

Згідно з формою № Н-9.02
Наказ Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему «Дослідження кінцевої вологості ясенових заготовок термічно
модифікованих сухим способом»

Виконав: студент 6 курсу, групи ДМТз-63м

Спеціальність 187 «Деревообробні та
меблеві технології»

Робур І.Й.
(прізвище та ініціали)

Керівник Андрашек Й.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ференц О.Б.
(прізвище та ініціали)

2
Згідно з формою № Н-9.02

Наказ Міністерства освіти і науки

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут	Деревообробних технологій і дизайну
Кафедра	Технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Магістр
Спеціальність	187 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“25” вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Робуру Івану Йосиповичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “Дослідження кінцевої вологості ясенових заготовок термічно модифікованих сухим способом”

Керівник роботи: Андрашек Йосип Володимирович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від “10” червня 2025 року № С- 344

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати теоретичні і експериментальні дослідження технології зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів вологим способом. Приділити увагу до визначення кінцевої вологості термічно модифікованого ясеня, як важливого якісного показника.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

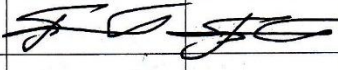
1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Дослідження технологічного процесу кондиціонування (зволоження) термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів.

3. Охорона праці і довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Конструкція термокамери з басейном для зволоження та слайди з презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень

6. Консультанти розділів роботи

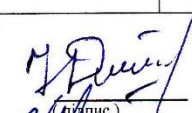
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Сомар Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 03.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз стану питання	до 01.10.25	
	Експериментальні дослідження	до 25.10.25	
	Обробка результатів експериментальних досліджень	до 15.11.25	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.25	

Студент



Робур І.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Андрашек Й.В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

В магістерській дослідній роботі з темою: «Дослідження кінцевої вологості ясенових заготовок термічно модифікованих сухим способом» розроблена методика і виконані експериментальні виробничі дослідження з зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів виготовлених сухим способом. В нижній частині термокамери влаштований басейн з водою в якому проходять труби після спалювача деревини. Після закінчення процесу термічного модифікування ясенових пиломатеріалів термокамера охолоджувалася до температури нижче 100°C і в басейн подавалася вода. Включався спалювач відходів деревини і топкові гази після нього проходили по трубах через басейн з водою. За рахунок цього простір термокери наповнювався вологою водяною парою і відбувався процес зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів до вологості необхідної для певних умов експлуатації виробів з термічно модифікованої деревини. Дослідження кінцевої вологості проводилося за різних значень температур в термокамері і різної тривалості процесу кондиціювання (зволоження). За результатами експериментальних досліджень зроблений аналіз показників кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів сухим способом. За результатами аналізу експериментальних досліджень розроблені режими кондиціювання ясенових термічно модифікованих пиломатеріалів з встановленням необхідного рівня температури і тривалості процесу зволоження. Температура в процесі кінцевого кондиціювання становить 95°C з відхиленнями $\pm 3^\circ\text{C}$. За підтримання такого рівня температури в термокамері під час зволоження досягається необхідний рівень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясена в залежності від умов подальшої експлуатації виробів виготовлених з неї. За такого рівня температур тривалість процесу кінцевого кондиціювання (зволоження) має найменше значення.

За підсумками результатів статистичного оброблення кінцевого зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів розроблені

технологічні рекомендації для організації процесу кінцевого кондиціонування для досягнення необхідних значень кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів в залежності від їх подальшого використання.

Abstract

In the master's research work on the topic: "Study of the final moisture content of ash blanks thermally modified by dry method", a methodology was developed and experimental production studies were carried out for moistening thermally modified ash lumber made by a dry method. In the lower part of the thermal chamber there is a pool with water, in which pipes pass after the wood burner. At the end of the process of thermal modification of ash lumber, the thermal chamber was cooled to a temperature below 100°C and water was supplied to the pool. The wood waste burner was turned on and the flue gases after it passed through pipes through the pool of water. Due to this, the space of the thermoker was filled with wet water vapor and the process of moistening thermally modified ash lumber to the humidity necessary for certain operating conditions of thermally modified wood products took place. The study of the final humidity was carried out at different temperature values in the thermal chamber and different duration of the conditioning (humidification) process. Based on the results of experimental studies, an analysis of the final moisture content of thermally modified ash lumber in a dry way was carried out. Based on the results of the analysis of experimental studies, conditioning modes of thermally modified lumber were developed with the establishment of the required temperature level and duration of the moistening process. The temperature in the process of final conditioning is 95°C with deviations of $\pm 3^\circ\text{C}$. Maintaining this level of temperature in the thermal chamber during moistening, the required level of final moisture content of thermally modified ash wood is reached, depending on the conditions of further operation of products made from it. At this temperature level, the duration of the final conditioning (humidification) process is of the least importance.

Based on the results of statistical processing of final wetting of thermally modified ash lumber, technological recommendations have been developed for organizing the final conditioning process to achieve the required values of final moisture content of thermally modified ash lumber depending on their further use.

Зміст

1. Особливості термічного модифікування деревини ясена.....	9
1.1. Хімічні зміни термічного модифікування деревини ясена.....	9
1.2. Зміна кольору деревини ясена в процесі термічної модифікації.....	12
1.3. Термокамера фірми “Long Life Wood”.....	21
1.4. Мета роботи і задачі досліджень.....	26
2. Порядок і результати виконання експериментів	28
2.1. Матеріали і методика досліджень	28
2.2. Результати визначення кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів.....	33
2.3. Рекомендації з технології кінцевого кондиціювання (зволоження)...	37
3. Охорона праці	38
3.1. Правила техніки безпеки роботи з термокамерою	38
3.2. Пожежна безпека роботи термокамери.....	39
3.3. Екологічна безпека роботи камери з термічної модифікації.....	41
Список використаних джерел.....	43
Додатки.....	47

Вступ.

Деревина – це технологічний, екологічно чистий, відновлюваний матеріал, що використовується в багатьох галузях життєдіяльності людини. Доступність, хороші фізико-механічні властивості та декоративні якості забезпечили їй високий рівень затребуваності. У той же час незадовільна стійкість до механічних, атмосферних, температурних і біологічних факторів впливу, суттєво обмежують сфери її застосування. Існуючі проблеми вирішували шляхом: антисептичного просочення, захисту поверхні різними матеріалами (які зазвичай створювали волого- та повітронепроникні плівки), використанням повільно ростучих дорогих сортів тропічної деревини, створенням композиційних матеріалів, де в якості наповнювача використовувалося подрібнене дерево, а в якості матриці формальдегідні або інші смоли, заміною на металеві або металопластикові конструкції на основі полівінілхлориду, тощо. Всі переваги і недоліки цих методів очевидні. В умовах зростання вимог, щодо екологізації промисловості та обмежень використання матеріалів, що містять шкідливі хімічні компоненти, виникла потреба у розробленні нових методів модифікування деревини та деревинних матеріалів, які б базувались на принципах екологічності та ресурсоощадності. Тому, в першій чверті минулого століття почалися інтенсивні дослідження по розробці методів істотного покращення експлуатаційних характеристик деревини та підвищення її довговічності. І тільки до кінця 90-х років був розроблений ряд технологій модифікації деревини, цілеспрямованої зміни її властивостей, що лежать в основі сучасних виробничо-промислових процесів – термічне модифікування, гідрофобізація, просочування рослинними оліями, модифікація ацетилюванням та ін.

1. Особливості термічного модифікування деревини ясена.

1.1. Хімічні зміни термічного модифікування деревини ясена.

Термічна обробка деревини – це екологічно чистий процес, що покращує такі властивості, як колір, стабільність розмірів або стійкість до мікробіологічного впливу (Hill 2006 рік; Естевес і Перейра 2009; Толваджта ін.. 2014). Хоча різні процеси термічної обробки були використані, основні відмінності спостерігаються в умовах процесу (температура, тривалість, етапи процесу, киснева або азотна атмосфера, обробка паром, мокрий або сухий процес, використання масел, графіків рульового керування, тощо) (Міліц, 2002; Базяр, 2012).

Зміна деяких фізичних та механічних властивостей деревини, наприклад, колір, щільність, рівноважний вміст вологи, в'язкість, модуль пружності, модуль стійкості до розриву та стирання внаслідок термічної обробки згадуються в кількох дослідженнях. Ці зміни дуже залежать від умов обробки та породи деревини і тісно пов'язані зі змінами хімічних складових деревини під час термічної обробки (Boonstrata ін.2007; Німцта ін.2010; Да Сілвата ін.2013; Качікова та ін.. 2013; Дзуренда 2014; Танкутта ін.2014; Кадемарторіта ін.2015; Кандельєрта ін.. 2016; Кучеровата ін.2016; Завадський та ін.2016; Зеленкевичта ін.2018).

Вплив тепла на деревину призводить до її зневоднення, гідролізу, окислення, деполімеризація та деградація деревних компонентів. За низьких температур між 20 до 100 °C вода та леткі екстрактивні речовини видаляються з деревини. При температурі до 100 °C у деревині відбуваються важливі хімічні реакції. Деацетилювання геміцелюлози, що виникають на початку оброблення. Наявність ацетильних груп, які є термічно лабільними та призводять до утворення оцтової кислоти, що є значним фактором у термічному розкладі геміцелюлози. Реакції деполімеризації менш впорядкованих вуглеводів (геміцелюлози та аморфна целюлоза) каталізуються оцтовою кислотою (Свічникта ін.. 2016), що призводить до

утворення олігосахаридів та моносахаридів. Внаслідок цього ці сахариди зневоднюються з утворенням фурфуролу та гідроксиметилфурфурол (Tjeerdsma та Militz 2005). Зміни в геміцелюлозі зміна вмісту та структури призводить до втрати міцності на вигин та розтяг. Деградація макромолекули целюлози вважається основним фактором, що впливає на втрату міцності на розтяг (Boonstrata ін.. 2007). Утворення кольорової деградації та продуктів окислення з геміцелюлози та екстрактивних речовин призводять до потемніння деревини. Інтенсивність зміни кольору залежить від інтенсивності нагрівання (Бехта і Німц 2003; Кацік та Кубовський, 2011; Чента ін.2012).

Термостійкість деревини залежить від співвідношення хімічних компонентів у породі деревини. За даними Фенгеля та Вегенера (1984), листяні породи деревини менш термічно стійкіші, ніж хвойні породи деревини. Загалом, частка геміцелюлози в листяних породах деревини вища порівняно з м'якими породами деревини. Щодо неглюкозних цукрових одиниць, присутніх у деревині, частка пентозанів (ксилози та арабінози) у листяних породах деревини вища, ніж частка гексозанів (глюкози, галактози та манози), де пентозани більше схильні до термічного розкладу. Крім того, листяні породи деревини мають більше ацетильних груп, ніж м'які породи деревини. Наявність ацетильних груп призводить до утворення оцтової кислоти, що викликає кислотно-каталізований розпад полісахаридів.

Збільшення інтенсивності нагрівання викликає ланцюговий розрив целюлози і супутнє зниження ступеня полімеризації целюлози та ступеня кристалічності. Кристалічна целюлоза розкладається за температур від 300 до 340 °С. Однак аморфні області целюлози більш схильні до термічної деградації. Ці області, найімовірніше, демонструють подібну термічну поведінку, як і гексозні компоненти геміцелюлози (Кімта ін.2001).

Лігнін термічно розкладається в широкому діапазоні температур. Це пояснюється тим, що різні функціональні групи кисню в макромолекулі лігніну мають різну теплову активність стабільності та їх розрив відбувається

за різних температур (Vrebu та Vasile 2010). На початкових етапах нагрівання відбувається розкладання лігніну внаслідок відновлення структурних елементів, спостерігалось зв'язання арил-ефірними зв'язками одиниць (Качіковата ін.2008; Віндайзен та Вегенер, 2008). За вищих температур обробки зшивання та конденсація відбувалися реакції, що призвели до збільшення частки лігніну в деревині (Нуоппонента ін.. 2004; Хілл 2006; Віндайзен і Вегенер 2008; Касікта ін.2016). Збільшення відносного вмісту лігніну під час термічної обробки також може бути спричинене деградацією геміцелюлози та целюлози (Wikberg and Maunu 2004; Тумента ін.. 2010; Да Сілвата ін.2013).

Ясен звичайний (Ясен (*Fraxinus excelsior*)Л.) деревина тверда та перевершує звичайні стандарти міцності та гнучкості. Завдяки цим чудовим властивостям, це один з найвидатніших цінних порід деревини (Клементта ін.. 2008). Термооброблена деревина ясена використовується для облицювання та настилу у вологому середовищі, наприклад, у ванних кімнатах, саунах та на вулиці. Приклад оздоблення будинків планкером з термічно модифікованого ясена приведений на рисунках 1.1. 1.2.



Рисунок 1.1. Облицювання будинків в Буковелі планкером з термічно модифікованої деревини ясена.



Рисунок 2.1. Обливання будівлі фінської бані термічно модифікованим ясенем на будівлі відпочинкового комплексу.

Метою даної магістерської роботи є пояснення хімічних змін деревини ясеня під час процесу термічної обробки за різних технологічних умов (температури та часу) за результатами різних досліджень. А також за результатами літературних джерел встановити вміст екстрактивних речовин, лігніну та холоцелюлози за допомогою загальноприйнятого аналітичного методу. Для визначення вмісту основних сахаридів (глюкози та ксилози), використовувалася високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ). Крім того, хімічні зміни в деревині контролювали за допомогою інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR) як добре перевіреного способу.

1.2. Зміна кольору деревини ясеня в процесі термічної модифікації.

Потемніння деревини було найпомітнішим ефектом термічної обробки деревини ясеня яке показано на рисунку 1.3



Рисунок 1.3. Вплив умов обробки (температури (від 160 до 200 °C) та часу (від 3 до 12 годин)) на колір ясена.

Інтенсивність знебарвлення збільшувалася зі збільшенням температури термічної обробки та тривалості процесу витримки за даної температури. Потемніння деревини часто пояснюють утворенням окислювальних та продуктів розкладу деревних компонентів (Bekhta and Niemz 2003; Чента ін.аль. 2012). Згідно зі Срінівас та Пандей (2012), зменшення яскравості свідчить про те, що під час термічної обробки утворюється багато компонентів, що поглинають видиме світло. Деякі автори (Хон та Мінемура 2001; Пончакта ін.2006; Естевеста ін.. 2008) пояснив, що відбувається утворення низькомолекулярних цукрівм через реакції деградації геміцелюлози та утворення хінонів через реакції окислення. Чента ін. (2012) зазначали, що реакції конденсації лігніну та деяких екстрактивних речовин, а також утворення побічних продуктів сприяє збільшенню інтенсивності червоного тону на зразку деревини. Крім того, потемніння кольору відбувається зі збільшенням кількості лігніну в термічно обробленому матеріалі.

Нагрівання деревини призвело до зменшення маси зразків. Ступінь втрати ваги залежали від температури та часу обробки. Дані наведено в таблиці 1.1. які представляють прямий вплив нагрівання без впливу на вміст вологи. А значне збільшення втрати маси було пов'язане з втратою макромолекулярних речовин і компонентів. Щодо хімічних характеристик, змін екстрактивних речовин та вмісту лігніну, а також зменшення вмісту геміцелюлози спостерігалось зі збільшенням тривалості оброблення за певного рівня температури термічної модифікації.

Таблиця 1.1.

Втрата ваги та хімічні характеристики термічно обробленої деревини ясена

Температура (°C)	Час Лікування (год)	Втрата маси (%)	Екстрактні речовини (%)	Лігнін (%)	Голоцелюлоза (%)
20	-	-	3,80 ± 0,17 (3.80)	22,16 ± 0,32 (22.16)	79,53 ± 0,28 (79,53)
160	3	0,26 ± 0,15	3,59 ± 0,30 (3.58)	21,85 ± 0,69 (21,79)	78,11 ± 0,61 (77,91)
	6	1,44 ± 0,13	4,95 ± 0,39 (4.88)	21,14 ± 0,28 (20,84)	75,40 ± 0,16 (74,32)
	9	1,69 ± 0,21	4,21 ± 0,25 (4.14)	21,22 ± 0,34 (20,86)	74,77 ± 0,05 (73,51)
	12	1,95 ± 0,15	4,26 ± 0,42 (4.18)	21,17 ± 0,12 (20,76)	72,67 ± 0,48 (71,25)
180	3	2,92 ± 0,87	4,33 ± 0,53 (4.20)	22,19 ± 0,22 (21.54)	72,25 ± 0,27 (70,14)
	6	3,20 ± 0,82	4,56 ± 0,34 (4.41)	22,60 ± 0,29 (21.88)	70,84 ± 0,07 (68,57)
	9	4,60 ± 0,61	5,33 ± 0,42 (5.08)	23,05 ± 0,37 (21,99)	65,81 ± 0,09 (62,78)
	12	5,79 ± 0,53	5,42 ± 0,36 (5.11)	23,36 ± 0,14 (22.01)	62,12 ± 0,14 (58,52)
200	3	8,04 ± 0,85	6,86 ± 0,59 (6.31)	24,03 ± 0,11 (22.10)	60,89 ± 0,09 (56.00)
	6	13,91 ± 0,95	6,63 ± 0,47 (5.71)	28,27 ± 0,44 (24.34)	53,87 ± 0,14 (46.38)
	9	16,99 ± 0,43	6,26 ± 0,55 (5.20)	30,28 ± 0,26 (25.14)	56,70 ± 0,10 (47.07)
	12	18,48 ± 0,59	6,06 ± 0,61 (4.94)	30,84 ± 0,82 (25.14)	57,42 ± 0,31 (46,81)

Примітка: Дані представляють середні значення ± стандартні відхилення; числа в дужках представляють середній відсоток сухої ваги до термічної обробки

Враховуючи хімічний склад деревини, екстрактивними речовинами були деревинна компонента, яка найбільше змінюється від термічної обробки. У необробленій деревині ясена вміст екстрактивних речовин становить 3,8%. Початкове зниження вмісту екстрактивних речовин при нагріванні обробка при 160 °C могла бути пов'язана з видаленням летких речовин. Згодом вміст екстрактивних речовин збільшувався. Тривалість термічної обробки 3 год за температури 200 °C призвела до збільшення вмісту екстрактивних речовин до 6,9%. Це було пов'язано з виділенням продуктів розпаду лігніну та сахаридів під час екстракції суміші, або шляхом їх реакцій конденсації з екстрактивними речовинами, що спочатку були присутні в необробленій деревині. Цей

результат можна порівняти з іншими дослідженнями (Wangта ін.2015; Северота ін. 2016). За даними Пелаеса-Саманьєгота ін.(2014), зменшення екстрактивних речовин у більшій кількості створює серйозні умови і можуть бути пов'язані з розтріскуванням та дегазацією проміжних продуктів лігніну або через утворення додаткового вугілля шляхом подальшої поліконденсації. Сильні позитивні кореляції видно між загальною різницею в кольорі та вмістом екстрактивних речовин були виявлені за допомогою Кучеровата ін.. (2016) та Чабаловата ін.(2018). Після цього був зроблений висновок про те, що підвищений вміст екстрактивних речовин може бути однією з причин потемніння деревини в процесі термічної модифікації.

У необробленій деревині було визначено вміст лігніну 22,2%. Термічна обробка за температури 160 °C призвела до незначного зниження вмісту лігніну. Це було спричинено реакціями деградації, що підтримують утворення різних фенольних сполук (Hill 2006). Однак вміст лігніну збільшився шляхом проведення термічної обробки за температур 180 та 200 °C. Це могло бути наслідком реакції конденсації лігніну з продуктами розщеплення геміцелюлози або зшивання макромолекул лігніну (Nuoronen та ін.. 2004; Вікберг і Мауну 2004; Тюмень та ін.2010; Да Сілвата ін.. 2013). Збільшення вмісту лігніну сприяє збільшенню зміни кольору в процесі термічної модифікації (Kačiková та ін.2013;Кучеровата ін.2016).

Голоцелюлоза - це загальна полісахаридна фракція деревини, що складається з целюлози та геміцелюлози, яка становила 79,5% у необробленій деревині ясена. Вміст холоцелюлози зменшилася внаслідок нагрівання. Зниження було більш помітним при вищих температурах. Для пояснення описаних змін вміст D-глюкози та D-ксилози (Таблиця 1.2.). Після цих результатів той факт, що геміцелюлози вже почали діяти при 160 °C. У порівнянні з геміцелюлозою, целюлоза є більш термічно стабільною, особливо завдяки своїй кристалічній структурі. Отримані результати були підтвержені

раніше опублікованими даними. Зміна вмісту основних моносахаридів у термічно обробленій деревині ясен приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Вміст основних моносахаридів у термічно обробленій деревині ясен

Лікування		D-глюкоза (%)	D-ксилоза (%)
Температура (°C)	Час (год)		
20	-	40,30 ± 0,12 (40.30)	18,05 ± 0,12 (18.05)
	3	40,75 ± 0,22 (40,65)	17,33 ± 0,15 (17.29)
160	6	39,76 ± 0,21 (39.19)	17,17 ± 0,16 (16,92)
	9	40,46 ± 0,19 (39,78)	16,40 ± 0,10 (16.12)
	12	39,78 ± 0,24 (39.01)	15,59 ± 0,19 (15.29)
	3	41,39 ± 0,23 (40.18)	16,00 ± 0,23 (15.53)
180	6	42,07 ± 0,32 (40,72)	15,45 ± 0,24 (14.96)
	9	42,22 ± 0,21 (40.28)	13,80 ± 0,21 (13.17)
	12	42,04 ± 0,16 (39,61)	12,79 ± 0,25 (12.05)
	3	42,30 ± 0,21 (38,90)	12,30 ± 0,19 (11.31)
200	6	42,11 ± 0,15 (36.25)	9,15 ± 0,25 (7.88)
	9	42,86 ± 0,29 (35,58)	8,75 ± 0,24 (7.26)
	12	43,03 ± 0,48 (35.08)	7,08 ± 0,33 (6.36)

Примітка: Дані представляють середні значення ± стандартні відхилення; числа в дужках представляють середній відсоток сухої ваги до термічної обробки

Зменшення вмісту геміцелюлози – високогідрофільного полімеру – знижує вільні гідроксильні групи. Це призводить до підвищення розмірної стабільності та стійкості до розпаду з термомодифікованої деревини (Dubeuta ін.2012; Літа ін.2016). Зв'язок між полісахаридною фракцією та фізичні та/або механічні властивості термічно обробленої деревини досі вивчалось багатьма дослідниками. Значні степеневі регресії для вміст геміцелюлози з модулем пружності (MOE), модулем розриву (MOR), і густиною були знайдені

Качіковоюта ін.(2013). Сильні позитивні навантаження для густини, синьо-жовта хроматична координата, рівноважний вміст вологи та вміст холоцелюлози та ксилози спостерігала Чабаловата ін.(2018). Крім того, сильні позитивні кореляції для MOR та MOE з вмістом глюкози та ксилози були виявлені Кучеровата ін.(2016).

Подальшу цінну інформацію було надано за допомогою ІЧ-спектроскопії з перетворенням Фур'є. Диференціальні спектри (рис. 1.4., 1.5.) показали зміни в компонентах деревини, спричинені термічною обробкою. Інтенсивність змін змінювалася залежно від умов оброблення (температура і час витримки). Порівняння диференціальних спектрів показало, що температура нагрівання має більший вплив на інтенсивність піків, ніж час термічної обробки.

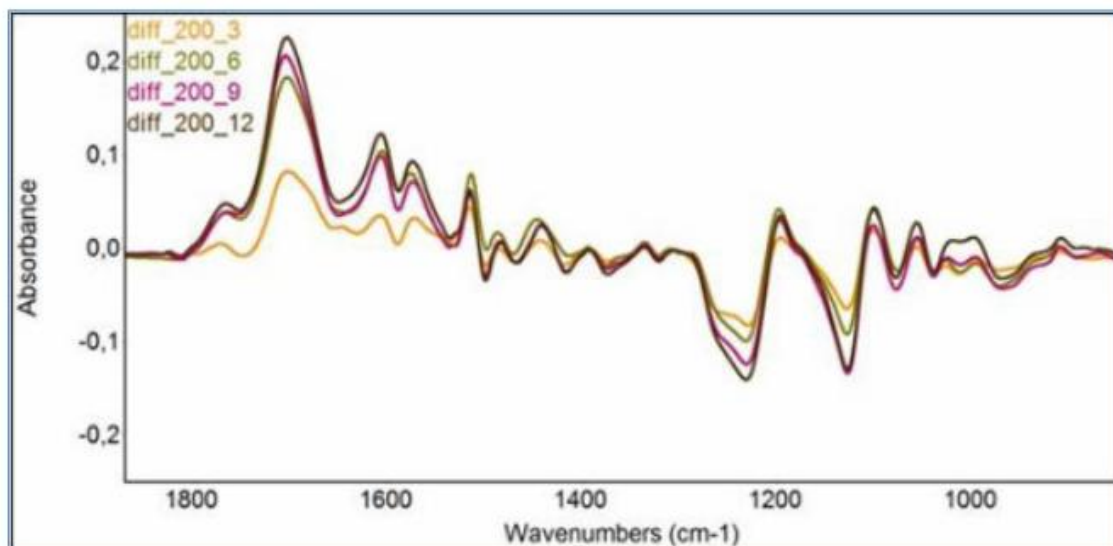


Рисунок 1.4. Диференціальні ІЧ-спектри FTRE термообробленої деревини ясена за температури 200 °С

Пік поглинання при 1732 см-1 відповідало неспряженому розтягуванню С=О коливання в лігніні, а також карбонільні та карбоксильні групи в геміцелюлозах. Під час процесу термічної обробки деревини, інтенсивність збільшилася. Це могло бути спричинено процесами окислення, розкриттям глюкопіранозного кільця або розщепленням від β-алкіл-арилові ефірні зв'язки в лігніні (Windeisenta ін.2009; Естевеста ін.2013; Озгенч та ін.. 2017). Крім

того, зі збільшенням тривалості оброблення, спостерігалось зміщення максимуму до меншого хвильового числа. За словами Естевесата ін.(2013), це може бути пов'язано з збільшенням кількості карбонільних або карбоксильних груп у деревних компонентах шляхом окислення. Їх утворення сприяло потемнінню термічно навантаженої деревини (Chenta ін.2012)

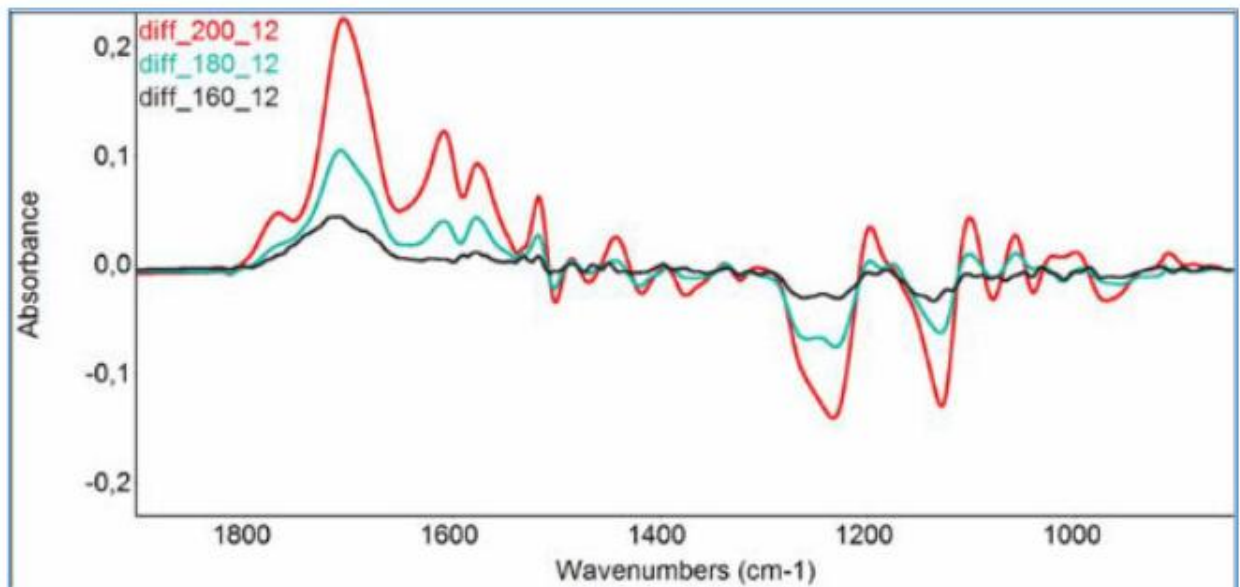


Рисунок 1.5. Диференціальні ІЧ-спектри FTRE деревини ясена, термічно обробленої протягом 12 годин

Пік на 1593 см-1 було віднесено до ароматичного скелета та розтягування С=О коливання. Цей пік в обробленій деревині розширився приблизно до 1597 см-1 та його інтенсивність збільшилася. Розширення цього піку свідчило про збільшення структурної різноманітності навколо ароматичних кілець. Збільшення інтенсивності цього піку може бути пов'язане зі збільшенням відносного вмісту лігніну в обробленій деревині (Естевеста ін.2013; Кадемарторіта ін.2015; Ванга ін.2015).

На початковому етапі термічної обробки ступінь кристалічності целюлози збільшилася. На пізніших стадіях спостерігалось зниження (рис. 1.6). Зміни кристалічності більш значна за вищих температур. Максимальна кристалічність була виявлена через 9 годин обробки за температур 160 та 180 °С або через 6 годин при 200 °С.

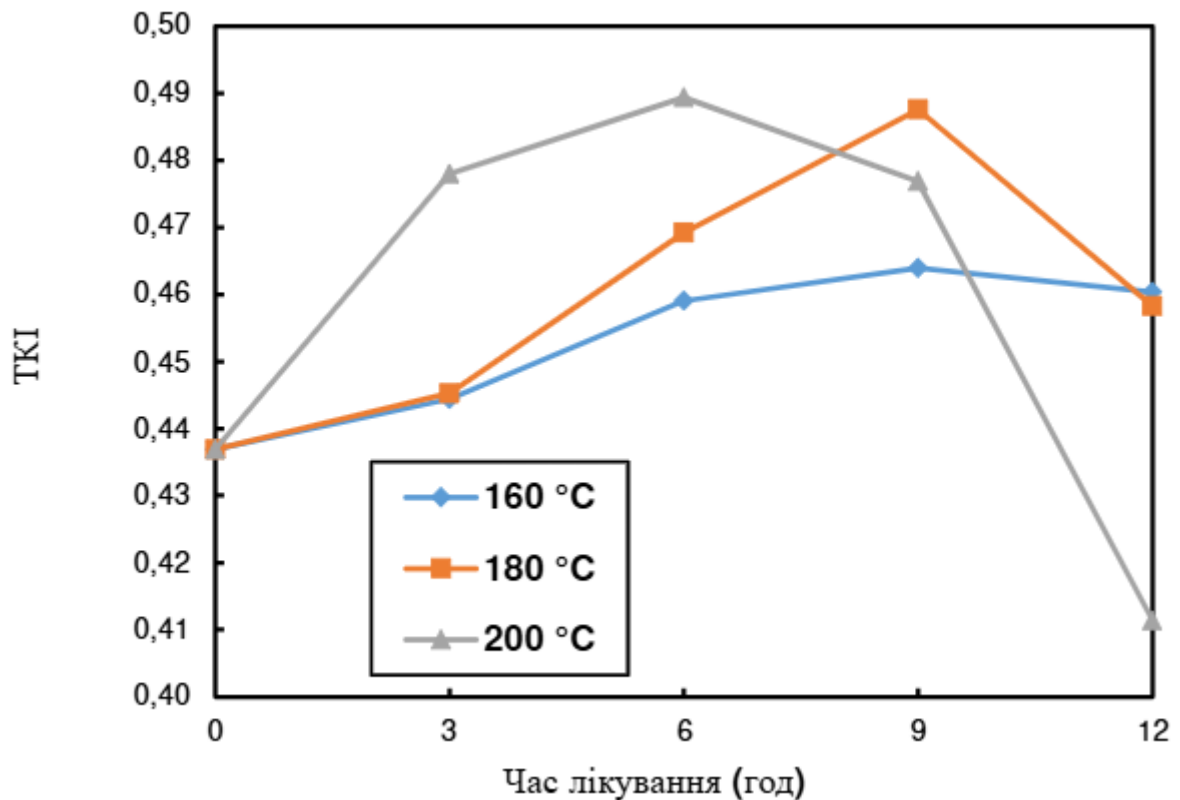


Рисунок 1.6. Загальний індекс кристалічності целюлози

Початкове збільшення кристалічності може бути спричинене деградацією аморфних областей, і перегрупуванням або переорієнтацією квазікристалічних областей целюлози. З іншого боку, зниження кристалічності целюлози може бути пов'язане зі збільшенням кількості розривів ланцюга реакції, що посилювали аморфний характер целюлози (Бхуйянта ін.2000; Конг та ін.2017). Вища кристалічність целюлози призводить до низької хімічної реакційної здатності, вищої термічної стабільності та вищої міцності на розтяг (Hill 2006; Polettota ін.2012). За результатами літературного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Значні зміни в полісахаридах були спричинені термічною обробкою золи деревини. Вміст холоцелюлози зменшився вже протягом 3-годинної термічної обробки при температурі 160 °C, що було спричинено деградацією менш термічно стійких геміцелюлоз. Було очевидно, що спостерігалось зниження вмісту D-ксилози в термічно обробленій

деревині та спостерігалися зміни інтенсивності геміцелюлозних характеристик смуги в ІЧ-спектрах ФТ. Інтенсивність деградації зростала зі збільшенням інтенсивності нагрівання.

2. Вміст лігніну дещо зменшився на початку, при температурі 160 °С, тоді як при вищих температурах він збільшувався. У макромолекулі лігніну відбувається деметоксилювання і спостерігалось утворення більш конденсованих структур.
3. Початкове збільшення вмісту екстрактивних речовин могло бути спричинене викидом продуктів розкладу основних деревних компонентів в екстракційній суміші або шляхом їх реакції конденсації з екстрактивними речовинами, що спочатку були присутні в необробленій деревині.
4. Нові карбонільні або карбоксильні групи утворювалися внаслідок окислення за всіх умов оброблення. Це могло сприяти потемнінню деревини під час термічної обробки.
5. З самого початку спостерігалось збільшення кристалічності целюлози, а потім вона зменшилася. Максимум був досягнутий за температур 160 та 180 °С протягом 9 годин оброблення та за температури 200 °С протягом 6 годин.

1.3. Термокамера фірми “Long Life Wood”

Підприємство ФОП “Феляк” яке можна називати за їх торговельною маркою “Long Life Wood” займається виготовленням термічно модифікованої ясенової деревини виключно з однієї породи ясеня. З отриманої термічно модифікованої деревини на підприємстві виготовляють терасну дошку, планкен для обшивки будівель та інші вироби. На підприємстві використовується термокамера власного виготовлення, загальний вигляд якої показаний на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7. Загальний вигляд термокамери фірми “Long Life Wood”.

Дана термокамера призначена для термічного модифікування ясенових пиломатеріалів з початковою вологістю деревини до 10-12%. Нагрівання термокамери відбувається за допомогою масляних сорочок які знаходяться в нижній частині камері по всій довжині. Нагрівання термомасла відбувається за допомогою електричних ТЕНів які розташовані в спеціальних ваннах у нижній частині термокамер. Загальна потужність електричних ТЕНів становить 60 кВт. У зв'язку з війною, що спричинило до графіків відключення електроенергії та суттєво підвищило її вартість в кінцевому результаті це привело до значного збільшення собівартості виготовлення термічно

модифікованої деревини. На підприємстві було прийнято рішення про реконструкцію термокамери з нагріванням від топкових газів. Принципова технологічна схема роботи термокамери з нагріванням топковими газами показана на рисунку 1.8.

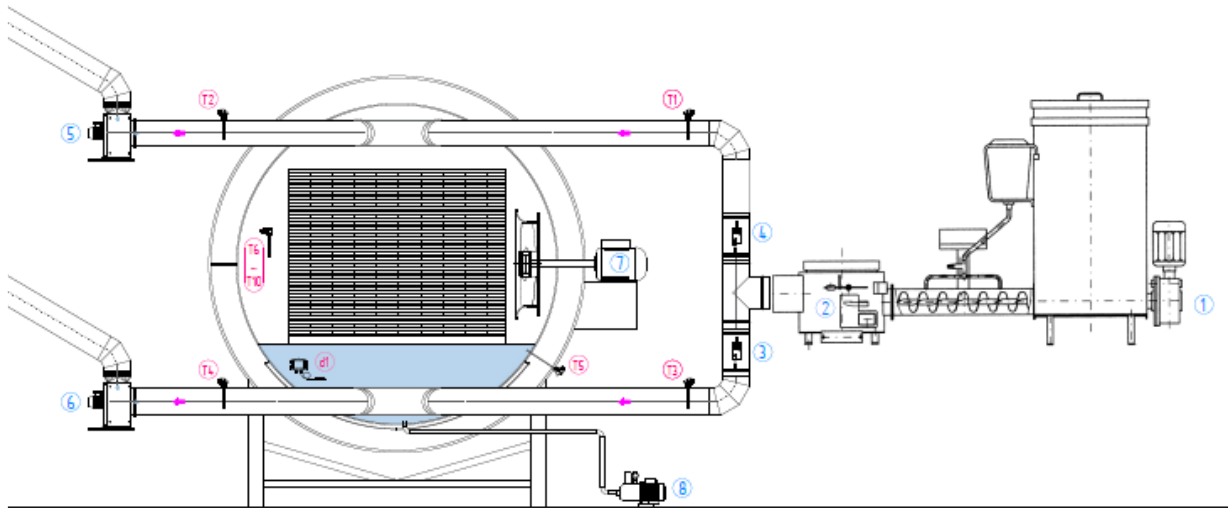


Рисунок 1.8. Технологічна схема нагрівання термокамери топковими газами.

1- Бункер для тирси; 2-Спальовач деревинних відходів; 3-Шибер з виконавчим механізмом Velito на нижній димовій трубі для нагрівання як термокамери так і водяного басейну для зволоження; 4-Шибер з виконавчим механізмом Velito на верхній димовій трубі для нагрівання термокамери; 5-Вентилятор топкових газів верхньої системи нагрівання; 6-Вентилятор топкових газів нижньої системи нагрівання; 8-Помпа для подачі води в басейн термокамери.

У верхній частині термокамери в зоні рами вентиляторів було змонтовано гладку димову трубу як показано на рисунку 1.9. В нижній частині термокамери також було змонтовано трубу по якій проходять топкові гази після спальовача. Дана труба-калорифер використовується для нагрівання термокамери і для нагрівання води в басейні в період проведення кінцевого кондиціювання (зволоження).

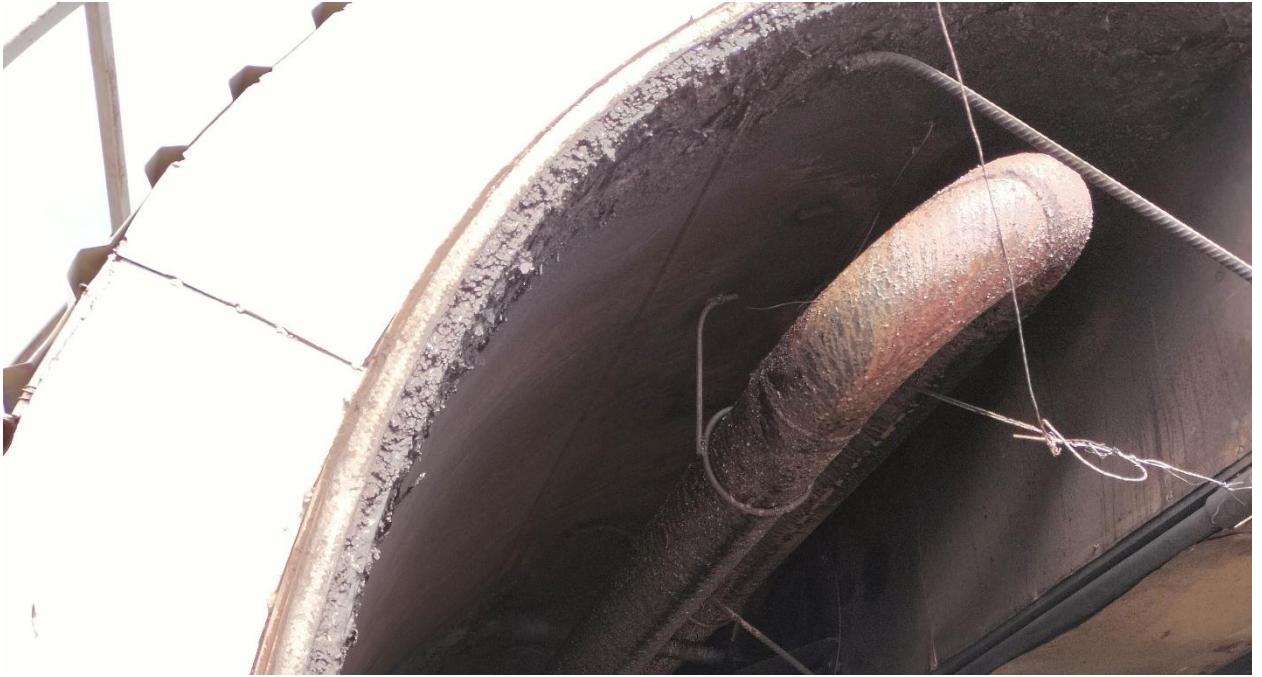


Рисунок 1.9. Загальний вигляд димової труби в верхній частині термокамери для нагрівання топковими газами.

Загальний вигляд труби-калорифера в нижній частині камери показаний на рисунку 1.10.



Рисунок 1.9. Загальний вигляд димової труби в нижній частині термокамери для нагрівання топковими газами і нагрівання води в басейні.

Нагрівання термокамери відбувається наступним чином: в спалювачі відбувається спалення тирси або стружки і топкові газу по димових трубах які розташовані в верхній і нижній частинах термокамери, проходять через простір камери. Для забезпечення рівномірності температурного поля за об'ємом термокамери в ній, в верхній частині, встановлені осьові вентилятори. Розподіл температурного поля за об'ємом термокамери в процесі термічної модифікації графічно показана на рисунку 1.10.

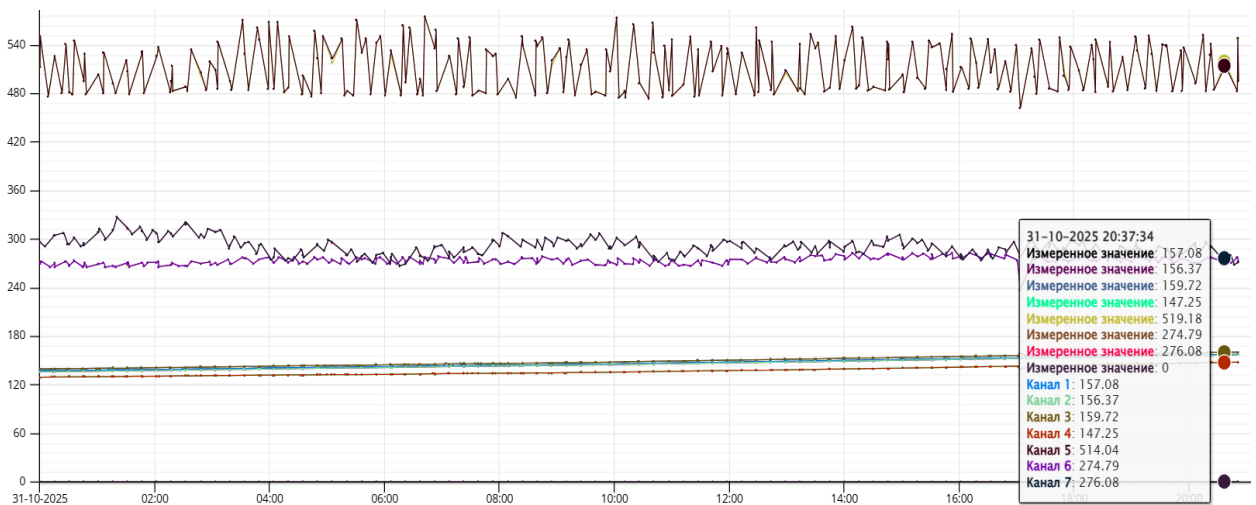


Рисунок 1.10. Розподіл температурного поля за об'ємом термокамери і температура топкових газів в трубах-калориферах.

Слід зауважити, що відхилення фактичної температури від заданої в процесі термічного модифікування не перевищує $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Що надзвичайно важливо для забезпечення рівномірності зміни кольору деревини ясеня в процесі термічного модифікування.

Після закінчення процесу термічного модифікування термокамера охолоджується до температури нижче 100°C і в басейн, який розташований в нижній термокамери, подається вода. В цей час за допомогою шибера закривається подача топкових газів у верхні труби-калорифери і топкові газу подаються тільки через нижню трубу. Нижня труба яка знаходиться в басейні з водою починає перетворювати воду у водяну пару створюючи в термокамері середовище вологої пари з ступенем насичення (відносна пружність) в межах

98-99%. В процесі кінцевого кондиціонування (зволоження) температура в термокамері підтримується на рівні 95-98°C. Такий рівень температури вибраний виходячи з наступних міркувань: з однієї сторони вологопровідність деревини суттєво зростає при підвищенні температури і здавалося б, що процес зволоження доцільно проводити за температури термічної модифікації (в даному випадку - 195°C). Але в нашому випадку термокамера це простір в якому підтримується атмосферний тиск і за температури вище 100°C підтримувати відносну вологість (ступінь насичення) на рівні 98-99% термодинамічно не можливо. За температури 195 °C максимально можлива відносна вологість не перевищує 20%. За такої відносної вологості буде відбуватися процес сушіння, а не зволоження як потрібно для підвищення вологості термічно модифікованої деревини. Графік зміни температури в термокамері і зміни температури топкових газів в трубах термокамери приведений на рисунку 1.11.

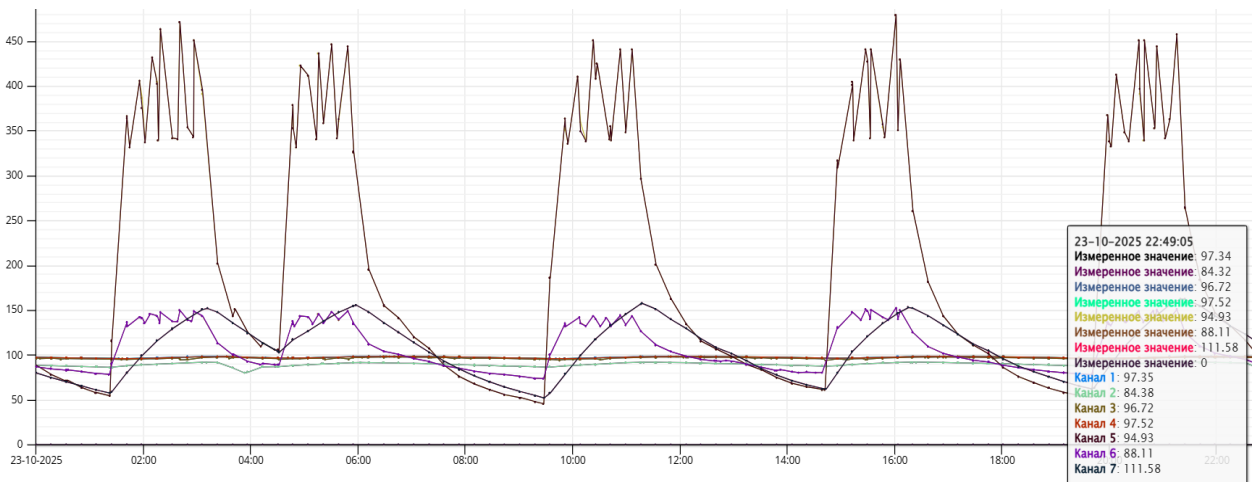


Рисунок 1.11. Розподіл температурного поля за об'ємом термокамери і температура топкових газів в трубах-калориферах водяного басейну в процесі кінцевого кондиціонування (зволоження).

1.4. Мета роботи і задачі досліджень.

В попередніх підрозділах роботи виконаний аналіз літературних даних стосовно зміни кольору і хімічних перетворень які відбуваються в процесі термічної модифікації ясеневих пиломатеріалів сухим способом. Приведений аналіз дозволяє встановити певні закономірності стосовно хімічних реакцій які спричиняють зміну кольору деревини і приводять до зміни фізико-механічних властивостей. Після закінчення термічного модифікування ясеневих пиломатеріалів сухим способом за температури оброблення 195°C їх реальна кінцева вологість знаходиться в межах 0,3-0,7% тобто практично абсолютно сухий стан. Приклад розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих пиломатеріалів за товщиною приведений на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12. Приклад розподілу величин кінцевої вологості термомодифікованих пиломатеріалів з деревини ясеня товщиною 30 міліметрів сухим способом.

Для подальшого використання за призначенням необхідно підняти рівень кінцевої вологості до умов експлуатації яка варіюється від 3 до 6 відсотків. Для цього виконується технологічна операція кінцевого кондиціонування (зволоження). Дана технологічна операція може виконуватися за допомогою розпилення води в термокамері або шляхом подачі пари безпосередньо в простір термокамери. В даній магістерській роботі розглядається процес кінцевого зволоження шляхом випаровування води з басейну термокамери який знаходиться в її нижній частині. Нагрівання води для утворення вологої водяної пари в просторі камери здійснюється шляхом проходження топкових

газів через труби які знаходяться в басейні з водою. Виходячи з вище сказаного було сформована мета і визначені задачі досліджень.

Мета роботи – дослідження процесу кондиціювання (зволоження) термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів водяною парою отриманою шляхом нагрівання води в басейні термокамери.

Для вирішення вище приведеної мети магістерської роботи потрібно вирішити такі задачі з кінцевого кондиціювання (зволоження) ясенових пиломатеріалів водяною парою:

- за результатами вивчення літературних джерел встановити закономірності і зміни, що відбуваються в деревині ясена в процесі термічного модифікування сухим способом;
- обґрунтувати рівень температури в термокамері в процесі кінцевого кондиціювання (зволоження);
- запропонувати методика визначення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясена після завершення кондиціювання (зволоження);
- виконати аналіз розподілу кінцевої вологості термооброблених ясенових пиломатеріалів за товщиною в залежності від температури і тривалості кондиціювання;
- розробити технологічні рекомендації з проведення кінцевого зволоження запропонованим способом з влаштуванням басейну в термокамері.

Об'єкт дослідження – технологічний процес кондиціювання (зволоження) термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів сухим способом.

Предмет дослідження – поля розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за товщиною після проведення кондиціювання.

2. Порядок і результати виконання експериментів.

2.1. Матеріали і методика досліджень

Ясен звичайний (*Fraxinus excelsior*) деревина ясена, що була використана в дослідженнях, має походження з Бродівщини Львівської області. Зразки для відбору секцій з визначення кінцевої вологості після термічного модифікування і кондиціювання (зволоження) відбиралися з різних точок об'єму термокамери, саме: три зразки в передній частині камери, три зразки в середній частині камери і три зразки з тильної сторони термокамери. В кожній частині цих три зразки відбиралися в трьох точках за висотою термокамери: знизу в другому ряді за висотою штабеля, посередині висоти і у верхній частині в другому ряді зверху штабеля. За шириною штабеля термічно модифікованих пиломатеріалів вибір місця відбору зразків не регламентувався. Термічному модифікуванню підлягали обрізні ясенові пиломатеріали різної ширини, товщиною 30 міліметрів і довжиною 3 метри. були підготовлені з одного стовбура, щоб зменшити мінливість властивостей. Після закінчення процесу відбирали 9 (дев'ять) дощок за приведеною вище схемою і з середини довжини дощок випилювали секції для визначення кінцевої пошарової вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів. Порядок відбору і схема випилювання секцій для визначення кінцевої вологості приведена нижче.

Нагрівання деревини приводило до зменшення ваги зразків. Ступінь втрати ваги залежав від температури термічної модифікації (в нашому випадку 195°C) та тривалості оброблення (в процесі проведення досліджень тривалість витримка за температури 195°C становила 12 годин). Дані стосовно втрати ваги в процесі термічного модифікування ясенових пиломатеріалів наведено в таблиці 1.1. Як видно з таблиці втрати ваги приводить до зменшення значення рівноважної вологості термічно модифікованої ясенової деревини і має пряму залежність від значення температури термічної модифікації, а також тривалості технологічної витримки за певної температури. Характер зміни

рівноважної вологості для термічно модифікованої деревини ясена має характер як показано на рисунку 2.1.

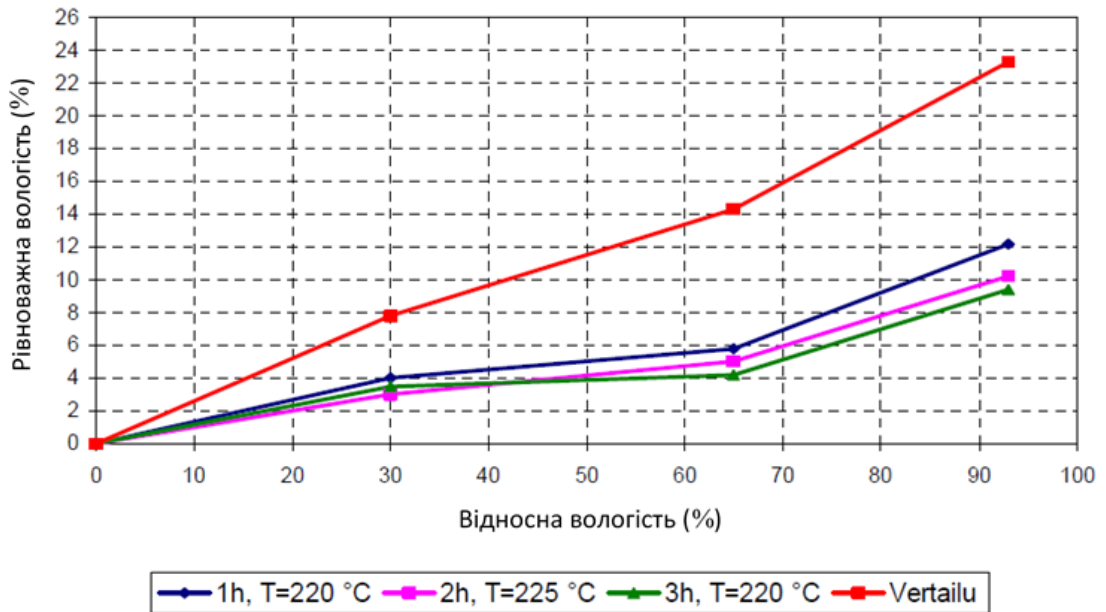


Рисунок 2.1. Характер залежності значень рівноважної вологості ясенної деревини термічно модифікованої сухим способом за різних температур і різного часу технологічної витримки.

Характер залежності рівноважної вологості ясенної деревини термічно модифікованої сухим способом використовувався для встановлення необхідної кінцевої вологості в залежності від умов експлуатації виготовлених з термодеревини виробів. Оскільки в більшості випадків вироби з термічно модифікованої модифікованої деревини ясена використовуються на відкритому повітрі то рівень необхідної кінцевої вологості після кондиціонування (зволоження) повинен становити $7 \pm 1,5\%$. В таких межах (від 5,5 до 8,5%) змінюється рівноважна вологість термічно модифікованої ясенної деревини під час експлуатації на відкритому повітрі протягом року. Для встановлення даного рівня вологості також використовувалися дослідження отримані на протязі останніх 5 років з визначення вологості термічно модифікованої деревини ясена з якого виготовлялася терасна дошка, блок-хаус та планкен.

Дослідження проводилися на підприємстві ФОП Феляк (торгова марка Long Life Wood) в селищі Давидів за 7 кілометрів від Львова. Підприємство має термокамеру власного виготовлення з нагріванням топковими газами від спалювача який працює на подрібненій деревині. Для здійснення кінцевого кондиціювання (зволоження) в термокамері в нижній частині влаштований басейн який заповнюється водою під час процесу кондиціювання. В басейні прокладена труба по якій проходять топкові газы від спалювача. Випаровування води з басейну створює в термокамері вологе насичене повітря з відносною вологістю 95-98%. Температура в термокамері в процесі кінцевого кондиціювання (зволоження) підтримується на рівні 95-98°C. Обґрунтування рівня температури і відносної вологості в процесі кондиціювання приведені в першому розділі магістерської роботи. Об'єм завантаження термокамери складає – 20 кубічних метрів обрізних пиломатеріалів. Встановлена електрична потужність всього обладнання (вентилятори, помпа, виконавчі механізми, привід шнека спалювача) становить 8,2 кВт. Потужність спалювача кускових який використовується для нагрівальних термокамери топковими газами через труби-калорифери – 100 кВт.

Порядок відбору термічно модифікованих пиломатеріалів після завершення кондиціювання (зволоження) і охолодження термокамери описаний вище. З відібраних в різних зонах термокамери за довжиною і висотою термокамери пиломатеріалів випилювалися секції для визначення середньої і пошарової кінцевої вологості. Порядок виконання вимірювальних операцій здійснювався наступним чином:

1. З відібраних дощок випилювалися секції для визначення середньої і пошарової кінцевої вологості. Секції випилювалися по середині довжини дощок для уникнення провідності деревини за довжиною волокон яка в рази вища в порівнянні з вологопровідністю в поперечному напрямку. Якщо б секції випилювалися близько біля торців дощок то уникнути цього явища було б практично не можливо.

2. Товщина секцій для визначення середньої і пошарової кінцевої вологості становила 10 міліметрів.
3. Схематично порядок відбору секцій для визначення середньої і пошарової кінцевої вологості показаний на рисунку 2.2.

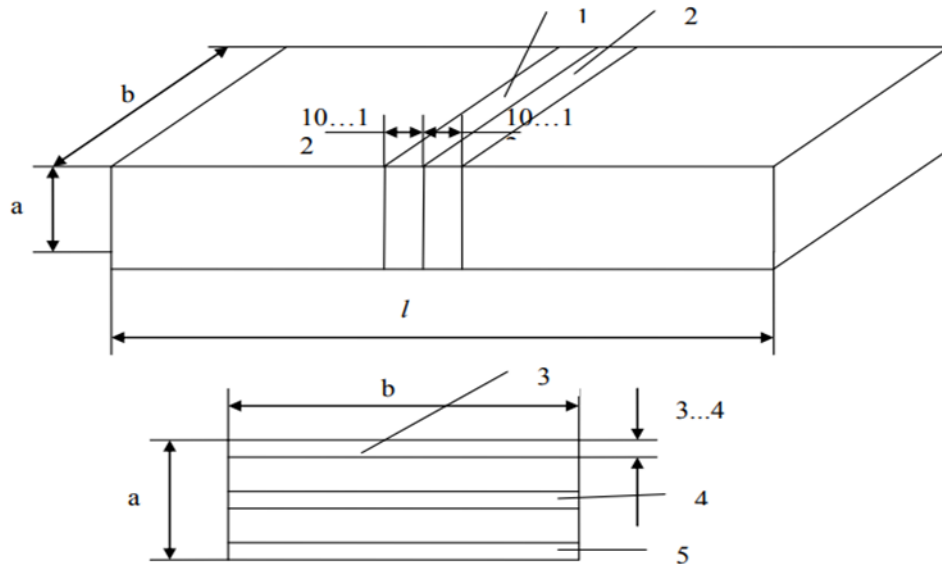


Рисунок 2.2. Схематично порядок відбору секцій для визначення середньої і пошарової кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів.

4. Визначення кінцевої і пошарової вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів виконували ваговим способом який на даний час забезпечує найвищу точність вимірювання.
5. З секції яка призначена для вимірювання пошарової вологості за допомогою спеціального ножа відрізали (відколювали) пластинки товщиною 2-3 міліметри. Дві пластинки зверху і знизу секції і одну пластинку з середньої (центральної) частини секцій. Такий порядок відбору дозволяв отримати реальну картину розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за товщиною.
6. Для зважування секцій для визначення середньої і пошарової вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів після завершення кондиціювання і охолодження використовувався

вологомір RADWAG WPS 110S. Точність зважування складала 0,001 грама. Отримані результати зважувань записували в журнал спостережень.

7. Кожна секція для визначення середньої кінцевої вологості і кожна пластинка для визначення пошарової вологості нумерувалися.
8. Зважування секцій і пластинок відбувалося зразу після їх випилювання для попередження можливої зміни вологості в процесі вимірювання.
9. Після завершення процесу зважування секції і пластинки поміщалися в сушильну шафу де висушувалися за температури $103\pm 3^{\circ}\text{C}$. Тривалість сушіння становила 6 годин, що забезпечувало висушування пластинок і секцій до абсолютно сухого стану.
10. Після завершення сушіння секції і пластинки знову зважувалися і результати заносили в журнал спостережень.
11. Зачення результатів зважувань до і після сушіння в сушильній шафі до абсолютно сухого стану використовувалися для визначення середньої і пошарової вологості термічно модифікованих ясених пиломатеріалів після завершення кондиціювання і охолодження.

2.2. Результати визначення кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів.

За результатами розрахунків середньої і пошарової вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів після завершення кондиціювання і охолодження виконане статистичне оброблення результатів виробничих досліджень. Результати статистичного оброблення даних приведені в таблиці 2.1.

Результати розрахунків зміни середньої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів в залежності від тривалості кондиціювання

Таблиця 2.1.

За довжиною термокамери	За висотою термокамери	Тривалість кондиціювання, год		
		12	18	24
біля дверей	низ	4,1	6,3	8,1
біля дверей	середина	3,7	5,9	7,9
біля дверей	верх	3,8	5,6	8,3
по середині	низ	3,9	5,7	8,4
по середині	середина	3,9	5,5	7,8
по середині	верх	3,6	5,1	8,2
в торці	низ	4,2	5,4	8,1
в торці	середина	3,9	5,2	7,6
в торці	верх	3,7	5,3	7,9

Розподіл вологості за товщиною термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за різної тривалості кондиціювання.

Таблиця 2.2.

За довжиною термокамери	За товщиною дошки, мм	Тривалість кондиціювання, год		
		12	18	24
біля	2	4,4	6,8	8,1
дверей	15	3,2	5,4	6,9
термокамери	28	3,9	6,6	8,3
по середині	2	3,9	6,1	8,4
довжини	15	2,9	5	7,8
термокамери	28	3,6	5,9	8,2
в торці	2	4,2	5,9	8,1
термокамери	15	3,3	4,9	7,6
	28	3,9	5,8	7,9

Графічна інтерпретація статистично оброблених результатів кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів сухим способом за температури оброблення 195°C після проведення кінцевого кондиціювання (зволоження) тривалістю 12, 18 і 24 години показана на рисунку 2.4. Температура в термокамері в період проведення кінцевого кондиціювання підтримувалася на рівні 95-98°C. Приклад динаміки зміни температури топкових газів і в термокамері показаний на рисунку 2.3.

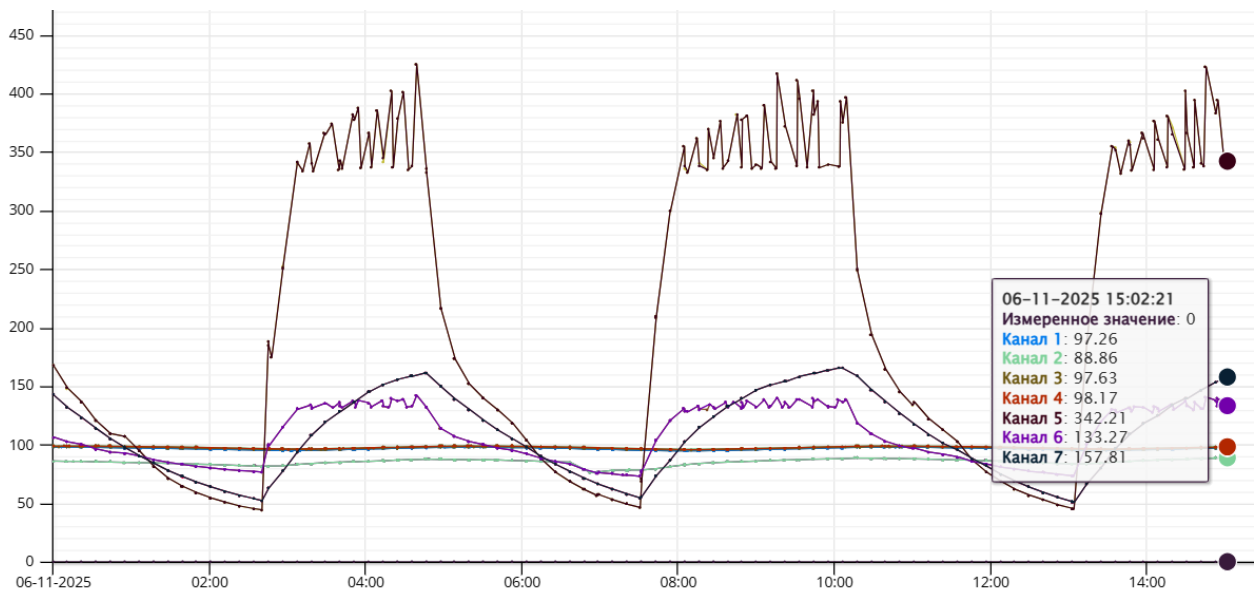


Рисунок 2.3. Динаміка зміни температури топкових газів і в термокамері в процесі кінцевого кондиціювання. Розташування датчиків температури: T1 – верху біля дверей; T2 – внизу біля дверей; T3 – верху в задній частині; T4 – датчик температури води, внизу на корпусі біля дверей; T5 – температура топкових газів на вході внизу; T6 – температура топкових газів на спільному виході; T7 – температура топкових газів на вході вверху.

Слід зауважити, що температура в термокамері в процесі проведення кінцевого кондиціювання термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів стабільно підтримувалася на необхідному рівні 95-98°C. Дана обставина надзвичайно важлива для забезпечення інтенсивного процесу зволоження для досягнення необхідного рівня кінцевої вологості.

На рисунку 2.5. показана графічна інтерпретація розподілу кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів після завершення кондиціювання і охолодження. Розподіл вологості за товщиною пиломатеріалів наведений для трьох тривалостей оброблення, а саме: 12, 18 і 24 години.

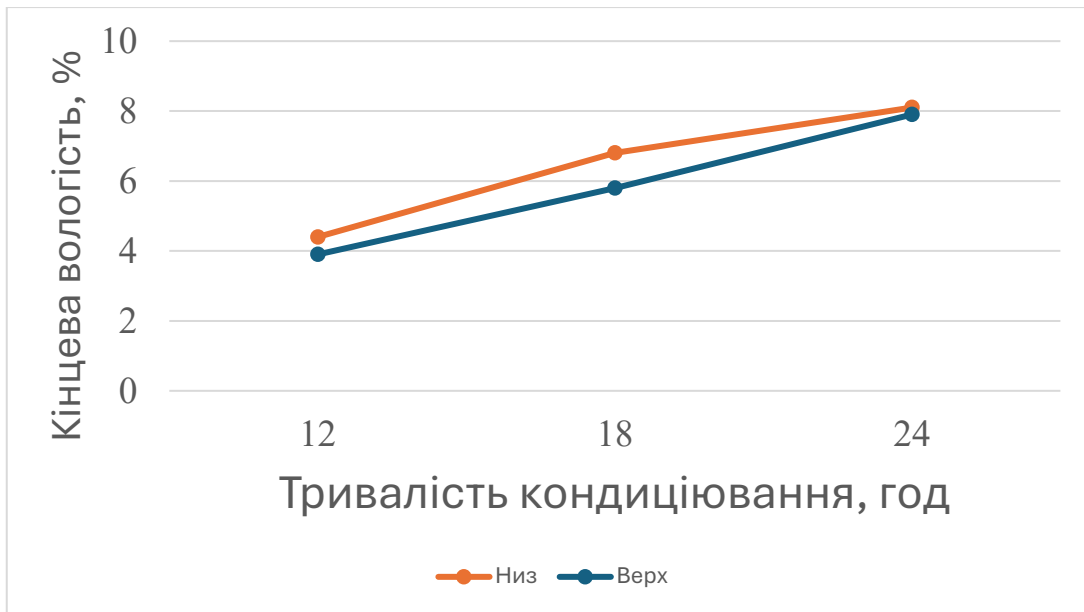


Рисунок 2.4. Процес зміни кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за різної тривалості кондиціювання

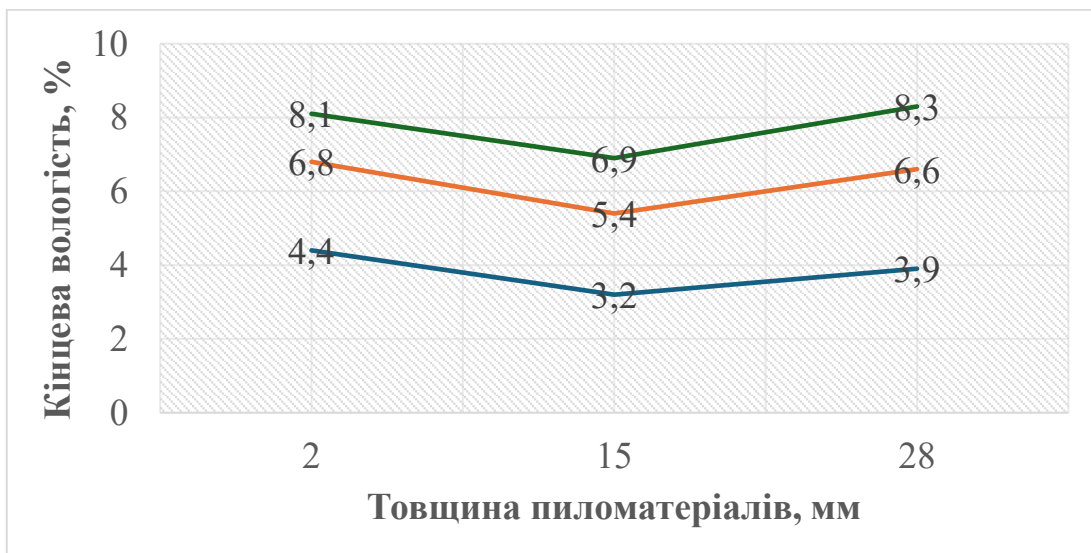


Рисунок 2.5. Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за різної тривалості кондиціювання

З аналізу таблиць і графіків кінцевої вологості і розподілу вологості за товщиною термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів після завершення кондиціювання і охолодження визначальним фактором є тривалість проведення кондиціювання. Оскільки температура в процесі кінцевого кондиціювання підтримувалася на обґрунтованому рівні 95-98°C то дослідження впливу температури не проводилося. Слід зазначити, що проведення процесу кінцевого кондиціювання шляхом випаровування води з влаштованого в термокамері водяного басейну показало високу ефективність. Швидкість зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів даним способом в 2-3 прискорює процес в порівнянні з використанням подачі пари з парогенератора в простір термокамери.

2.3. Рекомендації з технології кінцевого кондиціювання (зволоження)

- запропонований в магістерській роботі спосіб процесу кінцевого кондиціювання шляхом випаровування води з влаштованого в термокамері водяного басейну показав високу ефективність ;
- швидкість зволоження термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів даним способом в 2-3 прискорює процес в порівнянні з використанням подачі пари з парогенератора в простір термокамери;
- обґрунтоване значення температура в процесі кінцевого кондиціювання на рівні 95-98°C;
- встановлені залежності середньої і пошарової вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів від тривалості процесу кондиціювання (зволоження);
- рекомендовані значення тривалості кінцевого кондиціювання термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів в залежності від подальших умов експлуатації виробів з термодеревини.

3. Охорона праці

3.1. Правила техніки безпеки роботи з термокамерою.

Правила техніки безпеки в процесі експлуатації термокамери для виготовлення термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів регламентуються державним стандартом ДСТУ 12.0.003-2014*. ССБТ. Згідно цього стандарту до особливо небезпечних і критично шкідливих факторів які створюють умови праці працівників з камерою для термооброблення відносяться:

- завантажувально-розвантажувальні пристрої які використовуються для завантаження і розвантаження термокамери для виготовлення термічно модифікованих пиломатеріалів;
- спалювач відходів подрібненої деревини з шнеком для подачі палива і вентилятором піддуву повітря;
- процес горіння відходів деревини в спалювачі;
- вентилятор який використовується для транспортування і викиду в навколишнє середовище топкових газів спалювача через труби-калорифери термокамери і басейна з водою який використовується для утворення пари в процесі кінцевого кондиціонування (зволоження) термічно модифікованих пиломатеріалів;
- вентилятори термокери які використовуються для забезпечення рівномірності температурного поля в термокамері в процесі термічної модифікації;
- шум і вібрації двигунів приводу вентиляторів які знаходяться ззовні термокамери;
- система наповнення водою басейну термокамери і пристрої для забезпечення необхідного рівня води в басейні в процесі кінцевого кондиціонування.

Для забезпечення нормальних санітарно-технічних умов роботи працівників в приміщенні оператора необхідно влаштувати припливно-витяжну вентиляцію і систему опалення.

При роботі з вище приведеними механізмами працівники повинні дотримуватися елементарних і безпечних умов праці.

3.2. Пожежна безпека роботи термокамери

Монтаж, запуск і експлуатація спалювача може здійснюватися тільки після дотримання наступних правил:

- При першому запуску і після довготривалих переривів в роботі спалювача необхідно дотримуватися особливих заходів безпеки. Обслуговуючий персонал повинен користуватися рукавицями і захисними масками.
- Підключення спалювача до електромережі повинен виконувати кваліфікований персонал. Не допустимі зміни в схемах підключення і управління.
- не дозволяється відкривати кришку спалювача під час його роботи так як це може привести до опіків обслуговуючого персоналу.
- забороняється знаходитися під кришкою спалювача коли вона і відкритому стані бо може відбутися обвал футировки і поранення обслуговуючого персоналу. Поворот кришки виконувати тільки після її повного відкриття і від'єднання від ущільнювача.
- забезпечити правильну роботу кінцевого вимикача і датчика максимальної температури. Їх неправильна робота може привести до пошкодження спалювача.
- весь комплекс необхідно перевірити на ефективність заземлення. Періодичність перевірок повнна відповідати діючій інструкції.
- в місцях всіх примикань повинна бути забезпечена щільність з'єднанн. Виділення газів або диму не допускається.

- приміщення де працює спалювач повинно бути сухим, добре освіченим і обладнане системою природньої вентиляції.
- комплекс повинен працювати тільки з справною системою пожежогасіння.
- для приміщення де працює спалювач повинно бути забезпечений природній приплив повітря.
- біля спалювача повинна знаходитися інструкція з техніки безпеки і пожежної безпеки.

3.3. Екологічна безпека роботи камери з термічної модифікації

Використання спалювача для нагрівання термокамери шляхом проходження топкових газів через труби-калорифери термокамери створює певні загрози з точки зору екологічного навантаження. Димові гази спалювача містять частинки подрібненої деревини які догоряють в трубах-калориферах термокамери. Така ситуація може спричиняти виділення іскор з димової труби. Для уникнення цього явища перед вентилятором топеових газів необхідно встановити вловлювач іскор і даліше фільтр для очищення топкових газів від залишків подрібненої деревини яка не повністю згоріла, сажі і золи. Влаштування іскргасника і фільтра дозволить повністю очистити топкові газа без нанесення шкідливих викидів які поширюються в довкілля.

В процесі термічного модифікування в деревині відбуваються певні хімічні і фізичні зміни самої структури деревини які приводять до виділення певних легких летких речовин із характерним запахом. Розкладання лігніну та екстрактивних речовин деревини приводять до виділення фурфуролу і деревного оцту. Може мати місце виділення інших летких речовин через дренажну відвідну трубу і через примикання дверей термокамери до корпусу. Для вловлення даних речовин термокамеру доцільно оснастити хоча б водяним затвором (завісу) який буде встановлений на відвідній дренажній трубі. Даний пристрій дозволить очистити викиди з термокамери для термічного модифікування ясенових пиломатеріалів від вище приведених речовин.

Також позитивним конструктивних рішенням може бути влаштування після водного затвору спеціального фільтра регенеративного типу. Він представляє собою послідовне розміщення (сотового типу) де-кількох пористих перегородок, які мають високу ефективність очищення. Очисні перегородки виконані з пористого кордієрита, мають високі показники міцності і стійкість агресивних хімічних речовин, добре витримують температуру до 300°C без оплавлення і забезпечують термічну стабільність.

Також на підприємстві доцільно виконати інвентаризацію шкідливих джерел викиду в довкілля з врахуванням гранично допустимих встановлених норм з отриманням дозвілу на викиди шкідливих речовин термічного модифікування ясенових пиломатеріалів в оточуюче середовище. Даний дозвіл видає Державного управління охорони довкілля (навколишнього середовища).

На підприємстві доцільно розробити комплекс міроприємств з використання таких шкідливих речовин як фурфурол і оцтова кислота для виготовлення корисних продуктів які виготовляються на базі цих інгредієнтів.

Список використаних джерел

1. Андрашек Й. В. Мультимедійний конспект лекцій з дисципліни “Технологія сушіння і захист деревини” в форматі PDF. – Львів, 2023. – 675 с.
2. Андрашек Й.В., Максимів В.М., Петросюк О.М. Експериментальні дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2019. № Вип. 29(2), 120-123. <https://doi.org/10.15421/40290224>.
3. Андрашек Й.В, Кушпіт О.М., Петросюк О.М. Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня. Дев’ята міжнародна науково-практична конференція “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем”, Том 1. 14 - 16 травня 2019 р. м. Чернігів. С. 209-211
4. Андрашек Й.В, Петросюк О.М. Математична модель зміни вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. The 2nd International scientific and practical conference — Topical issues of modern science, society and education (September 5-7, 2021) SPC — Sci-conf.com.ua, Kharkiv, Ukraine. 2021. 624 p.- с. 137-143.
5. Андрашек Й.В., Петросюк О.М., Моделювання полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(1), 91-96. <https://doi.org/10.36930/40340113>
6. Андрашек Й.В., Курка Р.Р., Петросюк О.М., Реалізація математичної моделі розподілу полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(2), 116-123. <https://doi.org/10.36930/40340215>

7. Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Аналіз зміни механічних властивостей термічно модифікованої деревини клена (*Acer pseudoplatanus* L.) та ялини звичайної (*Picea abies* K.) шляхом дослідження її пористої структури. Науковий вісник НЛТУ: зб. наук. - техн. праць. – Львів : НЛТУ. – 2012. – Вип. 22.01. – С. 97-100.
8. Горбачова О.Ю. Термічне модифікування деревини граба: автореф. канд. техн. наук: спец. 05.23.06 – «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини». Київ, 2016. 24с.
9. Губер Ю.М., Ільків М.М., Гаврилюк Л.А. Експериментальні дослідження зміни кольору деревини ясена в процесі вакуумно-кондуктивного термічного оброблення. Науковий вісник НЛТУ України : зб. 133 наук.-техн. праць НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України, 2011. – №Вип.п21.8. – С.115-129.
10. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. – Львів: Панорама. – 228 с.
11. Кшивецький Б.Я., Дацків Г.М., Андрашек Й.В. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2019. Т. 25.9, №3 – С. 81-85.
12. Максимів В.М., Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Використання методу високочастотної денситометрії для оцінки зміни щільності деревини дуба при термічному модифікуванні в середовищі вуглекислого газу. Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. - техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – вип.10 – С.83-90.
13. Щупаківський Р.Б. Закономірності термічного модифікування деревини дуба у вуглекислому газі: дис. канд. тех. наук: 05.23.06. – Львів, 2013. – 164 с.

14. ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ Інженерне обладнання будинків і споруд ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ БУДИНКІВ І СПОРУД ДБН В.2.5-27-2006
15. ПРАВИЛА УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://misksvitlo.if.ua/wp-content/uploads/2015/09/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>
16. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : http://www.techno-cobalt.com.ua/up/files/normativna_baza/files/pozharka/napb.pdf
17. Про затвердження Типових норм належності вогнегасників (НАПБ Б.03.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0554-04>
18. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1410-04>
19. ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. ДБН В.2.5-28-2006 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>
20. Alen, R., Kotilainen, R., and Zaman, A. (2002). “Thermochemical behavior of Norwayт spruce (*Picea abies*) at 180 °C to 225 °C,” *Wood Sci. Technol.* 36(2), 163-171. DOI: 10.1007/s00226-001-0133-1
21. ASTM D1106-96 (2013). “Standard test method for acid-insoluble lignin in wood,” ASTM International, West Conshohocken, PA.
22. Bekhta, P., and Niemz, P. (2003). “Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability, and mechanical properties of spruce wood,” *Holzforschung* 57(5), 539-546. DOI: 10.1515/hf.2003.080

23. Bhuiyan, T. R., Hirai, N., and Sobue, N. (2000). "Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions," *Journal of Wood Science* 46(6), 431-436. DOI: 10.1007/BF00765800
24. Candelier, K., Thevenon, M. F., Petrissans, A., Dumarcay, S., Gerardin, P., and Petrissans, M. (2016). "Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: A review," *Ann. For. Sci.* 73(3), 571-583. DOI: 10.1007/s13595-016-0541-x
25. Kong, L., Zhao, Z., He, Z., and Yi, S. (2017). "Effects of steaming treatment on crystallinity and glass transition temperature of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*," *Results in Physics* 7, 914-919. DOI:10.1016/j.rinp.2017.02.017
26. Severo, E. T. D., Calonego, F. W., Sansígolo, C. A., and Bond, B. (2016). "Changes in the chemical composition and decay resistance of thermally-modified *Hevea brasiliensis* wood," *PLOS One* 11(3), e0151353. DOI: 10.1371/journal.pone.0151353
27. Wang, X., Wu, Z., Fang, L., Wei, P., Fei, B., and Liu, J. (2015). "Changes of chemical composition, crystallinity, and Fourier transform infrared spectra of *Eucalypt pellita* wood under different vacuum heat treatment temperatures," *Forest Prod. J.* 65(7-8),346-351. DOI: 10.13073/FPJ-D-13-00099
28. Zawadzki, J., Gawron, J., Antczak, A., Kłosińska, T., and Radomski, A. (2016). "The influence of heat treatment on the physico-chemical properties of pinewood (*Pinus sylvestris* L.)," *Drewno* 59(196), 49-57. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.135.04
29. Zielenkiewicz, T., Gawron, J., and Florczak, I. (2018). "An evaluation of the influence of heat treatment on the preservative retention in ash wood (*Fraxinus excelsior* L.)," *Drewno* 61(201), 1-9. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.205.01

Додатки

Додатки. Таблиця 2.1. Результати вимрювань кінцевої вологості термодеревини, $T=205^{\circ}\text{C}$, час витримки 24 год. Край.

	1	2	3	4	5	6
1	4,82	4,87	4,92	5,06	5,08	4,89
2	4,94	4,91	4,95	4,95	4,98	4,88
3	4,92	4,97	4,94	4,94	4,98	4,93
4	4,96	4,95	4,96	4,93	4,94	4,88
5	5,00	4,89	4,91	4,94	4,93	4,97

	-4,33	-4,61	-4,81	-4,05	-4,23	-4,54
	-4,5	-4,71	-4,62	-4,61	-4,57	-4,7
	-4,52	-4,38	-4,41	-4,37	-4,28	-4,4
	-4,42	-4,41	-4,36	-4,52	-4,51	-4,51
	-4,31	-4,6	-4,61	-4,51	-4,46	-4,49

$Y_{\max} =$	5,08
$Y_{\min} =$	4,82
$Y_c =$	4,934

2. Визначення величини інтервалів:

$N =$	30	
$K =$	5,7	8
$\Delta Y =$	0,03250	

1. Визначення найбільшого та найменшого значення вибірки:

Розрахунок проміжних показників

№ інт.	межі інтервалу		ср.знач. Y_i	частота m_i	$Y_i * m_i$	$(Y_i - Y_c)^2$	$(Y_i - Y_c)^2 * m_i$
	$Y_{ін}$	$Y_{ів}$					
1	4,82	4,85	4,84	1	4,84	0,010	0,010
2	4,85	4,89	4,87	4	19,48	0,004	0,017
3	4,89	4,92	4,90	4	19,61	0,001	0,004
4	4,92	4,95	4,93	10	49,34	0,000	0,000
5	4,95	4,98	4,97	9	44,70	0,001	0,010
6	4,98	5,02	5,00	1	5,00	0,004	0,004
7	5,02	5,05	5,03	0	0,00	0,010	0,000
8	5,05	5,08	5,06	1	5,06	0,017	0,017
$\Sigma =$	-	-	-	30	148,01	-	0,061

Таблиця даних для розрахунку координат кривої нормального розподілу

№	знач. Z	$Y_{л}$	$Y_{п}$	Y_0	$f(Y)$
1	0	4,93	4,93	0,40	8,46
2	0,1	4,93	4,94	0,40	8,42
3	0,2	4,92	4,94	0,39	8,29
4	0,3	4,92	4,95	0,38	8,09
5	0,4	4,92	4,95	0,37	7,81
6	0,5	4,91	4,96	0,35	7,47
7	0,6	4,91	4,96	0,33	7,07
8	0,7	4,90	4,97	0,31	6,64
9	0,8	4,90	4,97	0,29	6,15
10	0,9	4,89	4,98	0,27	5,71
11	1	4,89	4,98	0,24	5,13
12	1,1	4,88	4,98	0,22	4,62
13	1,2	4,88	4,99	0,19	4,12
14	1,3	4,87	4,99	0,17	3,64
15	1,4	4,87	5,00	0,15	3,18
16	1,5	4,86	5,00	0,13	2,76
17	1,6	4,86	5,01	0,11	2,35
18	1,7	4,86	5,01	0,09	1,99
19	1,8	4,85	5,02	0,08	1,68
20	1,9	4,85	5,02	0,07	1,40
21	2	4,84	5,03	0,05	1,15
22	2,1	4,84	5,03	0,04	0,93
23	2,2	4,83	5,03	0,04	0,76
24	2,3	4,83	5,04	0,03	0,59
25	2,4	4,82	5,04	0,02	0,47
26	2,5	4,82	5,05	0,02	0,37
27	2,6	4,81	5,05	0,01	0,29
28	2,7	4,81	5,06	0,01	0,22
29	2,8	4,81	5,06	0,01	0,17
30	2,9	4,80	5,07	0,01	0,13
31	3	4,80	5,07	0,00	0,09

3. Визначення дисперсії та середньоквадратичного відхилення:

$S^2 =$	0,002
$S =$	0,046

4. Визначення інтервалу розсіювання:

4,796	$\leq Y \leq$	5,072
-------	---------------	-------

5. Визначення коефіцієнту варіації:

$V =$	0,932
-------	-------

6. Визначення середньоквадратичної похибки середнього значення:

$S_y =$	0,008
---------	-------

7. Визначення показнику точності досліджу:

$P =$	0,170
-------	-------

8. Визначення інтервалу довіри для математичного сподівання генеральної вибірки:

4,91	$\leq M_y \leq$	4,95
------	-----------------	------

9. Визначення необхідної кількості дубльованих спостережень у кожному досліді основного експерименту:

$n_1 \Rightarrow$	6,56	при :	$p =$	1	$t =$	2,75
$n_2 \Rightarrow$	0,144	при :	$p =$	5	$t =$	2,04
$n_3 \Rightarrow$	0,025	при :	$p =$	10	$t =$	1,7

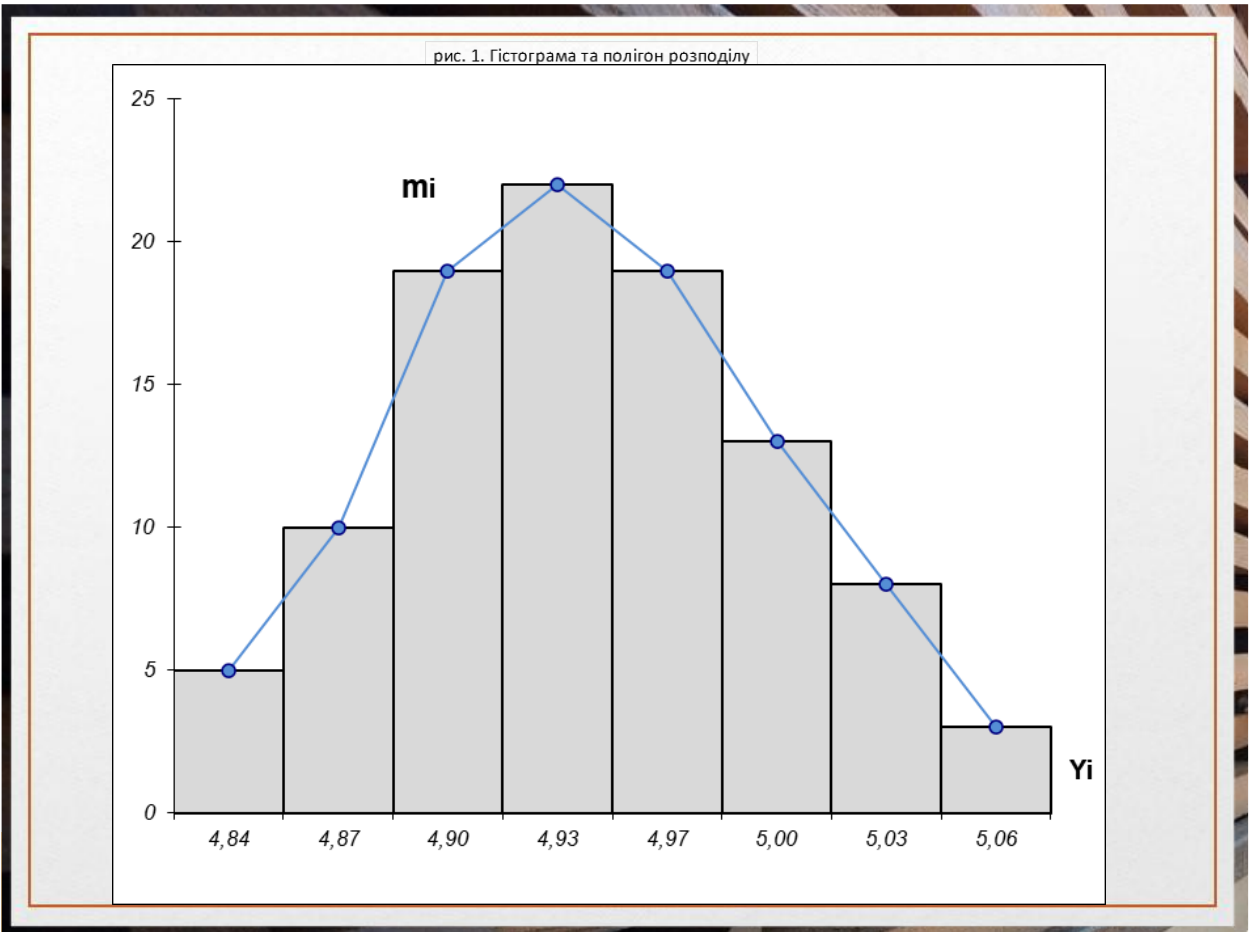
Перевірка нормальності розподілу за критеріями асиметрії й ексцесу

	$(Y_i - U_c)^3 \cdot m_i$	$(Y_i - U_c)^4 \cdot m_i$	m_i		
1	-0,001	0,000	1	A =	0,212132
2	-0,001	0,000	4	$\sigma_a =$	0,412417
3	0,000	0,000	4	[A/ σ_a] =	0,514363
4	0,000	0,000	10		Гіпотеза підтверджується
5	0,000	0,000	9	E =	0,583333
6	0,000	0,000	1	$\sigma_e =$	0,74858
7	0,000	0,000	0	[A/ σ_e] =	0,779253
8	0,002	0,000	1		Гіпотеза підтверджується

Перевірка нормальності розподілу за критерієм Пірсона

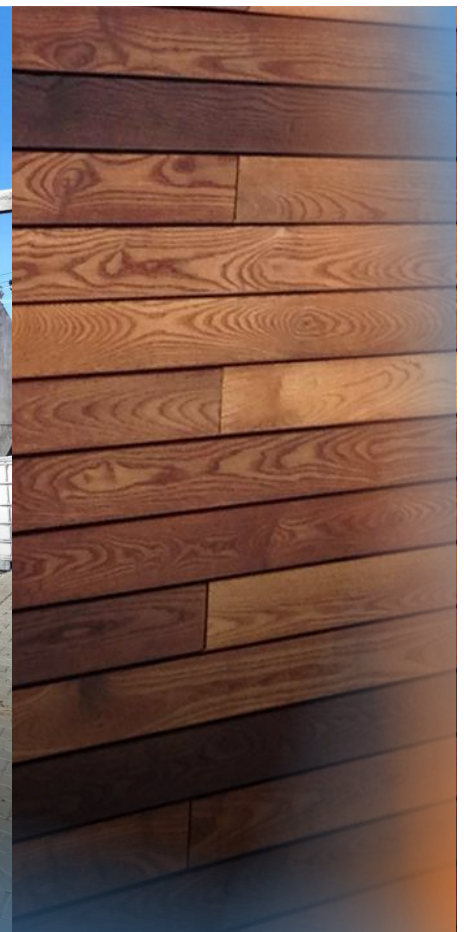
	U_{in}	U_{iv}	m_i	Z1	Z2	$\Phi(Z1)$	$\Phi(Z2)$	P_i	$P_i \cdot N$	$(m_i - P_i \cdot N)^2$	$(m_i - P_i \cdot N)^2 / P_i \cdot N$
1	4,82	4,85	1	-2,475	-1,768	-0,485	-0,447	0,037	1,116	0,01	0,01
2	4,85	4,89	4	-1,768	-1,061	-0,447	-0,358	0,090	2,691	1,713	0,64
3	4,89	4,92	4	-1,061	-0,358	-0,358	-0,199	0,159	4,776	0,60	0,13
4	4,92	4,95	10	-0,354	0,354	-0,199	0,012	0,211	6,315	13,58	2,15
5	4,95	4,98	9	0,354	1,061	0,012	0,221	0,209	6,27	7,45	1,19
6	4,98	5,02	1	1,061	1,768	0,221	0,372	0,151	4,515	12,36	2,74
7	5,02	5,05	0	1,768	2,475	0,372	0,454	0,083	2,475	6,13	2,48
8	5,05	5,08	1	2,475	3,182	0,454	0,487	0,033	0,993	0,00	0,00
											$\Sigma = 8,83$

λ розр. =	8,8	
для $q = 1\%$ λ табл. =	14,1	Гіпотеза підтверджується
для $q = 5\%$ λ табл. =	18,5	Гіпотеза підтверджується



Способи термічної модифікації деревини

Способи	Особливості процесу
Термо відкритий/сухий	атмосферний тиск; водяна пара працює як середовище захисту від займання. Під час термооброблення деревина знаходиться практично в абсолютно сухому стані.
Термо закритий/вологий	підвищений тиск до; тиск створюється в результаті випаровування вологи з деревини в замкнутій системі або шляхом додавання в термокамеру води на початку процесу.
Термо/вакуум	зменшення кисню в просторі термокамери шляхом відкачування повітря, понижений тиск до 0,015-0,025 Мпа.
Термо/Інертний газ	подача азоту або вуглекислого газу в простір термокамери (вміст кисню менше 2 %); діапазон температур 180...250 °С.
Термо/олія 2	масляна ванна закритого типу, олії рослинного походження; олія працює як кисневий бар'єр і як середовище для передачі тепла; просочення олією не глибоке (видаляється при струганні)

**3**

Розподіл кінцевої вологості термічно модифікованої деревини **сухим** способом



Способи вирішення проблеми:

- кінцеве кондиціювання;
- використання **вологого** способу термічного модифікування.

4

Мета роботи – дослідження процесу кондиціювання (зволоження) термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів водяною парою отриманою шляхом нагрівання води в басейні термокамери.

5

Об'єкт дослідження – технологічний процес кондиціювання (зволоження) термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів сухим способом..

Предмет дослідження – поля розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів за товщиною після проведення кондиціювання.

6

Задачі досліджень:

- *обґрунтувати рівень температури в термокамері в процесі кінцевого кондиціювання (зволоження);*
- *запропонувати методіку визначення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясена після завершення кондиціювання (зволоження);*
- *виконати аналіз розподілу кінцевої вологості термооброблених ясенових пиломатеріалів за товщиною в залежності від температури і тривалості кондиціювання;*
- *розробити технологічні рекомендації з проведення кінцевого зволоження запропонованим способом з влаштуванням басейну в термокамері.*

7

Втрата ваги та хімічні зміни термічно модифікованої деревини ясена

Контроль 160_3160_6 160_9 160_12 180_3 180_6 180_9 180_12 200_3 200_6 200_9 200_12

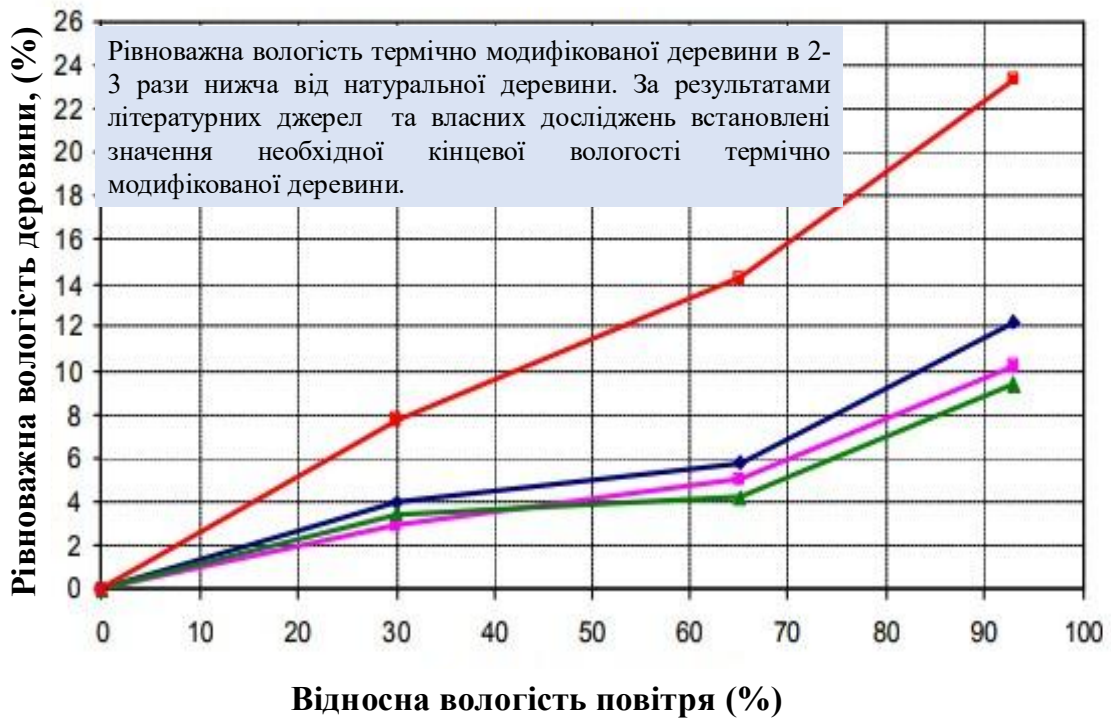
Температура (°C)	Час Лікування (год)	Втрата маси (%)	Екстрактні речовини (%)	Лігнін (%)	Голоцелюлоза (%)
20	-	-	3,80 ± 0,17 (3.80)	22,16 ± 0,32 (22.16)	79,53 ± 0,28 (79.53)
160	3	0,26 ± 0,15	3,59 ± 0,30 (3.58)	21,85 ± 0,69 (21.79)	78,11 ± 0,61 (77.91)
	6	1,44 ± 0,13	4,95 ± 0,39 (4.88)	21,14 ± 0,28 (20.84)	75,40 ± 0,16 (74.32)
	9	1,69 ± 0,21	4,21 ± 0,25 (4.14)	21,22 ± 0,34 (20.86)	74,77 ± 0,05 (73.51)
	12	1,95 ± 0,15	4,26 ± 0,42 (4.18)	21,17 ± 0,12 (20.76)	72,67 ± 0,48 (71.25)
180	3	2,92 ± 0,87	4,33 ± 0,53 (4.20)	22,19 ± 0,22 (21.54)	72,25 ± 0,27 (70.14)
	6	3,20 ± 0,82	4,56 ± 0,34 (4.41)	22,60 ± 0,29 (21.88)	70,84 ± 0,07 (68.57)
	9	4,60 ± 0,61	5,33 ± 0,42 (5.08)	23,05 ± 0,37 (21.99)	65,81 ± 0,09 (62.78)
	12	5,79 ± 0,53	5,42 ± 0,36 (5.11)	23,36 ± 0,14 (22.01)	62,12 ± 0,14 (58.52)
200	3	8,04 ± 0,85	6,86 ± 0,59 (6.31)	24,03 ± 0,11 (22.10)	60,89 ± 0,09 (56.00)
	6	13,91 ± 0,95	6,63 ± 0,47 (5.71)	28,27 ± 0,44 (24.34)	53,87 ± 0,14 (46.38)
	9	16,99 ± 0,43	6,26 ± 0,55 (5.20)	30,28 ± 0,26 (25.14)	56,70 ± 0,10 (47.07)
	12	18,48 ± 0,59	6,06 ± 0,61 (4.94)	30,84 ± 0,82 (25.14)	57,42 ± 0,31 (46.81)

Лікування		D-глюкоза (%)	D-ксилоза (%)
Температура (°C)	Час (год)		
20	-	40,30 ± 0,12 (40.30)	18,05 ± 0,12 (18.05)
	3	40,75 ± 0,22 (40.65)	17,33 ± 0,15 (17.29)
	6	39,76 ± 0,21 (39.19)	17,17 ± 0,16 (16.92)
	9	40,46 ± 0,19 (39.78)	16,40 ± 0,10 (16.12)
160	12	39,78 ± 0,24 (39.01)	15,59 ± 0,19 (15.29)
	3	41,39 ± 0,23 (40.18)	16,00 ± 0,23 (15.53)
	6	42,07 ± 0,32 (40.72)	15,45 ± 0,24 (14.96)
	9	42,22 ± 0,21 (40.28)	13,80 ± 0,21 (13.17)
180	12	42,04 ± 0,16 (39.61)	12,79 ± 0,25 (12.05)
	3	42,30 ± 0,21 (38.90)	12,30 ± 0,19 (11.31)
	6	42,11 ± 0,15 (36.25)	9,15 ± 0,25 (7.88)
	9	42,86 ± 0,29 (35.58)	8,75 ± 0,24 (7.26)
200	12	43,03 ± 0,48 (35.08)	7,08 ± 0,33 (6.36)

Примітка: Дані представляють середні значення ± стандартні відхилення; числа в дужках представляють середній відсоток сухої ваги до термічної обробки

8

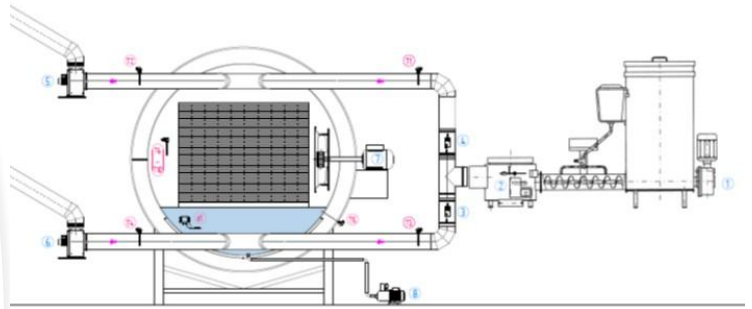
РІВНОВАЖНА ВОЛОГІСТЬ, ЯЛИНА



9

◆ 1h, T=220 °C ■ 2h, T=225 °C ▲ 3h, T=220 °C ■ Не оброблена

Термокамера
Long Life
Wood



10



11

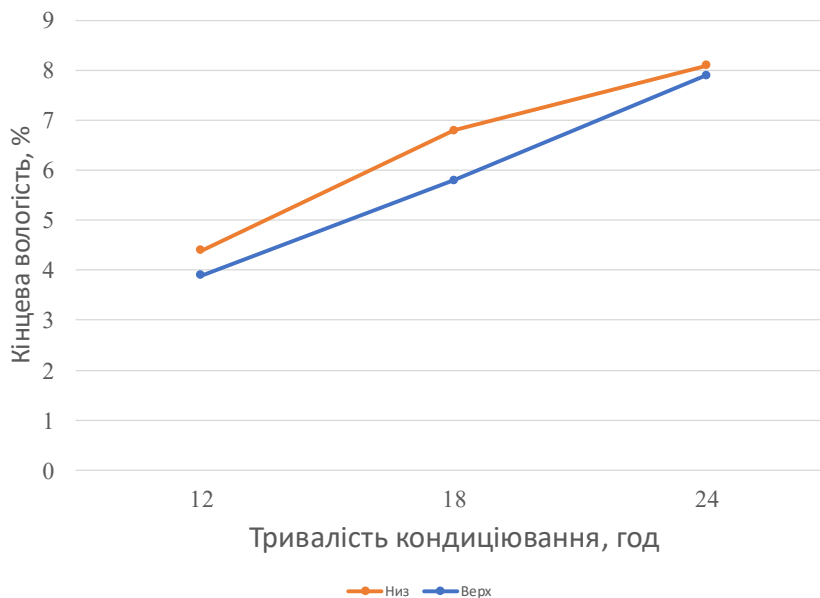
Проведення
експериментальних
досліджень



Зміна середньої кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів в залежності від тривалості кондиціювання

За довжиною термокамери	За висотою термокамери	Тривалість кондиціювання, год		
		12	18	24
біля дверей	низ	4,1	6,3	8,1
біля дверей	середина	3,7	5,9	7,9
біля дверей	верх	3,8	5,6	8,3
по середині	низ	3,9	5,7	8,4
по середині	середина	3,9	5,5	7,8
по середині	верх	3,6	5,1	8,2
в торці	низ	4,2	5,4	8,1
в торці	середина	3,9	5,2	7,6
в торці	верх	3,7	5,3	7,9

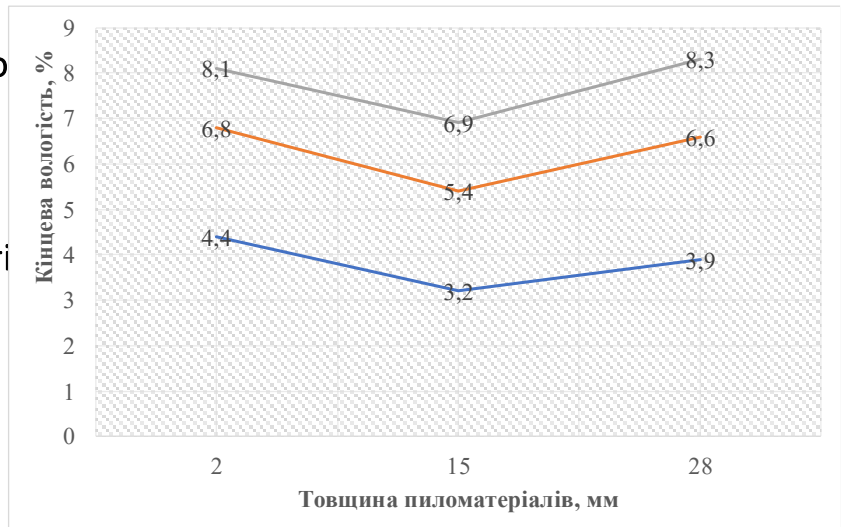
12



- Динаміка зміни кінцевої вологості термічно модифікованих ясенових пиломатеріалів
- за різної тривалості кондиціювання

14

Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих ясеневих пиломатеріалів за різної тривалості кондиціювання



Висновки

- запропонований в магістерській роботі спосіб процесу кінцевого кондиціювання шляхом випаровування води з влаштованого в термокамері водяного басейну показав високу ефективність ;
- швидкість зволоження термічно модифікованих ясеневих пиломатеріалів даним способом в 2-3 прискорює процес в порівнянні з використанням подачі пари з парогенератора в простір термокамери;
- обгрунтоване значення температура в процесі кінцевого кондиціювання на рівні 95-98°C;
- встановлені залежності середньої і пошарової вологості термічно модифікованих ясеневих пиломатеріалів від тривалості процесу кондиціювання (зволоження);
- рекомендовані значення тривалості кінцевого кондиціювання термічно модифікованих ясеневих пиломатеріалів в залежності від подальших умов експлуатації виробів з термодеревини.