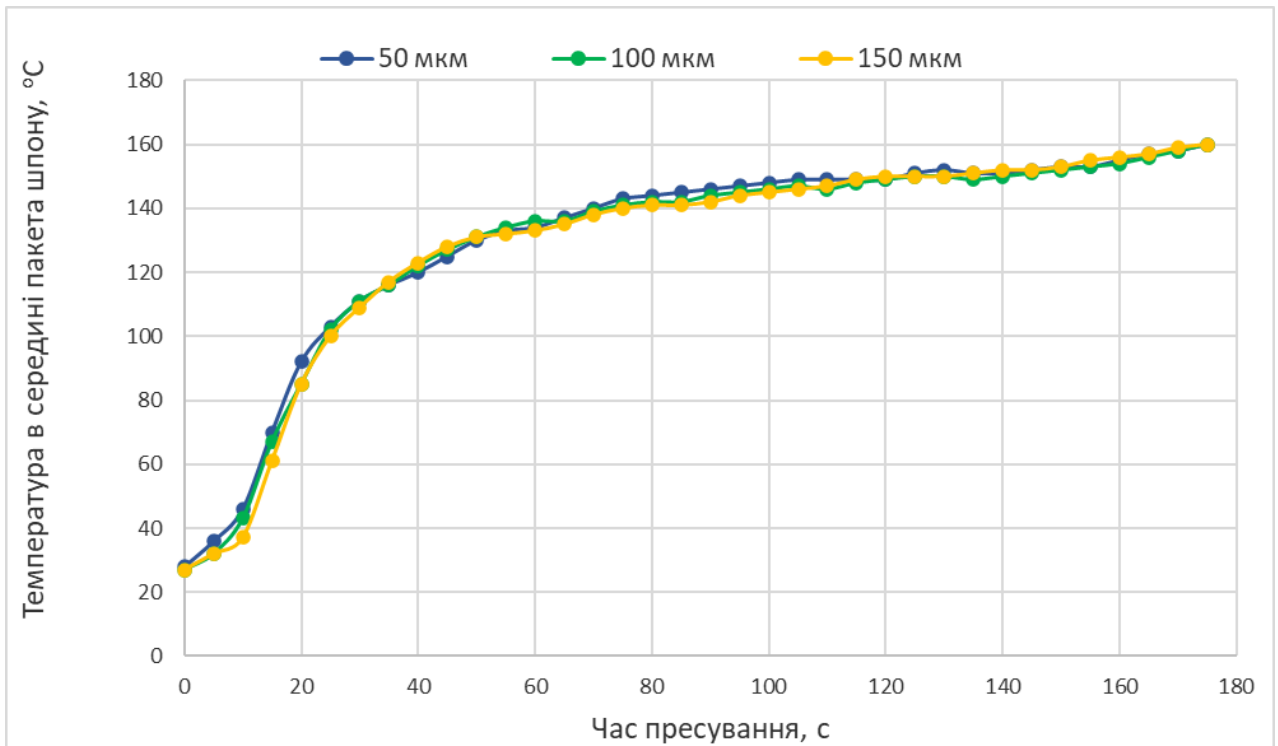


Рис.3.4. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм з листів шпону граба

Вплив товщини плівки ПЕНГ від 50 до 150 мкм на час прогрівання середини фанери є відсутнім, як показано на наведених графіках (рис.3.1-3.4). Це можна пояснити незначною різницею між досліджуваними товщинами плівки ПЕНГ(п).

### 3.2. Вплив породи деревини на процес прогрівання пакета шпону

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

Пакети шпону, склеєні з листів тополевого шпону прогриваються дещо швидше, ніж пакети шпону, склеєні березовим шпоном, для всіх видів товщин плівок ПЕНГ: тополевым – 160 с, березовим – 175 с (рис. 3.5-3.6).

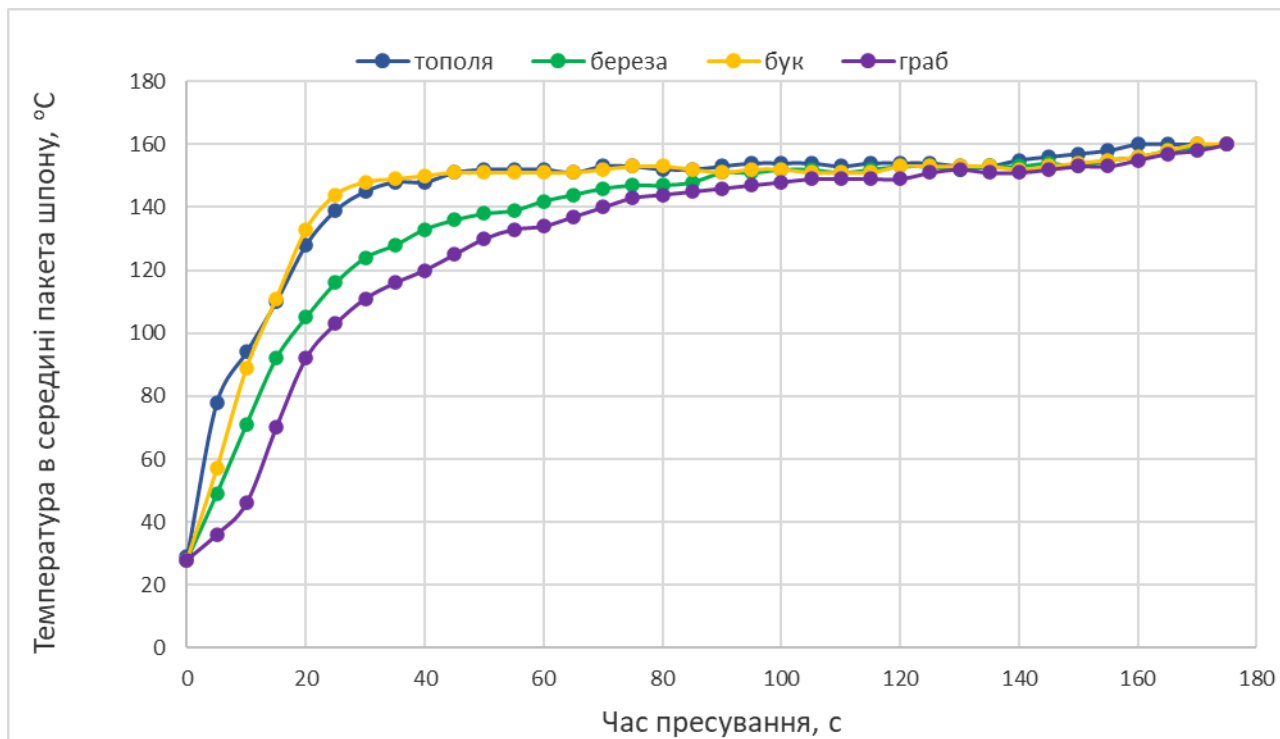


Рис.3.5. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50 мкм

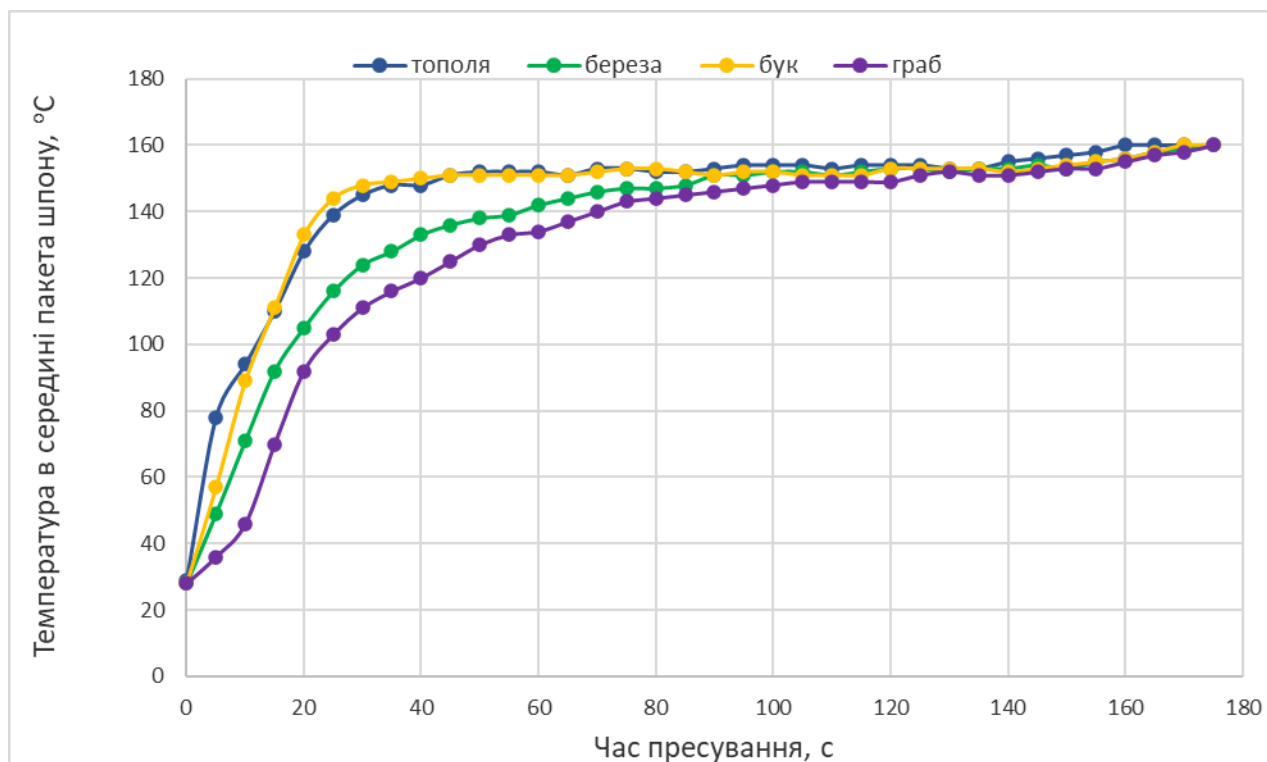


Рис.3.6. Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм

Аналогічна тенденція спостерігається для пакетів шпону склеєних з листів букового та грабового шпону. Пакет шпону, склеєний з букового шпону прогрівається швидше, ніж із грабового – 170 с і 175 с відповідно. Цей факт можна пояснити щільністю деревини та товщиною досліджуваного шпону.

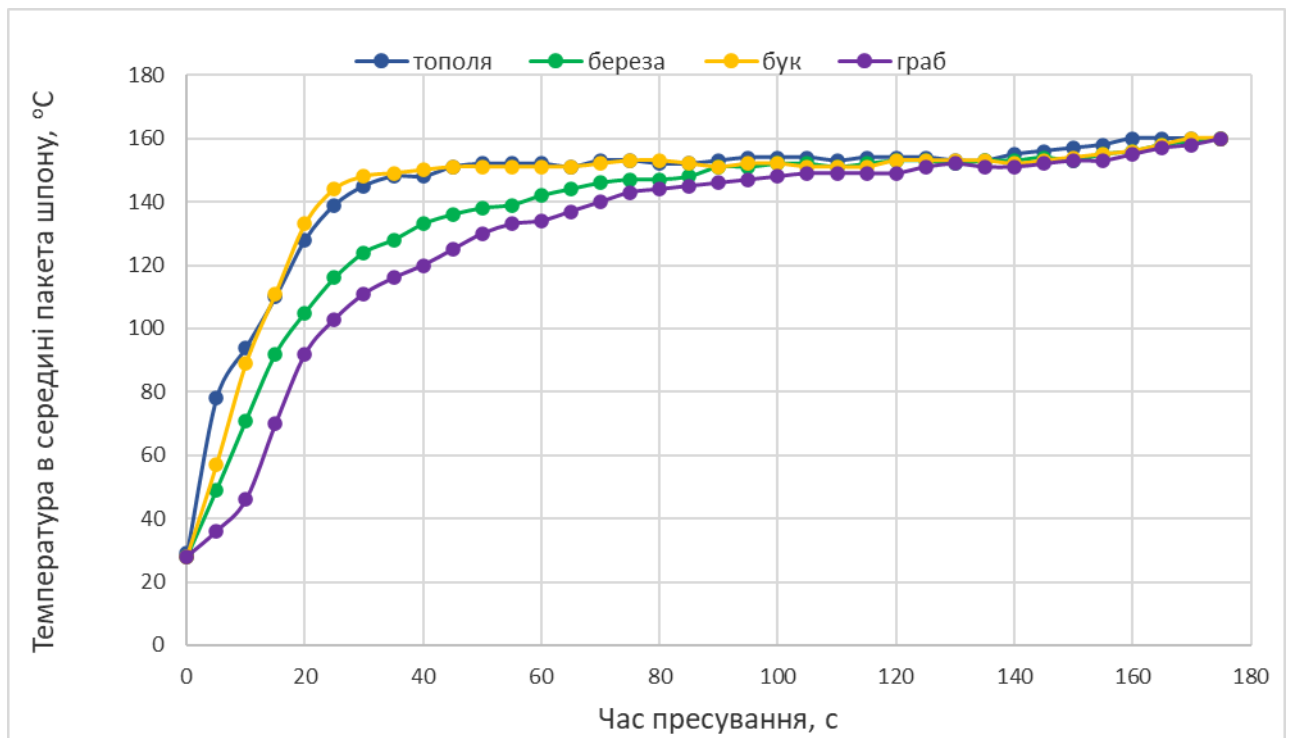


Рис.3.7. Криві розподілу температури в середині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного з листів тополевого, березового, букового і грабового шпону плівкою ПЕНГ(п) товщиною 150 мкм

### 3.3. Вплив виду клею на процес прогрівання пакета шпону

Однією з причин, що впливає на швидкість прогрівання середини фанери є здатність клею проникати в структуру шпону під час пресування пакета і затвердівати в клітинах деревини.

На рис.3.8-3.11. виразно помітна різниця між перебігом швидкості прогрівання пакета шпону залежно від виду застосовуваного клею.

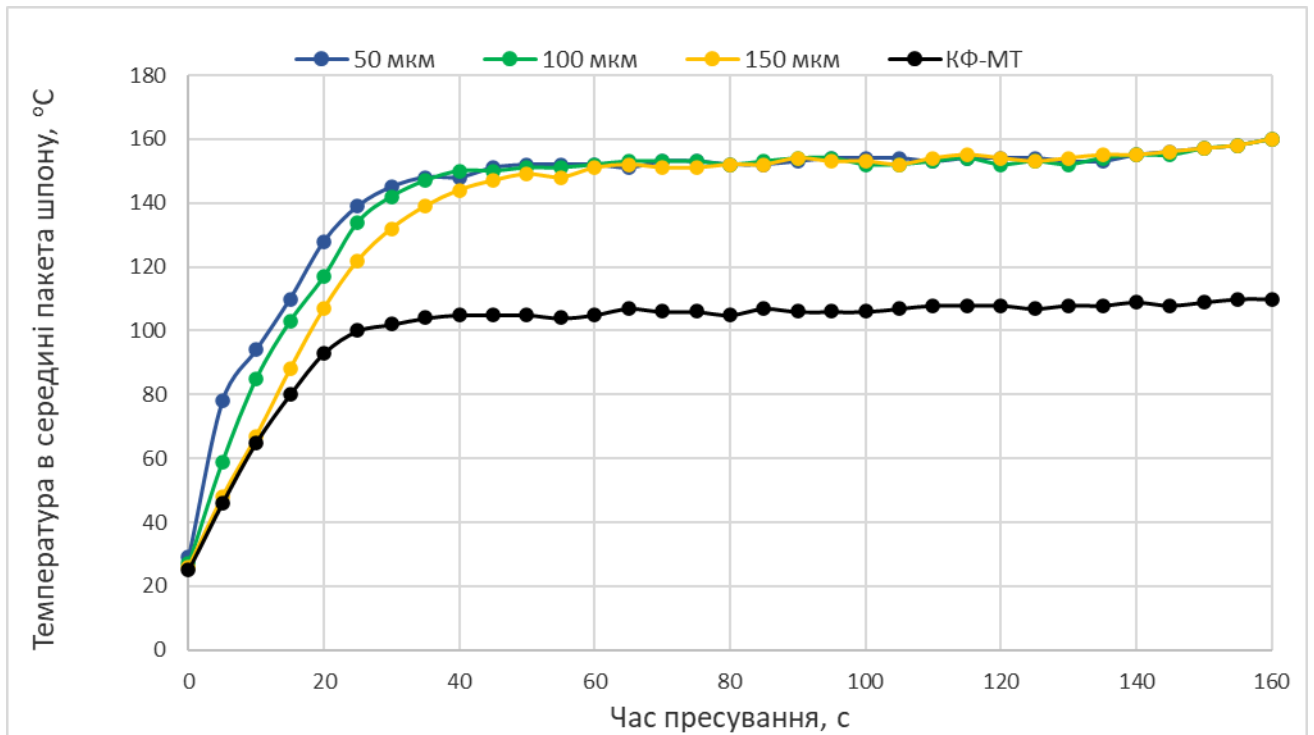


Рис.3.8.Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм з листів тополевого шпону

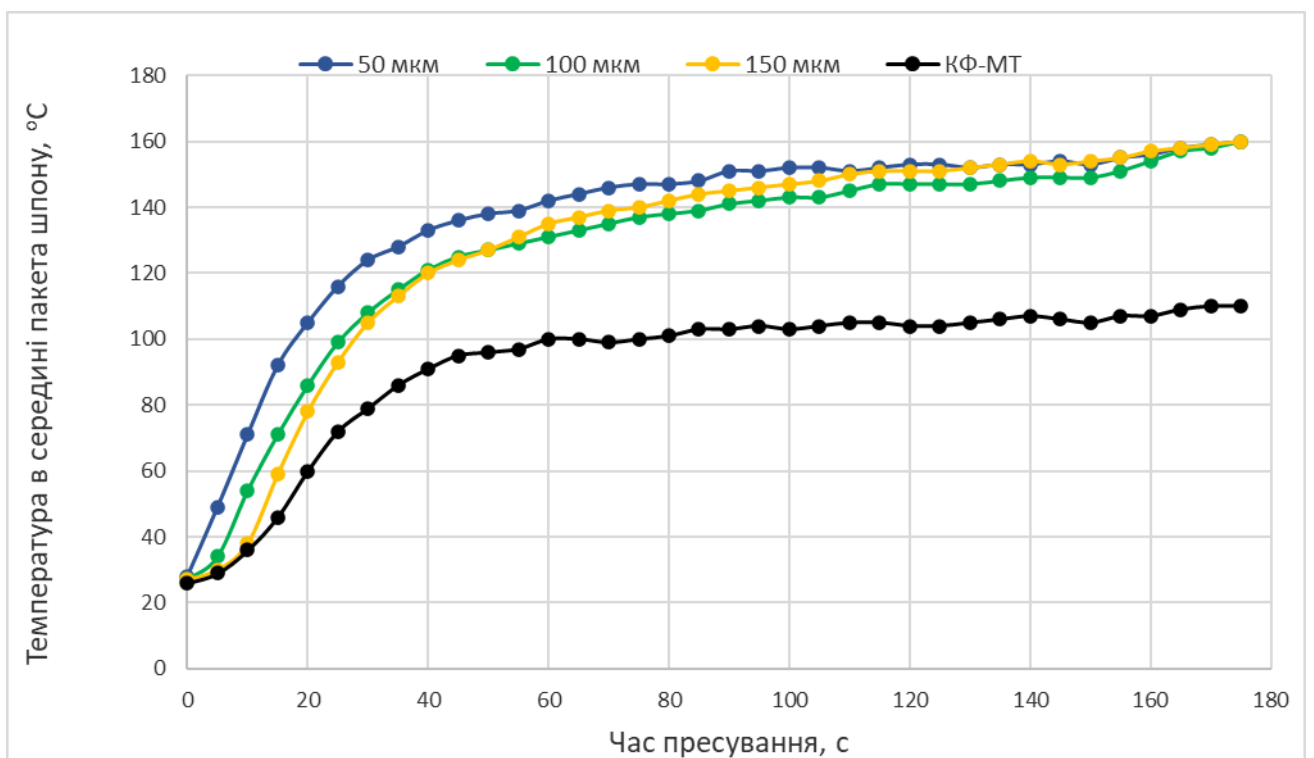


Рис.3.9.Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм з листів березового шпону

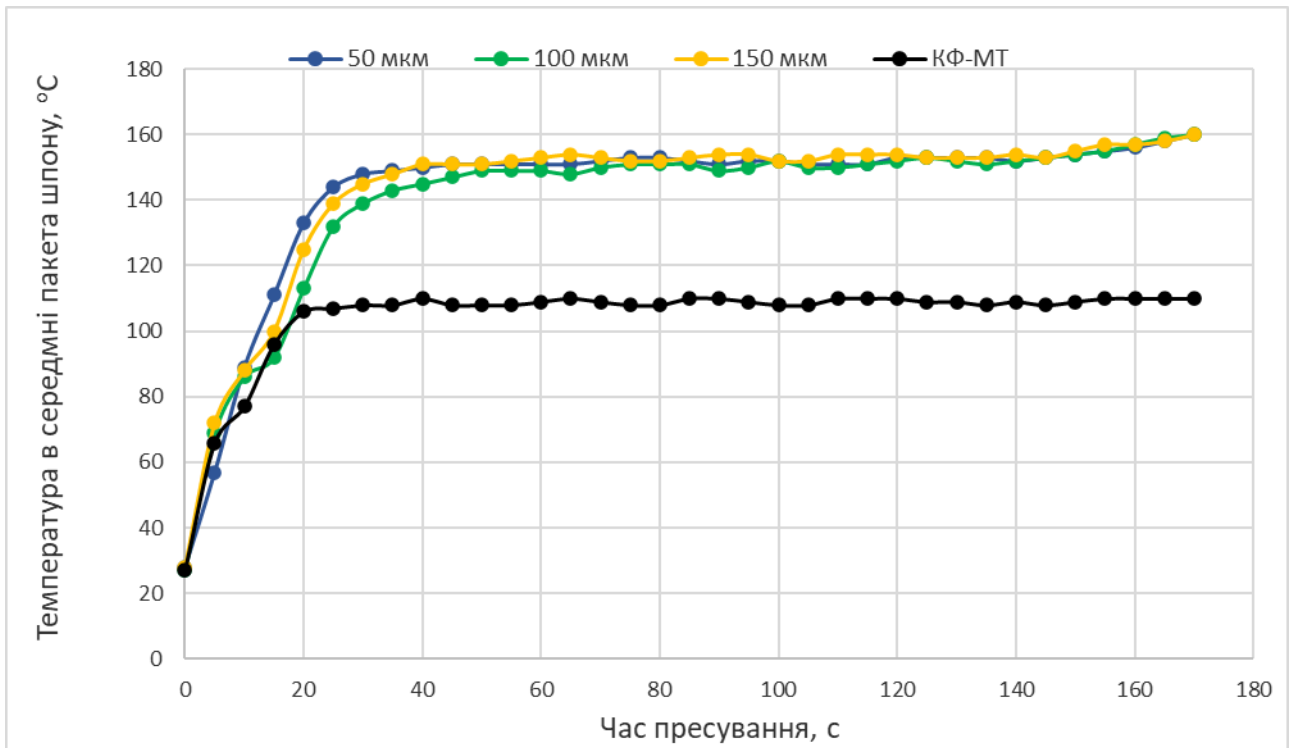


Рис.3.10.Криві розподілу температури всередині пакету шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм з листів букового шпону

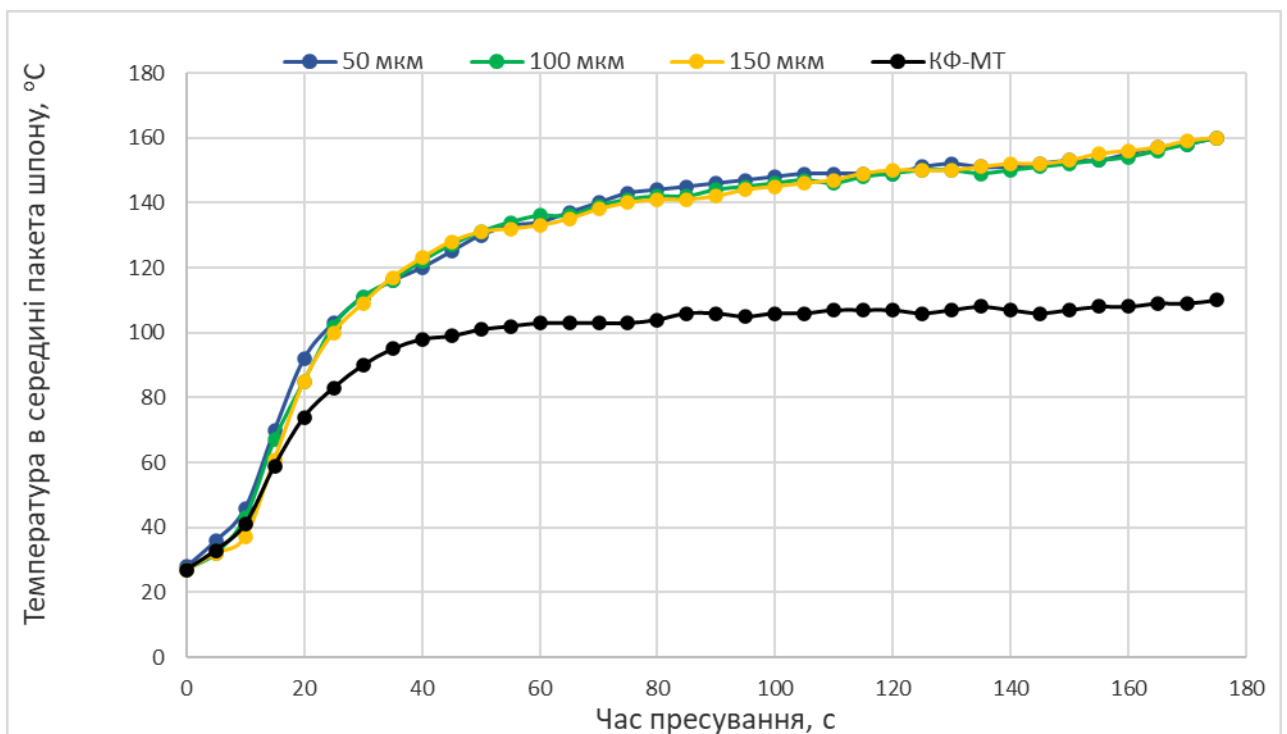


Рис.3.11.Криві розподілу температури в середині пакету шпону під час гарячого пресування, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 50, 100 і 150 мкм та КФ-МТ клеєм з листів грабового шпону

З отриманих результатів досліджень найповільніше прогрівався пакет шпону склеєний КФ клеєм за температури 110 °С. В середині пакета шпону температура пресування була досягнута за 155-175 с, тоді як за той самий час для пакета шпону склеєного термопластичною плівкою було досягнуто температури 160 °С за такий же час пресування було досягнуто всередині пакета температури, що майже у 3 рази швидше. Це пояснюється більшою температурою пресування. Крім того, через зволоження листів шпону КФ клеєм внесена з ним вода, сповільнює процес підведення тепла, через витрату енергії на випаровування води.

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

За результатами дисперсійного аналізу вплив породи деревини та товщини плівки ПЕНГ(п) 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(п)

№ 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(п)	1,656	3	0,552	16,413	0,001*
		Порода деревини × Товщина плівки	1,015	9	0,113	3,355	0,001*

## Тест Дункана для зразків фанери виготовлених з плівки ПЕНГ(п)

№ з.п.	Залежні змінні	Порода деревини				Товщина плівки ПЕНГ(п), 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 найменший середній показник міцності на зріз було зафіксовано для пакету шпону, склеєного плівкою ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм – 1,124 МПа. А найкращий результат тополевої фанери, склеєної за усіх видів товщини плівки ПЕНГ(п) становив 1,437 МПа. Проте, зразки фанери склеєні КФ-МТ клеєм показали дещо вищі результати – 1,529 МПа (рис. 3.12).

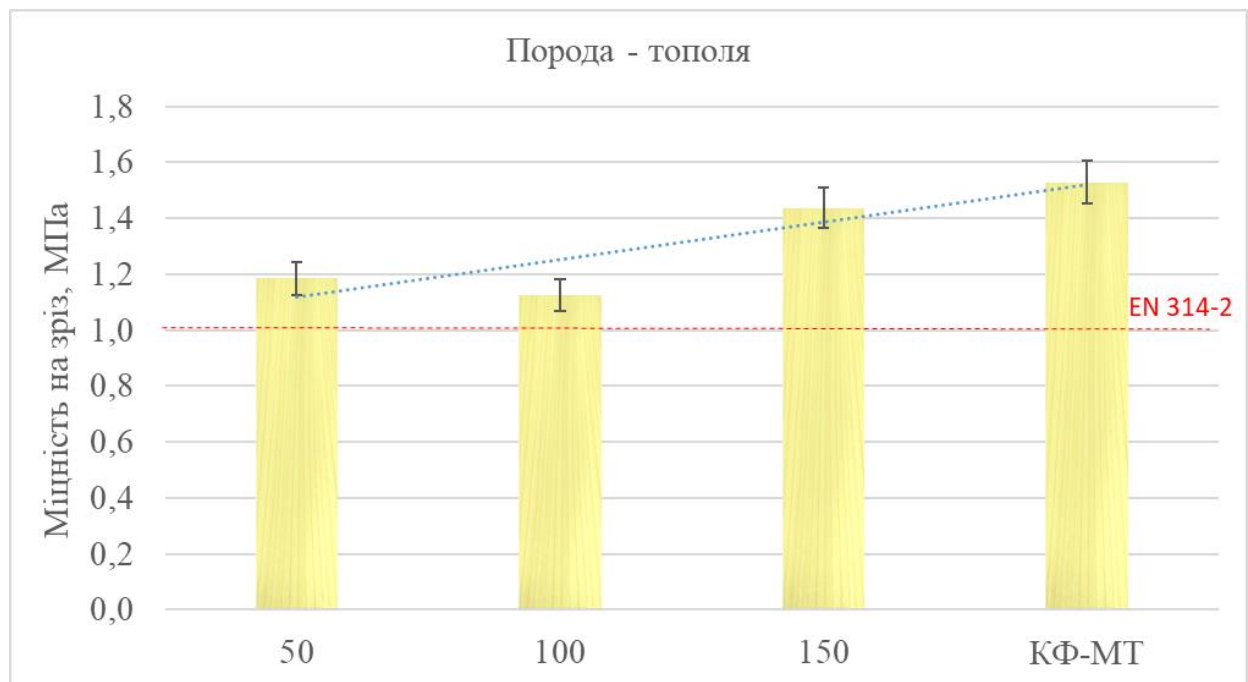


Рис. 3.12. Вплив товщини плівки ПЕНГ(п) на міцність тополевої фанери на зріз

Значення міцності на зріз для зразків березової фанери були наступні: найкращий показник у фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(п) товщиною 100 мкм – 1,358 МПа; найгірший товщиною 50 мкм – 1,127. Зразки склеєні КФ-МТ клеєм показали дещо вищі середні результати – 1,773 МПа.

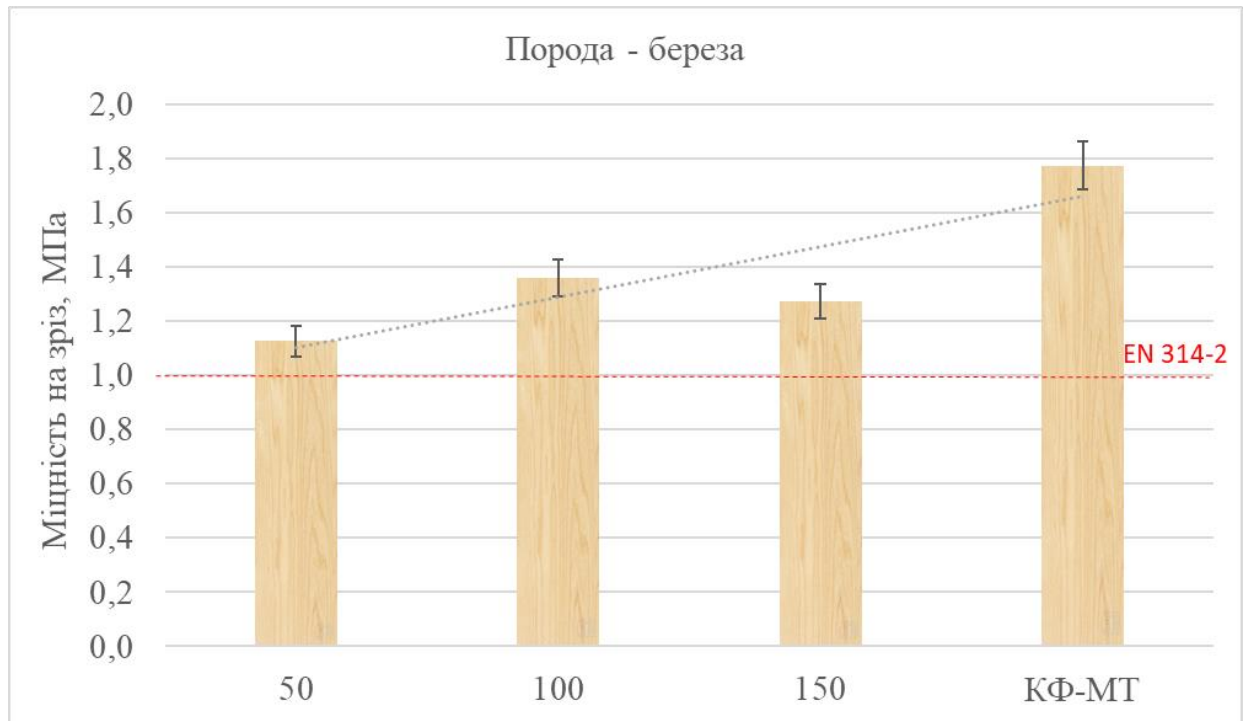


Рис. 3.13. Вплив товщини плівки ПЕНГ(п) на міцність березової фанери на зріз

Найвищі показники міцності на зріз для фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(п) було зафіксовано у склеєних між собою листах букового шпону для всіх видів товщин плівки: 50 мкм – 1,597 МПа, 100 мкм – 1,676 МПа і 150 мкм – 1,767 МПа відповідно. Фанера, склеєна КФ-МТ клеєм, показала міцність на зріз, яка дещо більше - 2,073 МПа.

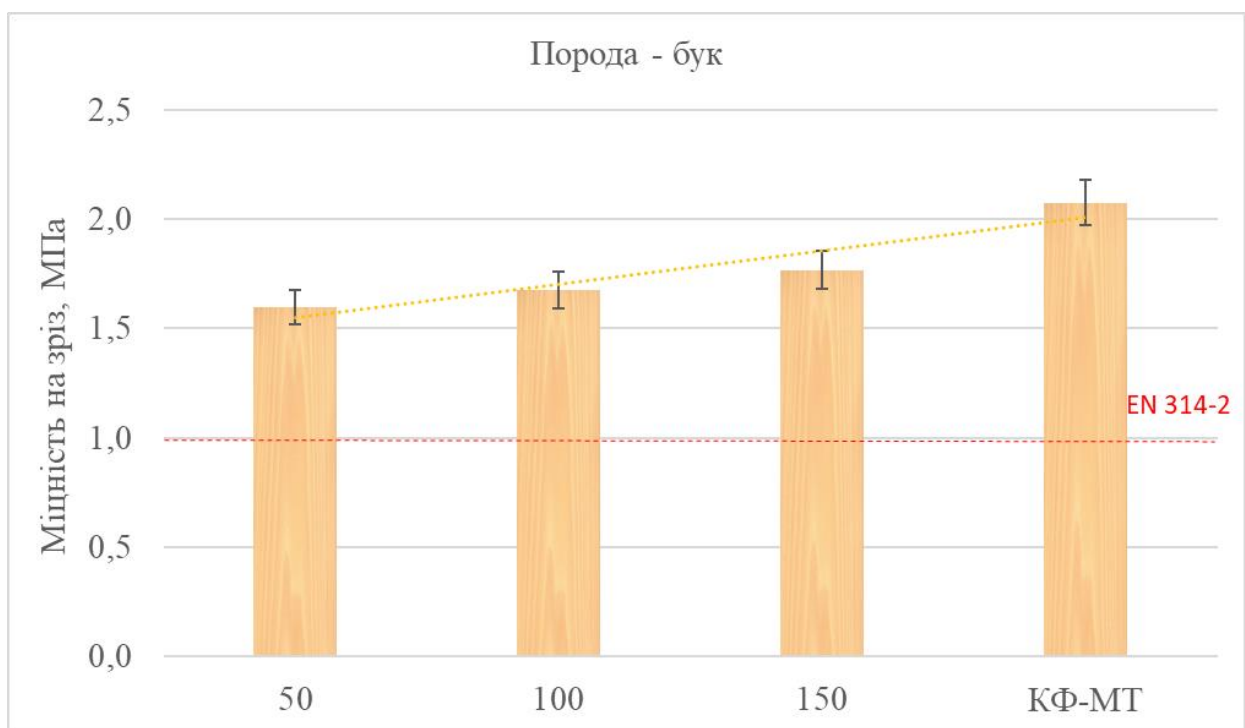


Рис. 3.14. Вплив товщини плівки ПЕНГ(п) на міцність букової фанери на зріз

В свою чергу найгірші показники міцності на зріз продемонстрували зразки грабової фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(п): 50 мкм – 1,043 МПа, 100 мкм – 1,312 МПа і 150 мкм – 1,088 МПа відповідно. Зразки фанери, склеєні клеєм КФ-МТ клеєм показали найвищі результати для цього показника – 2,169 МПа.

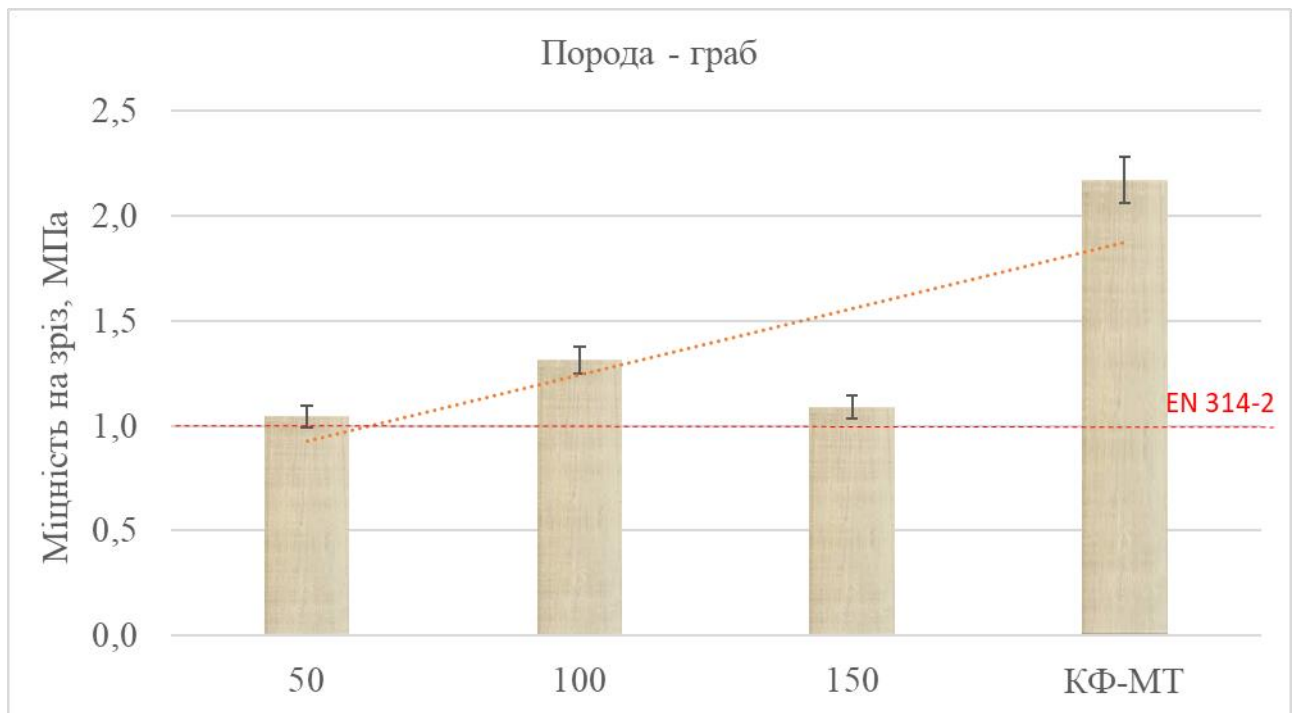


Рис. 3.15. Вплив товщини плівки ПЕНГ(п) на міцність грабової фанери на зріз

Порівняння середніх значень міцності фанери на зріз, склеєної плівкою ПЕНГ(п) та КФ-МТ вказує на різницю між показниками, та пояснюється різницею фізико-механічних властивостей кожної породи деревини та їх взаємодії з видом зв'язуючого.

### 3.5. ВИСНОВКИ

На основі результатів експериментальних досліджень можна стверджувати, що порода деревини та товщина термопластичної плівки ПЕНГ у виробництві фанери має суттєвий вплив на міцність на зріз, що являється одним з показників якості матеріалу, і процес прогрівання пакету шпону, що є необхідним для прогнозування тривалості основної технологічної операції такої як гаряче пресування, так і загальний час виготовлення готової продукції. За результатами аналізу виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримано такі висновки:

1) Проаналізовано вплив породи деревини та витрати первинної термопластичної плівки ПЕНГ на швидкість прогрівання пакета шпону. Встановлено, що витрата полімеру (товщина 50 мкм, 100 мкм і 150 мкм) не впливають на швидкість прогрівання пакета шпону і нею можна знехтувати.

2) З'ясовано, що порода деревини впливає на швидкість прогрівання пакета шпону. Пакети з листів тополевого і букового шпону нагріваються швидше (160–170 с), ніж пакети з березового та грабового шпону (175 с). Це пов'язано як з щільністю деревини, так і товщиною використовуваного шпону.

3) За результатами досліджень встановлено, що запропонована температура пресування 160 °С є достатньою для розплавлення полімеру і його глибоке проникнення в структуру деревини для утворення міцного клейового з'єднання.

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

5) Найвищі показники міцності на зріз для фанери, склеєної плівкою ПЕНГ(п) було зафіксовано у склеєних між собою листах букового шпону для всіх видів товщин плівки: 50 мкм – 1,597 МПа, 100 мкм – 1,676 МПа і 150 мкм – 1,767 МПа відповідно.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yearbook of Forest Products 2022. FAO. 2020. URL: <https://www.fao.org/3/cc3475m/cc3475m.pdf> (Last accessed: 1.10.2023)
2. FAO. (2019). Yearbook of Forest Products 2021. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb3795m/cb3795m.pdf>
3. 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>
4. 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>.
5. Загальна характеристика лісів України. Державне агенство лісових ресурсів України. URL: <https://forest.gov.ua/> (дата звернення 12.10.2023).
6. Бехта П.А. Виробництво фанери: підручник. Київ: Основа, 2003. 320 с.
7. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Підручник. Київ: Основа, 2003. 336 с.
8. 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.
9. 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.
10. Mittal M., & Sharma C.B. Studies on lignin-based adhesives for plywood panels. *Polymer International*. 1992. Vol. 29, №1. P. 7–8.
11. 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.
12. 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.

13. 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>.
14. 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.
15. Jarvela P.K., Tervalo O., Jarvela P.A. Coating plywood with a thermoplastic. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 1999. Vol. 19. P. 295–301.
16. 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.
17. 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>.
18. 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>.
19. 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.
20. 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. *BioResources*. 2017. Vol. 12, №1. P. 571–585. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.571-585>.
21. Гупало О.П., Тушницький О.П. Хімія деревини: підручник, 2-ге видання, виправлене і доповнене. Київ: Знання, 2008. 276 с.
22. Ковернінський І.М. Основи технології хімічної переробки деревини: навчальний посібник для вузів. Лісний. пром-сть, 1984. 184 с.

23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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>.
29. Bekhta P. & Sedliačik J. Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers*. 2019. Vol. 11, 1166. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071166>.
30. 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:10.1088/1757-899X/500/1/012001>.
31. 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>.

32. 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>.
33. 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>.
34. Виробництво промислової продукції за видами за 2019 рік. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
35. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2020 році. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
36. Утворення та поводження з відходами (1995–2020). Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
37. Borysiuk P. Die Festigkeit thermoplastgebundenen Sperrholzes. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2004. Vol. 55. P. 67–71.
38. 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>.
39. 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.
40. 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>.
41. 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. Вып. 4. №29. С. 9. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10882>.

42. 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.
43. Climenhage D. Recycled Plastic Lumber. A strategic Assessment of its production, use and future prospects. Ontario, 2003. 42 p.
44. 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>.
45. 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.
46. 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>.
47. 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).
48. 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>.
49. Кусняк І.І. Використання відходів термопластичних полімерів у виробництві фанери. *Прикладні науково-технічні дослідження: Матеріали ІІ міжн. наук.-практ. конф., 3–5 квітня 2018 р. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2018. С. 136.*
50. Шепелюк І., Кусняк І., Мельник Ю., Скорохода Т. Полімер-деревинні композити на основі вторинного поліетилену. *Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: Матеріали ІХ міжн. наук.-техн. конф., 14–18 травня 2018 р. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2018. С. 410–413.*

51. 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.
52. UNECE/FAO. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://unece.org/forests/introduction>.
53. 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.org/10.3390/polym11071166>.
54. Пилипчук М.І., Григорєв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень. Київ: Знання, 2007. 270 с.
55. 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>
56. FAO. (2013). Yearbook of Forest Products 2015. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/i4746m/i4746m.pdf>
57. FAO. (2018). Yearbook of Forest Products 2020. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/cb0513m/CB0513M.pdf>
58. 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>
59. 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>
60. Держстат України, 1998-2020 [https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld\\_u/lisz\\_vyd\\_prod\\_lg\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/lisz_vyd_prod_lg_u.htm).