НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технології меблів та виробів з деревини

Пояснювальна записка
до магістерської роботи
на тему: Дослідження процесу гнуття модифікованої карбамідом хвойної деревини

Виконав: студент 6 курсу, групи ДМТ-61м
Спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві технології»

_____Безущак І.В._____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____Грицак С.А._____
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Львів 2024 рік

Форма № Н-9.02

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут — Деревообробних технологій і дизайну

Кафедра деревини — Технології меблів та виробів з

Освітньо-кваліфікаційний рівень — Магістр

Спеціальність — 187 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри , проф.
_____ Кійко О.А.
"12" 07 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Безущак Іван Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу гнуття модифікованої карбамідом хвойної деревини

керівник роботи Грицак Степан Андрійович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від "12"07 2024 року № С-467

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2024

3. Вихідні дані до роботи Провести аналіз деформацій та напруг при гнутті хвойної деревини, аналіз способів пластифікації , встановити основні фактори, спланувати і провести експерименти, зробити висновки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання

2. Методика лабораторних досліджень гнуття хвойної деревини

3. Дослідження способу складного поперечного гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Стан питання	Грицак С.А.		
2. Методика проведення просочення карбамідом	Грицак С.А.		
3. Дослідження способу складного поперечного гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом	Грицак С.А.		

7. Дата видачі завдання 19.07.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
	1. Стан питання	01.09.2024	
	2. Методика проведення просочення карбамідом	20.10.2024	
	3. Дослідження способу складного поперечного гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом	15.11.2024	
	4. обробка результатів	25.12.24	
	5. Оформлення роботи	01.12.2024.	

Студент _____ Безущак І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Грицак С.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

В даній магістерській роботі проаналізовано вплив будови деревини на деформації та напруги, які виникають при гнутті. Проаналізовано методи пластифікації і обґрунтовано спосіб підготовки хвойної деревини до гнуття шляхом просочення розчином карбаміду. Розроблено методику досліджень, підготовку зразків, спроектовано установки для просочення і гнуття. Досліджено деформації, зміну пошарової густини деревини сосни та вплив вад на якість гнуття. Наведено дані про гнуття деревини модрини. Наведено висновки та практичні рекомендації щодо гнуття деревини хвойних порід.

Вступ 6
1. Стан питання 8
1.1. Аналіз деформацій та напруг при гнутті 8
1.1.1. Особливості процесу деформування деревини 8
1.1.2. Вплив анатомічної будови деревини на деформативність 10
1.1.3. Впливи субмікроскопічної будови деревини на деформаційні властивості
1.2. Аналіз способів пластифікації 16
1.3. Особливості підготовки деревини хвойних порід до гнуття 21
1.3.1. Процеси деформування деревини під час гнуття 21
1.3.2. Способи підготовки деревини до гнуття 21
1.4. Висновки 27
2. Методика лабораторних досліджень гнуття хвойної деревини 28
2.1. Матеріали та підготовка зразків 28
2.2. Методика проведення просочення карбамідом 29
2.3. Проведення гідротермічної обробки деревини 34
2.4. Експериментальна гнутарна установка 35
2.5. Методика проведення гнуття деревини 38
3. Дослідження способу складного поперечного гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом 40
3.1. Дослідження впливу поглинання карбаміду на величину залишкової деформації деревини при стисканні вздовж волокон. 40
3.2. Вплив термохімічної пластифікації на деформативність. деревини 42
3.3. Вплив вад деревини на якість гнуття 48
3.4. Дослідження процесу гнуття деревини модрини 52
Висновки 54
Список використаних джерел 55
Додатки 58

ВСТУП

Аналіз стану вітчизняної деревообробної промисловості свідчить про збільшення обсягів переробки масивної деревини у виробництві меблів, оздоблювальних та композиційних матеріалів, а також вікон, дверей та інших будівельних конструкцій. Разом з тим, простежується тенденція уникнення стандартних прямолінійних форм у дизайні даних видів продукції. На ринку з'являються вироби, що мають криволінійні поверхні.

Основним способом виготовлення даних видів продукції з масивної деревини в даний час є операція фрезерування. При реалізації цього виду обробки виникає низка серйозних проблем пов'язаних із базуванням [2, 17, 23]. Перерізання волокон деревини в ході обробки є причиною зниження міцності готового виробу. Головним недоліком профільного фрезерування є велика кількість відходів, що утворюються при даному способі обробки.

Друге вирішення проблеми отримання криволінійних поверхонь, не тільки в одній площині, а й у кількох площинах при порівняно низьких витратах матеріалу та праці, є використання операції гнуття [2. 10, 11].

Відомі технології гнуття розроблені стосовно твердолистяних порід [17, 20, 23]. Підвищення деформативності деревини досягалося гідротермічною обробкою шляхом пропарювання чи проварювання. Це дозволяє отримати співвідношення товщини (h) заготовки до радіусу загину (R) у бука – 1/4, дуба – 1/5, берези – 1/5,7 [2]. Такі радіуси достатні, так як для деревообробки потрібне відношення h/R = 1/6. При використанні хвойної деревини в даних технологіях, вдається досягти співвідношення у сосни h/R =1/11, у модрини h/R =1/12 [2, 10, 11], що практично виключає можливість використання хвойної деревини для гнуття.

У зв'язку з цим вибір теми досліджень, пов'язаної з розробкою технології гнуття деревини хвойних порід, із мінімальним співвідношенням товщини заготовки до радіусу загину є актуальним.

Наукова новизна. У роботі вперше отримано такі наукові результати:

- встановлено причини низької деформативності хвойної деревини;

- доведено можливість її підвищення за рахунок термохімічної модифікації;

- досліджено вплив основних вад на процеси деформування при гнутті пластифікованої хвойної деревини;

Практична цінність роботи:

- розроблено технологію, що дозволяє використовувати хвойну деревину при виготовленні гнутих заготовок для виробництва меблів та деталей інтер'єру.

- сформульовано вимоги до якості вихідної сировини для виготовлення гнутих заготовок.

Мета роботи:

Мета цього дослідження полягає у розробці наукових і практичних засад технології гнуття хвойної деревини.

Завдання роботи:

1. Встановити причини низької здатності хвойної деревини до гнуття та визначити можливі шляхи її підвищення.

2. Розробити спосіб пластифікації хвойної деревини для гнуття.

3. Дослідити вплив технологічних факторів на якість гнуття хвойної деревини.

4. Вивчити вплив основних вад хвойної деревини, що впливають на якість гнуття та сформулювати вимоги до вихідної сировини.

Обсяг та структура магістерської роботи. Магістерська робота має об'єм 55 сторінок машинописного тексту, містить 19 малюнків, 6 таблиць, список літературних джерел із 31 найменування та складається із вступу та Зрозділів, висновків та 4 додатків

1. Стан питання

1.1. Аналіз деформацій та напруг при гнутті

1.1.1. Особливості процесу деформування деревини

Автор роботи [83], на підставі даних експериментальних досліджень, зробив висновок, що при поперечному згині деревини виникають нормальні до поперечного перерізу напруги: що розтягують на опуклій і стискають на увігнутій стороні.

Між зонами розтягування та стиснення знаходиться нейтральний шар, у якому нормальні напруження незначні. Оскільки величина нормальних напруг змінюється по перерізу, виникають напруги, що сколюють, що прагнуть зрушити одні шари деталі щодо інших. У роботах стверджується, що деформація зсуву в деревині неможлива, вигин супроводжується розтягуванням матеріалу на опуклій стороні деталі і стисненням - на увігнутій. Величина деформацій розтягування і стиснення, що виникають, залежить від співвідношення товщини бруска до радіуса загину [17].

У процесі гнуття деформації розтягування та стискування протікають одночасно, але не по всьому перерізу бруска, а лише на ділянці безпосереднього контакту бруска з шаблоном [2].

Вільний вигин деревини супроводжується руйнуванням - як розрив зовнішніх розтягнутих шарів. Автор роботи [2] пояснює це тим, що допустима величина деформації розтягування у деревини дуже мала, згідно з діаграмою отриманої І.І. Леонтьєвим (рис. 1.1) від 1 до 2 %, тоді як межа деформації стиснення становить від 15 до 25 %.

Рис. 1.1. Діаграма напруг та деформації деревини при гнутті за Леонтьєвим І.І.

У тому випадку коли робота деформацій розтягувань досягає максимального значення (площі I), рівна їй площа роботи деформації стиснення становить лише незначну частину від можливої. При зменшенні радіуса вигину напруги розтягування і деформації, що викликаються ними, перевищують граничні значення, що призводить до розриву зовнішніх волокон і зламу бруска, в той час як деформації стиснення повністю не використовуються [2].

І.І. Леонтьєв, припускає, що брусок прямокутного перерізу вигнутий по дузі кола і що деформації прямо пропорційні напругам, а нейтральний шар знаходиться в середині бруска. За допомогою простих арифметичних перетворень вивів формулу 1, за допомогою якої, знаючи максимальні деформації при стиску та розтягуванні, можна визначити максимальне співвідношення товщини заготовки до радіусу загину.

$$H/R = (Ep - Ec) / (1 - Ec) \quad (1)$$

Підставивши в отриманий вираз значення допустимих деформацій розтягування та стиснення (Ep і Ec), на думку авторів робіт [17] можна визначити максимально можливі значення h/R для різних порід.

Виведене вище ставлення дійсне для матеріалів, у яких опори розтягуванню та стиску рівні. При більшому опорі матеріалу розтягуванню нейтральна лінія зміщуватиметься до опуклої сторони, що спостерігається у деревини.

Ф. П. Белянкін на основі своїх експериментальних та теоретичних досліджень запропонував епюру напруг граничного стану деревини при вигині. У зоні розтягування деревина розглядається як пружне тіло при цьому деформації і напруги лінійно залежні.

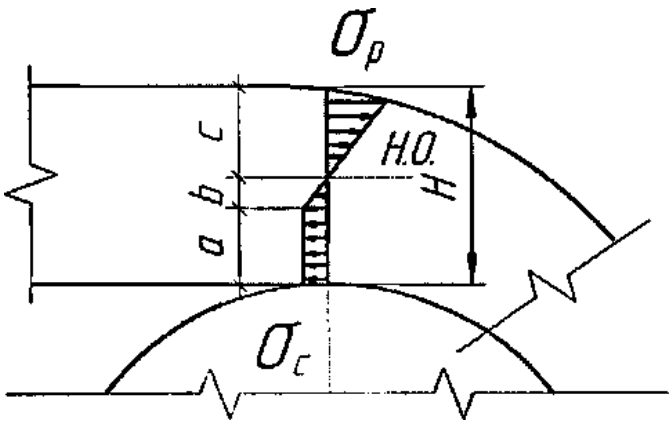


Рис. 1.2. Епюра нормальних напруг при згинанні бруска [9]

σ_p - межа міцності деревини при розтягуванні вздовж волокон, σ_c - межа міцності деревини при стисканні вздовж волокон, а - висота пластичного ядра стисненого пояса, В - висота пружної зони стисненого пояса, С - висота пружної зони розтягнутого пояса.

Крайні стислі волокна, переходять у пластичний стан, при напругах рівних межі міцності. Це проявляється у вигляді складок, що утворюються на увігнутій поверхні. Величина усунення нейтральної осі у бік зони розтягування при гнутті збільшується з підвищенням температури та вологості деревини. Теорія, розроблена Ф.П. Бєлянкіним, узгоджується з результатами експериментальних досліджень [17], які проводилися на деревині бука. Слід зазначити, що отримані рекомендації для гнуття деревини використовувалися тільки для даної породи, яка на відміну від хвойної деревини має однорідну будову і може розглядатися з позицій механіки пружнопластичного напруженого тіла?

1.1.2. Вплив анатомічної будови деревини на деформативність

Зміна мікроструктури деревини при деформуванні досліджувалося рядом вітчизняних та зарубіжних вчених, таких як В.Є. Москальова, В.А. Баженов, В.Є. Вихров, П.М. Хухрянський, В.Ф Ушанов, А. Вардроп та ін.

Розглянемо коло питань пов'язаних з відмінностями в анатомічній будові твердолистяних (що легко піддаються загину) та хвойних порід. У хвойної деревини річні шари складаються з яскраво виражених зон ранньої та пізньої деревини, що відрізняються відповідно зниженими та підвищеними механічними властивостями. За однієї й тієї щільності фізичні і фізико-механічні властивості цих порід немає істотних відмінностей . Але за здатністю до гнуття принципово різняться.

П.М. Хухрянський, вказує на те, що у хвойної деревини при стисканні вздовж волокон після невеликої осьової деформації міцні, що складаються з пізньої деревини, пластинки швидко втрачають стійкість. У деревини дуба цього явища немає. Пояснюється це тим, що пластини пізньої деревини, що мають підвищену міцність, пов'язані між собою широкими і товстими стрічками серцевинних променів. Ці особливості деревини дуба визначають значну осьову деформацію. Сосна має менше серцевих променів, ніж у дуба, і, крім того, вони у сосни дрібні, отже, у сосни річні шари пов'язані між собою слабо, а у дуба, навпаки, міцно [23]. Дане пояснення низької деформаційної здатності хвойної деревини викликає сумніви.

З ряду джерел [1, 22] відомо, що серцевинні промені в деревині листяних порід складаються з паренхімних клітин і виконують функцію, але при цьому, на думку В.Є. Москальовий мають високу деформативність (пластичність) і низьку міцність. У хвойних порід вони займають від 5 до 10% загального обсягу деревини. Серцеві промені у таких деревних порід як сосна, модрина, ялина, автор роботи, [1] відносить до типу різнорідних, тобто. вони складаються з двох видів клітин, різних не тільки на вигляд, але і за функціями. На нижній межі цих променів знаходяться променеві трахеїди, які, на думку більшості дослідників [22, 24], мають більш високі показники міцності, ніж деревна паренхіма.

Вище представлені дані про будову та функції серцевинних променів дозволяють сказати, що їх здатність утримувати пізню деревину річного шару при

загині деревини дуба і сосни, не визначає низьку деформативність хвойної порід при гнутті.

Для технології гнуття, як ми вже зазначали, найбільш придатна деревина бука, що відноситься до класу розсіяно-судинних порід. Як ми говорили дана деревина характеризується однорідною будовою, рівномірно розподіленими за обсягом судинами, як ранньої, такі у пізньої деревині. Зміна фізико-механічних властивостей по ширині річного шару незначна. У хвойних порід відмінність у будові, а також у хімічному складі трахеїд пізньої та ранньої деревини річного шару позначається на показниках фізико-механічних властивостей. Щільність ранньої деревини річного шару істотно відрізняється від пізньої, так у сосни в 2,5 – 3 рази, у модрини сибірської у 3,5 – 4 рази. Внаслідок руйнування при гнутті зоні розтягнення відбуваються по ранній деревині, що на думку авторів роботи [9], визначає її низьку деформативність.

1.1.3. Впливи субмікроскопічної будови деревини на деформаційні властивості

Деревина складний композиційний матеріал, в якому армуючі елементи (целюлозні мікрофібрили) занурені в аморфну полімерну матрицю [29]. У процесі деформування в деревині відбуваються внутрішні перебудови. Для підвищення пластичності необхідно забезпечити можливість взаємного переміщення мікроструктурних елементів клітинних стінок. В даний час загальноприйнято вважати, що композиційна система окремих шарів клітинних стінок і механічні властивості деревини визначаються в основному кількістю та орієнтацією мікрофібрил целюлози.

Розглянемо докладніше питання впливу субмікроскопічної будови деревини на її деформаційні характеристики.

У роботах [1, 22] вказується, що деревина може перебувати у двох фізичних станах - заскленому та високоеластичному, що обумовлюються двома фізичними станами орієнтованої природної целюлози середнього шару вторинної оболонки клітинної стінки.

Ю.М. Іванов виділяє дві області деформування деревини при зростаючих напругах. У першій області деревина при вологості в межах від 0 до 12 % характеризується пружними деформаціями, які при циклічному навантаженні практично не збільшуються. Друга область зумовлена інтенсивним розвитком деформацій у часі, із швидким збільшенням залишкової деформації. Кордон областей автор роботи називає межею пластичного течії, величина якого знижується зі збільшенням тривалості дії навантаження.

Натуральна деревина знаходиться у стані засклення. Повітряно-суха деревина при накладенні силового поля в другій області залишається в стані засклення і при цьому виявляються вимушені еластичні деформації, що характеризуються збільшенням залишкової деформації та деяким зниженням пружного модуля. В.А. Баженов, Н.Л. Леонтьєв пояснюють цю поведінку деревини більшою ймовірністю (в умовах зближеного розташування молекулярних ланцюгів целюлози в склоподібному стані) наближення полярних груп сусідніх ланцюгів з подальшим їх блокуванням. З таким поданням механізму вимушеної еластичної деформації узгоджується, на думку дослідників [12] термозворотний характер залишкової деформації, що виникає при цьому: при нагріванні в результаті теплової активації відбувається дисоціація і перерозподіл зв'язків, повернення ланок і ділянок ланцюгів у колишнє положення, з відновленням початкової форми зразка.

Набрякла деревина при накладенні силового поля в другій області виходить із природного стану засклення, переходячи в стан високої еластичності. Автор роботи [12] вказує на те, що перехід деревини у високоеластичний стан має такі особливості: а) для його реалізації одного підвищення температури і пластифікації недостатньо, а необхідна дія в часі на набряклу деревину силового поля певної інтенсивності; б) перехід у цих умовах стійко зберігається; в) в результаті цього переходу набувається різний ступінь високої еластичності, що залежить від частки високо-еластичної деформації, отриманої в процесі деформування набухлої деревини в другій області.

У роботі [12] високоеластичний стан набряклої деревини, пояснюється тим, що при додатку силового поля, можливий «орієнтуючий ефект» ланцюгів целюлози. Зняття навантаження знімає цей ефект, чим ускладнює відновлення зв'язків. Блокування полярних груп молекулярних ланцюгів (роз'єднаних при розриві зв'язків) зменшується в умовах нових перегрупувань ланок та ділянок ланцюгів при розвантаженні, що спричиняє підвищення концентрації порушених зв'язків. Значний вплив розбухання, автори робіт [9, 15] пояснюють ослабленням міжмолекулярної взаємодії ланцюгів целюлози. Це узгоджується з результатами досліджень, наведених у роботах [15]. Непрямим показником деформаційної здатності деревини є величина набухання [21].

У ряді робіт [21, 22, 26], стверджується, що величина набухання, прийнята за непрямий показник еластичності деревини значно залежить від вмісту та властивостей целюлози, і в більшій мірі від вмісту геміцелюлоз. В.М. Сергєєва у своїй роботі [21] наводить дані про те, що при видаленні 21,5% геміцелюлоз залишкова деформація в деревині досягає величини 52%. Це дозволяє говорити про те, що целюлозна частина може впливати на деформаційні властивості деревини.

Головною відмінністю лігновуглеводних комплексів деревини листяних та хвойних порід, на думку дослідників, є співвідношення лігніну та нецелюлозних вуглеводів. Згідно з проведеним аналізом робіт [1], хвойні породи містять більше лігніну - від 27 до 30%, але менше геміцелюлоз - від 20 до 25%, ніж листяні породи, відповідно від 18 до 24% і від 25 до 35%.

Визначенням концентрації лігніну в клітинній стінці займався ряд дослідників [31]. В результаті було встановлено, що основна маса лігніну знаходиться у вторинному шарі клітинної стінки, де його частка у хвойних порід становить у середньому близько 25 % маси шару, а у листяних порід від 12 до 15 % [1].

Підвищена концентрація лігніну в матриці деревини хвойних порід обумовлює підвищену щільність загальної Л-сітки в матриці, тобто сітчастий лігнін хвойної деревини містить більше зв'язків між сусідніми глобулами, ніж у

деревині листяних порід [29]. Дослідження, проведені в роботі, свідчать про те, що щільність даної сітки у хвойної деревини більш ніж у 2 рази вище, ніж у листяної деревини, причому питома вага складноефірних зв'язків ЛУ-сітки в 2 рази менше. Автор роботи [24], пояснює підвищену щільність лігніну у хвойних порід вищою функціональністю гваяцилпропанових одиниць, в порівнянні з сірингілпропановими у листяних. Найменша щільність сітки лігніну листяної деревини підтверджується його більш високою реакційною здатністю порівняно з лігніном хвойних порід, а також низькою температурою розм'якшення [18].

Гравітіс Т.А. та Калніньш В.А. вказують на те, що для підвищення пластичності деревини, необхідно порушення будови однієї або декількох сіток матриці.

Цілеспрямованим хімічним руйнуванням окремих сіток П.П. Еріньш встановив, що Л - сітка в основному визначає жорсткість матриці, ЛУ - сітка її еластичність. Відповідно для підвищення пластичності необхідне руйнування ЛУ і Л-сіток.

Підсумовуючи можна сказати, що основною відмінністю між хвойною і листяною деревиною, є структура та властивості полімерної матриці. Разом з тим, очевидно, що причиною низької здатності хвойних порід до згинання є підвищена жорсткість та опірність матриці стиску. Необхідно відзначити, що основна відмінність матриць визначається властивостями лігніну. Це дозволяє висунути припущення, що основний вплив на якість гнуття хвойної деревини надає даний компонент. Щільна сітка лігніну вторинного шару клітинної стінки обумовлює підвищену сумарну щільність сіток лігновуглеводної матриці, що перешкоджає внутрішнім перебудовам елементів клітинної стінки при деформуванні.

1.2. Аналіз способів пластифікації

Аналіз літературних джерел [2, 21] дозволяє виділити 3 групи способів пластифікації деревини:

1. Гідротермічна обробка: пропарювання, проварювання;

2. Термомеханічні методи пластифікації.

3. Хімічна пластифікація: просочення хімічними реагентами;

1.2.1. Гідротермічна обробка

Традиційно для покращення пластичності деревини використовувалися два способи її гідротермічної обробки, а саме проварювання та пропарювання. Сьогодні дані операції використовують у процесах отримання струганого та лущеного шпону, а також рекомендуються для підготовки заготовок з масивної деревини до гнуття та пресування.

Автори робіт [8, 12] стверджують, що деревина набуває найбільшої пластичності тільки від спільного впливу нагріву деревини і вологи, що міститься в ній. Нагрівання сухої деревини без її зволоження не надає майже ніякого впливу на залишкову деформацію. У ряді робіт [28] це пояснюється тим, що волога в деревині виконує роль мастила між елементарними фібрилами целюлози, впливаючи на коефіцієнт внутрішнього тертя деревини.

У деревинознавстві під терміном «пластичність» прийнято розуміти здатність деревини змінювати свою форму без руйнування під впливом зовнішніх сил і зберігати цю форму після припинення дії цих сил [1 22]. На думку автора роботи [22, пластичні деформації у деревини набувають значення стійкої величини за наявності значного коефіцієнта внутрішнього тертя. Із зменшенням цього коефіцієнта пластичні деформації втрачають своє стійке положення і переходять у пружні, відновлюючи після стиснення первісну форму деревини.

У роботах [2, 8] рекомендується вважати оптимальним наступний розподіл температури за товщиною бруска перед гниттям:

- у найбільш стиснутій та розтягнутій зонах бруска максимальна температура (близько 100 °С);

- температура деревини по нейтральній лінії вигину повинна становити близько 70 °С.

Зниження температури в порівнянні з наведеним станом показує, що брусок недогрітий, підвищення - брусок перегрітий. Внаслідок відхилення від оптимального температурного стану можуть виникати складки та внутрішні руйнування деревини.

Середовище, яке може забезпечити такий стан деревини, на думку Леонтьєва І.І. є лише насичена пара. При проведенні пропарювання необхідно враховувати початкову вологість деревини, яка повинна бути в межах від 25 до 30%. При необхідності пропонується збільшувати час пропарювання деревини з нижчою вологістю [2].

Таблиця 1.1. Тривалість пропарювання заготовок завтовшки 60 мм при тиску пари від 0,3 до 0,5 МПа [63]

Початкова вологість брусків перед пропарюванням, %	Тривалість пропарювання, хв при гнутті
20	80
22	70
25	60
28	50
30	40

Б.С. Чудінов, стверджує, що при пропарюванні в середовищі насиченої пари швидкість нагріву деревини в кілька разів вище швидкості зволоження, її поверхні і перед, гнуттям деревину з вологістю нижче за межу насичення клітинних стінок раціонально попередньо зволожувати до процесу пропарювання. Це дає можливість уникнути перегріву деревини (вкрай небажаного при гнутті), скоротити витрату пари та підвищити продуктивність пропарювальних установок [17].

Автори роботи [2], ґрунтуючись на тому, що при гнутті з шиною неминуче зміщення нейтральної лінії від осі симетрії у бік зони розтягування і

рекомендують при підготовці хвойної деревини до гнуття з шиною, укладати заготовки парами, так щоб ті сторони, які при загині будуть розтягнуті, щільно прилягали один до одного. Це може забезпечити, на їхню думку, мінімальну температуру на нейтральній лінії, отже, максимальну міцність у зоні дотичних напруг.

У роботі [17] рекомендується з метою підвищення пластичних властивостей деревини перед гнуттям, проводити просочення водою з температурою близько 100° С під тиском. Застосування цієї операції ефективно при підготовці до гнуття заготовок з вологістю нижче за межу насичення клітинних стінок. Збільшення пластичності деревини у даному випадку пов'язані з насиченням клітинних стінок і одночасним прогріванням деревини. Попереднє проварювання дає деревині надмірне зволоження, що викликає підвищені терміни сушіння гнутих заготовок.

На думку автора [17], правильно встановлений режим гідротермічної обробки заготовок з урахуванням породи, товщини і радіусу вигину, швидкості гнуття початкової вологості і дотримання встановленої технології призводять до зниження браку при гнутті і дозволяють підвищити продуктивність гнутарного обладнання.

1.2.2. Термомеханічна пластифікація деревини

В.В. Денисенко пропонує спосіб термічної обробки, заснований на нагріванні та просоченні деревини в мінеральному маслі, підігрітому до температури від 40 до 60° С. Витримка у ванні триває від 24 до 48 годин. Потім температура олії доводиться до 120° протягом 2 годин, після чого підігрів припиняється і заготовки залишаються у ванні на 15 годин до їх охолодження. Після цього заготовки завантажуються у ванну з олією, підігрітою до 160° С, і витримуються протягом 1,5 години. Підігріті заготовки механічно ущільняють при питомому тиску від 1,50 до 2 МПа і в ущільненому стані охолоджуються в пресі [2].

Проведені в Тюменській державній сільськогосподарській академії експериментальні дослідження способу сухої пластифікації деревини струмами високої частоти показали, що дана підготовка може використовуватися в технології гнуття. При використанні промислової установки СВЧ температура 88° С досягається через 12 хвилин, а в мікрохвильовій печі - за 3хв. Вологість деревини становила на початок прогріву від 26 до 40 %, після - від 12 до 20 %. Даний спосіб нагрівання ефективніший, ніж гідротермічна обробка, але при цьому для отримання гнутих профілів із заготовок необхідно проводити пресування в установках з теплоізольованими елементами (матриця і пуансон).

1.2.3. Хімічна пластифікація

Одним із напрямків поліпшення деформативності деревини є використання пластифікаторів. Шляхи вирішення питання про надання деревині підвищеної деформативності інтенсивно вишукували в період із 40-х по 50-ті роки в нашій країні, США і Англії [25].

В основу робіт у США та Англії було покладено спостереження Лафборо. За цим способом букова деревина просочується 40% водним розчином сечовини за способом холодної ванни до повного поглинання і сушиться при температурі близько 60° С [17] .

Повітряно-суха деревина, просочена сечовиною, піддається при температурі 100 гнуттю на відповідних формах.

В роботі [25] вказується на те, що просочена сечовиною деревина в сухому стані має такі ж межі міцності на стиск і розтяг, як і необроблена деревина, але відрізняється більшою твердістю та жорсткістю. Однак ці властивості деревини при її нагріванні до температури від 60 до 70 ° починають різко знижуватися, при цьому гнуті заготовки втрачають надану їм форму.

В УкрНДІМОДі розроблено спосіб термохімічної пластифікації деревини твердолистяних порід з метою підготовки букових заготовок для гнуття (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2. Режим термохімічної обробки букових заготовок у сечовині [25]

Режимний параметр	Розмір параметра
Концентрація розчину сечовини, %	25
Температура розчину, °С	106
Початкова вологість заготовок, %	від 25 до 35
Питома тривалість прогріву, хв/мм	від 1,5 до 3
Кінцева вологість заготовок після сушіння, %	від 8 до 10
Охолодження заготовок у шинах, год	2
Технологічна витримка після гнуття, год	Не менше 8

1.3. Особливості підготовки деревини хвойних порід до гнуття

1.3.1. Процеси деформування деревини під час гнуття

Матеріали першого розділу цієї роботи вказують на те, що використання гідротермічної обробки для пластифікації та подальше гнуття деревини з використанням більшості технічних рішень (рифлений шаблон, гнучка шина, рухомий торцевий упор), не дозволяє виготовляти з хвойних порід криволінійні елементи з необхідним співвідношенням h/R. Слід зазначити, що при гнутті даних деревних порід основним видом браку є складки і розшарування по річному шару [10]. І.І. Леонтьєв, та ін [23] стверджує, що знизити частку браку в процесі згинання можливо тільки за рахунок ущільнення зони заготовки, яка зазнає напруг розтягування вздовж волокон і використанням рифленого шаблону для зниження напруг стиснення.

Запропонована П.М. Хухрянським, концепція про те, що низька здатність до згинання хвойної деревини обумовлена зниженим вмістом серцевинних променів у порівнянні з твердолистяними породами, що легко гнуться, має ряд протиріч. Тим самим не дозволяє адекватно розглядати процеси, що протікають при згинанні хвойної деревини та визначити шляхи вирішення, які забезпечать її бездефектне гнуття. Для того щоб встановити причини низької здатності хвойної деревини до гнуття, необхідно вивчити питання, пов'язані з впливом основних хімічних компонентів деревини на деформативність деревини.

1.3.2. Способи підготовки деревини до гнуття

Як ми вже зазначали в першому розділі цієї роботи, найбільш поширеним способом підготовки деревини, до операцій гнуття, пресування є гідротермічна обробка. Даний вид обробки, на думку ряду дослідників [67, 108] призводить до часткової деструкції Н - сітки, що зменшує жорсткість деревини та дозволяє її пресувати з невеликими витратами енергії. Пояснюється це тим, що фізичні та водневі зв'язки між геміцелюлозами та лігніном розриваються за рахунок значного набухання гігроскопічних нецелюлозних вуглеводнів. Однак деформація, що виникає при цьому, є еластичною і зберегти її можна лише

відновивши і підвищивши щільність Н — сітки шляхом висушування деревини. Наступна обробка ущільненої деревини водою руйнує Н-сітку, що призводить до відновлення форми, якою деревина мала до ущільнення. Оборотність деформацій є наглядний і відомий факт. Як ми вже говорили, гідротермічна обробка хвойної деревини при підготовці до гнуття не доцільна. Це можна пояснити тим, що руйнування фізичних зв'язків між лігніном та геміцелюлозою, впливом водою та температурою не дозволяє знизити високу жорсткість матриці хвойної деревини, тим самим забезпечити переміщення арматури в ній.

В. Н. Єрмоліним та ін. експериментально встановлено, що як складники, що підвищують пластичність деревини, а саме величину її деформації при навантаженні, можуть використовуватися розчини з різним рівнем кислотності. При дії на хвойну деревину реагентів, що використовуються в целюлозно-паперовій промисловості з лужним середовищем, відбувається більше набухання деревини в усіх напрямках. Доведено, що величина набухання деревини пов'язана із її пластичністю. Використання відходів гідролізного виробництва, що представляють суміш спиртів і води, отримані проміжні значення величин набухання та деформації вздовж волокон [21]. Виходячи з цього можна зробити висновок, що на пластичність деревини можуть надавати широкий ряд хімічних речовин.

С. Р. Лоскутов вказує на те, що як пластифікатор може використовуватися диметилсульфоксид. Вплив даної низькомолекулярної сполуки призводить до набухання целюлози та геміцелюлоз. Якщо врахувати, що розбухання геміцелюлози супроводжується руйнуванням Н - сітки, можна сказати, що даний реагент не забезпечить необхідної пластичності хвойної деревини при гнутті [16].

Співробітниками інституту Хімії деревини Латвії встановлено, що деструкція лігніну в кислому середовищі призводить до значного підвищення деформаційних властивостей березової та ялинової деревини [24]. Але при цьому В.А. Цініте вказує на те, що залишкова деформація хвойної породи розвивається при меншому ступені набухання, ніж у листяної. Ці спостереження узгоджуються з думкою деяких дослідників [25] про те, що міцність деревини,

підданої хімічній обробці, залежить не від абсолютного вмісту лігніну в ній, а від міцності та кількості зруйнованих, або тих , що залишаються зв'язків. Це також доведено обробкою березової деревини парами аміаку.

На підставі вищесказаного можна сказати, що як пластифікатори можуть використовуватися розчини органічних кислот. В.А. Ціните експериментально визначив, що процес окислення лігніну протікає швидше у деревині берези. При витримці в 10% надоцтовій кислоті, протягом 17 годин при кімнатній температурі з березової деревини видаляється 11,8%, з ялинової - 4,5% лігніну, вважаючи на масу деревини. Це пояснюється більшою чутливістю сірінгілпропанових одиниць до дії надоцтової кислоти і тим, що ялинова деревина має підвищену щільність сітки лігніну та відмінність у його локалізації.

На думку Еріньша П. П. [29], при окислювальній деструкції лігніну хвойної деревини з глобулярною структурою відбувається індивідуалізація глобул, які навіть при порівняно високому ступені делігніфікації відіграють роль зшивок між макромолекулами геміцелюлоз, внаслідок чого утворюється сітка з відносно довгими відрізками молекул геми між залишками глобул лігніну. У зв'язку з цим, з одного боку, для фрагментації сітки необхідно розірвати більше зв'язків, з іншого боку, зниження мікров'язкості сітки (збільшення сегментальної рухливості) знижує реакційну здатність лігніну.

Слід зазначити, що з видаленні 80 % лігніну міцність деревини на розтягування вздовж волокон становить близько 20% від вихідної [11]. Отже, гнуття обробленої кислотами деревини може призвести до браку у вигляді розриву волокон у зоні напруження розтягування. Зауважимо, що використання розчинів органічних кислот обмежується їх високою токсичністю.

У лужному середовищі за однакового ступеня набухання пластичність ялинової деревини значно нижча, ніж березова. Це пояснюється меншою кількістю геміцелюлоз у хвойній деревині [11.

На думку ряду дослідників [11, 24], підвищити здатність деревини листяних порід до ущільнення, можливо за рахунок лужного гідролізу складноефірних зв'язків, видаленням частини геміцелюлоз та впливом на лігнін. Це

підтверджується проведеними дослідженнями хімічної пластифікації деревини листяних порід водним розчином аміаку. У присутності води відбувається деструкція ЛУ - сітки, за рахунок лужного гідролізу (амонолізу) складноефірних зв'язків. Руйнування фізичних зв'язків (Н - сітка), обумовлене високим набуханням геміцелюлоз, при дії даного реагенту.

Спочатку вважалося, що хвойна деревина при даному способі обробки не набуває пластичності. Аргументувалося це, тим, що гідроліз складноефірних зв'язків у ЛУ - сітці та руйнування Н - сітці, що не дозволяє зменшити загальну щільність матриці деревини хвойних порід [24]. Пізніше І. Ф. Кулькевіца і П. П. Еріньш [30] встановили, що соснова деревина, при впливі рідкого аміаку в присутності води, має більшу пластичність, ніж березова. Експериментальні дані, вказують на те, що кінетика гідролізу складноефірних зв'язків уронових кислот геміцелюлоз у березовій та ялиновій деревині істотно не відрізняється, але при даному впливі, роль валентних зв'язків ЛП — сітки у хвойної деревини, незначна. Пластичність хвойної деревини, на їхню думку, залежить від глибшої деструкції водневої сітки, що призводить до зменшення густини матриці хвойної породи. Очевидно, що різна поведінка березової та ялинової деревини, визначається відмінностями в будові та властивостях третьої сітки, тобто. сітки лігніну. Це вкотре підтверджує прийняту нами концепцію, що збільшення рухливості мікроструктурних елементів хвойної деревини необхідна зміна надмолекулярної структури лігніну.

В.Ф. Ушанов, експериментально встановив, що в модифікованій аміаком деревині модрини за методом Калніньша А.І., при пресуванні, виникає менша напруга, ніж при пластифікації гідротермічної обробки. Це побічно підтверджує, що аміак може знижувати жорсткість хвойної деревини. Даний спосіб не знайшов масового застосування у виробництві пресованої деревини та технології гнуття деревини, з причин високої тривалості такої обробки (від 5 до 10 діб) та високої токсичності аміаку.

У першому розділі даної роботи розглянуто спосіб, розроблений співробітниками УКРНДІМОД, пластифікації карбамідом, букової деревини для

гнуття. В. А. Шамаєв, та ін стверджують, що модифікування деревини даним реагентом як з точки зору протікання процесів, так і здійснення технологічних прийомів має велику схожість з модифікуванням деревини аміаком [26]. Необхідно відзначити, що даний реагент нетоксичний і тривалість обробки порівнянна, з тривалістю гідротермічної обробки, при підготовці деревини до гнуття.

Дослідники лабораторії УКРНДІМОД [25] експериментально визначили режимні параметри даної обробки, при цьому граничне співвідношення товщини заготовки до радіусу загину склало 1/6 для бука. Проте рекомендації, вироблені з урахуванням цих експериментальних досліджень, викликають сумніви. Для проварювання у водному розчині карбаміду рекомендується використовувати деревину з вологістю не менше 30 %, при цьому відбувається збільшення вологості. Як ми вже говорили, вологість на рівні межі насичення клітинних стінок є оптимальною для забезпечення необхідної пластичності деревини при гнутті, перезволоження призводить до значного збільшення браку при гнутті [17]. На підставі цього виникає питання про раціональність нагріву та просочення в розчині сечовини, деревини з вологістю близькою до межі гігроскопічності.

Ряд дослідників [14, 27], вказують, що деревина однаковою мірою проникна для молекул води та сечовини. Пізніше методом ІЧ - спектроскопії встановлено, що сечовина, проникаючи в шари клітинної стінки, впливає на складові компоненти деревини. На думку автора роботи [28], при температурі 100° С лігнін взаємодіє з карбамідом, при цьому відбувається гідроліз складноефірних та руйнування водневих зв'язків.

Якщо розглядати процес модифікації водним розчином карбаміду, використовуючи концепцію Еріньша П.П, можна сказати, що руйнація Н - сітки і ЛУ - сітки деревини, переводить деревину у високоеластичний стан. Для фіксації деформацій необхідно використання витримки в гідравлічному пресі, при температурі 160°С протягом 6 годин. Це дозволило отримати матеріал високої густини (до 1100 кг/м^3). Руйнування структури деревини при пресуванні не

відбувається, що говорить про високу еластичність, обробленої карбамідом деревини при ущільненні.

На думку В.А. Шамаєва, Н.Г. Базарнової [28], модифікація деревини сечовиною насамперед пов'язана з поліконденсаційними процесами сечовини, лігніну та певної легкодоступної фракції геміцелюлоз. Пояснюється це тим, що в процесі термообробки реакції протікають не з карбамідом, а переважно з ізоціанануровою кислотою, що утворюється при терморозпаді.

Ряд дослідників [19] не виключають можливості використання операції пластифікації сечовиної деревини хвойних порід при отриманні пресованої деревини. Однак якщо враховувати, тільки процес поліконденсації лігніну з карбамідом, який може призвести до підвищення жорсткості матриці, цей спосіб модифікації непридатний для підготовки хвойної деревини до гнуття.

Пошук літературних даних не дозволив нам встановити механізм взаємодії хвойної деревини з карбамідом при температурі до 100°С. Однак автор роботи [27] стверджує, що вплив сечовини призводить до часткової деструкції лігніну.

При взаємодії карбаміду з деревиною при температурі до 100° С утворюються сполуки, проходять певні процеси. Відомо, що реакційна здатність сечовини типова для амідів: обидва атоми азоту є нуклеофілами. Це дозволяє говорити про те, що лігнін з сечовиною взаємодіє за принципом реакції нуклеофільного заміщення. Згідно з літературними даними, ця реакція йде у двох конкуруючих напрямках деструкції (руйнування зв'язків між глобулами) та поліконденсації молекул лігніну. Але слід помітити другий напрямок, що інтенсифікується при температурі вище 170°С [28]. Це підтверджує концепцію В.А. Шамаєва, що при термообробці утворюються додаткові зшивки в Л – сітці. Також відомо, що тривала температурна дія при температурі 100 °С призводить до поліконденсаційних процесів у природному лігніні [18].

На підставі вище сказаного можна припустити, що карбамід, за певних умов, може підвищити деформаційні властивості деревини за рахунок часткової деструкції трьох сіток лігновуглеводної матриці, при гнутті.

1.4. Висновки

Аналіз питань пов'язаних із технологією гнуття деревини дозволяє зробити такі висновки:

1. Основні дослідження в галузі технології гнуття масивної деревини проводилися до середини 70-х років XX століття. Результати експериментальних досліджень не дозволяють встановити причини низької здатності хвойної деревини до загину і визначити шляхи вирішення проблеми використання хвойної деревини в технології гнуття.

2. Гідротермічна обробка дозволяє отримати співвідношення товщини (h) заготовки до радіусу загину (R) у бука – 1/2,5, дуба – 1/4, берези – 1/6,5. Такі радіуси достатні, так як для деревообробки потрібне відношення h/R =1/6. При використанні хвойної деревини вдається досягти співвідношення у сосни h/R =1/11, у модрини h/R =1/12, що практично виключає можливість використання хвойної деревини для гнуття.

3. Одним із вирішень проблеми гнуття деревини хвойних порід є використання хімічних реагентів. Проте, нині цей метод мало вивчений.

4. Аналіз будови лігновуглеводного комплексу різних деревних порід показав, що підвищений вміст та фізико-хімічні властивості лігніну хвойної деревини, визначають її низькі деформаційні властивості при гнутті.

5. Встановлено можливість застосування карбаміду для пластифікації хвойної деревини з метою гнуття. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано механізм впливу даного реагенту на хвойну деревину.

6. Результати попередніх досліджень вказують на те, що пластифікація карбамідом хвойної деревини призводить до значного збільшення її деформаційних властивостей. При ущільненні в радіальному напрямку пластифікованої хвойної деревини збільшується міцність при стисканні вздовж волокон, що зумовлює можливість її використання при гнутті.

2. Методика лабораторних досліджень гнуття хвойної деревини

В результаті теоретичного аналізу, проведеного в другому розділі, встановлено, що використання в якості пластифікатора водного розчину карбаміду, при дотриманні певних умов, може бути одним з напрямків вирішення проблеми підвищення низької деформаційної здатності хвойної деревини, при поперечному гнуті. Для перевірки цього було проведено спеціальні дослідження.

2.1. Матеріали та підготовка зразків

Дослідження проводилися на деревині хвойних порід: сосна, модрина.

Заготівля зразків здійснювалася в Липниківському лісництві. Круглі лісоматеріали відбиралися з урахуванням зовнішніх вад. Сортименти розколювали на сектори, далі з секторів отримували заготовки методом виколювання, після чого поверхню заготовок вирівнювали плоским фрезеруванням. Як показав аналіз літератури [17], даний спосіб отримання заготовок з мінімальною величиною радіального нахилу волокон як одної з основних вад, що впливають на частку браку при гнутті.

У зразках не допускалася наявність таких вад, як пошкодження грибками, сучки, тріщини, нахил волокон, косошар, оскільки їх наявність могла вплинути на властивості зразка, здатність до загину. Розміри зразків були прийняті (довжина х ширина х товщина): 700 мм х 35 мм х 13,5 до 25. При цьому вони включали досить характерні для даної породи анатомічні елементи, тобто містили, принаймні, 4-5 річних шарів.

Заготовлені зразки маркувалися. Приклад маркування наступний: 1 С 1-1 – перша цифра № колоди, літерне позначення породи (С – сосна, Л – модрина), друга цифра – номер сортименту, третя – № заготовки.

Для визначення характеру деформацій під час гнуття на зразки наносилася спеціальна розмітка з кроком (l) 10 мм. Загальний вигляд зразка показано рис. 2.1.

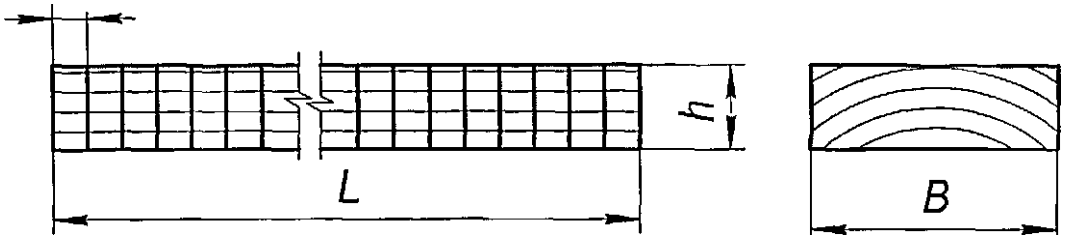


Рисунок 2.1. Дослідний зразок з розміткою

2.2. Методика проведення просочення карбамідом

Автори робіт [13, 19], вказують на те, що хвойна деревина по просочуваності, в більшості випадків відноситься до порід, що важко просочуються. Основний обсяг колоди у хвойних порід займає ядро. Ця деревина важко піддається просоченню. В.М. Єрмоліним розроблений спосіб просочення ядра та стиглої деревини хвойних порід, заснований на використанні змінного рідинного тиску. Реалізація даного способу просочення має технічні складності, так як вимагає спеціалізованого просочувального обладнання, тому для спрощення проведення лабораторних досліджень використовувалася заболонна частина колод, що має високу проникність рідинами. Слід зазначити, що з позицій гнуття ядро та заболонь принципово не відрізняються. Для її просочення використовувався простіший автоклавний спосіб при постійному надлишковому тиску, який дозволяє отримати максимальне поглинання водного розчину пластифікатора при мінімальній тривалості.

Для проведення досліджень використовували просочувальну установку, схема якої представлена на рис. 2.2.

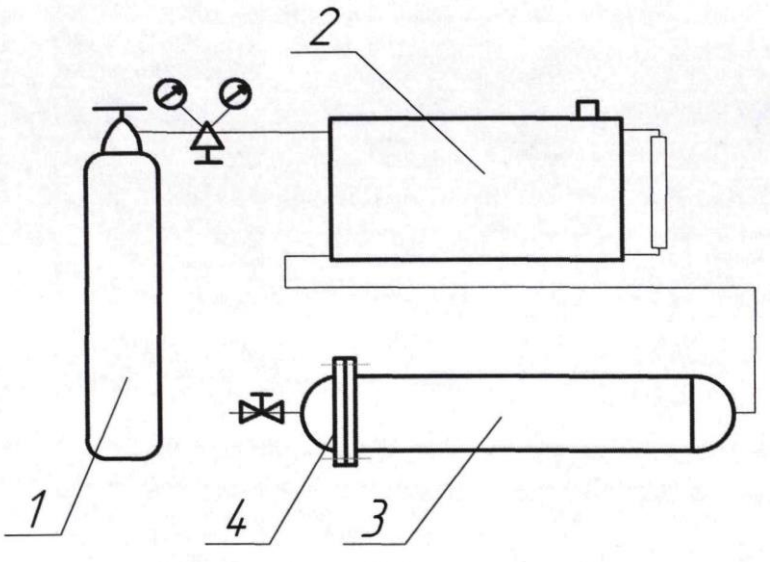


Рис. 2.2. Установка для просочення (принципова схема) 1 - балон газовий (повітря); 2 - мірний циліндр зі скляною трубкою; 3 – ємність для просочування; 4 – кришка.

Ємність для просочування (3) являє собою порожнистий циліндр з внутрішнім діаметром Dвн = 120 мм. та довжиною Lавт = 1020 мм. Робочий об'єм автоклаву Vроб = 0,0461 м^3. Завантаження зразків у просочувальну ємність здійснюється при відкритій кришці (4). Після завантаження кришка (4) замикалася. Створення надлишкового тиску в просочувальному автоклаві здійснюється через мірник (5) від балона зі стисненим повітрям (1). Розмір загального поглинання, визначалася з допомогою мірника (5).

Для проведення процесу просочення водним розчином карбаміду автоклавним способом використовувалися зразки з деревини сосни з перерізом 25х35 мм і довжиною 700 мм. Вологість деревини перед просоченням становила від 10 до 12%. Перед просоченням кожен зразок зважувався і маркувався відповідно до методики.

Партія складалася із восьми зразків. Проводились серії просочень із чотирьох дубльованих дослідів. Таким чином, загальна кількість спостережень забезпечувала отримання достовірних результатів за заданого показника точності.

Аналіз робіт [13, 19], вказує на те, що проникність однієї деревини, широко варіює, тому після просочення уточнювали поглинання кожного зразка ваговим способом.

На підставі попередніх досліджень з поглинання деревиною рідини при просоченні отримано, що необхідну кількість карбаміду може бути внесено при концентрації в розчині 20%.

З роботи [13], відомо, що одним із недоліків просочення при надмірному тиску є нерівномірний розподіл просочувального розчину за перерізом зразка.

Оцінка розподілу водного розчину карбаміду за перерізом проводили за такою методикою. Після того, як великі зразки, вилучалася з автоклава, випилювалися зразки розміром 25х35х30 мм (останній розмір вздовж волокон)

згідно зі схемою, представленою на рис. 2.3. Кожен зразок розколювався на 9 секцій, рис.2.4.

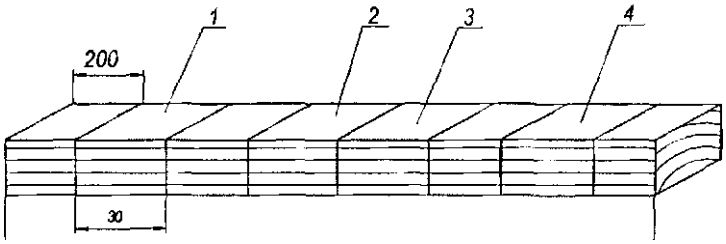


Рис. 2.3. Схема одержання зразків для дослідження розподілу пластифікатора за перерізом

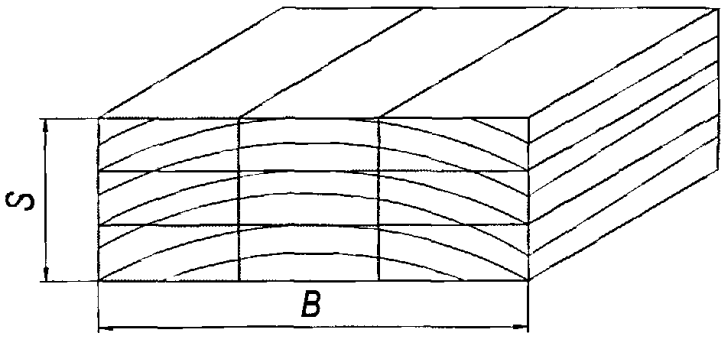


Рис. 2.4. Схема отримання секцій

Просочення водним розчином пластифікатора, призводить до зміни вологості деревини. Враховуючи, що карбамід утворює істинний розчин, характер розподілу вологості по перерізу, дозволяє судити про розподіл по перерізу вміст карбаміду. Вологість кожної секції, визначалася сушильно-ваговим способом.

Графічна інтерпретація розподілу вологості за перерізом зразка у вигляді параболічної кривої після автоклавного просочення представлена на рис. 2.5, результати обробки експериментальних даних наведено в додатку 3. Вологість зразків до просочення 12%.

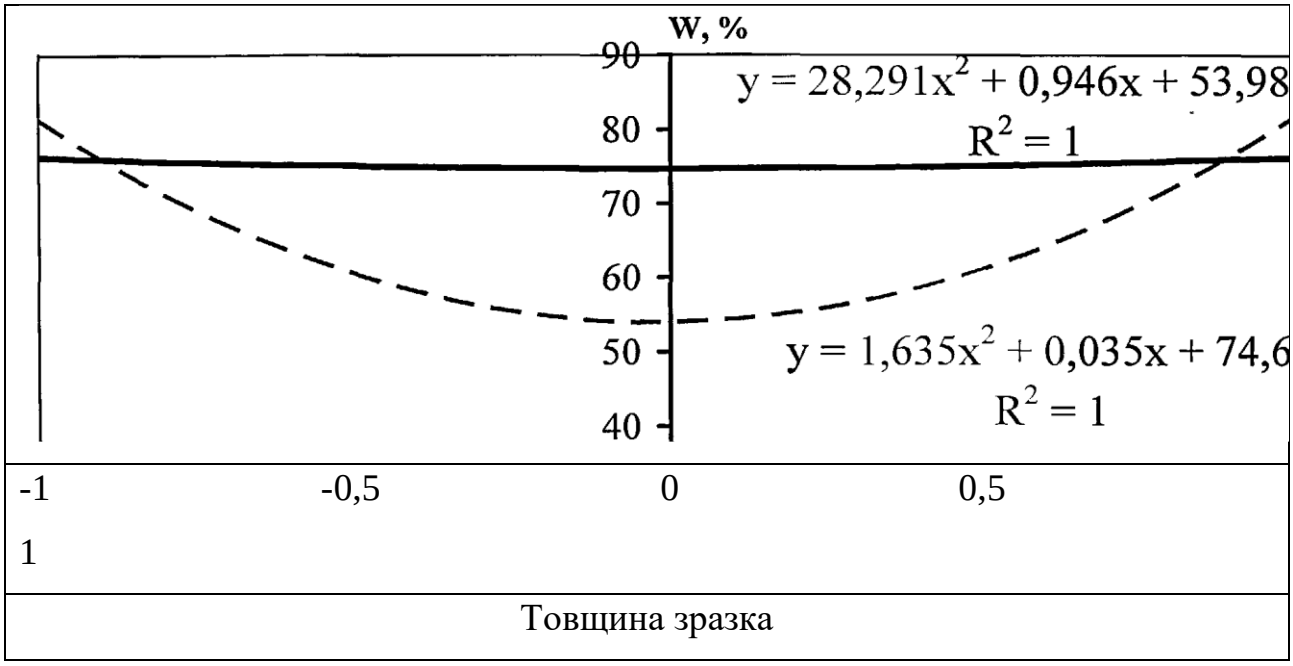


Рис. 2.5. Розподіл вологості за товщиною зразка

З отриманих результатів випливає, що після автоклавного просочення спостерігається нерівномірний розподіл вологості по перерізу. Це дозволяє говорити, що розчин карбаміду розподіляється по перерізу нерівномірно. Максимальна вологість спостерігається у секцій, отриманих із периферійних частин зразка, мінімальна - у центрі. Згідно з прийнятою нами гіпотезою у 1 розділі даної роботи та попередніх досліджень, при просоченні необхідно отримати наскрізне проникнення пластифікатора (глибоке просочення). В даний час існує безліч рішень інтенсифікації процесу просочення, які дозволяють отримувати наскрізне проникнення розчину. Однак у нашому випадку, прийнятий режим дозволяє отримати загальне поглинання карбаміду, що сприяє підвищенню деформативності деревини. Збільшення концентрації пластифікатора в центральній частині зразка можливо за рахунок капілярного проникнення водного розчину від периферії в центр. Найбільш простим рішенням досягнення рівномірного розподілу карбаміду, є витримка після автоклавного просочення зразків у щільному пакеті.

Нами прийнято рішення провести після автоклавного просочення цю витримку протягом 24 годин та проаналізувати розподіл вологості за перерізом зразка. На малюнку 2.5 представлена графічна інтерпретація одержаних

результатів у вигляді поверхні відгуку, статистична обробка експериментальних даних **наведена у додатку 4.**

Перевірка однорідності двох дисперсій показала, що між середніми значеннями вологості в центральній і периферійній областях немає значної відмінності. Це дозволяє говорити про раціональність витримки після автоклавного просочення в щільному пакеті протягом доби при постановці лабораторних дослідів.

Після витримки здійснювалося сушіння в умовах лабораторії до вологості від 30 до 40 %.

2.3. Проведення гідротермічної обробки деревини

Згідно з аналізом, проведеним у першому розділі, інтенсифікація взаємодії сечовини з компонентами деревини відбувається за рахунок підвищення температури. В.А. Шамаєв [28], вказує на те, що при впливі температури 90° С, деревина, просочена сечовиною, має максимальну деформативність (поперек волокон). Способом інтенсифікації нами обрана гідротермічна обробка насиченою парою, при температурі 100±2°С (пропарювання). У процесі такої обробки відбувається не тільки збільшення температури деревини, з незначною зміною вологості, але й хімічна взаємодія компонентів деревини з карбамідом, що призводить до її пластифікації. Необхідно відзначити, що при цьому потрібна певна тривалість, тривала температурна дія, може призвести до поліконденсаційних процесів лігніну з сечовиною, що збільшує жорсткість та знижує пластичність [26]. Тривалість такої обробки є важливим технологічним параметром.

Аналіз літератури показав, що тривалість нагріву при модифікації карбамідом м'яколистяних порід, варіюється в широкому інтервалі від 60 до 360 хвилин [28]. Даний технологічний фактор залежить від поперечного перерізу зразка та цілей, які переслідує модифікація (підвищення пластичності або стабілізація форм). За даними авторів робіт [19, 109], пластичність листяних порід підвищується в перші 180 хвилин, потім у деревині відбуваються незворотні зміни, що призводять до збільшення твердості та жорсткості. Як ми вже зазначали у другому розділі, хвойний лігнін значно швидше вступає в реакцію поліконденсації. Тому нами прийнято для підготовки хвойної деревини до гнуття інтервал варіювання тривалості гідротермічної обробки від 60 до 180 хвилин.

Для проведення операції пропарювання було виготовлено лабораторну установку пропарювання (рис. 2.6.).

Гідротермічна обробка проводилася в такий спосіб. Попередньо ванна 3 заповнювалася водою, рівня на 5 см нижче висоти спеціальних дистанційних підставок 1, це дозволяло виключити перезволоження деревини від зіткнення з водою. Потім за допомогою нагрівального елемента 4 воду доводили до кипіння, після чого у ванну завантажували партію з п'яти зразків. Тривалість

теплової обробки вимірювалася в хвилинах з моменту завантаження партії зразків у ванну до вивантаження першого зразка для здійснення загину.

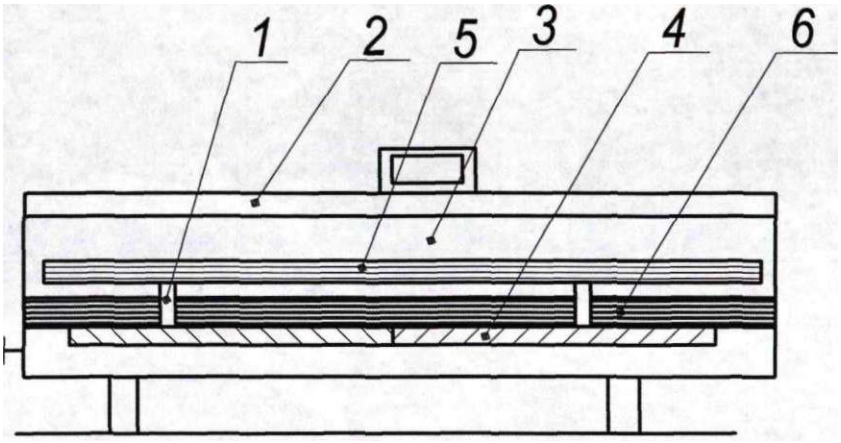


Рис. 2.6. Схема пропарювальної установки: 1 - дистанційна підставка; 2 - кришка; 3 - ванна; 4 – нагрівальний елемент; 5 - заготовка; 6 – вода.

2.4. Експериментальна гнутарна установка

У першому розділі цієї роботи розглянуто основні схеми гнутарних верстатів та можливі технічні рішення, які можуть підвищити якість гнуття хвойної деревини. Як показав аналіз, застосування шаблону з насічкою та торцевого упору не дозволяє суттєво зменшити співвідношення h/R при гнутті хвойної деревини.

Наші теоретичні та попередні експериментальні дослідження свідчать про те, що при гнутті хвойної деревини, пластифікованої карбамідом, необхідне ущільнення, яке підвищує однорідність властивостей міцності ранньої і пізньої деревини, в зонах розтягування і стиснення. Для отримання значного ущільнення в області стиснення при гнутті використовували гладкий шаблон.

Для дослідження процесу гнуття використали гнутарну установку з гладким шаблоном, представлену на рис. 2.7.

З метою отримання гнутих зразків, в умовах лабораторії з розмірами та формою, близькими до заготовок, що випускаються промисловістю, згідно з рекомендаціями, нами прийнятий радіус шаблону 150 мм.

Рис. 2.7. Лабораторна гнутарна установка: 1 – станина, 2 – привід, 3 – шаблон, 4 - пресуючий ролик, 5 – шина, 6 -струбцина, 7 - регулювальний гвинт, 8 - фіксуючий гвинт, 9 - петля

Аналіз літератури показав, що методик розрахунку гнутарних верстатів для отримання криволінійних заготовок із хвойної деревини нині немає. Потужність електродвигунів для верстатів, на думку більшості дослідників [17], залежить від поперечного перерізу заготовки, вмісту пізньої деревини і швидкості гнуття. Проаналізувавши технічні характеристики гнутарних верстатів, що використовуються при виготовленні деталей меблів з масивної деревини, ми дійшли висновку, що для наших досліджень при гнутті заготовок з перетином 25х35 мм, раціонально використання електродвигуна потужністю від 1,5 до 2 кВт.

Привід установки повинен забезпечувати необхідну швидкість гнуття. У першому розділі цієї роботи, ми зазначали, що немає єдиної думки про цей технологічний параметр. Найчастіше дослідники прагнули підвищити продуктивність верстатів за рахунок збільшення швидкості загину. П.М. Хухрянський

стверджує, що величину ущільнення при гнутті можна змінити за рахунок зміни швидкості. Для деревини хвойних порід вона варіюється від 0,63 до 1,74 рад/с [2].

При виготовленні приводу ми керувалися тим, що для забезпечення низької частки браку при мінімальному співвідношенні h/R за рахунок ущільнення в зоні стиснення швидкість гнуття повинна бути мінімальна і при цьому не значно змінювати продуктивність верстата. Нами прийнято швидкість гнуття - 0,63 рад./с. Привід виготовленої установки (рис. 2.8) являє собою електродвигун потужністю 1,5 кВт з частотою обертання 960 хв$^{-1}$, черв'ячний і двох ступінчастий циліндричний редуктори із загальним передатним відношенням 1/160.

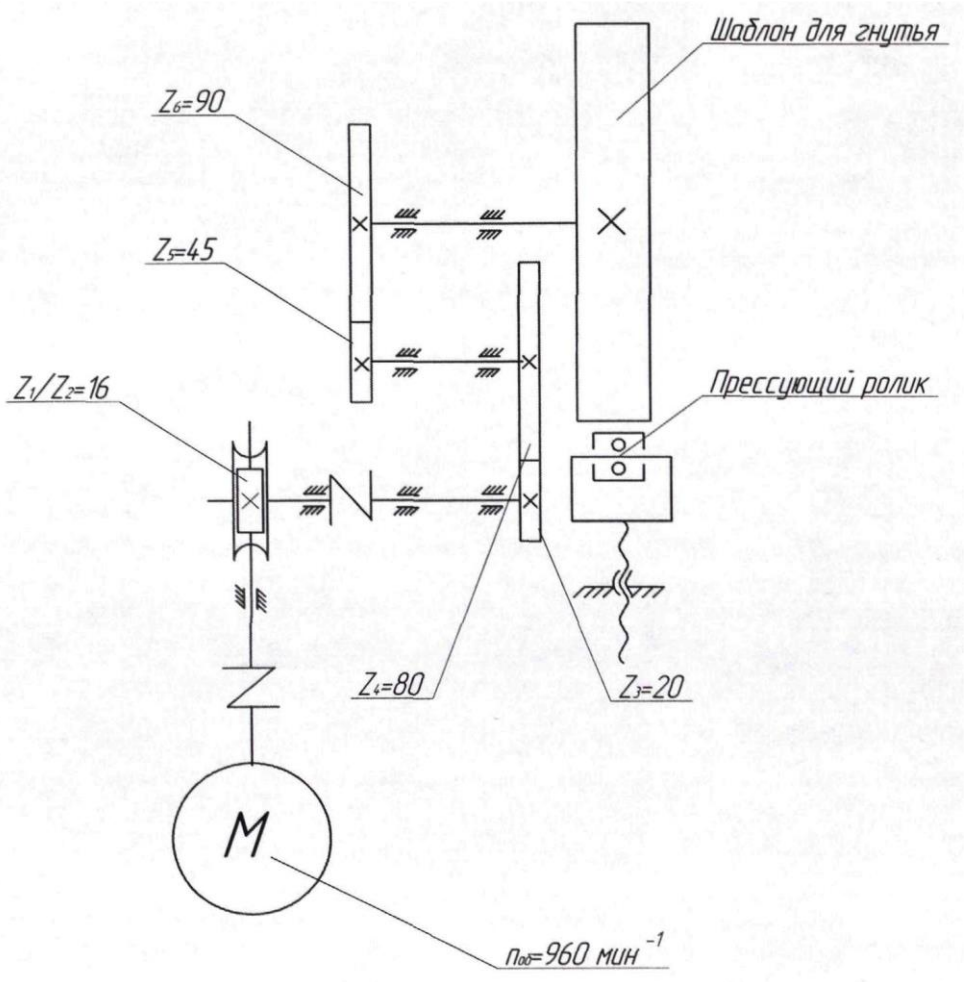


Рис. 2.8. Кінематична схема установки для гнуття

2.5. Методика проведення гнуття деревини

Гнуття деревини здійснювалося після операції гідротермічної обробки.

1. Комплектування партій зразків здійснювалося з обов'язковою наявністю зразків із різних сортиментів. Партія складалася з п'яти зразків, що дорівнює товщині, попередньо підданих тепловій обробці. Проводились серії з чотирьох дубльованих дослідів, розклад параметрів процесу гнуття вибирався згідно з планом експерименту. Таким чином, загальна кількість спостережень забезпечувала отримання достовірних результатів за заданого показника точності.

2. Одним з технічних рішень, що дозволяє знизити співвідношення h/R є шина, яка накладається на поверхню заготовки, що зазнає напруги розтягування вздовж волокон. Для проведення лабораторних досліджень виготовлено комплект шин зі смугової сталі завтовшки 1,5 мм. Після вилучення зразка з пропарювальної камери накладалася шина.

2. Кріплення зразка з шиною до шаблону, здійснювалося за допомогою струбцини та гвинтів, що фіксують.

3. Як ми вже зазначали, перед гідротермічною обробкою визначалася товщина зразків, це дозволяло розрахувати та визначити ступінь обтиску для кожного зразка (при рівній товщині для партії). Ступенем обтиску прийнято відстань між крайніми точками пресуючого ролика та шаблону, що визначалася штангенциркулем. Установка даного параметра здійснювалася за допомогою регулювального гвинта, який переміщував ролик, що пресує.

4. Після встановлення ступеня обтискання включався привід установки і здійснювалося гнуття, намотування на шаблон зразка. Контроль технологічних параметрів гнуття (ступенем обтиску - ε, відношення товщини заготовки до радіусу загину h/R), здійснювався за допомогою контрольно-вимірювальних приладів.

Відповідно до рекомендацій [17], операція гнуття здійснювалася при температурі 20±2°С і відносної вологості повітря 65±5%, що дозволяє знизити зміну вологості та температури деревини при даній операції.

5. На кінцях шини передбачені петлі. Для фіксації зразків на шаблоні петлі скріплювали міцним канатом або металевим ланцюгом.

6. Зняття шаблону із зразком

7. Сушіння зразків із шаблоном та шиною проводилося в камері періодичної дії при нормальних режимах.

Оцінка результатів експерименту проводилася відношенням зруйнованих зразків до загальної кількості зразків. Частка бракованих заготовок (Р), % розраховували за такою формулою:

$$P = S_б / Sx100,$$

де: S-загальна кількість зразків, шт.;

$S_б$ – кількість зруйнованих зразків, шт.

Отримані результати оброблялися статистичними методами ПЕОМ з допомогою прикладних пакетів StatGraphics і Excel [3].

3. Дослідження способу складного поперечного гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом

3.1. Дослідження впливу поглинання карбаміду на величину залишкової деформації деревини при стисканні вздовж волокон.

Для перевірки прийнятих нами теоретичних положень, було прийнято рішення провести однофакторний експеримент, який визначить можливості пластифікуючої дії карбаміду на деревину хвойних порід.

Зважаючи на те, що підвищення деформативності з'являється в результаті хімічної взаємодії карбаміду і лігніну, що містять обмежену кількість функціональних груп, виникає необхідність у визначенні оптимального співвідношення кількості компонентів у реакції. Деревина, що пластифікується, має певний хімічний склад, тому впливати на деформативність, можна змінюючи витрату (поглинання) і концентрацію пластифікатора.

Як ми вже зазначали в першому розділі, при складному гнутті хвойної деревини, з використанням шини параметрами, що лімітують, є максимальні деформації стиснення вздовж волокон, без руйнування зразка і утворення на ньому складок. На підставі вище сказаного як критерій для визначення оптимальної величини поглинання пластифікатора, при підготовці деревини до гнуття використовувалася величина залишкової деформації при стисканні вздовж волокон (схід), %.

Просочення зразків з деревини сосни з розмірами 20х20х30 мм здійснювалося наступним чином: підготовлені зразки просочувалися водним розчином карбаміду при постійному тиску Р=0,4 МПа та тривалості 4 години. Для охоплення найбільш широкого діапазону значень поглинання пластифікатора були використані розчини карбаміду, концентрацією: 0%, 10%, 20%, 30%. Причому верхній межа значень концентрації визначався з рекомендацій [19] температура розчинів становила 20±2°С. Для визначення величини максимальної відносної деформації (с) використовувався випробувальна машина Р-5 за ГОСТ 7855-74 з похибкою вимірювання навантаження трохи більше 1%. Пристосування до випробувальної машини зі знімним пуансоном та індикатором годинного типу

згідно з ГОСТ 9696-75 з похибкою вимірювання не більше 0,01 мм. Вологість зразків у момент випробувань, %. Статистична обробка результатів досліджень представлена в додатку 1. У ході проведеного експерименту отримано рівняння регресії, що описують вплив поглинання сечовини на деформативність деревини сосни:

$$\delta_{ост} = 2{,}149 + 0{,}108\ Q + 0{,}001 \cdot Q^2 \qquad (3.1)$$

Графічна інтерпретація отриманого рівняння регресії наведена рис. 3.1., результати обробки експериментальних даних наведено у додатку 1.

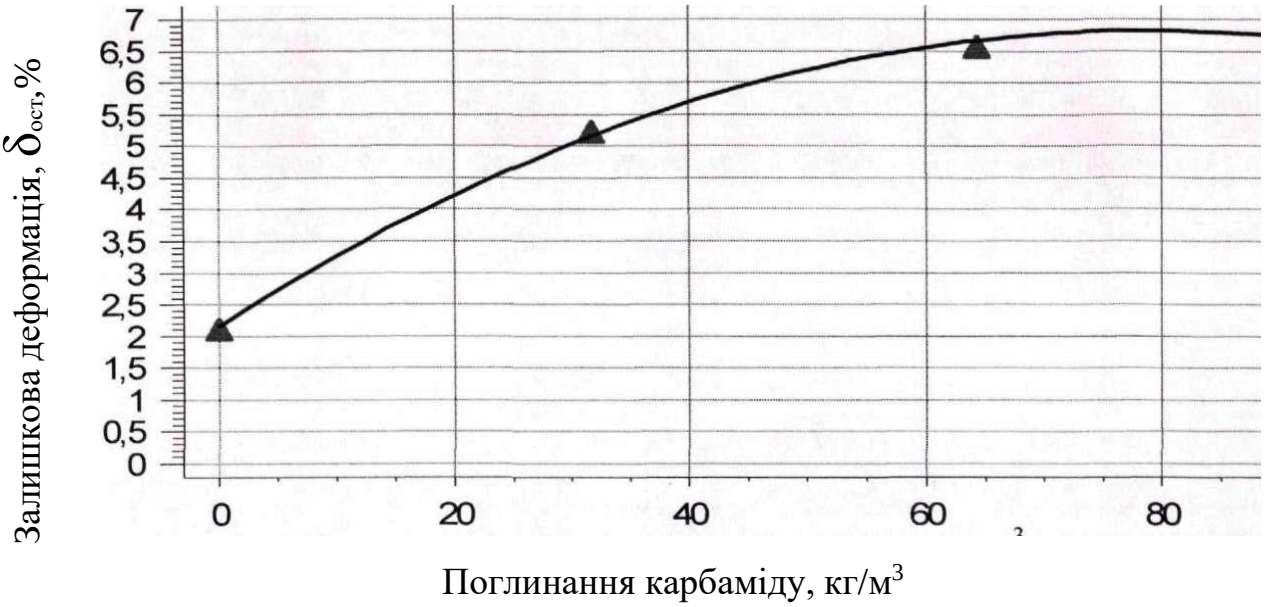


Рисунок 3.1. Вплив поглинання карбаміду на величину залишкової деформації деревини при стисканні вздовж волокон

Аналіз отриманих даних показав, що поглинання сечовини значно впливає на деформаційну здатність деревини. У зразків просочених сечовиною значення величини залишкових деформацій перевищує в 3,5 рази, ніж у контрольних зразків не модифікованої деревини. Це підтверджує нашу концепцію, що розчин карбаміду має пластифікуючу дію, на деревину хвойних порід.

Згідно з гіпотезою, прийнятою нами в першому розділі, результати процесу складного поперечного гнуття в основному можуть залежати від наступних факторів: ступеня пресування та поглинання пластифікатора, а також тривалості гідротермічної обробки.

3.2. Вплив термохімічної пластифікації на деформативність. деревини

Аналіз даних попередніх досліджень просочення карбамідом і поперечного пресування деревини сосни показав, що дані впливу призводять до збільшення міцності при стисканні вздовж волокон. Ці дані дозволяють визначити інтервали варіювання поглинання карбаміду і ступінь пресування. Гідротермічна обробка при цьому не проводилася, але, як ми вже зазначили у першому та другому розділах, даний фактор може позитивно впливати на підвищення деформативності деревини.

Згинання хвойної деревини при мінімальних співвідношеннях h/R обмежується низькою міцністю при стисканні вздовж волокон. Тому цікавить з'ясування механізм впливу пластифікації карбамідом, гідротермічної обробки та поперечного пресування при гнутті.

Для вивчення спільного впливу основних показників процесу підготовки та гнуття деревини було поставлено трифакторний експеримент, реалізований згідно з планом В=3 [3]. Як змінні фактори прийняті: ступінь пресування (s), тривалість гідротермічної обробки (т) та величина поглинання карбаміду (Q). Вихідною величиною була частка браку, у відсотках (Р). Постійним фактором було співвідношення товщини заготовки до радіусу загину (h/R) 1/6. Рівні варіювання змінних факторів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Змінні фактори та рівні їх варіювання

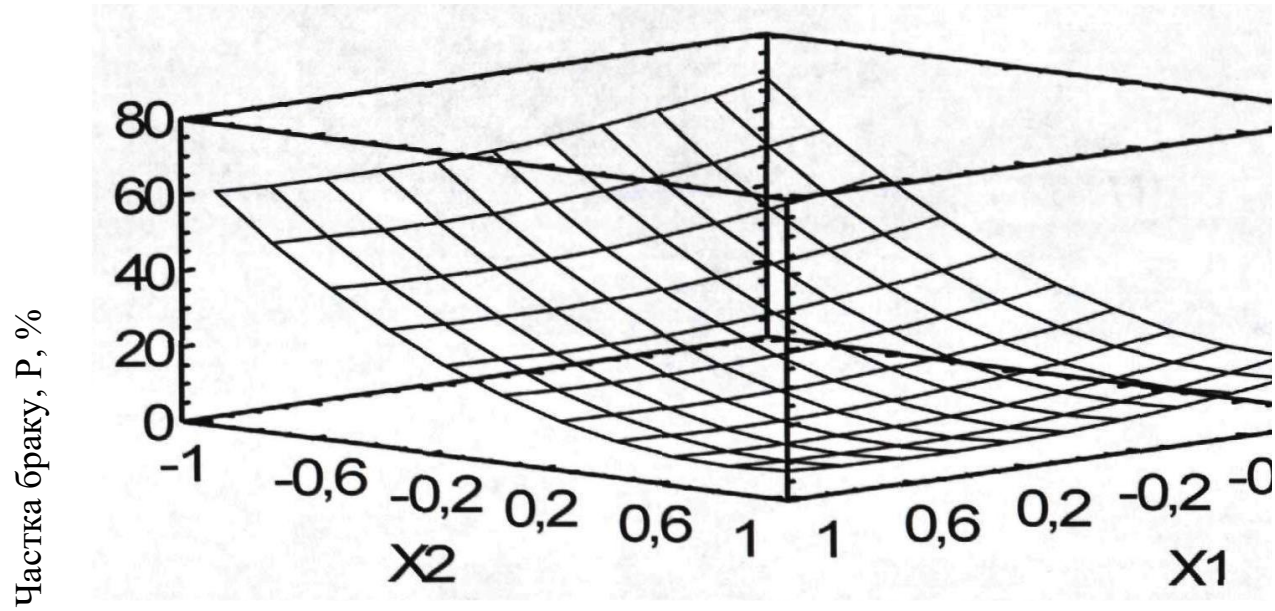
Найменування факторів	Позначення	Рівні варіювання		
		Нижній -1	Основний 0	Верхній +1
Тривалість ГТО, τ, хв.	X_1	60	120	180
Поглинання сечовини, Q, кг/м^3	X_2	0	45	90
Ступінь пресування, ε, %	X_3	0	15	30

Дослідження проводилися згідно з методиками, описаними в 2 розділі цієї роботи.

Результати обробки факторного експерименту наведені в додатку 2. Отримано наступне рівняння регресії, що описує вплив основних факторів на частку браку при гнутті Р:

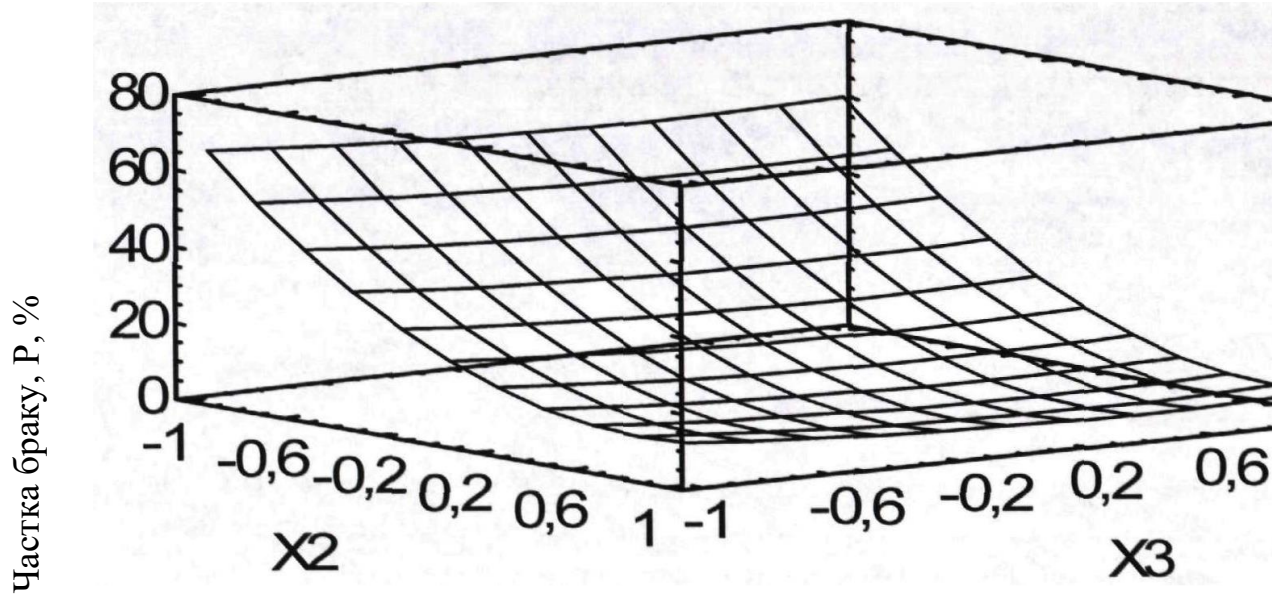
$$P = 17{,}32 - 4{,}14X_1 - 26{,}01X_2 - 2{,}03X_3 + 4{,}08X_1^2 + 14{,}36X_2^2 + 2{,}54X_3^2 \quad (3.2)$$

Вплив досліджуваних факторів на прийнятий нами показник якості гнуття показано в графічному виді на рис. 3.2 - 3.4.



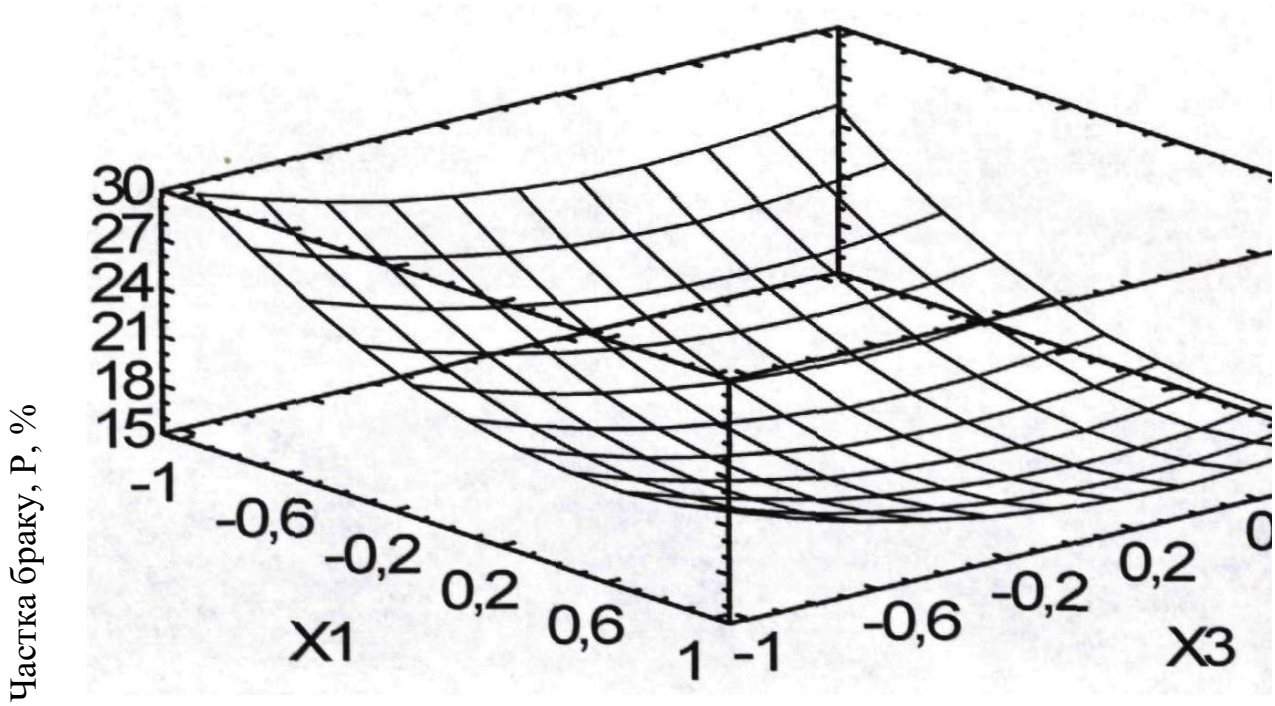
Поглинання карбаміду X_2, тривалість ГТО X_1

Рис. 3.2. Вплив поглинання карбаміду і тривалості ГТО на частку браку при гнутті деревини сосни



Поглинання карбаміду X_2, ступінь пресування X_3

Рис. 3.3. Вплив поглинання карбаміду та ступеня пресування та частку браку при гнутті деревини сосни



Тривалість ГТО X_1, ступінь пресування X_3

Рис. 3.4. Вплив тривалості ГТО та ступеня пресування на частку браку при гнутті деревини сосни

Аналіз отриманих результатів, вказує на те, що на частку браку при гнутті хвойної деревини зі співвідношенням h/R = 1/6 сильніший вплив мають поглинання карбаміду Q і тривалість гідротермічної обробки τ.

Інтерпретувати такий характер залежностей на якість гнуття від основних технологічних чинників виходячи з запропонованої нами концепції можна в такий спосіб. Спочатку при гідротермічній обробці в просоченої карбамідом деревині відбувається руйнування водневих і складноефірних зв'язків в матриці. Це трохи збільшує рухливість компонентів деревини, в тому числі фібрил целюлози. При подальшому температурному впливі відбувається часткова деструкція сітківки лігніну. Руйнування відбуваються в більш доступній і менш стійкій частині Л - сітки, в механічних зачепленнях, легкогідролізованих ефірних зв'язках між глобулами. Що призводить до підвищення пластичності хвойної деревини і зниження частки браку при гнутті.

Екстремальний характер впливу тривалості ГТО (прогин вниз) на частку браку, є непрямим підтвердженням того, що тривалий температурний вплив призводить до поліконденсаційних процесів між карбамідом і лігніном, що призводить до підвищення жорсткості матриці і тим самим обмежує рухливість армуючих її елементів (фібрил целюлози).

Для пошуку оптимальних значень факторів було прийнято рішення провести багатокритеріальну оптимізацію методом «крутого сходження» у статистичному пакеті Statgrafics 5.1. [3] Даний метод нині активно використовується; у лабораторних дослідженнях з деревообробки. Вихідні дані представлені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2. Вихідні дані для оптимізації

Номер досліду	Натуральні значення факторів			P,%
	τ, хв.	O, кг/м^3	ε, %	
1	120	90	0	10,83
2	60	90	15	15,83
3	120	90	30	5,84
4	180	45	30	16,67
5	180	90	15	7,50
6	120	45	15	17,50
7	180	45	0	22,50
8	120	0	30	63,33
9	60	45	0	29,17
10	120	45	15	16,67
11	120	45	15	16,67
12	120	0	0	65,00
13	60	45	30	25,83
14	60	0	15	69,17
15	180	0	15	59,17

Максимальна частка браку - 69,17%, згідно з даними, отримана у дослідах при гнутті зразків без поперечного пресування та не просочених карбамідом.

У нашому випадку необхідний пошук мінімального значення параметра оптимізації (Р) за умов, яким відповідають рівні варіювання основних факторів. Як ми вже зазначали, тривалість ГТО (τ), ефект впливу має екстремальний характер, внаслідок цього, приймаємо цей фактор, що варіюється. Для отримання результатів із високою точністю приймаємо інтервал варіювання 6 хвилин. Результати пошуку оптимальних значень представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Результати оптимізації

Номер ітерації	Натуральні значення факторів			Р,%
	τ, хв.	О, кг/м^3	ε, %	
1	120	45	15	16,9467
2	126	66,3563	15,7227	7,41054
3	132	76,4197	16,5201	5,3816
4	138	80,1453	17,4289	4,90054
5	144-	81,0136	18,5349	4,68029*
6	150	81,076	20,2505	4,56375
7	156	81,0239	17,8275	4,69663
8	162	80,0593	15,9594	4,98607
9	168	75,5146	14,4802	5,62395
10	174	62,6941	13,2011	8,67712
11	180	34,8047	12,0511	24,2931

Дані, представлені в таблиці 3.3, вказують на те, що мінімальна частка браку (Р) дорівнює 4,56%, при тривалості ГТО - 150 хвилин, ступені пресування 20,25% і поглинання карбаміду 81 кг/м^3. Дотримання, строгих обмежень за умов виробництва неможливо. Аналіз робіт [17], показав що в технології виготовлення криволінійних деталей меблів, частка браку не повинна

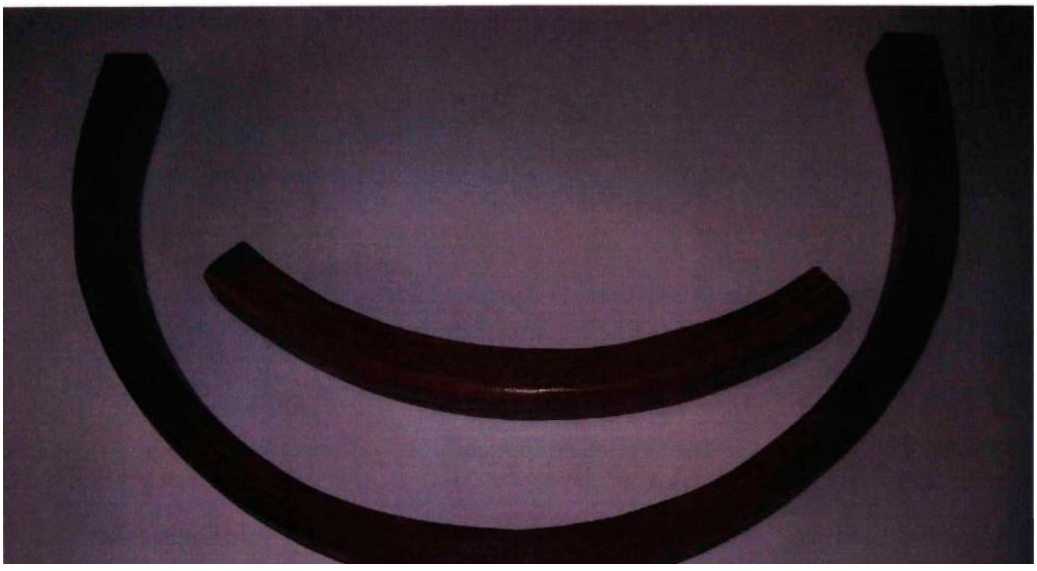
перевищувати 8%, внаслідок цього можна розширити діапазон значень факторів і прийняти рекомендації, які представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Оптимальні значення технологічних факторів гнуття

Найменування фактора	Значення
Поглинання карбаміду, кг/м^3	від 66 до 82
Тривалість ГТО, хв.	від 130 до 170
Ступінь пресування, %	від 15 до 21

В ході експериментів були отримані криволінійні заготовки у вигляді півкола, представлені на рис. 3.5.

а



б

Рис. 3.5. Криволінійні заготовки, отримані гнуттям: а - криволінійні заготовки, зняті з шаблону після сушіння; б - гнуті заготовки, вкриті водними лакофарбовими матеріалами

На рис. 3.5 а наведено фотографію криволінійних зразків, отриманих при пластифікації гідротермічною обробкою та гнуттям; із співвідношенням h/R=1/11 (ліворуч перші 3) h/R=1/6 (ліворуч; 4 і 5). Це; говорить про те, що раніше досягнуте співвідношення є граничним для деревини сосни, крайній правий зразок отриманий при розроблених режимах. Це дозволяє говорити про можливість отримання якісних криволінійних заготовок з деревини сосни із співвідношенням h/R=1/6, пластифікованої карбамідом. При рівному радіусі загину товщина криволінійних заготовок; відрізняється більш ніж в 1,5 рази, це дозволяє збільшити навантаження на готові вироби та розширити сферу їх застосування. Рис. 3.5 б, на якому представлена фотографія зразків покритих лакофарбовими матеріалами; свідчить про те, що зразки мають високі декоративні властивості.

3.3. Вплив вад деревини на якість гнуття

У першому розділі зазначалося, що існує пряма залежність між якістю гнуття та нахилом волокон по відношенню до напрямку діючих зусиль. У роботі [106], вказується на те, що термохімічна пластифікація листяних порід у виробництві лиж, що збільшує допустиму величину радіального нахилу волокон з 0° до 4°. Оскільки раніше не досліджувалося питання про вплив нахилу волокон на якість гнуття хвойної деревини пластифікованої карбамідом, отже необхідно провести дослідження, які дозволять визначити можливості розробленого способу гнуття.

Дослідження проводилися за такою методикою. Зразки, що випилювалися з круглих лісоматеріалів на стрічково-пильному верстаті з різною величиною нахилу волокон: 1°; 2 °; 3 °; 4 °; 6 °; 8 °. Потім здійснювалися просочення, витримка, гідротермічна обробка та гнуття за режимами отриманих при оптимізації.

Результати обробки проведених досліджень наведено у додатку З та на рис. 3.6. Отримано рівняння регресії, що описує вплив нахилу волокон (S) на частку браку при гнутті модифікованої хвойної деревини (Р):

$$P = 1/(0{,}28-0{,}03 \cdot S) \qquad (3.3)$$

Як свідчать отримані результати, зі збільшенням величини косошару, спостерігається зниження якості гнуття. Максимальна частка браку отримана при величині нахилу волокон 8°, але при цьому значне збільшення даного показника якості гнуття спостерігається при нахилі волокон 6°.

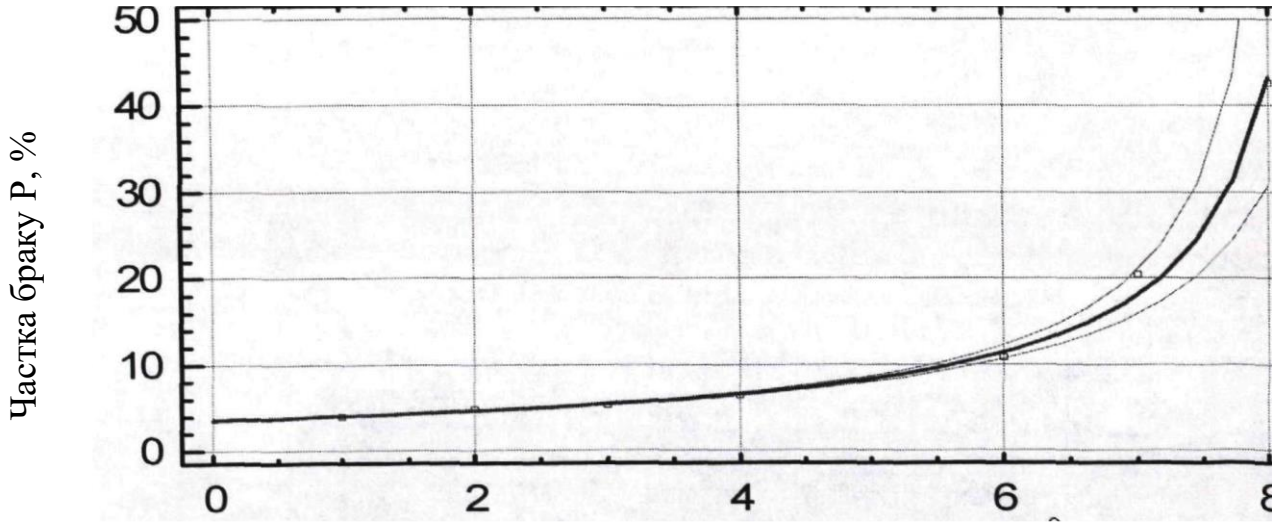


Рис. 3.6. Вплив величини нахилу волокон на частку браку при гнутті

Інтерпретувати такий характер залежності частки браку від величини косошару, виходячи з запропонованої нами концепції можна в такий спосіб. Основний вид руйнувань при гнутті хвойної деревини, це **розшарування на межі ранньої та пізньої деревини**. У цій зоні під дією нормальних і дотичних напруг відбуваються значні переміщення компонентів лігновуглеводної матриці. Як ми вже зазначали, основна маса армуючих елементів матриці розташована у вторинному шарі клітинної стінки. Фібрили целюлози в даному шарі, на думку дослідників [25, 26, 27] розташовані з високим ступенем орієнтації та йдуть по крутих спіралях під кутом до осі волокна від 5° до 10°, це надає високої механічної міцності деревини. У роботах вказується на те, що нахил волокон значно

впливає на міцність при розтягуванні, що призводить до руйнування при гнутті в зоні, в якій виникають дані напруження. При зміні кута нахилу волокон виникає зростання дотичних напруг. Це визначає їх переміщення в лігноуглеводневій матриці в декількох напрямках. Значне переміщення фібрил целюлози призводить до порушення зв'язків між ними. Частково зруйнована реагентом сітчаста структура лігніну на окремі глобули, сприяє переміщенню арматури та зниженню кількості зруйнованих міжфібрилярних зв'язків. Можливо, це явище проявляється до величини нахилу 6°. Подальше збільшення величини косошару, супроводжується зростанням дотичних напруг і, відповідно, зростанням кількості зруйнованих зв'язків між фібрилами у вторинному шарі клітинної стінки деревини, що призводить до руйнування зразка.

Другою основною вадою, як ми вже зазначали у першому розділі, є **сучки.** Зауважимо, що цей дефект значно впливає на фізико-механічні властивості деревини [22]. На сьогоднішній день апріорна інформація про вплив сучків на деформативність при гнутті деревини модифікованою сечовиною відсутня. Тому нами прийнято рішення провести дослідження, які дозволять визначити вимоги до заготовок для гнуття хвойної деревини.

Дослідження проводилися за такою методикою. Спочатку з круглих лісоматеріалів, згідно з методикою описаною в 2 розділі виготовлялися зразки. Потім здійснювався відбір зразків, що містять не більше одного здорового сучка. Партії з 30 зразків формувалися за допомогою вимірювальних приладів та візуального огляду, при цьому визначалися положення та діаметр сучка. Слід зазначити, що пластеві сучки розділялися відповідно до зон, що випробовують при згинанні розтягування та стиснення. В силу того, що в дослідженнях використовувалися зразки з малим поперечним перерізом, було вирішено обмежити максимальний діаметр сучків до 10 мм. Після операцій підготовки та гнуття визначалося частка браку (Р). Отримані результати представлені на рис. 3.7.

Як видно з результатів дослідження розташування та діаметр здорових сучків мають значний вплив на якість гнуття. Особливо це стосується середнього діаметра вади.

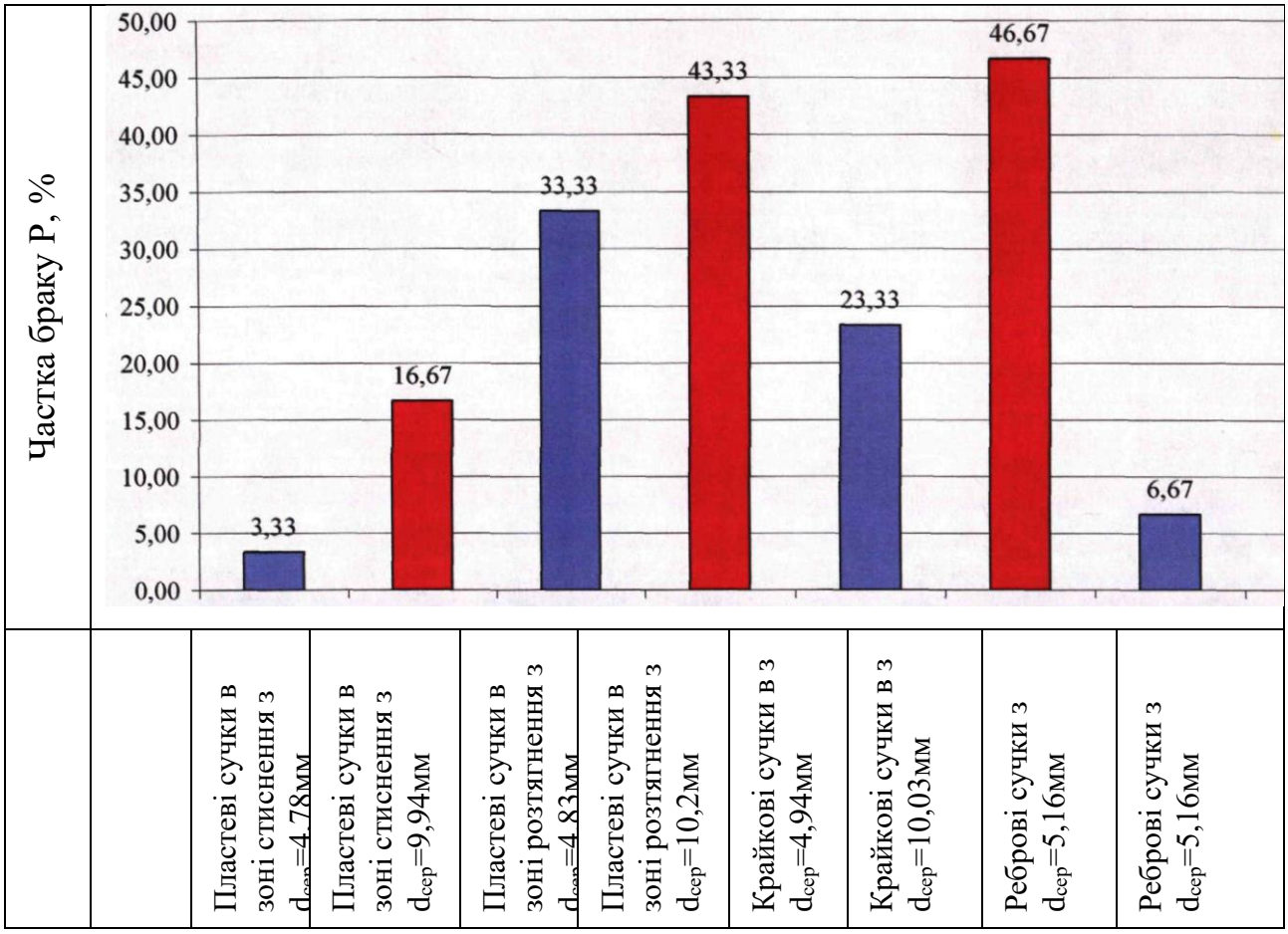


Рис. 3.7. Вплив сучків на частку браку

Слід звернути увагу на той факт, що сучки з тим самим розташуванням і великим діаметром значніше впливають на якість гнуття. Це пов'язано з порушенням однорідності структури деревини. Проведені дослідження з деревиною сосни пластифікованою сечовиною узгоджуються з рекомендаціями для твердолистяних порід [17].

На рис. 3.8 представлено фотографію основних видів руйнувань при гнутті, що залежать від розташування сучків у зразку.

Рис. 3.8. Руйнування деревини під час гнуття

3.4. Дослідження процесу гнуття деревини модрини

Модрина одна з основних деревних порід, що ростуть на території Карпат, має підвищені фізико-механічні та декоративні властивості. Неодноразово проводилися дослідження з пресування та вивчення властивостей цієї породи. Слід зазначити, що у роботах граничне співвідношення радіусу загину до товщини заготовки становить щонайменше 1/12 [2]. Згідно з прийнятою нами концепцією низька здатність до загину обумовлена різкою відмінністю щільності ранньої та пізньої деревини та підвищеною щільністю лігновуглеводної матриці. Для оцінки впливу термохімічної пластифікації на здатність деревини модрини до згинання було проведено спеціальні дослідження.

Підготовка зразків здійснювалася згідно з методикою викладеною в п.2.1. Партії з 30 зразків формувалися з варіюванням h/R: 1/12; 1/8,5; 1/6; 1/5. В експериментах використовувалися оптимальні режимні параметри просочення, гідротермічної обробки та гнуття, отримані для сосни.

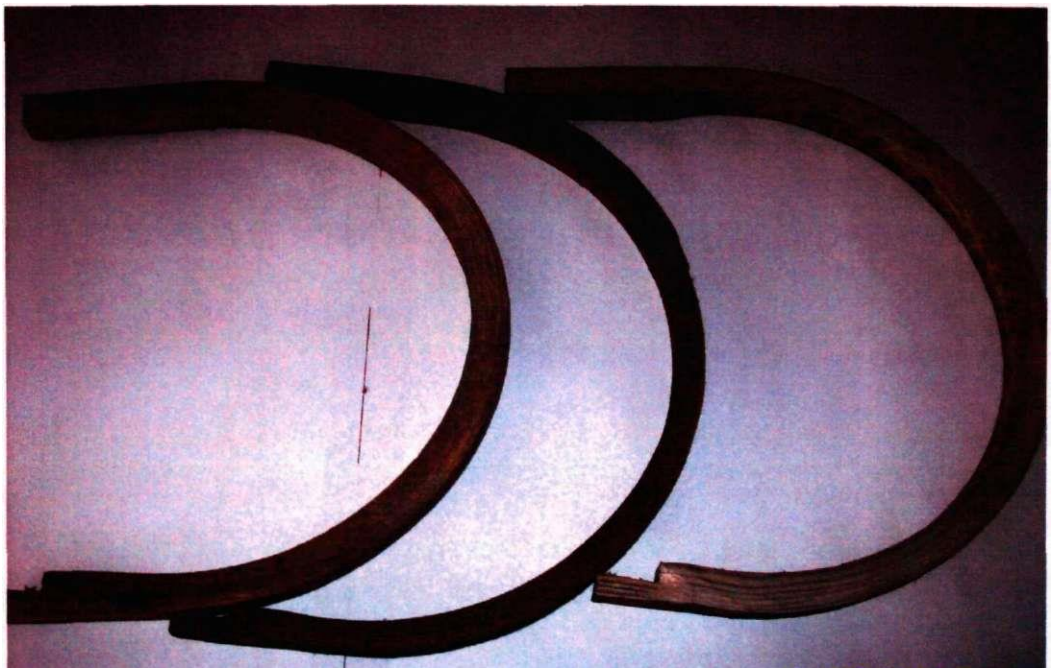


Рис. 3.9. Гнуті заготовки (модрина)

Як показали дослідження (рис. 3.9), ця порода має більшу здатність до пластифікації, що дає можливість проводити якісне гнуття з часткою браку 3,33%, при співвідношенні h/R= 1/5. Підвищена деформативність добре корелюється згідно з прийнятою нами гіпотезою. Це пояснюється тим, що на

відміну від сосни модрина має велику кількість складноефірних зв'язків лігно-вуглеводної матриці, які руйнуються при впливі сечовини, тим самим сприятимуть більш значним переміщенням фібрил целюлози.

Висновки

1. Експериментально підтверджено гіпотезу про можливість використання як пластифікатора водного розчину карбаміду для підвищення здатності хвойної деревини до згинання. Закономірності процесів пластифікації та гнуття, виявлені теоретично, повністю відповідають отриманим експериментально.

2. Структура режимів підготовки та гнуття деревини з використанням пластифікації карбамідом повинна бути наступною: Спочатку - просочення зразків із загальним поглинанням сечовини не менше 66 кг/м^3, потім підсушування до вологості близької до межі насичення клітинних стінок, тривалість гідротермічної обробки 170 хвилин, ступінь пресування при гнутті деревини сосни щонайменше 16%.

3. Деревні породи мають різну податливість до гнуття. Розроблені режими підготовки та гнуття хвойної деревини дозволяють отримувати заготовки з деревини сосни із співвідношенням товщини заготовки до радіусу загину 1/6, з модрини 1/5.

4. Встановлено, що основні вади, що впливають на здатність деревини до згинання, мають менший вплив, ніж при раніше розроблених технологіях гнуття. Це дозволяє знизити вимоги до якості вихідної сировини. Рекомендується використовувати заготовки для гнуття з максимальним радіальним нахилом волокон 4° та з діаметром здорових сучків не більше 5 мм.

5. Отримані математичні залежності є основою розробки технології гнуття деревини хвойних порід.

Список використаних джерел

1. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинознавство: навчальний посібник.-Львів: РВВ УкрДЛТУ, 2005.-256 с.

2. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини: підручник. – Львів: ТзОВ «Країна ангелят», 2010. – 305 с.

3. Кійко О.А. Основи наукових досліджень. Львів: НЛТУ України, 2010.-180 с.

4. Грицак С.А., Грицак С.С. Встановлення впливу параметрів пресування на процес гнуття букових меблевих заготовок. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2023, вип. 49. – С. 48-60.

5. Грицак С.А., Грицак С.С. Особливості процесу гнуття букових меблевих заготовок після пресування. Матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т.1. – С. 217-219.

6. Грицак С.А., Кушпіт М.А. Гнуття масивної деревини та якісні показники процесу гнуття. Матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т.1. – С. 240-241

7. Грицак С.А.. Гайда С.В. Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 16-27.

8. Апостол, А. В Влияние температурно-влажностного режима на физико-механические свойства древесины при прессовании // Теоретические аспекты модифицирования древесины: тезисы докладов всесоюзной конференции. — Рига: Зинатне, 1983. — С. 106 — 107.

9. Белянкин, Ф. П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон. - Киев: Издательство АН УССР, 1955. - 139 с.

10. Бухтияров, В. П. Технология производства мебели / В. П. Бухтияров. - М. : Лесная промышленность, 1987.- 264 с.

11. Бывшев, А. В., Левшина, В. В., Савицкий, Е. Е. Изменение прочности волокон ранней и поздней древесины сосны и лиственницы при делигнификации // Лиственница. Комплексная переработка : межвуз. сб. науч. трудов. - Красноярск, СТИ, 1985 - с. 120 - 124.

12. Бывших, М. Д. Исследование упруго-пластических свойств древесины применительно к её сушке : автореф. дис. канд. техн. наук.- JL, 1963.- 18 с.

13.Ермолин В.Н. Пропитка древесины при переменном давлении / В.Н.Ермолин, Д.Н. Деревянных. Лесной журнал. - 1999.-№4 .- С. 81-85.

14. Калинина, О. А. Технология получения цветной прессованной древесины марки "Дестам" и исследование ее свойств: автореф. дис. канд. техн. наук. - Воронеж , 2007. - 15 с.

15. Леонтьев, Н. Л. Влияние влажности на физико-механические свойства древесины / Н. Л. Леонтьев - М.: Гослесбумиздат, 1962. - 114 с.

16. Лоскутов, С. Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами / С. Р. Лоскутов. - Новосибирск. : СО РАН, 2004. - 172 с.

17. Манкевич, Л. А. Основы гнутья древесины. / Л. А. Манкевич. - Минск : Мин. высш., средн. и проф. образов., 1961.-271 с.

18. Орлов, А. А., Соколов, В. Л. Изменение физико-механических свойств древесины лиственницы при гидротермической обработке. Обзор. / Хвойные бореальной зоны № 1 - 2006. С. 147 - 159.

19. Панявин, С. Н. Разработка технологических режимов и оборудования пропитки, сушки и прессования древесины : Автореф. дис. на соиск. учен, степ. канд. техн. наук. - Воронеж, 2004. - 16 с.

20. Принцип Тонета. Мебель из гнутой древесины и стальных трубок. — Nurenberg : Veglag des Germanischen National museums, 1991. - 226 с.

21. Теоретические основы и экспериментальные исследования материалов и композитов с заданными свойствами в условиях неистощительного

использования лесных ресурсов : отчет о НИР (промежуточный) / ГОУ ВПО Сибирский государственный технологический' университет (СибГТУ); рук. д-р. тех. наук, проф. В. Н. Ермолин. - Красноярск, 2002. - 25 с. — Госбюджетная тема № 1.9.01 Ф.

22. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для вузов 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МГУЛ, 2001. - 340 с.

23. Хухрянский, П.Н. Прессование древесины / П.Н. Хухрянский. - М. : Лесная промышленность, 1964. - 351 с.

24. Цините, В. А., Гравитис, Я. А., Эриныи, П. П. Влияние удаления лигнина на набухание и механические свойства древесины / Химия древесины № 1.- 1976. - С. 12 - 20.

25. Черепанов В. Н. Термохимическая обработка древесины перед гнутьем / Новое в технике и технологии деревообработки, УкрНИИТИ, К., 1968.- С.24-29.

26. Шамаев, В.А. Обработка древесины растворами мочевины / Модифицированная древесина и её использование в народном хозяйстве : межвуз. сб. научн. трудов.- Воронеж, ВЛТИ, 1978. - С. 62 - 64.

27. Шамаев, В.А. Модификация древесины / В.А. Шамаев. - М.: Экология, 1991.- 128с.

28. Шамаев В А. Технология и оборудование химико-механического модифицирования древесины карбамидом: Автореф. дис. доктора техн. наук. - Воронеж, 1995. - 36 с.

29. Эриньш, П. П. Строение и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы. / Химия древесины № 1.- 1977. - С. 8-23.

30. Эриньш, П. П., Кулькевица, И. Ф. Исследование природы деформации древесины при разных способах её пластификации. / Химия древесины № 3.- 1981. - С. 90 - 95.

31. Wardrop, A. B., Dadswell H. The cell wall structure of xylem parenchyma. Australian J. Sei. Res. Ser. B-Bio, №5. - 1952. - p. 223 - 236.