

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

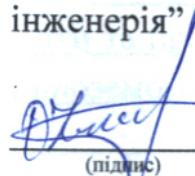
УДК 674.093.26

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра на тему:

**Аналіз впливу поверхневої обробки шпону
сірчанокислим глиноземом на властивості
фанери склеєної термопластичною плівкою**


Виконав: студент групи ТДКМ(м)-61
спеціальності 161 - "Хімічні технології та
інженерія"



Ковальчук О. І.

(підпис)

Керівник: професор каф. ТДКМ, д.т.н.



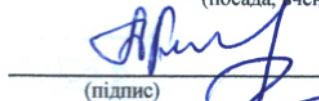
Козак Р. О.

(підпис)

Рецензент:

доцент, к.т.н, доцент

(посада, вчене звання, науковий ступінь)



(підпис)

Керсе М. А. е

(прізвище та ініціали)

Львів – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

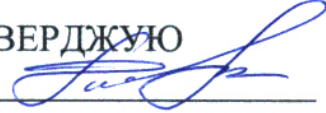
Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу.

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

д.т.н., проф. Козак Р.О.

"22" грудня 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ковальчук Олексій Іванович

1. Тема роботи І.б. Аналіз впливу поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою

керівник роботи зав. каф. ТДКМ Козак Руслан Олегович, д.т.н., професор,

затверджені наказом університету від "28" жовтня 202 року № С-846

2. Термін подання студентом роботи 16.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідити та проаналізувати вплив поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)

1. Стан питання і завдання досліджень

2. Методика експериментальних досліджень

3. Результати дослідження та аналіз вплив поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою

4. Висновки та рекомендації

5. Дата видачі завдання 05.08.2025 р.

Студент 

(підпис)

Ковальчук О. І.

Керівник роботи 

(підпис)

Козак Р.О.

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Аналіз впливу поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою» направлена на встановлення впливу поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою та його аналіз.

Дане дослідження є актуальним, оскільки плівкове склеювання демонструє значні технологічні переваги над рідкими клеями: спрощується процес нанесення, зменшується ризик нерівномірного розподілу, знижується кількість відходів. Але досягнення ефективної адгезії між деревинним шпоном і термопластичними полімерними плівками є складним завданням через різну природу цих матеріалів: деревина є гідрофільною, тоді як термопластики — гідрофобними. Тому збільшення адгезії між шпоном і термопластичною плівкою, зокрема шляхом поверхневої обробки шпону, є критично важливим для прогнозування та підвищення міцності клейових з'єднань.

Магістерська робота складається з 3-ох частин, висновків, списку використаної літератури. У першому розділі роботи проаналізовано світове виробництво перспективних деревинних композиційних матеріалів. Сформульовано мету роботи і завдання досліджень. Другий розділ описує методики експериментальних досліджень і статистичної обробки експериментальних даних. У третьому розділі описано результати експериментів і здійснено їх аналіз. За результатами досліджень сформульовано узагальнюючі висновки.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1. Світове виробництво перспективних деревинних композиційних матеріалів.....	7
1.2. Аналіз використання термопластичних полімерів у виробництві деревинних композиційних матеріалів.....	9
1.3. Аналіз використання відходів термопластичних полімерів у виробництві деревинних композиційних матеріалів.....	12
1.4 Використання сірчаноокислого глинозему у виробництвах паперу та деревинних композитів.....	17
1.5. Висновки і завдання досліджень.....	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Матеріали та реактиви.....	20
2.2 Лабораторний посуд, вимірювальні прилади та обладнання.....	20
2.3 Методика виготовлення фанери.....	21
2.4 Методика визначення властивостей фанери.....	23
2.5 Статистична обробка результатів досліджень.....	27
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФАНЕРИ З ПОВЕРХНЕВО ОБРОБЛЕНОГО ШПОНУ РОЗЧИНОМ СІРЧАНОКИСЛОГО ГЛИНОЗЕМУ ТА СКЛЕЄНОЇ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЮ ПЛІВКОЮ.....	30
3.1 Вплив концентрації сірчаноокислого глинозему на міцність фанери під час статичного згинання.....	30
3.2 Вплив концентрації сірчаноокислого глинозему на модуль пружності фанери під час статичного згинання.....	31

3.3	Вплив концентрації сірчанокислого глинозему на міцність фанери на зріз.....	32
3.4	Вплив концентрації сірчанокислого глинозему на набрякання фанери.....	34
3.5	Висновки	35
	ВИСНОВКИ.....	36
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38
	ДОДАТКИ.....	48

ВСТУП

Магістерська робота присвячена вирішенню важливого і актуального завдання – аналізу впливу поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою.

Перспективним напрямом вважається використання термопластичних полімерів, зокрема у вигляді плівок, що дає змогу істотно знизити екологічні ризики, покращити якість готової продукції та оптимізувати процес виробництва. Водночас застосування термопластичних полімерів у фанерному виробництві досліджено недостатньо, що визначає актуальність теми дипломної роботи.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – аналіз впливу поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити такі основні завдання:

- здійснити поверхневу обробку шпону водним розчином сірчаноокислого глинозему різної концентрації;
- експериментально виготовити зразки фанери з поверхнево обробленого шпону склеєної термопластичною плівкою;
- дослідити фанеру на міцність і модуль пружності під час статичного згинання, міцність на зріз та набрякання;
- проаналізувати отримані результати досліджень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення фанери.

Предмет дослідження – вплив поверхневої обробки шпону сірчаноокислим глиноземом на властивості фанери склеєної термопластичною плівкою.

Методи дослідження. В магістерській роботі для досягнення поставленої мети використані наступні методи: дослідні зразки фанери виготовлено методом плоского пресування. Під час випробування зразків

фанери визначення застосовано методи визначення межі міцності та модуля пружності фанери під час статичного згинання, межі міцності на зріз та набрякання. Оброблення експериментальних даних проведено методом статистичного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів. Визначено межу міцності та модуль пружності під час статичного згинання, межу міцності на зріз та набрякання фанери з поверхнево обробленого шпону розчином сірчаноокислого глинозему та клеєної термопластичною плівкою. Проаналізовано вплив концентрації сірчаноокислого глинозему на вказані властивості такої фанери.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Світове виробництво перспективних деревинних композиційних матеріалів

Сучасний етап розвитку деревообробної промисловості демонструє зростаючий інтерес до деревинних композиційних матеріалів (ДКМ), виготовлення яких ґрунтується переважно на використанні деревини як основної сировини. Такий вибір зумовлений не лише її доступністю та відновлюваністю, але й екологічною функцією, адже ліси виконують роль «легенів планети», забезпечуючи відтворення кисню в атмосфері.

Нині особливу увагу приділяють раціональному та комплексному використанню деревини, що дозволяє зменшити витрати не лише самої сировини, а й інших традиційних матеріалів. ДКМ стають конкурентоспроможними заміниками металів, бетону, пластмас і навіть натуральної деревини.

До групи деревинних композитів відносять матеріали, частково або повністю заповнені деревиною різних форм. За типом матриці їх умовно поділяють на дві категорії:

- **на основі полімерів** – модифікована деревина, клеєні дерев'яні конструкції (КДК), фанера, деревинно-шаруваті пластики (ДШП), стружкові та волокнисті плити, MDF, деревинно-клеєві композиції, пресовані маси, деревинно-полімерні плити.

- **на основі мінеральних в'язучих речовин** – арболіт, фіброліт, ксилоліт, тирсобетон, деревобетон, цементно- та гіпсостружкові плити, гіпсоволокнисті плити та вироби з деревини й рідкого скла.

Ринок ДКМ характеризується динамічним розвитком. Згідно зі статистикою, Україна у 2017 році посідала 27-ме місце серед найбільших експортерів деревинної продукції. Водночас імпортна структура відзначалася високою часткою продукції з доданою вартістю (понад 99 %),

серед якої переважали плити, фанера та пресована деревина (86,2 %), а також готові вироби – 12,8 %.

Протягом останніх років серед широкого спектра ДКМ найбільш перспективними залишаються стружкові плити, фанера та MDF. Динаміка їх світового виробництва демонструє сталий ріст: у 2013–2017 роках обсяг фанерного виробництва збільшився на 45,39 %, що є найвищим показником у цій галузі. Хоча виробництво стружкових плит у 2017 році скоротилося майже на 29 % порівняно з попереднім роком, загальна тенденція вказує на розширення ринку.

Найбільшими виробниками фанери та MDF залишаються країни Азії, зокрема Китай, на який у 2017 році припадало понад 113 млн м³ фанери. Європейський ринок демонструє стабільне зростання: виробництво фанери у 2017 році зросло на 4,5 % і склало 9,132 млн м³, тоді як споживання збільшилося на 5,47 % – до 9,702 млн м³. При цьому основний дефіцит покривався імпортом. Найбільшими світовими експортерами тропічної фанери залишаються Китай та Індонезія.

Перспективність розвитку фанерного виробництва зумовлена широким спектром його застосувань – від будівництва та меблевої промисловості до машинобудування, транспортної галузі й декоративного оздоблення. В Україні попит на фанеру також зростає, насамперед через активізацію житлового будівництва. Виробництво фанери у державі після кризи 2008–2009 років демонструвало стабільний ріст: у 2009–2018 роках приріст склав 74,3 %, а загальний обсяг – 190 тис. м³.

Статистичні дані щодо експорту та імпорту ДКМ підтверджують, що Україна володіє значним потенціалом для розширення цього сектору. Водночас актуальною залишається потреба забезпечення ринку високоякісною та екологічно безпечною продукцією, яка відповідатиме сучасним стандартам і попиту споживачів.

1.2. Аналіз використання термопластичних полімерів у виробництві деревинних композиційних матеріалів

Вирішальним чинником у підвищенні ефективності виробництва та якості деревинних композиційних матеріалів (ДКМ) є застосування синтетичних смол та клейових систем на їх основі [1–9]. Якість клейового з'єднання безпосередньо визначає фізико-механічні властивості ДКМ, тому розвиток галузі тісно пов'язаний з удосконаленням клеїв і смол [10].

Згідно з даними ФАО (див. п. 1.1), світові обсяги виробництва та споживання ДКМ залишаються приблизно однаковими й продовжують зростати разом зі збільшенням чисельності населення. Відповідно, зростає і попит на клейові матеріали для деревини. Так, у 2015 році світовий ринок клеїв оцінювався у 1,96 млн тонн.

У деревообробній промисловості найбільш поширені карбамідоформальдегідні (UF) смоли, на які припадає близько 85 % виробництва, тоді як частка фенолоформальдегідних (PF) становить близько 15 % [2, 11–26]. Популярність цих смол пояснюється їх високою реакційною здатністю, доброю адгезією до деревини, простотою використання у різних умовах пресування, низькою температурою тверднення, коротким часом склеювання, водорозчинністю та низькою вартістю. Проте їхнім основним недоліком є виділення формальдегіду, визнаного ВООЗ канцерогеном для людини [27]. Це зумовило активізацію пошуку альтернативних екологічно безпечних клейових матеріалів.

Дослідження останніх десятиліть зосереджені на розробленні клеїв без формальдегіду [28–35]. Для цього застосовують ізоціанатні, епоксидні смоли, а також натуральні продукти – танін, лігнін, соєвий білок тощо. Одним із напрямів є часткова або повна заміна токсичних компонентів природними, екологічно безпечними речовинами. Перспективним підходом визнано використання термопластичних полімерів: поліолефінів,

полівінілового спирту, крохмалю, полі-молочної кислоти, соєвих продуктів та бензилованих лігноцелюлоз.

Перші експериментальні дослідження [23, 36–38] були присвячені нанесенню термопластичного покриття на фанеру методом екструзії гарячого розплаву поліолефінів (ПЕ, ПП). Модифікація малеїновим поліпропіленовим воском (Erolene E-430) дозволила досягти достатньої адгезії, однак високі температури плавлення термопластів (близько 200 °С) призводили до часткової деструкції деревини [15]. Тому до полімерів пред'являється ключова вимога – понижена температура плавлення.

Подальші експерименти Borysiuk, Nowak [19], Pivka [22], Titus і Vasile [39], Fang та ін. [46, 47] та ін. підтвердили, що застосування ПЕ та ПП у вигляді плівок або волокон дозволяє значно підвищити водостійкість, адгезійну міцність та довговічність фанери. При цьому оптимальні результати досягалися за температур 140–180 °С і тиску 0,7–1,3 МПа, що забезпечувало показники міцності на зріз понад 1,0 МПа, що відповідає європейському стандарту EN 314-2 для фанери 1-го класу [51].

Окремі дослідження спрямовані на комбіноване використання полімерних плівок (ПЕВГ, ПП, ПС) у різних шарах фанери [8, 11]. Плівкове склеювання демонструє значні технологічні переваги над рідкими клеями: спрощується процес нанесення, зменшується ризик нерівномірного розподілу, знижується кількість відходів.

У табл. 1.1 наведено фізико-механічні показники фанери на основі термопластичних полімерів [54]. Вони засвідчують, що за низки параметрів (міцність на зріз, згин, модуль пружності) фанера на термопластичних клеях не поступається, а подекуди й перевищує традиційні показники карбамідоформальдегідних і фенолоформалдегідних систем.

Окрім ПЕ та ПП, у виробництві деревинно-полімерних матеріалів (ДПМ) застосовують інші термопластики: ПВХ, ПММА, АБС, ПВС тощо . Використання сумішей полімерів (наприклад, ПЕ+ПВХ, ПЕ+ПП) може

поліпшити властивості композитів, хоча іноді виникає проблема несумісності різної хімічної природи [13, 24].

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості фанери на основі термопластичних полімерів [81]

Показник	Вид полімеру	Вимоги EN 314-2	ПЕВГ [46]	ПЕВГ [47]	ПЕВГ [48]	ПЕВГ [53]	ПЕВГ [51]	ПП [54]
Водопоглинання за 24 год., %	–	–	43,82	81,7	60,0	98,0	51,38	–
Набрякання за товщиною, %	–	–	5,51	7,65	8,0	–	8,82	8,2
Межа міцності на зріз, МПа	>1,0	2,32	1,46	1,15	1,30	2,38	1,41	
Межа міцності при згині, МПа	–	91,0	82,78	62,0	86,94	119,3	106,0	
Модуль пружності, МПа	–	10,83	7,48	6,42	8,33	9,51	13,7	

Важливим напрямом вважається переробка відходів термопластів (наприклад, ПЕ), що дозволяє знизити собівартість та створити малотоксичні матеріали з хорошими декоративними властивостями [14]. Позитивні результати отримано й у випадку застосування жорстких пінополіуретанів (ППУ), що здатні замінити UF смоли у стружкових плитах, покращуючи їх водостійкість та міцність .

Як наповнювачі для ДПМ використовують деревинне борошно, тирсу, кору, а також сільськогосподарські відходи. Оптимальний вміст деревинного компонента – 80–90 %, що забезпечує баланс між ціною та експлуатаційними характеристиками виробу .

Таким чином, використання термопластичних полімерів у виробництві ДКМ відкриває можливість створення матеріалів з високими показниками міцності, водо- та біостійкості, які водночас є екологічно безпечними. Завдяки технологічності та можливості вторинної переробки такі композити можуть широко застосовуватися у меблевій, деревообробній, автомобілебудівній та будівельній промисловості.

1.3 Аналіз використання відходів термопластичних полімерів у виробництві деревинних композиційних матеріалів

Щороку в Україні утворюється близько 400 млн тонн відходів, при цьому середньостатистичний українець викидає приблизно 131 кг побутового сміття на рік. За офіційними даними станом на 2018 рік обсяг відходів у державі склав 352,9 млн тонн, з яких 49,6 тис. тонн припадало на полімерні матеріали [56]. Найбільшу частку серед полімерних відходів займають поліетилен низької (ПЕНГ) та високої (ПЕВГ) густини – понад 30 % загального обсягу. Переважно це залишки плівкових матеріалів і погонажних виробів.

Повторне використання промислових та побутових полімерних відходів дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й забезпечити отримання нових композиційних матеріалів з цінними експлуатаційними властивостями. Актуальність цього напряму зумовлена також високою залежністю українського ринку від імпорту базових полімерів. Відсутність власних значних родовищ вуглеводнів та транзитний статус країни у сфері нафтохімії безпосередньо вплинули на обмеженість виробництва полімерної сировини.

До фінансово-економічної кризи 2008–2009 років український ринок полімерів вважався одним із найбільш динамічних у світі: середньорічний приріст споживання великотоннажних полімерів (ПЕ, ПП, ПВХ, ПС) перевищував 20 % (близько 125 тис. т на рік), тоді як у світі цей показник становив лише 4 %. У 2008 році обсяг споживання полімерів сягнув 663 тис. т, а у 2011 році – 674 тис. т [57]. Після кризи 2014–2015 років відбулося часткове відновлення ринку, зокрема відновила діяльність компанія ТОВ «Карпатнафтохім». Нині спостерігається зростання внутрішнього споживання поліетилену та його експорту до Туреччини, Молдови та інших країн. Таким чином, розвиток вторинної переробки полімерних відходів має стратегічне значення, оскільки дозволяє знизити

собівартість композитів та зменшити залежність від імпорتنих поставок.

Перероблені термопластичні полімери здатні витримувати 2–3 цикли повторної переробки із незначним зниженням фізико-механічних характеристик унаслідок деструкції (табл. 1.3). Порівняння властивостей первинного та вторинного поліетилену свідчить, що другий може зберігати високі показники міцності та модульності, хоча його відносне видовження при розриві зменшується.

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні властивості первинного та вторинного поліетилену [58]

Показник	Первинний ПЕ	Вторинний ПЕ
Модуль пружності при розтягу, МПа	596	640
Міцність при розтягу, МПа	33,7	34,2
Відносне видовження при розриві, %	69,7	36,9
Ударна міцність, Н	135	120
Молекулярна маса	236 100	238 600
Полідисперсність	7,47	7,94

Проблема утилізації полімерних відходів отримала значний науковий резонанс у світі. Сучасні дослідження підтверджують можливість використання вторинних полімерів як альтернативи традиційним терморезактивним смолам при виготовленні фанери та інших деревинних композиційних матеріалів.

Зокрема, дослідження довели ефективність застосування текстильних полімерних відходів (поліуретан, поліамід-6, поліпропіленові та скляні волокна), пластикових пакетів (ПЕ, ПП, ПВХ, ПС) та перероблених полімерних гранул як гарячих розплавів для склеювання деревинного шпону. Використання високоміцних поліолефінових відходів забезпечує межу міцності фанери на зсув до 4–10 МПа, що перевищує показники фанери на фенолоформальдегідних смолах (2,5–3,7 МПа).

Кажакс та співавт. [63] встановили, що застосування вторинного поліпропілену дозволяє отримати міцність на зріз до 10 МПа, а вторинного

поліетилену – 5–6 МПа. При цьому зразки демонстрували задовільну водостійкість, що відкриває перспективи їхнього використання в умовах зовнішнього середовища. Подібні результати отримано і для фанери на основі відходів полістиролу, де межа міцності становила 2,8–3,5 МПа залежно від породи деревини.

Окремі дослідження показали позитивний вплив додавання гранульованих поліетиленових відходів у склад плит OSB. Це покращувало водостійкість, зменшувало набрякання та підвищувало стійкість до витягування шурупів. Водночас спостерігалось деяке зниження модуля пружності та міцності на розтяг.

У табл. 1.4 наведено узагальнені результати експериментів щодо межі міцності на зріз фанери, склеєної вторинними термопластичними полімерами [55].

Таблиця 1.4 – Межа міцності на зріз фанери, склеєної відходами термопластичних полімерів [55]

Вид відходів	Межа міцності на зріз, МПа
Полістирол (береза)	3,5
Полістирол (сосна)	2,8
ПЕВГ	2,42
ПП	3,84
ПЕВГ	2,34
ПП	4,42
Поліуретан	2,18
Суміш ПЕНТ, ПП, ПВХ, ПС [93]	1,1

Для покращення адгезії неполярних поліолефінів (ПЕ, ПП) зазвичай застосовують хімічну модифікацію їхньої поверхні — обробку активними реагентами та окисниками, прищеплення функціональних груп, полум'яну чи коронну обробку. У випадку поліолефінів використовують газоподібний хлор, пероксид водню та суміші кислот. Такі методи сприяють утворенню на поверхні полімеру полярних груп

(гідроксильних, карбонільних тощо), що підвищує його адгезійну здатність. Однак, окрім модифікації полімерів, практичною альтернативою є обробка поверхні самого шпону, що також підсилює міжфазну сумісність.

Найпоширенішими реагентами для модифікації різнополярних матеріалів є малеїновий ангідрид та полімери на його основі [54, 71–72], силани (наприклад, вінілтриметоксисилан А-171) [101], фталевий ангідрид та інші функціональні сполуки [75]. Відомі також ефективні способи термічної модифікації шпону (200 °С протягом 5–60 хв), які знижують його гідрофільність [76].

Goto et al. [71] досліджували адгезію між шпоном породи Shorea і поліпропіленом (ПП) у виробництві фанери. Електронна мікроскопія показала відсутність хімічного зв'язку між деревиною та ПП, а міцність з'єднання забезпечувалася переважно механічним проникненням полімеру в пори та структуру шпону.

У деревинно-полімерних композитах найчастіше використовують малеїнові ангідриди (МА), проте механізм їх роботи — як хімічного агенту з'єднання чи диспергатора — досі до кінця не з'ясований. Segerholm et al. [88] встановили, що модифікований ПП з МА (МАРР) забезпечує на 50 % вищу міцність на зріз порівняно зі звичайним ПП, хоча різниця між заболонною і серцевинною частинами шпону була незначною.

У дослідженні Song et al. [54] доведено, що модифікування шпону малеїново-ангідридним ПП та амінопропілтриетоксисиланом покращує механічні властивості фанери, склеєної ПП-плівкою, порівняно з традиційними фенолформальдегідними смолами.

Tang et al. [73] запропонували безформальдегідний клей на основі ПЕНТ, прищепленого малеїновим ангідридом та одночасно хлорованого, що демонструє підвищену взаємодію з деревиною за рахунок утворення складних ефірів під час гарячого пресування.

Згідно з Fang et al. [74], обробка шпону алкоксисиланами сприяє утворенню ковалентних зв'язків із поверхнею деревини, підвищує міцність на зріз та водостійкість. Деякі інші модифікуючі агенти, як-от дихлордіетилсилан чи фталевий ангідрид, не дали суттєвого покращення [80].

Таким чином, численні дослідження підтверджують, що вторинні термопластичні полімери можуть успішно використовуватися як клейові матеріали у виробництві фанери та інших ДКМ. Їх застосування дозволяє суттєво знизити токсичність продукції, зменшити залежність від імпорту полімерної сировини, а також сприяє вирішенню актуальних екологічних проблем.

1.4 Сірчаноокислий глинозем у виробництвах паперу та деревинних композитів

Сірчаноокислий глинозем отримують промисловим способом шляхом обробки глинозему, гідроксиду алюмінію або бокситів сірчаною кислотою. У результаті хімічної взаємодії утворюється сульфат алюмінію, який після очищення, кристалізації та сушіння використовують у вигляді кристалогідрату. Процес є технологічно простим і економічно доцільним, що зумовлює широке промислове застосування сполуки.

Сірчаноокислий глинозем $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ — неорганічна сполука алюмінію, що добре розчиняється у воді та утворює кислі розчини внаслідок гідролізу. Завдяки здатності іонів Al^{3+} утворювати гідроксокомплекси, сірчаноокислий глинозем проявляє виражені коагулюючі та каталітичні властивості.

У виробництві паперу сірчаноокислий глинозем застосовують для закріплення осаду клею на целюлозних волокнах. Волокна і вільна смола у воді мають негативні електричні заряди, внаслідок чого відштовхуються

один від одного. Тому в паперову масу вводять третій компонент із позитивним зарядом - сірчаноокислий глинозем.

У виробництві деревинних композитів сірчаноокислий глинозем застосовують як модифікувальну добавку до клейових систем, переважно на основі карбамідо- та фенолформальдегідних смол. Його додавання до клею сприяє прискоренню його затвердіння, підвищенню адгезії до деревини та покращенню водостійкості клейового з'єднання. Оптимальне дозування дозволяє зменшити тривалість пресування фанери та підвищити її міцність, тоді як надлишок добавки може негативно впливати на фізико-механічні властивості матеріалу.

1.5 Висновки і завдання досліджень

На основі огляду літературних джерел можна зробити наступні висновки:

1. Протягом останніх років серед широкого спектра ДКМ найбільш перспективними залишаються стружкові плити, фанера та MDF. Перспективність розвитку виробництва фанери зумовлена широким спектром її застосувань – від будівництва та меблевої промисловості до машинобудування, транспортної галузі й декоративного оздоблення. Тому забезпечення потреб споживачів шляхом покращення властивостей фанери є актуальним.

2. Якість клейового з'єднання безпосередньо визначає фізико-механічні властивості фанери, тому розвиток галузі тісно пов'язаний з удосконаленням адгезійного зв'язку між клеєм і деревиною. Використання традиційних клеїв має відомі недоліки. Тому, з багатьох можливих клеїв перспективними для виробництва фанери визнано термопластичні полімери.

3. Повторне використання промислових та побутових полімерних відходів дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й забезпечити отримання нових композиційних матеріалів з цінними експлуатаційними властивостями. Перероблені термопластичні полімери здатні витримувати 2–3 цикли повторної переробки із незначним зниженням фізико-механічних характеристик унаслідок деструкції. Застосування термопластів дозволяє суттєво знизити токсичність продукції, зменшити залежність від імпорту полімерної сировини, а також сприяє вирішенню актуальних екологічних проблем.

4. Досягнення ефективної адгезії між деревинним шпоном і термопластичними полімерними плівками є складним завданням через різну природу цих матеріалів: деревина є гідрофільною, тоді як термопластики — гідрофобними. Тому збільшення адгезії між шпоном і термопластичною плівкою, зокрема шляхом поверхневої обробки шпону, є важливим завданням для підвищення міцності клейових з'єднань. Поверхневий натяг полімерного розплаву має бути нижчим, ніж поверхневий натяг деревини, а оптимальним є різні полярності обох матеріалів.

Виходячи з результатів аналізу стану питання, в даній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- для покращення адгезійного зв'язку між термопластичною плівкою та шпоном застосувати сірчаноокислий глинозем – активний гідрофобний реагент;
- дослідити міцність фанери на зріз, згин, модуль пружності під час статичного згинання та набрякання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали та реактиви

Для виготовлення фанери використовувалися наступні матеріали:

- лущений шпон породи береза (300×300×1,55 мм), вологістю $6^{\pm 2}$ %;
- дистильована вода;
- поліетиленова плівка товщиною 1 мм;
- технічний сірчаноокислий глинозем ($Al_2(SO_4)_3$).

2.2 Лабораторний посуд, вимірювальні прилади, та обладнання

У процесі експериментальних досліджень було використане таке обладнання:

- лабораторний термометр з похибкою не більше 1 °С;
- круглодонна колба (об'єм 250 см³);
- пробірки;
- лінійка металева;
- штангенциркуль;
- мікрометр для визначення товщини шпону;
- вологомір HMB-WS1;
- вага електронна AD 2000 (точність вимірювання 0,01 г);
- лабораторний гідравлічний прес фірми "Хомко";
- лабораторна випробувальна машина на зріз РМ – 05 (ГОСТ 28840);
- лабораторна випробувальна машина на згин та модуль пружності ВР55НV;
- сушильна шафа SNOL 67/350;
- круглопилковий верстат;
- ексикатор;
- фільтрувальний папір;
- персональний комп'ютер для проведення статистичної обробки даних.

2.3 Методика виготовлення фанери

Експериментальні дослідження виконувалися на лабораторному обладнанні у лабораторії кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу НЛТУ України (м. Львів).

Виготовляли фанеру склеєну поліетиленовою плівкою за наступною послідовністю: приготування розчину сірчаноокислого глинозему, нанесення розчину на поверхню шпону, підсушування шпону, формування пакетів з шпону та поліетиленової плівки, гаряче пресування пакетів шпону, кондиціонування фанери та розкрій фанери на зразки, випробування зразків за стандартними методиками.

Фанера виготовлялася без обробки сірчаноокислим глиноземом (контрольна) та з обробкою сірчаноокислим глиноземом з концентрацією розчину 1, 10, 20 і 40 %. Витрата сірчаноокислого глинозему становила 8 г на одну поверхню шпону (300x300 мм) або 89 г/м².

Виготовляли тришарову фанеру. Відбиралися листи березового шпону. Шпон висушували до вологості 8 ± 1 % в сушильній шафі. На сухий шпон наносився водний розчин сірчаноокислого глинозему за допомогою ручного розпилювача (рис 2.1). Шпон повторно підсушувався в сушильній шафі. З підготованого шпону і листів поліетиленової плівки формувалася пакет із взаємно перпендикулярним напрямком волокон деревини у суміжних шарах.

Сформовані пакети пресували в гідравлічному пресі «Хомко» (рис. 2.2) за режимом, наведеним у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Режимні параметри виготовлення фанери

Умови виробництва фанери				
Вид адгезиву	Порода деревини	Температура пресування, °С	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв
Вторинний поліетилен товщиною 1 мм	береза	160	1,8	5,5



Рис. 2.1 – Нанесення сірчаноокислого глинозему на поверхню шпону



Рис. 2.2 – Лабораторний прес "Хомко".

Спресовану фанеру піддавали кондиціонуванню ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, $W=65\pm 5\%$). З спресованої фанери на круглопилковому верстаті вирізали зразки (рис. 2.3) для визначення міцності на зріз після витримки у воді впродовж 24 год, міцності та модуля пружності під час статичного згинання в сухому стані, набрякання після витримки у воді впродовж 24 год.



Рис. 2.3 – Робочий момент вирізання зрізків фанери для випробування на фізико-механічні властивості.

Виготовлені зрізки фанери нумерувались і випробовувались. Перед початком випробування визначалися товщина фанери.

2.4. Методика визначення властивостей фанери

Фізико-механічні властивості фанери – щільність, вологість, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год, міцність на зріз визначали відповідно до стандартів EN 323, EN 310, EN 314-1, EN 314-2, EN 315, EN 317, EN 322 [46-52].

Для визначення міцності на зріз із зразків фанери розміром 300×300 мм вирізали зрізки розміром $120\times 25\times S$ (S – товщина фанери) згідно рис. 2.4.



Рис. 2.4. Зразок для випробувань міцності фанери на зріз згідно EN 314-1.



Рис. 2.5 – Робочий момент визначення міцності фанери на зріз:
1 – зразок фанери в момент випробування; 2 – зразки фанери.



Рис. 2.6 Зразок після випробувань міцності фанери на зріз.

Всі дослідження виконувалися за кімнатної температури 20 ± 2 °C і відносної вологості повітря 65 %.

Міцність взірців фанери на зріз f_v (МПа) обчислювали за формулою:

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

де f_v – сила руйнування взірця, Н;

l, b – довжина та ширина площі сколювання взірця, мм.

Після завершення випробування фанери на зріз визначали ступінь її руйнування згідно EN 314-1. Оцінювали ступінь руйнування взірця по деревині або по клейовому шву у місці зрізу. Якщо руйнування проходило поза даною зоною площі зрізу або ж за 50 %-ним руйнуванням фанери по зовнішніх шарах, тоді одержаний результат випробувань виключався з вибірки.

Міцність і модуль пружності фанери під час статичного згинання визначали на випробувальній машині FORM+TEST (рис. 2.7).

Межу міцності під час статичного згинання (МПа) обчислювали за формулою:

$$\sigma_{зг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2.2)$$

де P – руйнівна сила навантаження, Н;

l – відстань між опорами, мм (рівна 100 мм);

b – ширина зразка, мм;

h – товщина зразка, мм.

Модуль пружності зразків під час статичного згинання (МПа) обчислювали за формулою:

$$E_{зг} = \frac{\Delta P \cdot l^3}{\Delta f \cdot 4 \cdot b \cdot h^3} \quad (2.3)$$

де ΔP – діапазон сил навантаження, Н;

Δf – прогин зразка в діапазоні ΔP , мм;

l – відстань між опорами, мм (рівна 100 мм);

b – ширина зразка, мм;

h – товщина зразка, мм.



Рис. 2.7 – Момент випробування зразків на міцність і модуль пружності фанери під час статичного згинання.

Набрякання фанери за товщиною (%) визначали з точністю до 1% за формулою:

$$\Delta S = \frac{s_1 - s_0}{s_0} \cdot 100 \quad (2.4)$$

де s_0 і s_1 – товщина зразка до і після зволоження, мм.

Товщину зразка фанери вимірювали електронним штангенциркулем (рис. 2.8).



Рис. 2.8 – Електронний штангенциркуль.

2.5. Статистична обробка результатів досліджень

Після завершення серії досліджень проводилася попередня математично-статистична обробка отриманих експериментальних даних з метою прискорення розрахунків і попередження помилок. Результати експериментальних досліджень розглядалися як статистична сукупність випадкових величин. Для первинної обробки експериментальних даних вибірки потрібні такі основні статистичні параметри: середнє арифметичне значення \bar{y} ; вибіркова дисперсія S^2 ; середнє квадратичне відхилення S ; коефіцієнт варіації V ; середня похибка значення S_y ; показник точності дослідів P [53].

Середнє арифметичне значення

Середнє арифметичне значення розраховується за формулою:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot m_i, \quad (2.2)$$

де N – кількість спостережень;

k – кількість інтервалів;

$$k = 1 + 3,2 \cdot \lg N \quad (2.3)$$

y_i – середнє значення в кожному інтервалі;

$$y_i = (y_{in} + y_{ie})/2 \quad (2.4)$$

y_{in}, y_{ie} – відповідно, значення нижньої і верхньої меж i -ого інтервалу;

m_i – частота в i -ому інтервалі.

Вибіркова дисперсія

Вибіркова дисперсія (варіація спостережень) – величина, яка характеризує змінність значень у вибірці, і визначається за формулою:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^k m_i \cdot (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.5)$$

Середнє квадратичне відхилення

Середнє квадратичне відхилення визначається за формулою:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2.6)$$

Коефіцієнт варіації

Цей коефіцієнт є оцінкою змінності значень вибірки або відносною похибкою характеристики, і його величина визначається за формулою:

$$V = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

Середня похибка значень

Визначивши середнє арифметичне для певної властивості, не можна впевнено сказати, що отриманий нами результат точно характеризує середню величину властивості у всіх інших випадках, що не досліджувались нами. Середньоквадратичну похибку середнього значення визначали за формулою:

$$S_y = \pm \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2.8)$$

Показник точності дослідю

Подібно до коефіцієнта варіації середня похибка може бути виражена у відсотках до відповідного середнього арифметичного. отримана величина називається показником точності дослідю:

$$P = \frac{S_y}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2.9)$$

Показник точності вказує на надійність одержаних результатів досліджень. Чим менший показник, тим точніші результати досліджень. При вивченні фізико-механічних властивостей деревини прийнято, що показник точності не має перевищувати 5 %.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФАНЕРИ З ПОВЕРХНЕВО ОБРОБЛЕНОГО ШПОНУ РОЗЧИНОМ СІРЧАНОКИСЛОГО ГЛИНОЗЕМУ ТА СКЛЕЄНОЇ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЮ ПЛІВКОЮ

3.1 Вплив концентрації сірчанокиислового глинозему на міцність фанери під час статичного згинання

На основі результатів експериментальних досліджень побудовано графічну залежність (рис. 3.1) межі міцності фанери на згин від концентрації сірчанокиислового глинозему.

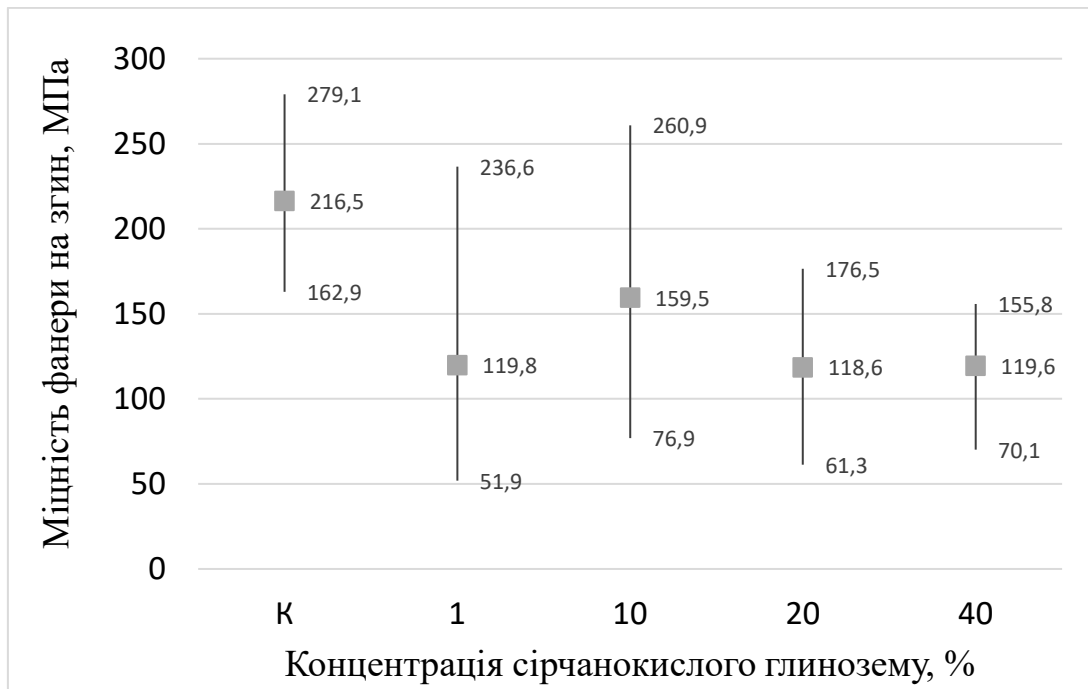


Рис. 3.1 – Вплив вмісту сірчанокиислового глинозему на міцність фанери на згин.

Встановлено, що обробка поверхні шпону сірчанокислим глиноземом зменшує міцність фанери під час статичного згинання. До того ж чим концентрованіший розчин, тим більше зниження міцності. Втрата міцності фанери, шпон якої оброблений 40% розчином сірчанокиислового

глинозему, становить 44,8%. Втрата міцності, очевидно, відбувається через втрату реакційної здатності поверхні до поліетиленової плівки, оскільки сильна кислотність глинозему руйнує поверхневий шар шпону. Поверхня шпону обвуглюється, змінюючи колір (рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Зовнішній вигляд руйнування зразка після випробувань на визначення міцності під час статичного згинання та поверхні шпону обробленої 40% сірчанокислим глиноземом.

3.2 Вплив концентрації сірчанокиислого глинозему на модуль пружності фанери під час статичного згинання

Графічна залежність впливу сірчанокиислого глинозему на модуль пружності фанери під час статичного згинання представлена на рис. 3.3.

Встановлено, що обробка поверхні шпону сірчанокислим глиноземом зменшує модуль пружності фанери під час статичного згинання. До того ж чим концентрованіший розчин, тим більше зниження модуля пружності. Втрата модуля пружності фанери, шпон якої оброблений 40% розчином сірчанокиислого глинозему, становить 62,1%.

Втрата модуля пружності, очевидно, відбувається через руйнування в шпоні структури деревини сірчаноокислим глиноземом.

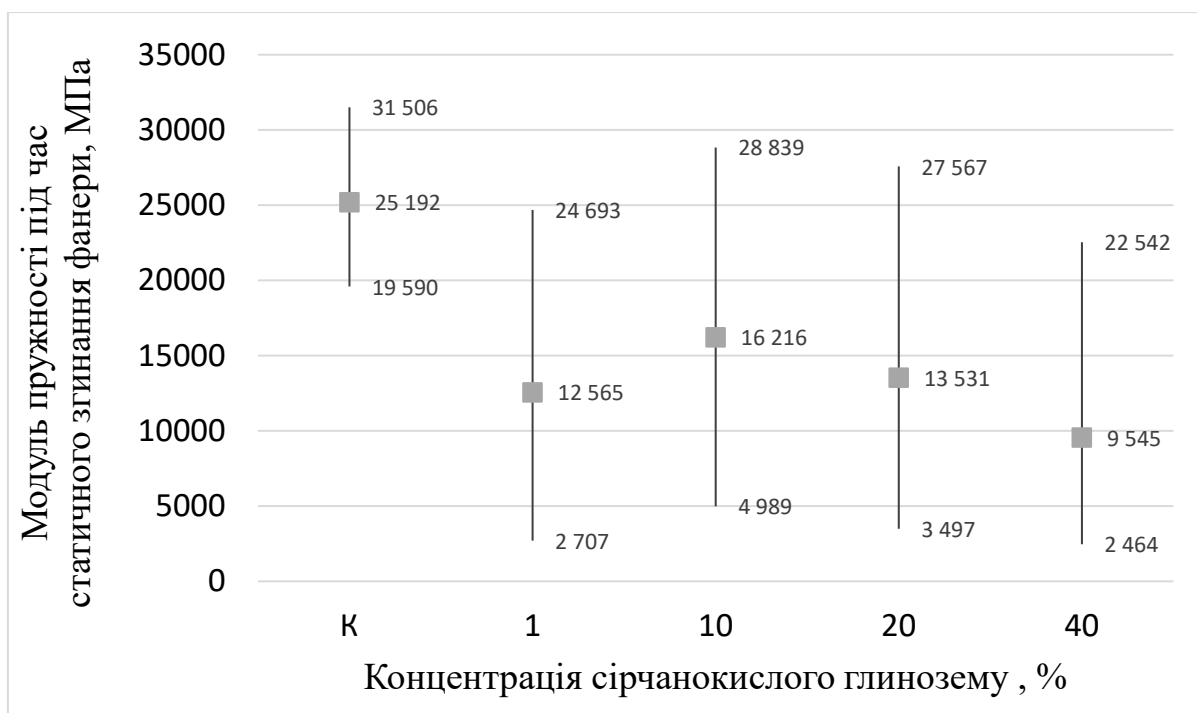


Рис. 3.3 – Вплив вмісту сірчаноокислого глинозему на модуль пружності фанери під час статичного згинання.

3.3 Вплив концентрації сірчаноокислого глинозему на міцність фанери на зріз

Графічна залежність впливу концентрації сірчаноокислого глинозему на міцність фанери на зріз представлена на рис. 3.4.

Встановлено, що обробка поверхні шпону сірчаноокислим глиноземом зменшує міцність фанери на зріз. До того ж, чим концентрованіший розчин, тим більше зменшується міцність. Контрольні зразки фанери і після обробки шпону сірчаноокислим глиноземом концентрацією 1% фанера відповідала вимогам стандарту до її міцності – 1,22 і 1,03 МПа відповідно. За збільшення концентрації глинозему фанера не відповідала вимогам стандарту. За концентрації 40% міцність фанери на зріз різко знизилася та становила всього 0,13 МПа. Втрата міцності фанери

на зріз, шпон якої оброблений 40% розчином сірчаноокислого глинозему, становить 89,3%.

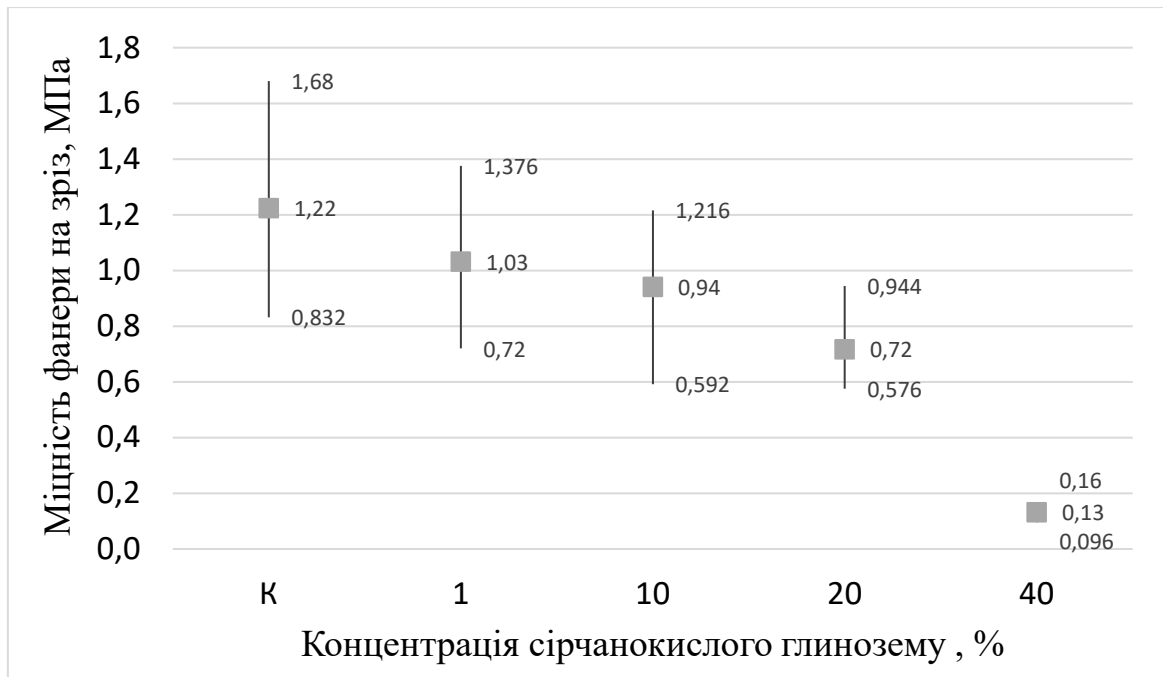


Рис. 3.4 – Вплив концентрації сірчаноокислого глинозему на міцність фанери на зріз після 24 год вимочування у воді

Втрата міцності на зріз, очевидно, відбувається через руйнування в шпоні поверхневої структури деревини сірчаноокислим глиноземом і зменшення адгезійного зв'язку між шпоном і поліетиленовою плівкою. Характер руйнування зразків зображено на рис. 3.5.



Рис. 3.5 – Характер руйнування на зріз зразків фанери з шпоном обробленого сірчаноокислим глиноземом різної концентрації.

3.4 Вплив концентрації сірчанокиислового глинозему на набрякання фанери

Графічна залежність впливу концентрації сірчанокиислового глинозему на набрякання фанери після її вимочування у воді впродовж 24 год представлена на рис. 3.6.

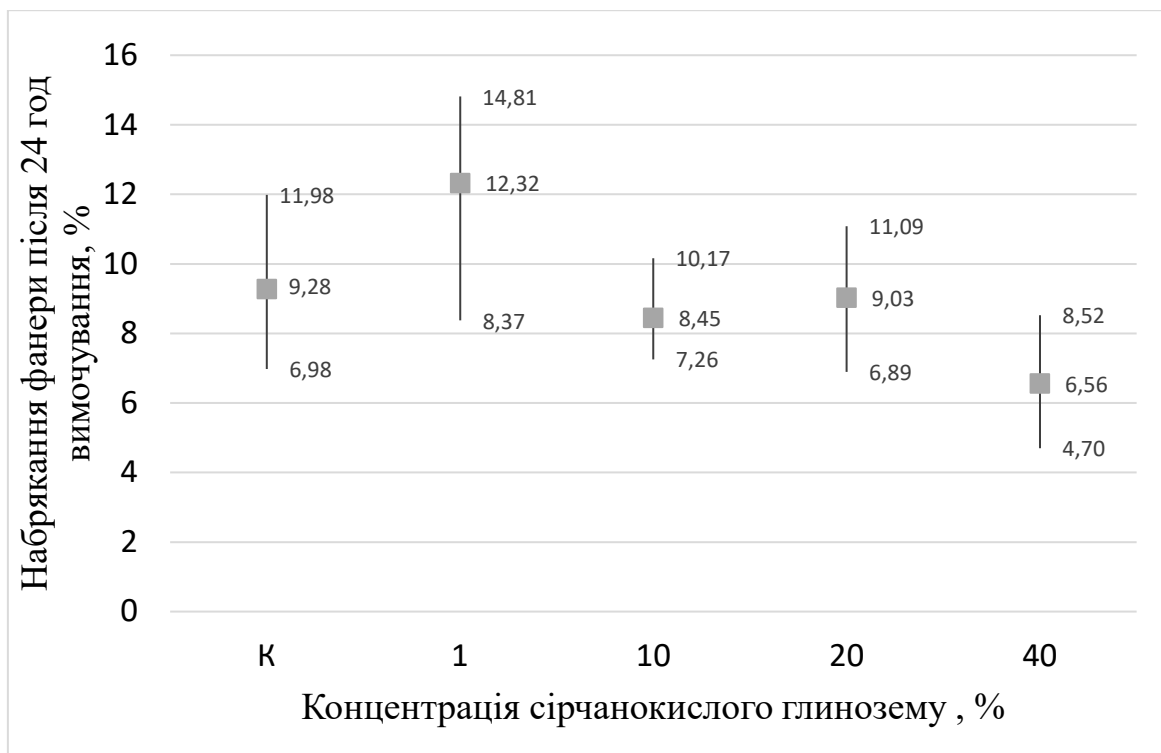


Рис. 3.6 – Вплив концентрації сірчанокиислового глинозему на набрякання фанери після 24 год вимочування у воді.

Встановлено, що обробка поверхні шпону сірчанокислим глиноземом зменшує набрякання фанери на зріз. До того ж, чим концентрованіший розчин, тим більше зменшується набрякання. Якщо в контрольних зразках набрякання фанери становило 9,28%, то у фанери з обробленого шпону 40% сірчанокислим глиноземом набрякання становило 6,56%. Очевидно, такі зміни відбуваються через зміну структури деревини сірчанокислим глиноземом.

3.5 Висновки

Проведений аналіз впливу концентрації сірчанокислового глинозему на окремі фізико-механічні властивості фанери показав, що механічні властивості фанери знижуються після обробки шпону сірчанокислим глиноземом. Очевидно, що зміна полярності деревини після обробки шпону має менший вплив на адгезію між шпоном і поліетиленовою плівкою, ніж зменшення адгезії через руйнування структури деревини шпону сірчанокислим глиноземом досліджуваних концентрацій. Однак, набрякання фанери зменшувалося після обробки шпону сірчанокислим глиноземом. Можна припустити, що зруйнована сірчанокислим глиноземом структура деревини, менше здатна до набрякання.

ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження властивостей фанери з шпону обробленого сірчаноокислим глиноземом і склеєного поліетиленовою плівкою дозволили зробити такі висновки:

1. Серед широкого спектра ДКМ найбільш перспективними залишаються стружкові плити, фанера та MDF. Перспективність розвитку виробництва фанери зумовлена широким спектром її застосувань – від будівництва та меблевої промисловості до машинобудування, транспортної галузі й декоративного оздоблення. Тому забезпечення потреб споживачів шляхом покращення властивостей фанери є актуальним.

2. Якість клейового з'єднання безпосередньо визначає фізико-механічні властивості фанери, тому розвиток галузі тісно пов'язаний з удосконаленням адгезійного зв'язку між клеєм і деревиною. Використання традиційних клеїв має відомі недоліки. Тому, з багатьох можливих клеїв перспективними для виробництва фанери визнано термопластичні полімери.

3. Повторне використання промислових та побутових полімерних відходів дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й забезпечити отримання нових композиційних матеріалів з цінними експлуатаційними властивостями. Застосування термопластів дозволяє суттєво знизити токсичність продукції, зменшити залежність від імпорту полімерної сировини, а також сприяє вирішенню актуальних екологічних проблем.

4. Досягнення ефективної адгезії між деревинним шпоном і термопластичними полімерними плівками є складним завданням через різну природу цих матеріалів: деревина є гідрофільною, тоді як термопластики – гідрофобними. Тому збільшення адгезії між шпоном і термопластичною плівкою, зокрема шляхом поверхневої обробки шпону, є

важливим завданням для підвищення міцності клейових з'єднань. Оптимальним є збіг полярності обох матеріалів.

5. Експериментально встановлено, що обробка поверхні шпону сірчаноокислим глиноземом негативно впливає на механічні властивості фанери та позитивно на її набрякання. Після обробки шпону 40% сірчаноокислим глиноземом міцність фанери під час статичного згинання зменшується на 44,8%, модуль її пружності під час статичного згинання зменшується на 62,1%, міцність її на зріз – на 89,3%, а набрякання фанери після 24 год вимочування у воді зменшується на 29,3%.

6. Можна припустити, що зміна полярності деревини після обробки шпону має менший вплив на адгезію між шпоном і поліетиленовою плівкою, ніж зменшення адгезії через руйнування структури деревини шпону сірчаноокислим глиноземом досліджуваних концентрацій, а зруйнована сірчаноокислим глиноземом структура деревини, менше здатна до набрякання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adhesives awareness guide. American wood council. URL: <https://www.woodaware.info/pdf/adhesives.pdf>. (Last accessed: 8.10.2017). 145
2. Vick C.B. Adhesive bonding of wood materials. Chapter 9. Wood handbook - wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999. P. 9-1–9-24.
3. Caulfield D., Clemons C., Rowell R.M. Wood thermoplastic composites. Chapter 6. Sustainable development in the forest products industry: eds Roger M Rowell Fernando Caldeira Judith K. Rowell -Porto Edições Universidade Fernando Pessoa. 2010. P. 141–161.
4. El-Bashir S.M. Thermal and mechanical properties of plywood sheets based on polystyrene/silica nanocomposites and palm tree fibers. Polym. Bull. 2013. Vol. 70. P. 2035–2045 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-013-0962-8>.
5. 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.
6. Grubbström G, Oksman K. Silane-crosslinking efficiency in woodpolyethylene composites: Study of different polyethylenes. Proceedings of 10th International Conference on Wood and Biofiber Plastic Composites, Madison, WI, USA, 2009. P. 1–24.
7. Grubbström G., & Oksman K. Influence of wood flour moisture content on the degree of silane crosslinking and its relationship to structure-property relations of wood-thermoplastic composites. Composites Science and Technology. 2009. Vol. 69. P. 1045–1050. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.01.021>.
8. Grubbström G., Holmgren A., Oksman K. Silane-crosslinking of recycled low-density polyethylene/wood composites. Composites Part A:

Applied Science and Manufacturing. 2010. Vol. 41, №5. P. 678–683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.01.018>.

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. Dunky M. Adhesives in the Wood Industry. In: Handbook of Adhesive Technology: 2nd edition, revised and expanded / edited by A.Pizzi & K.L.Mittal. Marcel Dekker, Inc. New York – Basel. 2003.

11. Pizzi A., Mittal K. L. Handbook of adhesive technology: 2 edition, revised and expanded. New York: U.S.A., 2003. 999 p.

12. Beaud F., Niemz P., Pizzi A. Structure–property relationships in onecomponent polyurethane adhesives for wood: Sensitivity to low moisture content. Journal of Applied Polymer Science. 2006. Vol. 101. C. 4181–4192. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.24334>.

13. Clemons C., Young R.A., Rowell R.M. Moisture sorption properties of composite boards from esterified aspen fiber. Wood and Fiber Science. 1992. Vol. 24, №3. P. 353–363.

14. Чутлашвили И.А., Шубладзе Т.Ш., Сванидзе И.М. Исследование возможности получения древесностружечных плит на основе термопластичных связующих. Новое в технологии деревообработки Тбилиси, 1983. С. 78–85.147

15. Суберляк О.В., Яковенко Т.Т., Бабаханова Т.Г., Тхір І.Г. Атлас технологічних схем виробництва полімерів пластичних мас на їх основі: навч.посіб. Львів: Нац. ун-т "Львів. Політехніка", 2002. 239 с.

16. Klysov A. A. Wood-plastic composites. WILEY-INTERSCIENCE. New Jersey: U.S.A., 2007. 726 p.

17. Sorensen R., & Ky L. Dry film gluing in plywood manufacture. The American Society of Mechanical Engineers. 1933. P. 37–48.

18. Borysiuk P., Dziurka D., Jablonski M., Zabo A., Zbiec M. Layered insulation boards. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2006. Vol. 58. P. 79–82.

19. Borysiuk P., Nowak K. Selected properties of coatings from PE and PP created on plywood. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2006. Vol. 58. P. 86–90.

20. Borysiuk P., Jaroslaw O. The influence of accelerated ageing on properties of coatings from thermoplastics created on the surface of plywood. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2006. Vol. 58. P.91–94.

21. Borysiuk P. Die Festigkeit thermoplastgebundenen Sperrholzes. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology*. 2004. Vol. 55. P.67–71.

22. Javor Pivka D.D. IsoPLYform. Construction boards for formwork. Slovenia. URL: <http://www.ovwbv.nl/downloads/Isoplyform.pdf>. (Last accessed: 15.10.2017).

23. Kuusipalo J. Plastic coating of plywood using extrusion technique. *Silva Fennica*. 2001. Vol. 35, №1. P. 103–110.

24. Roger M. Rowell, Graig M. Clemons. Chemical modification of wood fiber for thermoplasticity, compatibilization with plastics, and dimensional stability. In: Maloney, Thomas M., ed. *Proceeding of 26 th International particleboard/composite materials symposium (Pullman, WA, 7–9 April 1992)*. Washington State University. 1992. P. 251–259.

24. Малахова О.С., Рондяк І.І. Екологічно чисті клеї у виробництві фанери. Тези доповідей учасників конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників і аспірантів та 64-ї студентської наукової конференції: тези конф., березень 2010 р. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2010. С. 174.

26. Кусняк І.І. Перспективи застосування термопластичних клеїв у виробництві деревинних композитів. *Лісівнича освіта і наука: стан,*

проблеми та перспективи розвитку: Матеріали IV міжн. наук.-практ. конф., 28 березня 2019 р. Малин: Малинський лісотехнічний коледж, 2019. С. 312–314.

27. World Health Organization. IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. International Agency for Research on Cancer. 2004. URL: <http://www.iarc.fr/ENG/Press-Releases/archives/pr153a>. (Last accessed: 9.10.2019).

28. Huang J. Li K. A new soy flour-based adhesive for making interior type II plywood. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2008. Vol. 85. P. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1162-1>.

29. Kishi H., Fujita A., Miyazaki H., Matsuda S., Murakami A. Synthesis of wood-based epoxy resins and their mechanical and adhesive properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006. Vol. 102. P. 85–92.

30. Mittal M., & Sharma C.B. Studies on lignin-based adhesives for plywood panels. *Polymer International*. 1992. Vol. 29, №1. P. 7–8.

31. Sowunmi S., Ebewe 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.

32. 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.

33. Umemura K., Takahashi A., Kawal S. Durability of isocyanate resin adhesives for wood. II. Effect of the addition of several polyols on the thermal properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 1999. Vol. 74. P. 7–14.

34. 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>.

35. 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.

36. Jarvela P., Jarvela P., Tervalo O. Thermoplastic coating for plywood, modification and properties of thermoplastics. VTT Press Releases – State Technical Research Center. 1996. Vol. 1803. P. X–32.

37. Jarvela P.K., Tervalo O., Jarvela P.A. Coating plywood with a thermoplastic. International Journal of Adhesion & Adhesives. 1999. Vol. 19. P. 295–301.

38. Tervalo O., & Jarvela P. Thermoplastic coating processes for plywood. Polymer-Plastics Technology and Engineering. 1999. Vol. 38, №4. P. 831–848.

39. Пат. 92185, МКИ В 27 D 1/04, В 27 D 5/00 CPP. Intreprinderea de Prelucrare a Lemnului, Constanta. Procedeu pentru realizarea furnirului plastificat / Bulzan Titus, Ghitescu Vasile. № 118088; заявл. 22.03.85; опубл. 15.05.87.

40. Matsi M., Rohumaa A., Piirlaid M., Hughes M., Meier P. Assessing the potential of furan polymer-based resin development in bonded veneer processing factors on adhesive bond strength. Proceedings of the 6th meeting of the NordicBaltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE). Tallinn, Estonia, 2010. 193 p.

41. Piirlaid M., Rohumaa A., Matsi M., Hughes M., Meier P. Effect of birch veneer processing factors on adhesive bond strength development. Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE). Tallinn, Estonia, 2010. 193 p.

42. Beaud F., Niemz P., Pizzi A. Structure–property relationships in onecomponent polyurethane adhesives for wood: Sensitivity to low moisture content. Journal of Applied Polymer Science. 2006. Vol. 101. P. 4181–4192. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.24334>.151

43. Haghdan S., Tannert T., Smith G. Wettability and impact performance of wood veneer/polyester composites. BioResources. 2015. Vol. 10, №3. P. 5633–5654/. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5633-5654>.

44. Haghdan S., Tannert T., Smith G.D. Effects of reinforcement configuration and densification on impact strength of wood veneer/polyester composites. *Journal of Composite Materials*. 2015. Vol. 49, №10. P. 1161–1170. DOI: <https://doi.org/10.1177/0021998314531308>.

45. Заявка 3125823 ФРГ, МКИ В 32 В 21/04, В 32 В 7/12. Verfahren zur Herstellung von Sperrholz / Henkel Helmyt, Matejcek Franz, Schmidt-Helleran Christof (ФРГ); BASF AG. № P3125823.9; заявл. 01.07.81; опубли. 27.01.83.

46. 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>.

47. 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>.

48. 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>.

49. 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.

50. 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>.

51. 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>. 152

52. Zike S., Kalnins K. Enhanced impact absorption properties of plywood. Civil Engineering' 11 3rd International Scientific Conference Proceedings. Latvia University of Agriculture. Jelgava, 2011. Vol. 3. P. 125–130.

53. Song W., Wenbang W., Congrong R., Shuangbao Z. Developing and evaluating composites based on plantation eucalyptus rotary-cut veneer and highdensity polyethylene film as novel building materials. BioResources. 2016. Vol. 11, №2. P. 3318–3331.

54. 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.

55. 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/10.15421/411815.71>. Будников І. В., Парамонова О.А.

56. Утворення та поводження з відходами (1998–2018). Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 24.01.2020).

57. Кусняк І.І., Копанський М.М. Можливість використання термопластичних полімерів у виробництві фанери. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообна промисловість. Львів, 2013. Вип. 39.1. С. 95–100.

58. 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>. (дата звернення: 25.01.2020).

59. 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.

60. Climenhage D. *Recycled Plastic Lumber. A strategic Assessment of its production, use and future prospects*. Ontario, 2003. 42 p.

61. 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>.

62. Yorur H. Utilization of waste polyethylene and its effects on physical and mechanical properties of oriented strand board. *BioResources*. 2016. Vol. 11, №1. P.2483–2491. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.2483-2491>.

63. 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.

64. 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>.

65. 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).

66. 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>.

67. 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.

68. Шепелюк І., Кусняк І., Мельник Ю., Скорохода Т. Полімердеревинні 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.

69. Фабуляк Ф.Г., Іванов С.В., Масленнікова Л.Д. Хімія і технологія олігомерів: підручник. Київ: Книжкове вид-во Нац. авіац.ун-ту "НАУ-друк", 2010. 400 с.

70. Enayati A., Rasouli D., Yousefi H. Feasibility of utilizing polypropylene as a binder for plywood manufacture. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 2009. Vol. 24, №1. P. 91–98.

71. Goto T., Saiki H., Onishi H. Studies on wood gluing. XIII: Gluability and scanning electron microscopic study of wood-polypropylene bonding. Wood Sci. Technol. 1982. Vol. 16. P. 293–303. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00353157>.

72. Segerholm B.K., Walinder M.P., Holmberg D. Adhesion studies of scots pine-polypropylene bond using ABES. Proceedings of the 6th meeting of the NordicBaltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE). Tallinn, Estonia, 2010. P. 142–146.

73. 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.

74. Fang L., Chang L., Guo W., Chen Y., Wang Z. Influence of silane surface modification of veneer on interfacial adhesion of wood-plastic plywood. Applied Surface Science. 2014. Vol. 288. P. 682–689.

75. Matuana L.M., Balatinecz J.J., Park C.B. Effect of surface properties on the adhesion between PVC and wood veneer laminates. Polymer Engineering

and Science. 1998. Vol. 38, №5. P. 765–773. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.10242>.

76. Follrich J., Muller U., Gindl W. Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea abies* Karst.) and a thermoplastic polymer. Holz als Roh- und Werkstoff. 2006. Vol. 64. P. 373–376. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0107-y>.155

77. Суберляк В.А., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерів та композиційних матеріалів: підручник. Львів: Видавництво "Растр-7", 2007. С. 152–233.

78. Рондяк І.І. Структура та властивості поліетиленових плівок. III Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології: тези конф., 21–23 квітня 2010 р. Київ: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", 2010. С. 166.

79. Гордієнко В.П., Мусяця О.Н., Ковальова Г.М. Вплив природи діоксиду титану на структуру і фізико-механічні властивості лінійного поліетилену при УФ-опроміненні. Вісник Національного транспортного університету. Київ, 2014. Вип. 29, С. 63–72.

80. Миронюк О.В. Інструментальні методи хімічного аналізу: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 161