

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
***“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”***

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт

з курсу

***ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕРЕВНОЇ МАСИ ТА  
КОМПЛЕКСНА ХІМІЧНА ПЕРЕРОБКА ДЕРЕВИНИ***

для студентів спеціальності

7.091611-“Хімічна технологія переробки деревини і рослинної сировини”

Затверджено  
на засіданні кафедри екології  
та технології рослинних полімерів  
протокол № 9 від 2.04.2003 р.

Київ 2003

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ з курсу  
**“ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕРЕВНОЇ МАСИ ТА  
КОМПЛЕКСНА ХІМІЧНА ПЕРЕРОБКА ДЕРЕВИНИ”** для студентів  
спеціальності 7.091611-“Хімічна технологія переробки деревини і  
рослинної сировини”/ Укл. Антоненко Л.П., Барбаш В.А., Дейкун І.М. –  
К.: НТУУ “КПІ”, 2003.- 70 с.

Укладачі: Антоненко Л.П.  
Барбаш В.А.  
Дейкун І.М.

Відповідальний редактор: Примаков С.П.

Рецензент: Писаненко Д.А.

Тем. план, 2003, поз. 21

Підп. до друку 14.04.2003. Друк офсетний. Облік.-видав. арк. 2,6. Наклад 150  
Київська фабрика технічних паперів, 02090, м. Київ, вул. Алма-Атинська, 2/1

## **ВСТУП**

Курс “Технологія виробництва деревної маси та комплексна хімічна переробка деревини” започатковує вивчення технології целюлозно-паперового виробництва.

Комплексне і раціональне використання деревної сировини, інтенсифікація процесів її переробки, підвищення якості і об'єму вироблюваних напівфабрикатів, паперу та картону - найважливіші задачі, які стоять в даний час перед целюлозно-паперовою промисловістю. Розвиток технології і збільшення об'ємів виробництва волокнистих напівфабрикатів високого виходу (ВНВВ) – різних видів механічної (деревної) маси, а також розширення асортименту паперу та картону, які містять в композиції ВНВВ, є можливими шляхами вирішення зазначених задач.

Для правильного розуміння і чіткого уявлення про технологічні процеси одержання деревної маси та целюлози студенти повинні знати макро- та мікроскопічну структуру деревини хвойних та листяних порід, розміри, форму і кількість клітин різного виду, їх характерні особливості, наявність і тип пор та інше. Вдосконалення технологій виробництва деревної маси та целюлози можливе лише на основі знання будови, хімічного складу і властивостей рослинної сировини.

Розглядаючи під мікроскопом та замальовуючи зразки різних видів деревної маси, студенти можуть бачити їх відмінності, оцінити властивості та придатність їх для виготовлення різних видів паперу та картону.

Мікроскопічне дослідження препаратів целюлози, одержаної з різних видів рослинної сировини (хвойної та листяної деревини, соломи, очерету та ін.) підводить студентів до вивчення технології одержання целюлози, а потім паперу та картону.

## **1 МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕРЕВИНИ**

### **1.1 Загальні відомості**

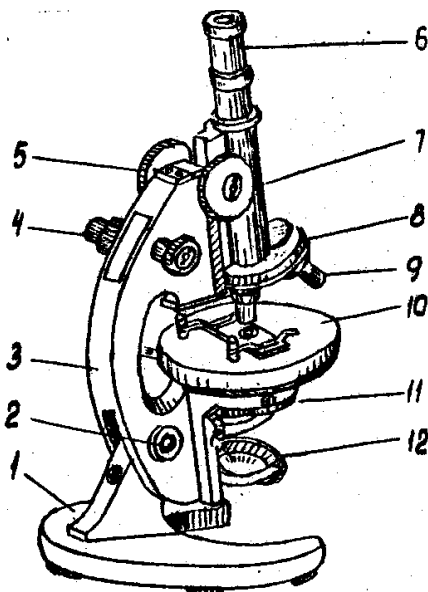
Мікроскопічний метод аналізу знаходить широке застосування в целюлозно-паперовому виробництві. Він незамінний при дослідженні рослинних матеріалів, деревних тканин, при вивченні структури та розмірів вихідних волокон, рівномірності проварювання чи вибілювання целюлози, контролі в процесі розмелювання при визначенні композиції паперу і картону й ін.

Цей метод простий і доступний у виконанні, не вимагає тривалої

підготовки зразків і дає хороші результати. Він дозволяє переконатися в складності і розмаїтості структури волокнистих матеріалів, побачити результати процесу розмелювання і виміряти волокна.

Для мікроскопічного дослідження використовують різні типи мікроскопів: звичайний, поляризаційний, електронний і ультрамікроскоп. Найбільш широке застосування в лабораторній практиці одержав звичайний мікроскоп, який дає збільшення до 600 разів. Такого збільшення в більшості випадків цілком достатньо, щоб вивчати окремі деталі будови волокна і контролювати технологічні процеси.

## 1.2 Будова мікроскопа



**Рисунок 1 - Мікроскоп М-10**

Звичайний мікроскоп М-10 призначений для дослідження прозорих об'єктів у світлі, яке проходить. Він дозволяє вивчати об'єкт при різних збільшеннях у межах від 56- до 600-кратного. Мікроскоп (рис.1) складається зі штатива і тубуса 7 із вмонтованою в нього оптичною системою. Штатив являє собою масивну литу підковоподібної форми підставку 1, верхня частина якої 3 для зручності виконана у формі ручки і з'єднана з нижньою за допомогою шарніра 2, що дозволяє змінювати нахил робочої частини мікроскопа.

У центрі штатива укріплений предметний столик 10, на якому двома пружинами закріплюється досліджуваний предмет. Верхню частину столика за допомогою відповідних гвинтів 11 можна переміщати у двох взаємно перпендикулярних напрямках. У центрі предметного столика знаходиться отвір, який пропускає промені світла, які відбиваються від закріпленого під ним дзеркала 12. Дзеркало може обертатися в будь-яку сторону. Тубус мікроскопа 7 може пересуватися вгору і вниз за допомогою зубцюватої рейки і двох пар гвинтів, розміщених у середній частині штатива. Пара гвинтів 5 служить для грубих переміщень, два інші мікрометричні гвинти 4 використовуються для точної установки різкості.

У нижній частині тубуса прикріплений револьвер 8 з вгвинченими в нього об'єктивами 9. Обертанням револьвера можна поставити на вісь

мікроскопа той чи інший об'єктив. Система оптичних лінз, яка розташована на верхньому кінці тубуса і звернена до ока спостерігача, називається окуляром 6. Призначення окуляра - збільшити отримане від об'єктива зображення предмета, який розглядають. Збільшення мікроскопа дорівнює добутку збільшень окуляра й об'єктива.

### **1.3 Робота з мікроскопом**

При роботі з мікроскопом важливе значення має рівномірне освітлення поля зору. Мікроскоп установлюють на робочому столі так, щоб предметний столик і дзеркало були звернені до джерела світла. Потім, спостерігаючи в окуляр, обертанням дзеркала домагаються яскравого і рівномірного освітлення усього поля зору мікроскопа. Знайшовши потрібне положення дзеркала, мікроскоп не слід пересувати, тому що це викликає необхідність нового налаштування освітлення.

Підготовлений препарат закріплюють пружинами на предметному столику мікроскопа і приступають до установки мікроскопа на різкість. Спочатку обертанням пари гвинтів 5 роблять грубе наведення доти, поки в полі зору не з'являться контури предмета. Точне наведення різкості досягається обертанням мікрометричних гвинтів 4. Різкість наводять плавно і дуже обережно тому, що при різкому переміщенні тубуса в напрямку препарату можна роздавити покривне скло і забруднити об'єктив.

Спочатку розглядають препарат при малому збільшенні тому, що в цьому випадку поле зору світліше і більше. Переміщуючи предметний столик за допомогою гвинтів 11 у ту чи іншу сторону, знаходять найбільш вдале поле зору, розглядають і замальовують препарат.

У процесі роботи з мікроскопом необхідно дотримуватися чистоти, не допускати забруднення реактивами предметного столика, скла оптичної системи й інших частин мікроскопа.

### **1.4 Приготування препарату**

Для мікроскопічного дослідження волокнистого матеріалу повинен бути приготовлений відповідний препарат. Для цього необхідно мати предметні скельця розміром 76×26 мм і товщиною 1...1,5 мм із безбарвного скла, покривні скельця розміром 20×20 мм, товщиною 0,15...0,18 мм, препарувальні голки і списи, виготовлені з нержавіючої сталі, ситечко для відмивання волокон, виготовлене з металевої сітки

№ 40, смужки фільтрувального паперу, реактиви для забарвлення волокон, набір пробірок і т.д.

Приготування препаратів ведуть у такий спосіб. Чисте предметне скло поміщають у підставку і закріплюють пружинами. При відсутності підставки скло можна покласти на білий папір. Невелику грудочку волокнистого матеріалу поміщають у пробірку, наповнену на 1/3 водою. Пробірку енергійно струшують до одержання однорідної суспензії, потім кілька крапель її наносять на середину предметного скла. Надлишок води забирають фільтрувальним папером. Волокнисту масу обережно розділяють препаратувальними голками на окремі волокна і рівномірно розподіляють на площі приблизно 1 см<sup>2</sup>, а потім висушують при температурі не вище 60 °С.

Після висушування в центр площадки волокон наносять краплю розчину хлорцинкйоду і накривають покривним склом. Щоб уникнути попадання пухирців повітря в препарат, покривне скло обережно підводять збоку. Надлишок реактиву, що виступив з-під скла, видаляють смужкою фільтрувального паперу.

Під дією хлорцинкйоду різні рослинні волокна набувають специфічного забарвлення, що допомагає розрізняти волокна кожного виду. Приготовлений препарат повинен бути рівномірним, без пучків волокон і пухирців повітря.

### **1.5 Замальовка препарату**

Мікроскопічні дослідження волокон супроводжуються замальовкою препаратів. Малюнки виконують від руки простим олівцем. Забарвлені препарати підфарбовують відповідним кольором. Поле зору повинне бути 7...8 см. При замальовці препарату необхідно строго дотримувати співвідношення між довжиною, шириною волокон і розмірами поля зору. Не слід прагнути до фотографічного зображення волокон. Малюнок повинен давати чітке уявлення про загальну будову волокон, що вивчаються, і їхні характерні риси. Необхідно відзначити форму волокон, характер пор, кінці волокон, наявність слизу, пучків волокон і ін. Волокна рекомендується замальовувати при малому збільшенні мікроскопа і тільки окремі деталі варто розглядати і замальовувати при великому збільшенні. Під кожним малюнком повинна бути наведена повна характеристика волокна: назва, колір, в який воно забарвлюється реактивом, довжина і ширина, форма, вид пор, характеристика кінців волокон і збільшення.

## 1.6 Анатомічна будова деревини

Деревні породи України підрозділяються на дві великі групи: хвойні і листяні. Вони відрізняються одна від одної як за хімічним складом, так і за анатомічною будовою.

Деревина - це звільнена від кори тканина трьох головних частин дерева: коренів, стовбура і гілок (крони). Корені надають дереву стійкості, пропускають у стовбур і крону розчинені у воді мінеральні речовини.

Стовбур створює опору для крони, є провідною системою й акумулює запаси поживних речовин.



**Рисунок 2 - Схема  
росту дерева**

У кроні здійснюється фотосинтез органічних речовин деревини.

Целюлозно-паперова промисловість використовує, в основному, деревину стовбура (60...90% об'єму дерева); корені і крона (по 5...20%) знаходять використання в лісохімічній промисловості.

Якість деревини, швидкість її росту, тип дерев для кожної конкретної місцевості залежить від впливу навколишнього середовища як головного генетичного фактора. У помірній (середній) зоні ріст дерев починається весною і закінчується пізньої осені. Поступовий ріст і розвиток рослини від ембріона (зародка) через

стадії насінного пагона, молоді деревини в зрілу - це результат активності зон спеціальних клітин, зосереджених у наконечнику всіх стебел, що розвиваються, (пагонів) і коренів (рис. 2).

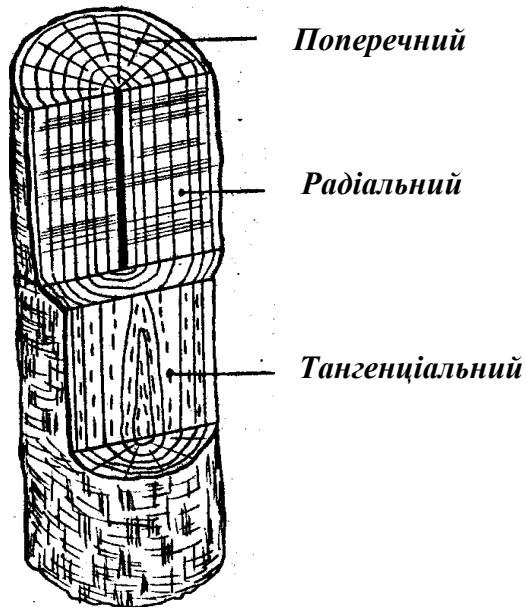
Деревина складається переважно з волокон - мертвих клітин витягнутої форми з потовщеними здеревілими стінками.

Волокниста будова деревини дає можливість одержувати з неї різні волокнисті матеріали: целюлозу, напівцелюлозу, деревну масу, а з них папір, картон і ін. Оскільки клітини деревини мають переважно витягнуту форму і розташовуються шарами, вид деревини змінюється в залежності від напрямку зрізу. Тому анатомічну будову деревини вивчають звичайно в трьох напрямках щодо осі стовбура: поперечному, чи торцевому, що йде перпендикулярно до осі стовбура; повздовжньому, чи радіальному - який розсікає стовбур через серцевину по його діаметру; тангенціальному - рівнобіжному осі стовбура по хорді (рис. 3).

На поперечному зрізі стовбура (рис. 4) видно серцевину - пухку, механічно неміцну тканину діаметром 1...6 мм; деревину - головну частину стовбура, що складається з концентричних окружностей - річних

кілець (шарів), і кору, що складається з двох шарів: зовнішнього мертвого - зовнішньої кори і внутрішнього живого - луба або флоєми.

На межі між деревиною і корою (лубом) знаходиться дуже тонкий живий шар, який називається камбієм. Клітини камбію мають



**Рисунок 3 - Зрізи деревини**

здатність ділитися, утворюючи клітини деревини і луба. Кожна жива клітина камбію в результаті свого поділу протягом вегетаційного періоду утворює у радіальному напрямку 105...110 клітин деревини і близько 10 клітин лубу. У деяких порід деревини річний шар складається з внутрішньої, більш широкої світлої і м'якої частини - ранньої (весняної) деревини, і зовнішньої, більш тонкої, твердої і щільної частини - пізньої (літньої) деревини. Оскільки річні шари (кільця) - це щорічне наростання деревини, кількість їх на поперечному зрізі в основі стовбура визначає вік дерева. По мірі просування до

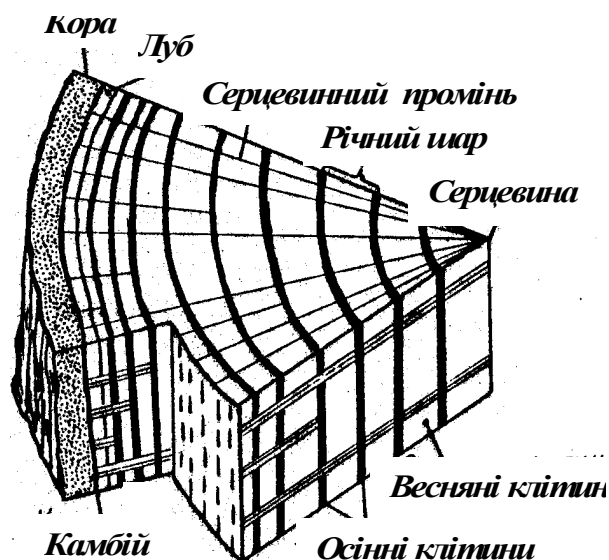
вершини дерева число річних кілець зменшується і біля самої вершини залишається одне кільце (рис. 5). Ширина річного шару для різних порід деревини неоднакова і коливається від 1 мм у самшиту до 10 мм у тополі. На радіальному зрізі річні шари видно у вигляді прямих ліній, рівнобіжних осі стовбура, на тангенціальному - у вигляді парабол (рис. 3). У хвойних порід річні кільця добре видні на всіх зрізах, а в більшості листяних порід (берези, осики, липи) річні шари розрізняються слабо.

Деревина більшості порід має світле забарвлення, але в деяких, крім світлої, прилягаючої до кори частини, яка називається заболонню, є темнозабарвлена частина - ядро.

Відповідно до цього всі породи поділяються на ядрові (модрина, сосна, дуб, тополя) і без'ядрові.

З групи без'ядрових порід виділяються спілодеревні (ялина, ялиця, осика), у яких центральна частина деревини не відрізняється за кольором, але містить значно менше води, ніж периферійна. Інші без'ядрові породи, що не мають спілої деревини, називаються заболонними (береза, вільха, липа). У ранньому віці деревина всіх порід складається тільки з заболоні, що служить для проведення води від коренів до крони і відкладення запасу поживних речовин.





**Рисунок 4 - Діаграма будови деревини**



**Рисунок 5 - Схема утворення річних кілець**

Вона містить більший відсоток живих клітин у порівнянні з ядром.

Процес утворення ядра полягає у відмиранні ядрових клітин деревини, закупорці водопровідних шляхів, відкладенні смол, просоченні дубильними речовинами і барвниками, у результаті чого колір ядрової деревини змінюється, її щільність збільшується, підвищуються механічні властивості і стійкість проти гниття.

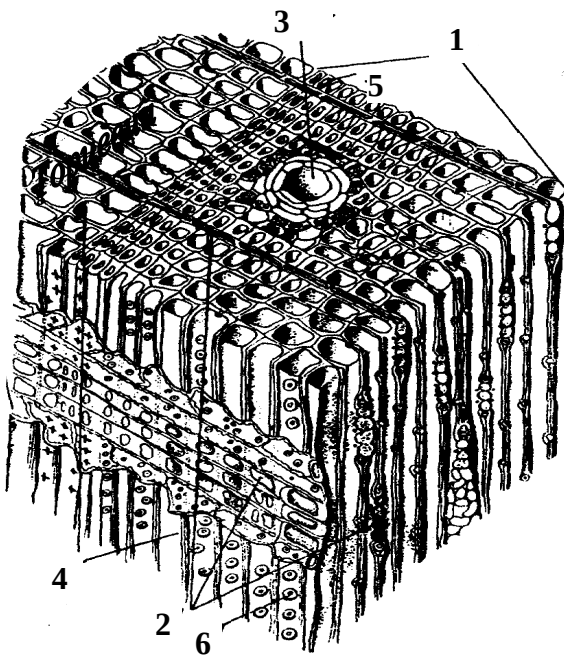
На зрізах деяких порід добре видні світлі, розбіжні від серцевини до кори по радіусах лінії - серцевинні промені, що служать для проведення води і поживних речовин у горизонтальному напрямку і для збереження запасу поживних речовин узимку. Під мікроскопом на поперечному зрізі серцевинні промені видні як ряди клітин, що йдуть по радіусах, на радіальному - вони складаються з ряду чи декількох рядів коротких, злегка витягнутих паренхимних клітин, розташованих уздовж променя, тобто поперек волокон деревини. Тангенціальним зрізом вони перетинаються поперек під кутом і тому являють собою веретеноподібні групи дрібних клітин, розташованих серед волокон деревини, що їх оточують. Серцевинні промені, у залежності від породи деревини, бувають вузькі, в один чи кілька рядів клітин, і

широкі, видимі без мікроскопа як смужки шириною 0,25...0,5 мм. Висота променя в деяких порід досягає 8 см. Уздовж променя йдуть міжклітники, через які в деревину проникає повітря крізь чечевички кори - єдині шляхи сполучення стовбура з атмосферою.

У деревині хвойних порід (сосна, ялина, модрина, кедр) є смоляні

ходи, які представляють собою міжклітинні канали, що розташовуються в деревині вертикально і горизонтально. Порожнину смоляного каналу вистилають видільні клітини, оточені паренхимними клітинами. Горизонтальні смоляні ходи розташовані серед паренхіми серцевинних променів і звичайно бувають утворені тільки двома шарами клітин: епітелієм і шаром мертвих клітин. Довжина горизонтальних ходів збільшується з віком по мірі наростання деревини і лубу. Діаметр горизонтальних смоляних ходів приблизно в 2,6...3 рази менше діаметра вертикальних ходів. Горизонтальні смоляні ходи перетинаються з вертикальними, утворюючи єдину смолоносну систему. На поперечному зрізі вони добре видні у вигляді крапок, а на повздовжньому - у вигляді рисок і ліній.

### 1.7 Мікроскопічна будова хвойної деревини

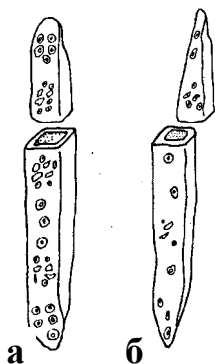


**Рисунок 6 - Мікроструктура хвойної деревини:**

*1-річний шар; 2-серцевинний промінь; 3-вертикальний смоляний хід; 4-ранні трахеїди; 5-пізні трахеїди; 6-облямована пора*

Деревина хвойних порід складається, в основному, з подовжених прозенхимних клітин - трахеїд і коротких паренхимних клітин (рис.6) [1]. Основні клітини деревини хвойних порід - трахеїди. В об'ємі стовбура вони складають 92...95%. Їхня довжина в середньому складає 2,5...4 мм, а ширина - 0,02...0,04 мм.

Трахеїди, сильно витягнуті клітини з косо зрізаними закругленими чи загостреними кінцями, розташовуються паралельно стовбуру і на поперечному зрізі видні у вигляді правильних радіальних рядів, що нагадують стільники. Основна функція трахеїд - проведення води по стовбуру і надання йому міцності. Трахеїди - це мертві клітини і тому їхня порожнина заповнена водою і повітрям.



**Рисунок 7 -  
Трахеїди  
весняні (а)  
та осінні (б)**

Кожен річний шар включає трахеїди двох видів: ранні і пізні. Ранні трахеїди (рис. 7 а) виконують провідну функцію, мають більш широкі порожнини і тонкі стінки з численними облямованими порами. Пізні виконують механічну функцію, мають більш товсті стінки, вузьку порожнину і загострені кінці (рис. 7 б).

Між трахеїдами проходять серцевинні промені і смоляні ходи. У деревині стовбура ялиці смоляних ходів немає.

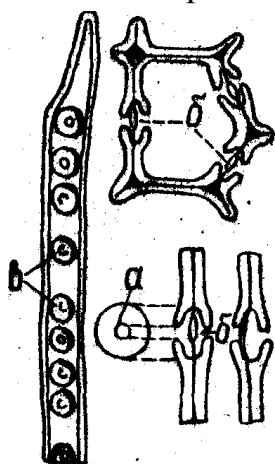
Серцевинні промені складаються з паренхимних клітин і горизонтальних трахеїд. Вони виконують запасуючу функцію і звичайно складаються з одного ряду клітин.

Смоляні ходи, вистелені усередині дрібними паренхимними клітинами, мають вид округлої порожнини, заповненої живицею (смолою).

Смоляні ходи, що йдуть уздовж стовбура серед трахеїд, називаються вертикальними. Смоляні ходи, розташовані усередині серцевинних променів, називаються радіальними чи горизонтальними. Усі смоляні ходи в стовбурі дерева з'єднані в єдину мережу.

Паренхимні клітини складають 3...5% об'єму хвойної деревини.

Паренхимні клітини мають округлу чи багатогранну форму (у вигляді барилиць), у більшості випадків тонкі стінки і приблизно однакові розміри в трьох напрямках (0,01...0,1 мм). Розміри паренхимних клітин такі: довжина до 160 мкм, ширина 15 мкм, висота 21 мкм. У дереві, яке росте, в межах заболоні паренхимні клітини живі і виконують функцію збереження запасних поживних речовин.



**Рисунок 8 -  
Облямовані  
пори**

Паренхимні клітини в деревині хвойних порід представлені, в основному, паренхімою серцевинних променів і смоляних ходів. Паренхимні клітини мають тонку оболонку і широку порожнину і служать для накопичення, збереження і проведення поживних речовин. Основними запасними речовинами є жири і крохмаль. Паренхимних клітин у хвойній деревині менше, ніж у листяній, тому що частина запасних поживних речовин, які споживаються рослиною навесні, зберігається в хвої.

Сполучення суміжних клітин у деревині хвойних порід здійснюється через пори. Пори бувають прості, облямовані і напівоблямовані (рис.8).

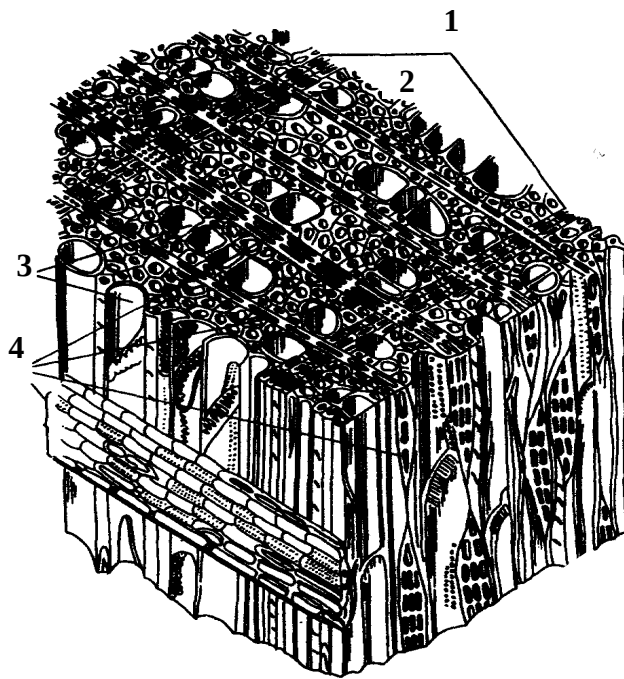
Пори служать для пересування вологи з трахеїди в трахеїду і відіграють суттєву роль при просуванні варильних розчинів у трісках.

Пори не є вільними отворами, у них зберігається тонка первинна стінка - мембрана, що виконує роль напівпроникної перегородки. У деяких облямованих порах видні торус і маргінальна зона. Облямівка утворюється нависаючим виступом оболонки, а торус відіграє роль клапана, що може закривати пору. Кожній порі в оболонці однієї клітини відповідає пора сусідньої клітини, тобто завжди існує пара пор. Мембрана, що розділяє пори, не є суцільною, вона пронизана дрібними отворами, що ведуть із клітини в клітину.

### 1.8 Мікроскопічна будова листяної деревини

Деревина листяних порід має більш складну будову, ніж хвойних, тому що утворена з великого числа різних клітин, будова яких значно відрізняється від виду до виду.

Листяні породи мають три види тканин: водопровідну, що складається із судин і трахеїд; механічну, що складається з волокон



**Рисунок 9 - Мікроструктура листяної деревини:**

1 - річний шар; 2 - лібриформ; 3 - судини;  
4- серцевинні промені

лібриформу і волокнистих трахеїд; запасуючу, що складається з паренхимних клітин серцевинних променів і вертикальної паренхими (рис. 9) [1]. Судини - це трубки, що тягнуться уздовж стовбура, які складаються з окремих клітин (члеників) довжиною 0,4...0,7 мм, із широкою порожниною і тонкою оболонкою. Стінки клітин у місці їхнього контакту відсутні (осика, дуб) чи мають сходову перфорацію (береза). Стінки судин мають облямовані і прості пори. Облямовані пори численні і мають округлу, щілиноподібну чи багатогранну форму. Довжина судин у стовбурі дерева складає від 2 см до 1 м і більше. Судини розміщують-

ся в деревині поодинокі або групами.

У залежності від характеру розміщення і розмірів порожнин судин у річному шарі деревини листяні породи розділяються на розсіяносудинні (судини майже однакового розміру і рівномірно розподілені по зоні річного кільця, як в осики і берези), і на кільцесудинні (судини різного розміру, причому великі зосереджені в ранній деревині річного шару, як, наприклад, у дуба).

Складність будови деревини листяних порід полягає в тому, що їй властиві перехідні форми від судин до трахеїд (судинні трахеїди) і від трахеїд до волокон лібриформу (волокнисті трахеїди). Тому судинні трахеїди виконують функцію проведення води, а волокнисті трахеїди - механічну функцію. Трахеїди листяних порід відрізняються від волокон лібриформу меншою товщиною оболонки і наявністю облямованих пор. Судинні трахеїди нагадують членики судин із зони пізньої деревини з торцевими стінками. В усіх стінках судинних трахеїд є велика кількість облямованих пор. Волокнисті трахеїди - це товстостінні волокна з облямованими порами, вузькою порожниною і загостреними кінцями. Вони виконують як механічні, так і водопровідні функції. Довжина трахеїд 1,0...1,5 мм.

Чисто механічні функції в листяних порід виконують волокна лібриформу. Це клітини веретеноподібної форми з товстими здеревілими стінками, вузькою порожниною і малим числом простих, косо розташованих щілиноподібних пор. Довжина їх коливається від 0,5 до 1,7 мм при ширині 0,02...0,03 мм. Пори в даних волокон прості щілиноподібної форми. Товщина оболонки клітин складає 3,5...4,9 мкм.

Паренхимні клітини листяних порід деревини за формою, розмірами і призначенням не відрізняються від паренхимних клітин хвойної деревини. Вони утворюють серцевинні промені, що у листяних породах розвинуті значно сильніше. Паренхимні клітини серцевинних променів із дрібними простими порами в оболонках трохи витягнуті в радіальному напрямку і мають майже однакову довжину в промені у берези, осики, дуба і бука. Товщина оболонок у паренхимних клітин складає 2...4,5 мкм.

Для целюлозно-паперової промисловості з кількісних показників анатомічних елементів деревини найбільш важливе значення мають розміри трахеїд хвойних і волокон лібриформу листяних порід. Ці показники коливаються не тільки для різних порід деревини, але й у межах однієї породи (табл. 1).

Найбільш рівномірну будову має деревина ялини, тому що вона містить незначний відсоток пізньої деревини (20%), яка складається з товстостінних трахеїд. Деревина модрина найменш однорідна і відрізняється більшим вмістом пізньої деревини (до 47%) з товстими

Таблиця 1

| Порода  | Довжина, мм | Ширина, мм    | Товщина стінки, мм |
|---------|-------------|---------------|--------------------|
| Сосна   | 2,6...4,4   | 0,030...0,076 | 0,002...0,007      |
| Ялина   | 2,6...3,8   | 0,025...0,069 | 0,002...0,006      |
| Кедр    | 1,5...4,4   | 0,038...0,04  | 0,003...0,006      |
| Ялиця   | 2,6...3,8   | 0,024...0,075 | 0,003...0,006      |
| Модрина | 2,0...4,7   | 0,028...0,062 | 0,003...0,009      |
| Осика   | 0,8...1,7   | 0,020...0,045 | 0,002...0,004      |
| Береза  | 0,8...1,6   | 0,024...0,040 | 0,002...0,004      |

клітинними стінками. Від розмірів волокон залежать їх паперотворні властивості. Нерівномірність будови волокон хвойних порід (різна товщина клітинної стінки ранніх і пізніх трахеїд) негативно позначається на якості паперу. Ранні трахеїди легше формуються, дають більш однорідний лист паперу, мають кращу вбирність, що є їх позитивною властивістю при виготовленні друкарських і деяких інших видів паперу.

### 1.9 Ультраструктура клітинної стінки волокна

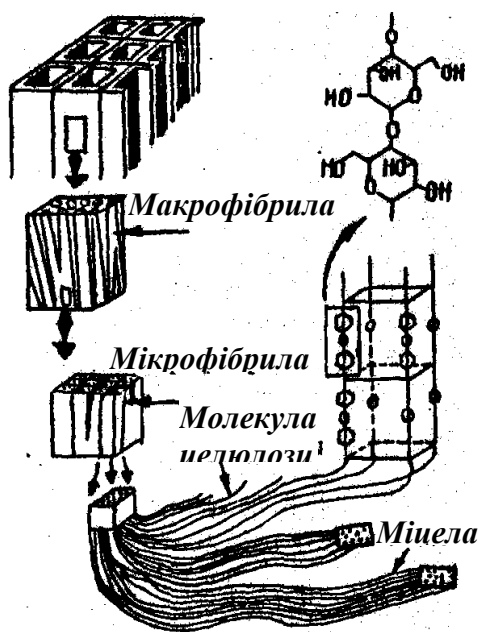
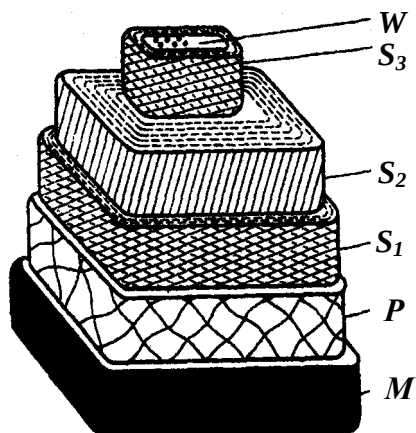


Рисунок 10 - Будова клітинної стінки

Знання ультраструктури клітинної стінки волокна необхідне для керування процесами делігніфікації деревини і розмелювання целюлози. Кістяк, чи основу, речовини клітинних стінок деревини складає целюлоза - лінійний ланцюг нерозгалуженого гідрофільного полісахариду, що складається з повторюваних одиниць мономерів Д-глюкози. Макромолекули целюлози в клітинних стінках мають визначене взаємне розташування, що створює надмолекулярну структуру целюлози, одиницею якої є целюозна фібрила - пучок

макромолекул, орієнтованих в одному напрямку. Напрямок целюлозної фібрили можливий по осі волокна, або по спіралі довкола нього. У залежності від товщини пучка розрізняють макрофібрили (видимі в

оптичний мікроскоп), мікрофібрили й елементарні фібрили (видимі тільки в електронний мікроскоп) (рис. 10).



**Рисунок 11 -  
Ультрамiкробудова  
клiтини**

У фібрилі (мікрофібрилі) є зони з високим ступенем упорядкованості макромолекул. Такі зони називаються кристалічними. Також є зони, де макромолекули целюлози знаходяться в неупорядкованому (хаотичному) стані. Ці зони називаються аморфними.

Клітинна стінка деревних волокон складається з ряду оболонок, що відрізняються фізичною організацією, хімічним складом і властивостями. У стінці клітини розрізняють первинну

оболонку P і вторинну S, що у свою чергу поділяється на три шари: зовнішній S<sub>1</sub>, середній S<sub>2</sub> і внутрішній S<sub>3</sub> (рис. 11). Електронномікроскопічне дослідження стінки показало, що з боку порожнини клітини шар S<sub>3</sub> покритий вистилаючим тонким шаром, що складається з мембрани і горбкуватих утворень. Цей шар називається бородавчастим (W) і спостерігається майже у всіх видів хвойних і в багатьох листяних порід.

Первинні оболонки сусідніх клітин скріплені між собою міжклітинною речовиною. У зрілій деревині міжклітинна речовина і первинна оболонка сильно лігніфіковані. У звичайному мікроскопі міжклітинний шар не розрізняється, і лише у вигляді вузької смужки проглядається серединна пластинка (M), що складається з міжклітинної речовини і двох сусідніх первинних оболонок (рис. 12).

Складна серединна пластинка в основному складається з лігніну (60...90%), а інші 10...40% складають пектини, геміцелюлози, целюлоза і неорганічні сполуки. Завдяки аморфній будові лігніну і пектинів серединна пластинка швидше за інші шари піддається впливу кислот і лугів, набряканню і наступному розчиненню під час варіння.

Первинна оболонка (P) є першим шаром клітинної стінки. Вона так само сильно лігніфікована, як і серединна пластинка, але близько 1/3 об'єму в ній займає целюлоза. Мікрофібрили целюлози переплітаються між собою, утворюючи пухку сітку, проміжки якої заповнюють лігнін і геміцелюлози. Товщина первинної оболонки незначна – близько 0,3 мкм.

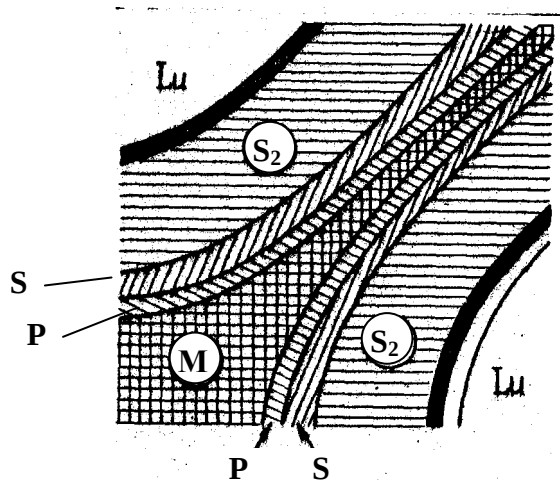


Рисунок 12 - Серединна пластинка

Більшу частину клітинної стінки складає вторинна оболонка, переважним компонентом якої є целюлоза. Целюлозні мікрофібрили щільно упаковані і розташовані паралельно одна одній, утворюючи окремі ламели. У зовнішньому, середньому і внутрішньому шарах вторинної оболонки мікрофібрили орієнтовані під визначеними кутами до осі волокна. Результат такої їхньої орієнтації - утворення спіральної текстури.

## 2 МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОСЛИННИХ ВОЛОКОН

### 2.1 Визначення роду (виду) волокон

За допомогою мікроскопічного методу вивчають будову основних видів волокнистих напівфабрикатів, які використовуються для виготовлення паперу і картону. Волокна рослинного походження, які використовуються в целюлозно-паперовому виробництві, умовно можна розділити на три групи: нездеревілі, частково здеревілі і здеревілі.

Нездеревілі (текстильні) волокна - бавовна, льон, прядиво, рамі, джут - містять дуже незначну кількість лігніну й забарвлюються хлорцинкйодом у винно-червоний колір.

Частково здеревілі (целюлозні) волокна - целюлоза хвойна і листяна, солом'яна, очеретяна, бамбукова й ін. - містять до 6% лігніну й забарвлюються хлорцинкйодом у фіолетовий колір.

Здеревілі волокна - деревна маса біла, термомеханічна, хімічна, напівцелюлоза різних видів - містять лігніну більше 6% і забарвлюються хлорцинкйодом у жовтий колір.

Крім цих видів волокон, у паперовій промисловості іноді використовуються волокна тваринного (вовна) і мінерального походження (азбестові, скляні, базальтові й ін.), хімічні волокна (капронові, лавсанові, віскозні й ін.)

Характерними рисами будови волокон можна вважати наступні: форма і розмір (циліндричні, плоскі; зрушення, шорсткість; наявність каналу;



характер закінчень у природному стані і після механічного впливу розмелювальної апаратури; вид, розмір і розташування пор; розмір і форма клітин епітелію.

## 2.2 Бавовна

Світове виробництво бавовняного лінту складає більше 18 млн.т, або 75% виробництва всіх волокнистих культур.

Бавовник - багаторічна дерев'яниста рослина, у тропічних районах земної кулі виростає у вигляді кущів і дерев висотою 6...7 м. У СНД і інших країнах культивується у вигляді невеликих кущиків 1,5...2 м. Низькорослі форми бавовнику по своїй природі теж багаторічні, але оскільки в районах бавовництва взимку бувають морози, бавовник може рости тільки як однорічна культура.

У країнах СНД зона промислового бавовництва - країни Середньої Азії (Узбекистан і Таджикистан). В Україні бавовна не культивується.

Після збирання бавовни-сирцю на полях залишаються стебла бавовнику, так звана гуза-пая. Кількість їх залежить від сорту бавовнику й умов вирощування. В даний час стебла бавовнику переробляються в дуже невеликій кількості, частково вони використовуються місцевим населенням як паливо, на спорудження огорож і інші господарські споруди. Значну кількість стебел бавовнику спалюють і заорюють при підготовці посівних площ.

Багатотонажними споживачами стебел бавовнику, крім целюлозно-паперової промисловості, можуть стати гідролізна промисловість і виробництво деревноволокнистих плит.

У процесі переробки бавовни-сирцю на бавовноочисних заводах одержують насіння бавовнику, сортоване бавовняне волокно довжиною більше 20 мм, пух, чи лінт, довжиною менше 20 мм і підпушок, чи делінт, довжиною менше 5 мм. Стебло в бавовника пряме, міцне, розгалуджене, у основі досягає діаметра 6...12 мм. Від основного стебла відходить 3...5 бічних відгалужень.

Плід бавовнику - трьох-п'ятигніздова коробочка опукло-яйцеподібної форми. При дозріванні вона розтріскується по швах, а стулки відходять назад і відгинаються, оголюючи волокно. У гнізді коробочки 5 насінин, покритих зверху довгими волокнами. Після видалення насіння з волокон залишається підпушок - лінтер, що складається з густих коротких волосків (3...15 мм) сірого, зеленого чи смарагдово-зеленого забарвлення.

Волокна бавовнику - це окремі клітини зовнішнього епідермісу шкірки насіння, сильно витягнуті в довжину. Довжина волокна в культурних форм 30...33 мм, ширина волокна 12...38 мкм (середня - 20 мкм).

У розвитку волокно проходить два етапи тривалістю 25...30 днів кожний. Протягом першого етапу волокна розростаються, головним чином, у довжину і досягають максимальної величини, властивої тому чи іншому сорту бавовнику. Із самого початку утворення волокон їхній діаметр збільшується.

По довжині волокон діаметр їх неоднаковий. Найбільший діаметр буває або в основі, або посередині волокон. У верхній третині волокна діаметр поступово зменшується, від чого вершина помітно звужується, але не загострюється. Якщо найбільший діаметр буває в основі, то волокна мають вигляд витягнутого конуса майже циліндричної форми з більш-менш звуженою тупою вершиною. Якщо ж найбільший діаметр посередині довжини, то форма волокна виходить веретеноподібною.

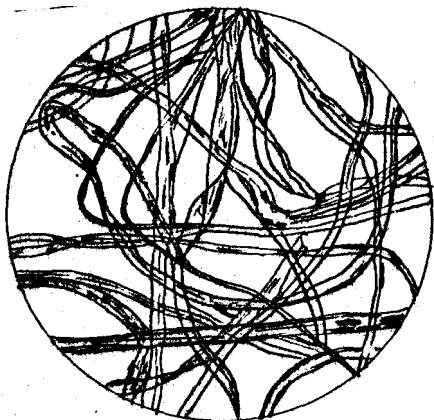
Протягом другого етапу розвитку волокон відбувається потовщення стінок шляхом відкладання з боку порожнини клітини шарів целюлози. У результаті стінки волокна набувають шаруватої структури, що добре видно на поперечних зрізах. Таких шарів, що нарастають щодня у цілком сформованих волокон, нараховується від 25 до 30.

Стінки волокон від початку розвитку до повного дозрівання залишаються майже чисто целюлозними. Зовнішній кутикулярний шар трохи товщає. До складу цього шару входять віск і пектини.

При розгляді під мікроскопом бавовняні волокна (рис. 13) виглядають як плоскі стрічечки, звужені при основі і загострені на вільному кінці. Більшість волокон має стрічкоподібну форму і перекручена навколо своєї осі широкою спіраллю, ступінь скрученості якої залежить від зрілості волокна [2].

У зрілих волокон у результаті висихання клітинного вмісту тургорний тиск падає, стінки спадаються і волокна наче б то сплющуються, набуваючи стрічкоподібної форми. Одночасно відбувається скручування волокон у результаті чого вони становляться звивистими у вигляді спіралі.

У перезрілих волокон стінки занадто товсті, тому при висиханні вони не спадаються, а отже, і не скручуються. На поперечному зрізі такі волокна мають округлу форму. У недозрілих чи зовсім перезрілих волокон стінки при висиханні спадаються легко і сильно, але перевитість у них виходить слабка, нерівномірна чи зовсім відсутня. Тому висохлі перезрілі волокна мають під мікроскопом вид плоских стрічечок. Стінки клітин волокон бавовни досить тонкі. Посередині волокна пролягає широкий канал, що займає до  $2/3$  усієї ширини волокна і поцяткований дрібною косою штрихуватістю, добре видимою при сильному збільшенні, особливо на незакручених волокнах. По наявності чи відсутності отвору всередині волокна можна судити про його зрілість.



**Рисунок 13 - Волокна  
бавовни**

У зрілих волокон залишається отвір у вигляді щілини, що є деформованою порожниною клітини, у незрілих - стінки спадаються настільки сильно, що внутрішні поверхні дотикаються і канал зникає.

Таким чином, волокна бавовни – це одноклітинні волоконця, що покривають насіння бавовнику. Мають стрічкоподібну форму з тупозагостреними кінцями. Більшість волокон перевита навколо своєї осі, стінки клітин тонкі. Пори і стовщення відсутні. При розмелюванні бавовняні волокна важко розділяються на фібрили і

набагато легше дають коротковолокнисту масу через спіральне розташування фібрил у клітинній стінці. Кут закручування фібрил близько  $45^\circ$ .

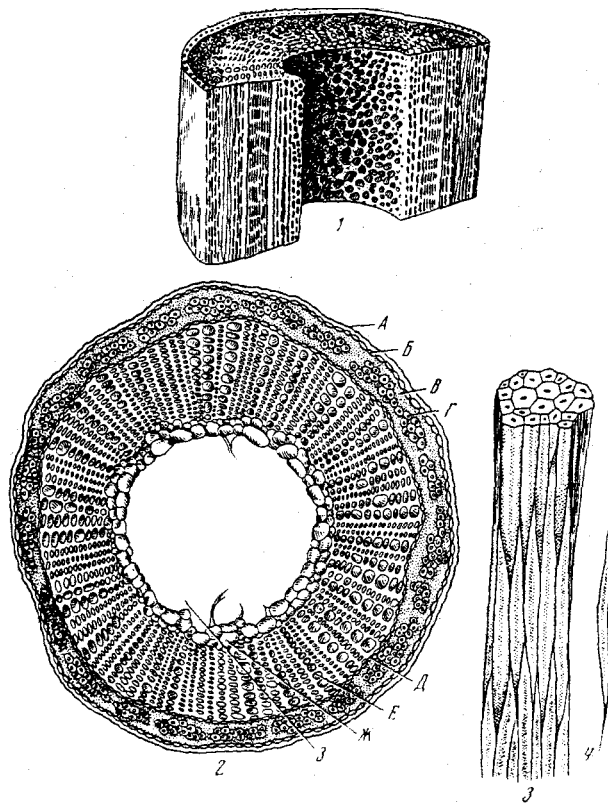
Бавовняні волокна забарвлюються хлорцинкйодом у винно-червоний колір.

### **2.3 Льон**

У виробництві різних видів целюлозно-паперової продукції можуть бути використані солом льону і конопель та льоно-прядивні відходи переробних підприємств.

Світове виробництво лляного волокна складає 0,6 млн.т і займає 4 місце з часткою близько 3,0 %, а конопляного волокна – 70 тис.т, або 0,3%. В Україні виробляється близько 6 тис.т лляного волокна. Середня врожайність цих технічних культур складає: 3,6 ц/га лляного волокна, 11...12 ц/га волокна конопель і 3,1 ц/га насіння льону-кучерявця.

Вміст луб'яного волокна в соломі цих культур становить: у льону-довгунця - 20...20%, у конопель - 20...25%, у льонів-кучерявцю -10...15%. У процесі первинної обробки соломи льону-довгунця і конопель на льоно-прядивних заводах луб'яна волокниста частина відокремлюється від здерев'янілої частини - костриці, що складає 60...65% маси оброблюваної соломи. Костриця частково використовується як паливо на льоно-прядивних заводах, частково йде на виробництво волокнистих плит. Поряд з довгим прядильним волокном при первинній обробці льону-довгунця і конопель виходить також коротке волокно. Структура використання пряжі з довгих та коротких лляних волокон у країнах ЄС у % наступна: виробництво одяжних тканин -50, меблевої оббивки, інших виробів побутового призначення - 20, мішків, канатів та ін. -17.



**Рисунок 14 - Анатомічна будова стебла льону:**

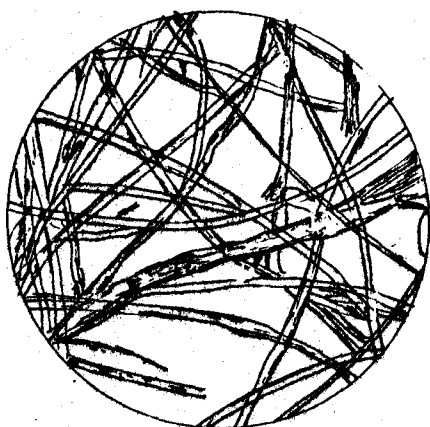
*1-повздожньо-поперечний розріз стебла; 2-поперечний зріз стебла (А-кутикула, Б- епідерміс, В-корова паренхіма, Г - луб'яні пучки, Д - камбій, Е-деревина, Ж-серцевина, З-порожнина); 3-волокнистий пучок; 4 - елементарне волокно*

Воно може бути використане в целюлозно-паперовій промисловості замість дефіцитного полотняного ганчір'я при виробництві високоякісного паперу.

Льон звичайний - трав'яниста дводольна рослина. Анатомічна будова стебла показана на рис. 14. Зовні стебло покрите епідермісом, що складається із шару клітин. Під епідермісом розташований шар корової паренхіми, чи флоєми, що складається з тонкостінних клітин, які з'єднують інші тканини стебла. У коровій паренхимі утворюються тяжі первинних флоємних чи луб'яних волокон. На поперечному зрізі вони виглядають окремими острівцями, що іноді зливаються в суцільне кільце - пучок. Волокнисті пучки - найбільш цінна частина стебла, що використовується в технічних цілях. Вони розташовуються уздовж всього стебла по його периферії, утворюючи кільце, що складається з 20...40 пучків. У кожному пучку кількість луб'яних волокон коливається від 10 до 50.

Основну частину (75%) маси стебла льону складає деревина. Деревина складається з коротких волокон довжиною до 1 мм і шириною 18 мкм. Середнє відношення довжини до товщини – 41 [3].

Елементарні волокна льону (рис.15) тонкостінні, веретеноподібної форми. Деревина містить також велику кількість довгих судин. Центральна частина стебла називається серцевиною. Вона складається з неміцних тонкостінних паренхимних клітин. У дозрілої лляної рослини клітини серцевини руйнуються й усередині стебла утворюються порожнини. Луб'яні волокна складають близько 25% маси стебла. Їх довжина коливається від 9 до 70 мм, середня - 33 мм, ширина волокон 5...38 мкм, середня - 19 мкм. Відношення довжини до ширини - 816.



**Рисунок 15 -Волокна  
льону**

Луб'яні волокна льону – це довгі товстостінні клітини циліндричної форми з гладкою поверхнею із сильно загостреними кінцями. Волокна льону мають круглий перетин з рядом вузлуватих потовщень, поперечних зрушень і штрихів, на поверхні спостерігається повздовжня смугастість. Внутрішній канал дуже вузький і проглядається у вигляді темної лінії.

Лляні волокна при розмелюванні легше фібрилюються, ніж бавовняні, тому що шари фібрил розташовані майже паралельно осі волокон. Кінці волокон при розмелюванні розщеплюються на ряд окремих волоконцець - фібрил, які за зовнішнім виглядом нагадують пензлик. Лляні волокна при розмелюванні звичайно дають масу жирного помелу. Волокна льону забарвлюються хлорцинкйодом у винно-червоний колір.

Ляне волокно є одним з самих міцних на розрив рослинних волокон (табл.2).

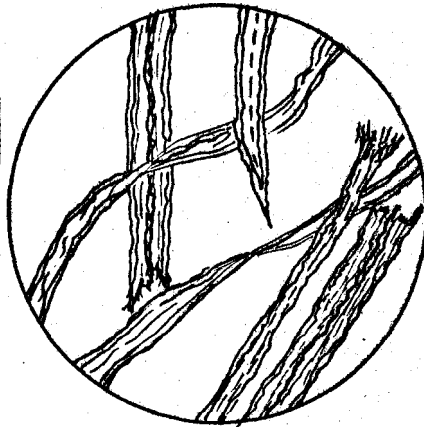
**Таблиця 2.**

| Показник                            | Природні волокна |         |        | Хімічні волокна           |                |         |         |         |
|-------------------------------------|------------------|---------|--------|---------------------------|----------------|---------|---------|---------|
|                                     | Льон             | Бавовна | Вовна  | Віскозний шовк та штапель | Ацетатний шовк | Капрон  | Лавсан  | Нітрон  |
| Питома маса, г/см <sup>3</sup>      | 1,5              | 1,52    | 1,32   | 1,52                      | 1,32           | 1,14    | 1,38    | 2,17    |
| Розривна довжина, м·10 <sup>3</sup> | 33...40          | 23...36 | 9...15 | 12...21                   | 10...14        | 40...46 | 30...40 | 23...30 |

Лляна ганчіркова напівмаса готується з полотняного ганчір'я, відходів текстильних фабрик і фабрик первинної переробки льону. Луб'яні волокна льону майже не містять лігніну, їх вторинні оболонки майже цілком складаються з целюлози. Напівмаса з луб'яних волокон призначена для виготовлення високосортних видів паперу.

Целюлоза з лляних волокон стебел (костриці) складається з коротких волокон і може використовуватися при виробництві таких видів паперу, від яких не вимагається високих механічних властивостей.

## 2.4 Коноплі



**Рисунок 16 - Волокна  
конопель**

Стебло конопель волосисте, внизу округле, вище шестигранне, досягає 3...5 м висоти при товщині 3,4...5,0 см. Волокно міститься в корі стебла рослини у вигляді окремих пучків, розташованих майже безперервним кільцем. Довжина окремих волокон 5...55 мм, ширина – 15...28 мкм. Поряд з первинним кільцем луб'яних пучків, як правило, є ще кілька вторинних кілець. Волокно конопель відрізняється високою міцністю.

Усі сорти конопель поділяються на дві групи. До однієї належать сорти, що мають волокна грановані і ізодіаметричні

з крапковим каналом, до іншої - волокна овальні, закруглені, з широким порожнинним каналом.

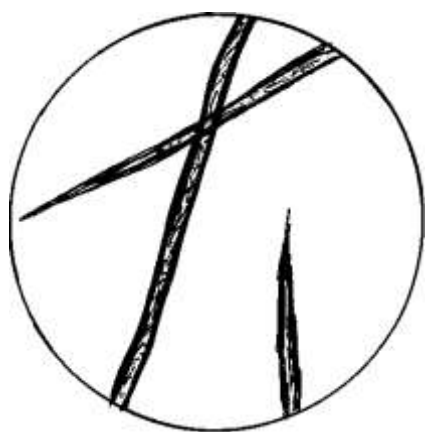
Особливості луб'яних волокон конопель (прядивних волокон) наступні (рис. 16): волокна мають дуже товсті, трохи здеревілі стінки, тонкий канал, поперечні зрушення і повздовжню шорсткість, особливо помітні в зрілому волокні; кінці прядивного волокна закруглені і часто роздвоєні вилоподібно; волокно розщеплюється на окремі фібрили ще легше, ніж лляне, тому природний кінець волокна в препараті паперу рідко зустрічається. Відрізнити прядивне волокно від лляного дуже важко, на поперечному зрізі внутрішній канал у прядива розгалужений, у той час як у льону - у вигляді крапки чи кружечка.

## 2.5 Кенаф

Кенаф – однорічна луб'яна культура із родини мальвових.

Кенаф є швидкоростучою сировиною з високою врожайністю, яка складає 18...20 т/га на відміну, наприклад, від тополі (5 т/га), та потребує витрат на жнива значно менших, ніж на рубку лісу. Кенаф – волого- та теплолюбна рослина південних регіонів. Кращі ґрунти для нього – легкі, водопроникні з близьким заляганням ґрунтових вод (1...1,5 м), особливо придатні для нього ґрунти річкових долин, лесові та чорноземи. В Україні кенаф вирощується з 1994 р. у Херсонській області Степовою філією УкрНДІ лісового господарства та меліорації із насіння, наданого канадською фірмою CANADIAN BANK NOTE CO. LTD. Одночасно з цим проводиться селекційна робота з виведення вітчизняного сорту, адаптованого до умов півдня України.

Висота стебла кенафу досягає 3,5...4 м з діаметром біля окоренку 8...30 мм. Стебло складається з деревини та луб'яних волокон, які використовуються для виготовлення мішковини для потреб цукрової, бавовняної, цементної та хімічної промисловості. Найбільшу цінність для ЦПП складають луб'яні волокна, вміст яких у стеблах складає у залежності від сорту 16...18%. Найбільший вміст волокна спостерігається у період повного цвітіння до кінця технічної стиглості. Відходи волокон кенафу – кострицю - використовують при виробництві будівельних ізоляційних плит, а також деяких сортів паперу.



**Рисунок 17 – Волокно кенафу**

Насіння кенафу містить до 20% олії, яка використовується у шкіряній, миловарній та лакофарбовій промисловості. Жом використовується як корм для тварин та як добриво.

Максимальна частка найбільш цінного луб'яного волокна знаходиться у верхівках рослини (до 90%) при мінімальному вмісті (до 10%) деревного волокна, хоча частка луб'яного волокна у основній частині стебла (середині) складає тільки 60%. Щільність стебла збільшується від окоренка до верхівки за рахунок збільшення масової частки луб'яного волокна у стеблі. Частка листя, колосся, гілля у загальному фракційному складі кенафу коливається від 3 до 12% у залежності від періоду вегетативної зрілості культури.

Елементарні волокна кенафу являють собою товстостінні клітини з загостреними кінцями (рис.17). Довжина їх коливається від 1 до 5 мм, середня довжина 2,0...2,12 мм, ширина 1,8...2,25 мкм, відношення довжини до ширини - більше 100 [2]. Волокна з кенафу за своїми властивостями схожі з волокнами сосни, тому напівфабрикат, одержаний з кенафу, може використовуватися для виробництва дуже міцного паперу, наприклад, мішкового. Волокна кенафу забарвлюються хлорцинкйодом у винно-червоний колір.

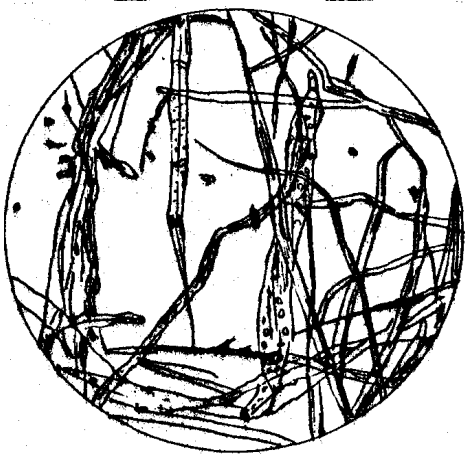
## **2.6 Целюлоза хвойна**

З хвойних порід деревини целюлозу одержують шляхом варіння сульфітним (ялина) чи сульфатним (сосна, модрина) способом.

Варіння здійснюють безперервним чи періодичним способом при температурі 140...180 °С і тиску  $(6...8) \cdot 10^5$  Па. У цих умовах під дією

хімікатів лігнін серединної пластинки розчиняється і частково видаляється з первинної оболонки.

Деревина при цьому розпадається на окремі волокна - клітини. У процесі згущення, промивання і відділення смоли значна частина паренхимних клітин видаляється з целюлози й основну масу товарної целюлози хвойних порід деревини складають довгі стрічкоподібні клітини - трахеїди. Своїми перевитостями вони трохи нагадують волокна бавовни.



**Рисунок 18 - Целюлоза хвойна**

Особливість волокон хвойної целюлози - наявність облямованих пор, що мають вигляд кружечків з подвійним обідком при мікроскопічному розгляді (рис. 18).

Розрізняють трахеїди раннього і пізнього утворення, чи весняні й осінні. Ранні трахеїди більші за розміром в поперечному перерізі, стінки їх тонкі, канал широкий, кінці злегка закруглені. Стінки ранніх трахеїд покриті численними облямованими порами. Пізні трахеїди більш вузькі в поперечному перерізі, стінки їх сильно стовщені, канал вузький, кінці загострені. Облямовані пори дрібні і зустрічаються рідше.

Довжина волокон хвойної целюлози – трахеїд - коливається в межах 2,5...4,4 мм, а ширина - 0,03...0,04 мм. Волокна хвойної целюлози забарвлюються хлорцинкйодом у синьо-фіолетовий колір.

Хвойна целюлоза використовується для виготовлення високоякісного паперу, що має значну механічну міцність. У невибіленому вигляді використовується для виготовлення кабельного, електроізоляційного, мішкового й інших видів паперу, у вибіленому виді - для виготовлення писального, друкарського, картографічного, документного і ін.

## 2.7 Целюлоза листяна

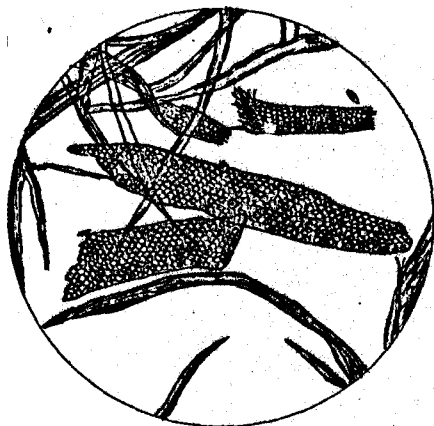
Одержують варінням деревини м'яколистяних порід: осики, берези, тополі й інших порід кислим сульфітним, бісульфітним, моноссульфітним і сульфатним способами.

Листяна деревина - великий резерв деревної сировини, що може бути широко використаний у целюлозно-паперовій промисловості. В останні роки споживання деревини листяних порід у більшості країн з розвинутою целюлозно-паперовою промисловістю значно зросло. Це обумовлено не лише необхідністю вишукування і розширення сировинних ресурсів



целюлозно-паперової промисловості, але і тим, що волокнисті напівфабрикати з листяної деревини мають ряд властивостей, що позитивно впливають на певні показники якості паперу і картону і технологію їх виготовлення.

Запаси листяної деревини досить великі і можуть служити значним додатковим резервом сировини. Наприклад, березові насадження займають площу 91,8 млн.га або 13,6% усіх лісових площ. Їхні запаси складають 6,8 млрд.м<sup>3</sup>. Другою за займаною площею і запасом є осика. Її запаси складають 1,6 млрд.м<sup>3</sup> або 2,1% усієї деревини.



**Рисунок 19 - Целюлоза  
листяна**

З великої кількості різних порід листяної деревини, що ростуть в Україні, найбільший інтерес для целюлозно-паперової промисловості представляють береза, осика, тополя, а також бук, вільха, граб.

Береза нараховує 60 видів, до числа яких належать бородавчаста, пухнаста, залізна й ін. Найбільше поширення мають берези бородавчаста і пухнаста, що ростуть майже повсюдно. Вони займають

2/3 площі всіх листяних лісів; мають однорідну будову, колір і високу механічну міцність. Висота стовбура бородавчастої і пухнатої берези досягає 30 м, діаметр - 0,8 м.

Ці види берези використовують у виробництві луценого шпону, клеєної фанери, деревних пластиків, лиж, сільськогосподарських машин, олівців, а також у лісохімії.

Осика належить до родини вербових. Висота стовбура досягає 35 м, діаметр - 1 м.

Деревина її білого кольору, іноді з зеленуватим відтінком. Осика служить основною сировиною для виробництва сірників. Використовується також у виробництві фанери, дерев'яної тари і деяких видів простих меблів.

Тополь також належить до родини вербових. Усього відомо більше 100 видів тополі. Найбільш розповсюдженими є: біла і чорна тополя, чи осокір бальзамічний. Висота стовбура досягає 36 м, діаметр - 4 м. Усі види тополі - швидкоростучі. Деревина їх має невисоку механічну міцність. Тополь використовується переважно для озеленення міст та інших населених пунктів, а також у полезахисному лісорозведенні. У ЦПП використовується для одержання целюлози.

Бук нараховує 10 видів. У лісах України є три його види; лісовий, чи

західноєвропейський, східний і кримський. На Кавказі й у Криму він утворює чисто букові гаї. Висота букових дерев досягає 50 м, діаметр - 2,0...2,5 м. Деревина бука білого кольору з жовтуватим-червоним відтінком, на повітрі швидко руйнується, а у воді й у сильно зволоженому стані дуже міцна. Бук використовується для виробництва меблів, паркету, шпал, струганого шпону, клепок для різного вигляду тари і для одержання продукції лісохімії.

Вільха належить до родини березових. Існує близько 30 видів її. Найбільш розповсюджена вільха чорна - дерево зі струнким стовбуром висотою до 36 м; вільха біла висотою до 20 м; вільха пухнаста. Деревина вільхи світла, червоніюча на повітрі, легка і м'яка. Використовується у виробництві меблів, фанери, ящиків тари.

Граб також належить до родини березових. Існує близько 50 видів граба, що ростуть у Європі й Азії. Найбільше поширення має граб звичайний. Висота його досягає 15...20 м, діаметр - 0,8 м. Деревина граба щільна (має високу механічну міцність, зокрема високий опір до стирання). Використовується в машинобудуванні для виготовлення шестерень, гвинтів, клинів, рукояток різних інструментів.

Як вказувалося раніше, деревина листяних порід відрізняється від хвойної більш складною будовою. До складу її входять волокна лібриформу, судини, трахеїди і паренхимні клітини (рис.19).

Волокна лібриформу складають у багатьох породах листяної деревини до 3/4 її об'єму і виконують функцію забезпечення дереву механічної стійкості. Це - відносно короткі товстостінні клітини з голкоподібними, загостреними кінцями. На стінках волокон іноді є вузькі щілиновидні пори, розташовані похило до осі волокна. Довжина волокон лібриформу 0,7...1,6 мм, ширина - 0,01...0,04 мм.

У табл. 3 приведені розміри основних волокон у залежності від породи деревини.

Таблиця 3.

| Породи деревини     | Волокно-лібриформ, мм |               | Відношення довжини волокна до ширини |
|---------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------|
|                     | довжина               | ширина        |                                      |
| Береза              | 0,8...1,6             | 0,014...0,040 | 40...57                              |
| Осика               | 0,8...1,7             | 0,020...0,046 | 37...40                              |
| Тополя              | 0,7...1,6             | 0,020...0,044 | 36                                   |
| Тополя пірамідальна | 0,2...2,0             | 0,024         | 52                                   |
| Ясен                | 0,5...1,9             | 0,022         | 49                                   |

Характерна риса листяної целюлози - наявність судинних клітин. Судини є провідними елементами деревини. Це тонкостінні,

широкопорожнинні трубки, стінки яких густо покриті простими порами, круглими або щілиновидними, що надають судинам вигляду сітки. Довжина окремих судинок коливається в межах 0,3...0,7 мм, ширина - 0,05...0,6 мм. Таким чином, у полі зору можуть бути видні судини, діаметр яких перевищує їхню довжину. У листяній целюлозі є також у невеликій кількості трахеїди судинні і волокнисті, котрі можна відрізнити від волокон лібриформу за наявністю облямованих пор.

Значна частина паренхимних клітин була вилучена з целюлози в процесі варіння, промивання і сортування, однак незначна кількість їх залишилася і може бути виявлена в полі зору у вигляді барилиць.

Волокна листяної целюлози забарвлюються хлорцинкйодом у синій чи синьо-фіолетовий колір.

Волокна листяної целюлози в 3 рази коротші волокон хвойної, тому в чистому вигляді для виготовлення паперу і картону листяна целюлоза використовується рідко. З 100% листяної целюлози виготовляють папір, що має невисоку міцність, такий як фільтрувальний, промокальний, підпергамент. Широко використовується листяна целюлоза в композиції з хвойною для виготовлення типографського, писального, основи фотопідкладки, санітарно-гігієнічного паперу. Введення в композицію паперу 20...40% листяної целюлози поліпшує його просвіт, підвищує гладкість, зменшує деформації і різнобічність, поліпшує друкарські властивості, збільшує непрозорість і м'якість, але трохи знижує його міцність - знижується опір зламові і розривна довжина.

## 2.8 Целюлоза очеретяна

Очерет належить до дикоростучих злаків.

Це багаторічна коренева трав'яниста рослина тропічного походження з щорічно поновлюваною наземною рослинною масою. Очерет звичайний відомий як дуже водолубний пластичний невибагливий вид. Він порівняно легко пристосовується до різноманітних екологічних умов, тому широко розповсюджений на території України. Виростає в дельтах і заплавах Дніпра, Дунаю, Дністра, утворюючи великі масиви заростей. Очерет має багаторічну кореневу систему, від якої щорічно відростають однорічні стебла висотою до 6 м. Товщина пагонів 10...12 мм. Активний ріст пагонів починається в квітні, у листопаді пагони відмирають і поступово висихають, у такому стані їх скошують і використовують для технічних цілей.

Крім того, перспективна сировина для целюлозно-паперової промисловості в південних малолісистих районах - суходільний очерет. Це високоврожайний субтропічний злак, що має обмежений ареал. У СНД

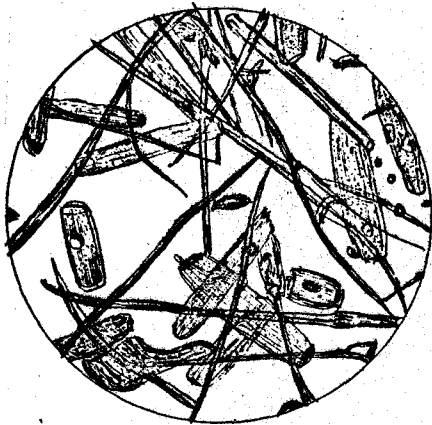
він росте в Закавказзі і південних районах Середньої Азії. Найбільш великі природні зарості суходільного очерету (понад 5 тис.га) знаходяться в Азербайджані.

Очерет суходільний - рослина світлолюбна, жаростійка. Дерев'янисті міцні вузлуваті пагони його щорічно відростають від кореневищ, досягаючи протягом одного сезону 6...8 м висоти і 2...4 см у діаметрі при товщині стінки порожніх пагонів 3...6 мм.

На відміну від звичайного, очерет суходільний добре виростає на звичайних польових ґрунтах, тому його вирощування, збирання і транспортування набагато простіше.

У виробничій практиці ЦПП одержання волокнистих напівфабрикатів зі звичайного і суходільного очерету здійснюється натронним, сульфатним, нейтрально-сульфітним і хлорнолужним способами. Найбільш високі фізико-механічні властивості целюлози досягаються натронним і сульфатним способами, високоякісну напівцелюлозу для виробництва паперу і картону для гофрування одержують нейтрально-сульфітним способом.

У Китаї, Кореї і Японії звичайний і суходільний очерет переробляється магнійбісульфітним способом, а в Італії із суходільного очерету кислим сульфитним способом одержують целюлозу, яка після вибілювання і облагороджування використовується для виробництва високоякісного штапельного волокна.



**Рисунок 20 - Целюлоза очеретяна**

Основну масу очеретяної целюлози складають довгі вузькі товстостінні волокна з загостреними кінцями (рис. 20). Довжина волокон звичайного і суходільного очерету коливається в межах 1,17...1,43 мм, а в деяких видів досягає 3,5 мм. Ширина волокон 0,015...0,016 мм. Відношення довжини до ширини 76...90. Товщина клітинних стінок і розмір порожнин сильно варіюють - від дуже широких до вузьких [2].

Значну частину (30%) складають судини трьох типів: пористі, зі спіральними потовщеннями і з кільчастими потовщеннями. Звичайно в процесі варіння судини з кільчастими потовщеннями руйнуються.

Крім волокон і судин зустрічаються трахеїди з щілиновидними порами. З неволокнистих елементів присутні паренхимні клітини. Зустрічаються різноманітні за формою і величиною паренхимні клітини: від коротких, схожих на барильця, до подовжених. Клітини епідермісу також різні за формою і величиною: спіралевидні, пилкоподібні й ін.

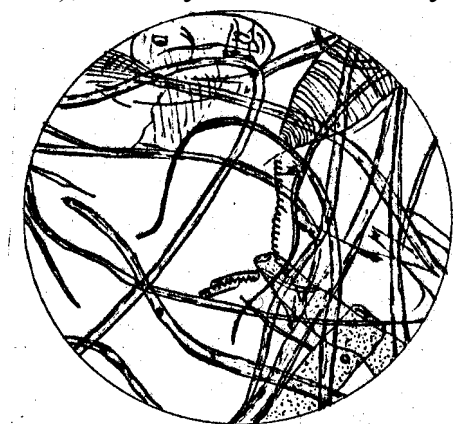
Очеретяна целюлоза забарвлюється хлорцинкйодом у синій колір.

## 2.9 Целюлоза солом'яна

Пшениця, жито і рис належать до основних зернових культур, які вирощуються на території України.

Основна маса зібраної соломи широко використовується сільським господарством як грубий корм і підстилковий матеріал. Виділення сільським господарством для целюлозно-паперової промисловості тільки 10% досягнутого валового врожаю (20 млн.т) забезпечить виробництво до 10 млн.т волокнистих напівфабрикатів різного призначення.

Із соломи злакових культур виробляють два види напівфабрикатів: грубу солом'яну масу (вихід близько 70%), яку використовують для виробництва картону і паперу для гофрування, і целюлозу (вихід 35...45%), яка у невибіленому і вибіленому видах використовується для виробництва якісного паперу і картону.



**Рисунок 21 - Целюлоза солом'яна**

Найбільш простий спосіб переробки соломи - варіння її з водою при температурі 100 °С в гідророзбивачі протягом 0,5...1,5 годин при концентрації 10%. Після рафінування виходить груба маса. Хороші результати одержання солом'яної целюлози досягаються при хіміко-механічному чи холодно-лужному способі варіння в гідророзбивачі при температурі близько 100 °С з витратою луку 8...12% від маси соломи.

Для переробки соломи широко використовується вапняно-молочний спосіб варіння. В даний час для переробки недеревної сировини, у тому числі соломи злакових культур, найбільше застосування одержали лужні способи - натронний і сульфатний. У залежності від вимог до якості одержуваних напівфабрикатів змінюються умови варіння (витрата хімікатів, температура, тривалість). Варіння здійснюється в гідророзбивачах при атмосферному тиску, в обертових і стаціонарних варильних котлах і на варильному устаткуванні безперервної дії.

Солом'яна целюлоза містить кілька видів клітин (рис. 21): луб'яні, судинні, паренхимні, покривні (спіральні, кільцеві). Основну масу складають луб'яні волокна, що представляють собою довгі тонкі стрічкоподібні клітини з загостреними кінцями, які нагадують волокна лібриформу листяної целюлози. Вони мають зрушення, колінця, вузький

канал, дрібні пори. Довжина луб'яних волокон соломи коливається в межах 0,5...1,5 мм, ширина - 0,01...0,02 мм. Судини належать до провідних елементів і є трубкоподібними подовженими клітинами з тонкими стінками, засіяними дрібними простими порами.

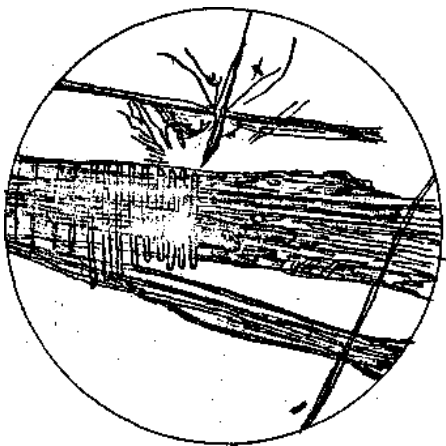
Паренхимні клітини - широкі тонкостінні клітини з округлими краями. Вони бувають різних розмірів - від дрібних, у вигляді барилець, до довгих і широких. Часто окремі клітини з'єднані разом по кілька штук. Ширина їх коливається від 0,03 до 0,07 мм.

Характерна риса солом'яної целюлози - наявність клітин покривного шару (клітин епідермісу), що мають пилкоподібну форму. Це дуже дрібні клітини. Довжина їх до 0,5 мм, ширина - 0,01...0,02 мм. Рідше зустрічаються кільцеві і спіральні клітини, вони дуже тонкі і помітні в полі зору тільки при уважному розгляді. Волокна солом'яної целюлози забарвлюються хлорцинкйодом у синій колір.

## 2.10 Дефібрерна деревна маса (біла)

Деревна маса - найдешевший і широко розповсюджений напівфабрикат, що входить до композиції багатьох видів паперу і картону. Її використанню сприяє не лише зниження вартості готової продукції, але і поліпшення друкарських властивостей паперу, підвищення його гладкості, непрозорості, вбирності типографської фарби й ін. Деревна маса широко використовується для виробництва газетного паперу, писального,

типографського № 2, № 3 і інших, а також для виробництва коробкового й іншого видів картону.



**Рисунок 22 - Дефібрерна  
деревна маса (біла)**

Істотна перевага деревної маси в порівнянні з іншими волокнистими напівфабрикатами - те, що при її виробництві найбільш повно використовується рослинна сировина, у зв'язку з чим навколишнє середовище значно менше забруднюється виробничими стоками. Недолік деревної маси - порівняно низька механічна міцність і нестійкість властивостей при дії світла, теплоти, вологи.

Якість деревної маси залежить від способу її виробництва. Промисловість виробляє такі види деревної маси: дефібрерна (біла),

термомеханічна (ТММ) і хіміко-термомеханічна (ХТММ) [4,5].

Дефібрерну (білу) деревну масу одержують механічним стиранням деревини у вигляді балансів на дефібрерному камені, що швидко обертається, в присутності великої кількості води.

Біла деревна маса за своїм хімічним складом мало відрізняється від складу вихідної деревини, тому що вихід її складає до 97% від маси а.с. деревини. За фракційним складом вона дуже неоднорідна і містить пучки різних розмірів з кількох нерозділених волокон, окремі довгі і короткі волокна з роздавленими чи обрізаними кінцями, обривки повздожнього розщеплення волокон, дріб'язок у вигляді фібрильованих і нефібрильованих обривків волокон і інші компоненти рослинної тканини. У залежності від кількісного співвідношення зазначених фракцій і їхньої довжини розрізняють масу високого і низького ступеня млива.

Таким чином, біла деревна маса дуже неоднорідна за складом і містить волокна різних фракцій. Поряд з обривками волокон з розпатланими кінцями зустрічаються пучки волокон, слиз, окремі фібрили. Характерним для деревної маси є наявність клітин серцевинних променів, що перетинають пучки волокон перпендикулярно до їхньої осі (рис. 22).

Дефібрерна деревна маса виробляється з хвойної деревини (ялини), тому на стінках клітин (трахеїд) є облямовані пори. Довжина волокон білої деревної маси 0,5...1,5 мм, ширина - 0,02...0,04 мм. При наявності пучка ширина значно більша.

Волокна білої деревної маси забарвлюється хлорцинкйодом у золотаво-жовтий колір.

## 2.11 Деревна маса термомеханічна

Термомеханічну деревну масу одержують тільки з трісок, що піддають пропарюванню в пропарювальній камері при температурі 120...135 °С протягом 2...5 хвилин з наступним розмелюванням в дискових млинах в один чи два ступені при концентрації маси 25...30%. Застосування короточасного пропарювання і розмелювання при високій концентрації маси сприяє одержанню більш однорідної довговолокнутої маси з високими механічними показниками і хорошими паперотворчими властивостями.

Використання термомеханічної деревної маси дозволяє скоротити витрату целюлози при виробництві газетного, друкарського, писального й інших видів паперу, а також поліпшити показники готової продукції. За своїми паперотворчими властивостями термомеханічна деревна маса наближається до ХТММ, однак вона має більший вихід з деревини.



**Рисунок 23 - Деревна  
маса термомеханічна**

Для її виробництва не потрібні витрати хімікатів, знижується кількість і шкідливість стоків, у даний час виробництво термомеханічної деревної маси розвивається більш швидкими темпами, ніж інших видів деревної маси.

Термомеханічна деревна маса (ТММ) відрізняється від дефібрерної (білої) деревної маси наявністю більшої кількості однорідної довговолокнутої фракції. Волокна ТММ (рис. 23) мають стрічкоподібну форму, злегка фібрильовані, але в більшості випадків кінці їх обірвані, забарвлюються хлорцинкйодом у золотаво-жовтий колір з вкрапленнями синього кольору.

## 2.12 Хіміко-термомеханічна маса

Виробництво ХТММ є одним із найбільш сучасних процесів одержання механічної маси.

ХТММ виробляється як з деревини хвойних (ялина, ялиця, сосна), так і листяних порід (осика, евкаліпт, береза), а також однорічних рослин (солома, очерет). ХТММ одержують тільки з трісок.



**Рисунок 24 - Хіміко-  
термомеханічна маса**

Виробництво ХТММ включає наступні процеси:

- підготовку деревної сировини, яка включає сортування і промивання трісок, а також попереднє пропарювання;
- просочування трісок хімічними реагентами ( $\text{NaOH}$  або  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  чи їх сумішшю);
- пропарювання або варіння трісок;
- розмелювання трісок;
- сортування, переробка відходів, очистка;
- промивання маси;
- при необхідності - вибілювання.

Застосування хімічних реагентів, високої температури та розмелювання при високій концентрації дає змогу одержати ще більш однорідну та довговолокнусту масу (порівняно з ТММ), з механічними показниками,



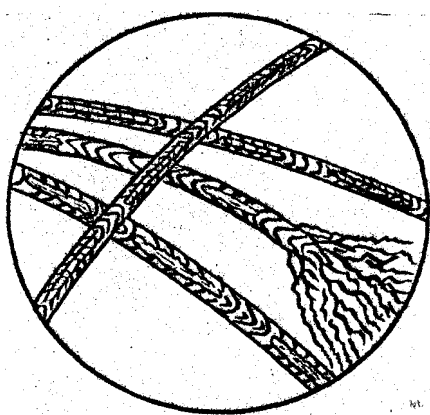
що близькі до показників листяної целюлози.

У результаті застосування хімікатів та підвищеної температури і тиску відбувається помітне набрякання і часткове розчинення лігніну, геміцелюлоз і інших компонентів деревини, що сприяє кращому поділу її на волокна, зниженню витрат енергії на розмелювання, а також одержанню маси з більш високими якісними показниками. Це дозволяє іноді майже повністю виключити використання целюлози при виробництві газетного, друкарського, санітарно-гігієнічних видів паперу. За своїми паперотворчими властивостями ХТММ близька до напівцелюлози, однак вона має більший вихід з деревини (85...90%).

За зовнішнім видом ХТММ дуже схожа на целюлозу. У ній містяться в основному довгі волокна, мало дріб'язку і слизу, значно менше пучків волокон (рис. 24). Хлорцинкйодом волокна ХТММ забарвлюються в синьо-жовтий колір, причому частина волокон має більше синього забарвлення, інша частина - більше жовтого. При розгляді під мікроскопом можна помітити наявність тонких фібрил.

### 3 МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОКОН ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

#### 3.1 Вовна



**Рисунок 25 – Волокна  
вовни**

Волокна вовни входять до композиції деяких спеціальних видів паперу, наприклад каландрового, бюварного й ін. Вони надають паперу пухлість, пористість, еластичність. Вовняні волокна легко відрізнити від інших видів волокон за довжиною та формою. Волокно кругле, у більшості випадків злегка вигнуте, дугоподібне, покрите лусочками, добре видимими навіть при слабкому збільшенні під мікроскопом. Ширина волокна 0,016...0,020 мм, довжина досягає 50...60 мм (рис. 25). У грубих сортах вовни ясно видний канал, заповнений мозковою речовиною.

Волокна вовни забарвлюються хлорцинкйодом у жовтий чи жовто-зелений колір, однак часто використовуються волокна вовни вже пофарбовані, вони зберігають той колір, що мала тканина.

## 4 МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ВОЛОКОН

### 4.1 Загальні властивості хімічних волокон

Останнім часом для виготовлення паперу все частіше використовуються різні штучні і синтетичні волокна органічного походження. Папір виготовляють як цілком з таких волокон, так і з суміші їх з рослинними волокнами. Хімічні волокна надають паперу високої міцності у повітряно-сухому і вологому станах, довговічності, опору деформації, біостійкості, світлостійкості і т.д.

Такий папір необхідний для багатьох цілей, особливо для сучасної ракетної й авіаційної техніки, атомної, електротехнічної, хімічної і поліграфічної промисловості.

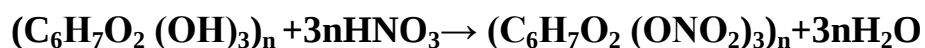
У залежності від походження волокна поділяються на натуральні (природні) і хімічні. Якщо полімери утворюються в природних умовах, наприклад, у результаті життєдіяльності організмів чи росту рослин, то вони належать до натуральних, а якщо одержуються у заводських чи лабораторних умовах - то до хімічних.

У залежності від умов одержання полімерів, які входять до складу хімічних волокон вони поділяються на штучні і синтетичні. До штучних належать волокна, одержані хімічною переробкою натуральних полімерів, наприклад целюлози, білків, а до синтетичних - синтетичних полімерів, тобто таких високомолекулярних сполук, які синтезуються в результаті хімічних процесів.

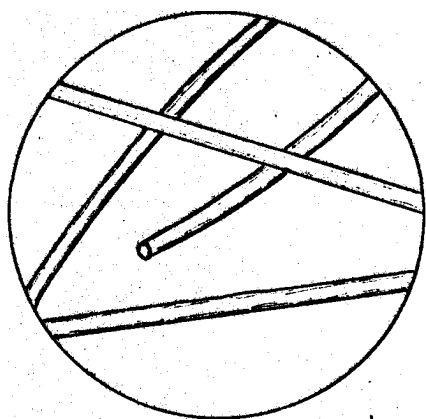
### 4.2 Нітроцелюлозне волокно

Нітрошовк - перше штучне волокно, яке випускалося в значних кількостях і певний час знаходило широке застосування. Винахідником, що розробив прийнятий на практиці метод одержання штучного волокна, вважається І.Шардонне. Його метод був запатентований у 1886 р., хоча роком раніше він був практично здійснений у Франції. Зразки нітрошовку Шардонне експонувалися на Всесвітній виставці в 1889 р. у Парижі і викликали великий інтерес. У перших дослідах Шардонне використовував гілки шовковичного дерева, а згодом він довів можливість використання інших целюлозних матеріалів, зокрема деревної целюлози. У виробничих масштабах як вихідний матеріал використовували винятково бавовну.

Бавовну нітрували сумішшю 40% азотної кислоти і 20% води при температурі 48 °С протягом 1...2 годин.



Отриманий нітрат розчиняли в суміші 40% ефіру і 60% етилового спирту. Спиртовий прядильний розчин нітрату целюлози продавлювали через мундштук, занурений у холодну воду. Цівки розчину, проходячи через воду, затвердівали спочатку лише з поверхні, а потім при витягуванні в рідині - цілком. На більш пізніх стадіях розвитку процесу мокрий спосіб формування був витиснутий сухим. При сухому способі



**Рисунок 26 -  
Нітроцелюлозне  
волокно**

спиртоєфірний прядильний розчин пропускали під високим тиском через капіляри діаметром близько 0,07 мм. Цівки затвердівали дуже швидко. Одержану нитку намотували на бобіни, сукали, перемотували в мотки і піддавали денітрації. Денітрація необхідна, оскільки нітрати целюлози дуже легко займаються і використання їх пов'язане зі значною небезпекою. Для цього мотки нітрошовку обробляли розчином гідросульфід амонію при 65 °С протягом 20 годин чи розчином тіокарбонату при 38 °С протягом 12 годин. Ці розчини омиляють нітрат целюлози, перетворюючи його в гідратцелюлозу, горючість якої не вище горючості бавовни.

Денітроване волокно, промите водою, має зеленувато-сірий відтінок, обумовлений присутністю сульфід заліза. Волокно промивають гарячим розведеним розчином соляної кислоти для видалення заліза, потім знову промивають і вибілюють гіпохлоритом чи перекисом водню. Після остаточного промивання його віджимають у центрифугі і сушать [6].

У свій час нітрошовку пророкували велике майбутнє. Були побудовані і працювали підприємства з випуску нітрошовку. Однак через високу вартість матеріалів і неможливості знову використовувати азотну кислоту, що у такий спосіб безповоротно втрачалася, виробництво шовку з нітроцелюлози (рис. 26) було витиснуто віскозним і мідно-аміачними виробництвами. В даний час нітрошовк не випускається.

### **4.3 Мідно-аміачне волокно**

Світове виробництво мідно-аміачного волокна складає менше 1% виробництва хімічних волокон і має тенденцію до скорочення [7]. Мідно-аміачне волокно використовують для виробництва білизни, платтяних, сорочкових та підкладкових тканин, у суміші з вовною і синтетичними волокнами – для виробництва платтяних і костюмних тканин, килимів.

Розчинність целюлози у водних розчинах аміаку, що містять окис міді, була відкрита швейцарським дослідником Швейцером у 1867 р. У 1891 р. Фремі й Урбан у Німеччині вперше одержали мідно-аміачний шовк. Однак волокно з задовільною якістю було одержане тільки в 1901 р., коли Тиле розробив метод одержання волокна з великою витяжкою.

В даний час мідно-аміачне волокно випускається під назвами бемберг, купреза, купрама, бемсилка, купраколор.

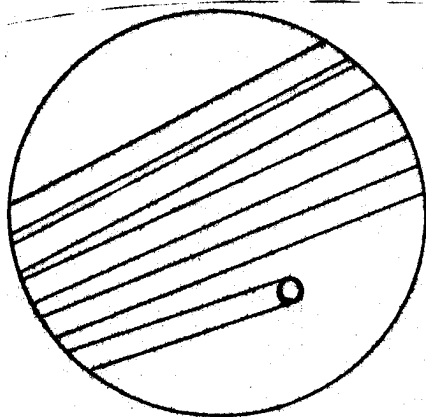
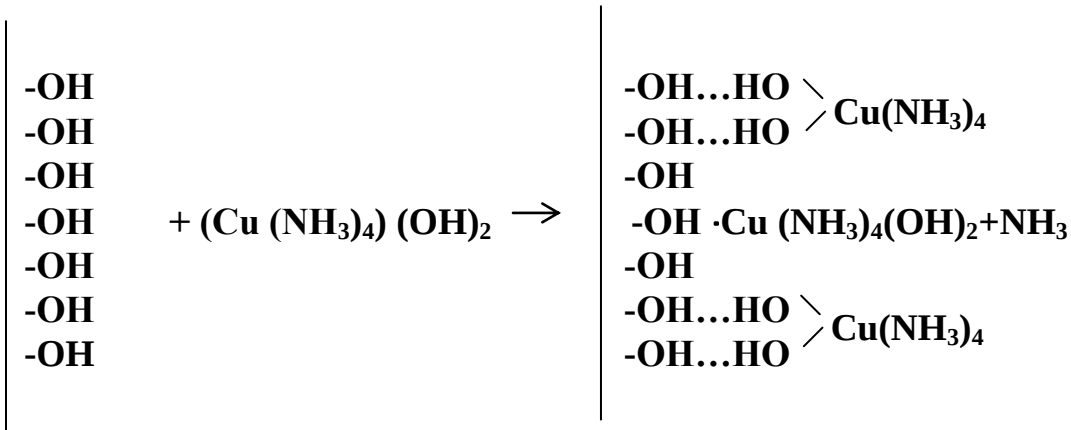


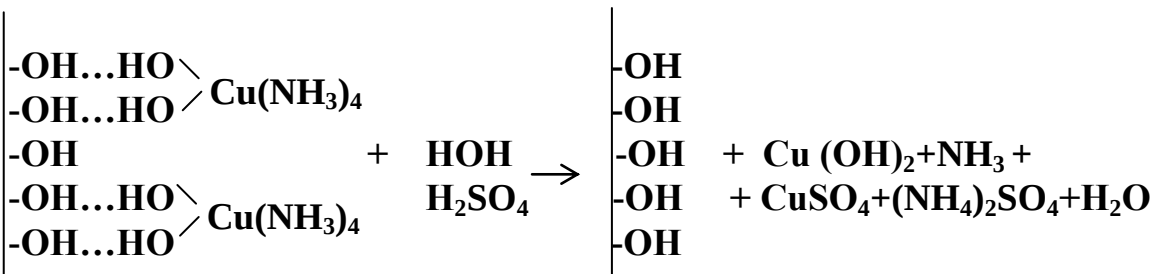
Рисунок 27 – Мідно-аміачне волокно

Мідно-аміачне волокно одержують з бавовняної чи облагородженої деревної целюлози з високим вмістом  $\alpha$ -целюлози (рис. 27).

При одержанні мідно-аміачного прядильного розчину целюлоза використовується у вигляді розпушеної маси. Для підвищення рівномірності обробки використовують целюлозу при вологості 50...100%. Пухку вологу целюлозу змішують з гідроксидом чи основою сіллю міді в присутності концентрованого водного розчину аміаку:



В'язкий прядильний розчин, що утворюється, фільтрують через нікелеву сітку, зневоднюють і направляють на формування волокна. Волокно формують звичайно двохванним способом. Для висаджування продукту взаємодії целюлози з купріамінгідратом із прядильного розчину використовується вода:



Отримане волокно обробляється в другій ванні 2...3%-м розчином сірчаної кислоти. У результаті утворюється гідратцелюлозне волокно, яке промивають, обробляють розведеним розчином кислоти для видалення слідів міді, знову промивають, піддають авіважу і сушать. Міцність волокна, одержаного за звичайною технологічною схемою не перевищує 12...13 гс/текс, хоча при зміні умов формування і витягування можна одержати волокно з міцністю 40...46 гс/текс. Мідно-аміачне волокно має знижене подовження, що складає 12...16%. При водному способі формування виходить волокно однорідної структури, яке характеризується відсутністю оболонки. Тому воно забарвлюється більш рівномірно й інтенсивно, ніж віскозне волокно. Міцність волокна в мокрому стані знижується на 40...45%. За іншими показниками (сорбція вологи, величина еластичного подовження, стійкість до дії різних реагентів) мідно-аміачне волокно не відрізняється від віскозного. Ступінь полімеризації целюлози в мідно-аміачному волокні така ж, як і у віскозному (300...350).

Змінюючи умови формування, можна одержати волокно різної товщини - 0,08...1,5 мм, відповідно змінюються й області застосування цього волокна.

Висока тонина елементарного волокна надає тканинам особливу м'якість і гарну здатність драпіруватися. Тонина мідно-аміачного волокна приблизно така ж, як і натурального шовку; подібно натуральному шовку, воно має приємний приглушений блиск.

#### **4.4 Віскозне волокно**

Віскозне волокно - одне з перших хімічних волокон, які вироблялися у промислових масштабах. У 1831 р. англійські дослідники Крос, Бівен і Бідль знайшли, що при дії сірковуглецю на целюлозу, попередньо оброблену концентрованим розчином лугу, утворюється нова похідна целюлози - ксантогенат целюлози, розчинна у розведеному розчині лугу. У 1893 році дослідники отримали патент, а в 1910...1913 р. промислове виробництво віскозної текстильної нитки організовується в ряді країн - Німеччині, Франції, Бельгії, Австрії, Росії.

Віскозні волокна в даний час є одним з найважливіших видів сировини для текстильної промисловості, хоча їх випуск і зменшився. Звичайні і високомодульні штапельні волокна використовуються замість бавовни. Вони використовуються для виготовлення широкого асортименту виробів побутового призначення. Значна частина цих волокон-модифіковані з поліпшеними чи спеціальними властивостями: бактерицидні, вогнезахистні, пофарбовані в масі. Віскозні текстильні

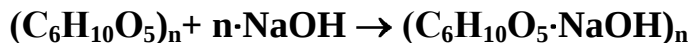
нитки особливо важливі при виготовленні білизни і підкладкових тканин. Поява безперервних процесів їх одержання призвела до підвищення якості, спрощення технології і одночасно знизилася шкідливість виробництва. В значній мірі знизилася виробництво технічних віскозних ниток у зв'язку з появою поліефірних технічних ниток.

Ряд специфічних властивостей віскозних волокон і одержуваних з них виробів (гігроскопічність, гарна здатність до фарбування, відсутність електризації, високі гігієнічні властивості) дозволяє широко використовувати ці волокна для виготовлення різноманітних виробів народного споживання [6].

Технологічний процес виробництва віскозного волокна, як і інших видів штучних волокон, включає три основні стадії: одержання прядильного розчину, формування волокна і його обробка.

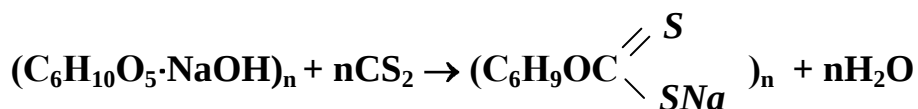
Стадія одержання прядильного розчину включає одержання лужної целюлози, подрібнювання, попереднє дозрівання і ксантогенування її, розчинення ксантогенату целюлози (одержання віскози), дозрівання віскози, фільтрацію і видалення повітря з прядильного розчину.

Деревна целюлоза обробляється 18%-м розчином їдкого натру (процес мерсеризації), у результаті чого утвориться хімічна сполука - лужна целюлоза (алкаліцелюлоза):



Після мерсеризації лужна целюлоза віджимається від надлишку лугу і надходить на подрібнювання. Таке збільшення поверхні матеріалу необхідно для підвищення швидкості і рівномірності взаємодії його із сірковуглецем. Подрібнена лужна целюлоза витримується протягом визначеного часу (10... 30 годин) при постійній температурі (26...30 °C). При цьому процесі, так званому попередньому дозріванні лужної целюлози, у результаті окислювання киснем повітря в лужному середовищі додатково знижується ступінь полімеризації целюлози, що забезпечує необхідну в'язкість одержуваного далі прядильного розчину.

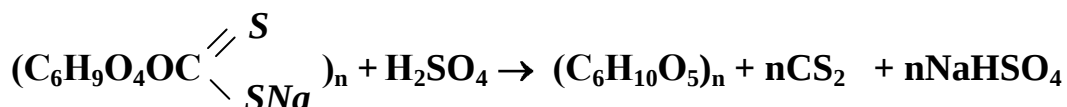
По закінченні попереднього дозрівання лужна целюлоза обробляється сірковуглецем:



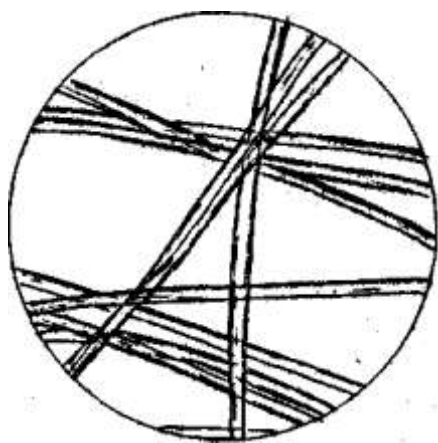
Цей процес називається ксантогенуванням. У результаті утворюється ксантогенат целюлози - натрієва сіль складного кислого ефіру целюлози і

дитіовугільної кислоти. При розчиненні ксантогенату целюлози в розведеному розчині їдкою натру утворюється в'язкий прядильний розчин (віскоза), який фільтрують і потім витримують протягом 10...25 годин. У цей період так званого дозрівання віскози відбувається ряд хімічних і фізико-хімічних процесів, які полегшують наступне формування волокна.

При формуванні волокна віскоза продавлюється через отвори - фільтри і надходить у розчин, що містить сірчану кислоту і сульфати натрію і цинку, так звану осаджувальну ванну. Під дією сірчаної кислоти ксантогенат целюлози розкладається й утворюються волокна, що складаються з регенованої целюлози - гідратцелюлози:



Нитка, що утворилася в осаджувальній ванні, відмивається від кислоти і солей і потім піддається ряду оздоблювальних операцій, при яких відділяється адсорбована на волокні сірка (десульфурація), руйнуються пігменти, що забарвлюють волокно (вибілювання), підвищується м'якість волокна і поліпшується його здатність до наступної текстильної переробки (авіваж, замаслювання).



**Рисунок 28 -Віскозне  
волокно**

По закінченні обробки волокна сушать, сортують, упаковують і відправляють на текстильні фабрики.

Переробкою прядильних розчинів одержують усі три основні види віскозних волокон - текстильна нитка, кордна нитка, штапельне волокно, а також віскозна плівка (целофан).

Віскозні волокна (рис. 28) мають циліндричну форму з гладкою поверхнею. Забарвлюються хлорцинкйодом у темно-фіолетовий колір. Питомі маса віскозних волокон 1,53 г/см<sup>3</sup>.

На сьогодні розвивається новий вид гідратцелюлозних волокон - лайоцел, які одержують на основі прямого розчинення целюлози в органічних розчинниках, насамперед N-метилморфолін- N- оксиді.

#### 4.5 Ацетатне волокно

Ацетилцелюлоза вперше була отримана Штутценбергом 1869 р.

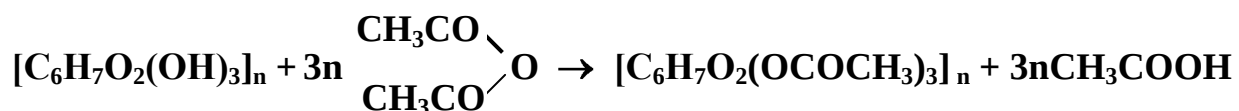
Випуск ацетанного цигаркового джгутика у світі становить близько 0,6 млн.т [6].

Істотна перевага виробництва ацетатного волокна в порівнянні з віскозним - нешкідливість виробництва, відсутність мокрих обробок і, отже, стічних вод на всіх стадіях технологічного процесу.

Витрати праці і капітальні вкладення при виробництві ацетатного волокна на 49...60% нижчі, ніж при виробництві віскозного.

Ацетати целюлози одержують з бавовняної або високоякісної деревної целюлози з вмістом  $\alpha$ -целюлози не менше 96%.

Етерифікуючий реагент - оцтовий ангідрид. Реакція ацетилювання целюлози, так само як і інші реакції, які перебігають при її етерифікації ангідридами кислот, є незворотною:



Молекулярна маса елементарної ланки триацетатцелюлози дорівнює 288 (целюлози - 162). Таким чином, маса триацетатцелюлози на 77,8% вище маси вихідної целюлози.

Для одержання розчинного в ацетоні ацетату целюлози, що містить деяку кількість вільних гідроксильних груп (наприклад, продукту з  $\gamma=250$ ) триацетатцелюлозу піддають частковому омиленню - одержують вторинний ацетат, діацетат.

На ранніх стадіях розвитку виробництва ацетатного волокна розчинність в ацетоні була вирішальним чинником, що визначив використання для формування волокна повторного ацетату, а не триацетату. Зараз це положення докорінно змінилося. Застосування як розчинника доступного метиленхлориду уможливило формування волокна з триацетатцелюлози.

Зараз промисловість випускає як триацетатні, так і діацетатні волокна, проте останні мають більшу тривкість, поглинають більшу кількість вологи, більш приємні на дотик. Вони використовуються для виготовлення нижньої білизни, тканин для верхнього одягу і платтяних.

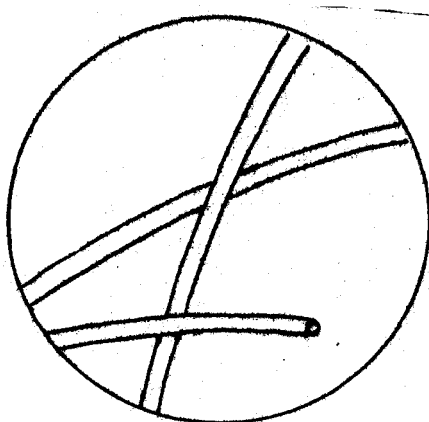
Очищену целюлозу або бавовняний лінтер піддають активації, обробляючи крижаною оцтовою кислотою для збільшення реакційної здатності і більш рівномірного перебігу процесу ацетилювання. Ацетилювання проводять сумішшю оцтової кислоти й оцтового ангідриду в присутності сірчаної кислоти. Реакція триває 7...8 годин при температурі 25...30 °С. Для одержання з первинної ацетилцелюлози,



розчинної в хлороформі, вторинного ацетату з гарною розчинністю в ацетоні, реакційну суміш після ацетилювання розбавляють водою і витримують при підвищеній температурі протягом 20 годин. При цьому відбувається часткове омилення триацетату целюлози. Ступінь полімеризації вторинної ацетилцелюлози складає 350...400. Ацетилцелюлозу старанно промивають, віджимають в центрифугах і сушать при низькій температурі. Потім змішують різноманітні партії і розчиняють в ацетоні. Для повного розчинення необхідно 24 години. Якщо потрібно одержати матове волокно, при розчиненні в апарат додають двоокис титану. Для одержання волокна чорного кольору в розчинник додають сажу.

Прядильний розчин ацетилцелюлози в ацетоні містить 26...35% ацетилцелюлози і має високу в'язкість. Розчин фільтрують, видаляють пухирці повітря і направляють на прядильні машини. Цівки прядильного розчину, що продавлюються через отвори фільтру, надходять у шахту з

теплим повітрям, де ацетон випаровується й утворюються волокна. Сформоване волокно при необхідності може бути піддано додатковому суканню.



Міцність діацетатної нитки нижче віскозної і складає 11...14 гс/текс. Видовження нитки, не підданої додатковому витягуванню, складає 22...30% у сухому і 28...35% у мокрому стані. Щільність діацетатної нитки складає 1,32 г/см<sup>3</sup>, віскозної - 1,50 г/см<sup>3</sup>, що є перевагою. Ацетатне волокно значно менше набухає у воді, ніж віскозне і бавовняне.

**Рисунок 29 - Ацетатне волокно**

Ацетатне волокно (рис.29) є термопластичним, тобто розм'якшується при температурі 140... 160 °С і плавиться з розкладанням при 230 °С.

Основний недолік ацетатних волокон і виробів із них - знижена тривкість, підвищена електризованість і низька стійкість до стирання.

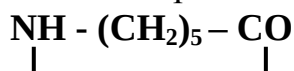
Ацетатне волокно використовується для виготовлення спеціальних видів документного паперу. Ацетатні волокна мають круглий переріз діаметром 0,02...0,08 мм, хлорцинкйодом забарвлюються в яскраво-жовтий колір.

## 4.6 Поліамідні волокна

Використовуються для виробництва товарів народного споживання, в основному панчішно-шкарпеткових виробів, трикотажу, тканин для верхнього одягу. У техніці використовують для виробництва шинного корду, риболовних сіток, тралів, канатів, мотузок, фільтрувальних матеріалів для харчової промисловості, забарвлені текстуровані нитки використовують для виробництва килимових виробів [7].

### 4.6.1 Капронове волокно

Отримують полімеризацією капролактаму:



Вихідна сировина для виробництва капронового волокна - мономер капролактаму - біла кристалічна речовина. Його одержують з фенолу, бензолу, циклогексану, що містяться в кам'яновугільному дьогті, нафті і продуктах їхньої переробки.

Технологічний процес одержання волокна капрону починається з плавлення капролактаму при температурі 90...95 °С в розплавниках безперервної дії, звідки розплавлений капролактаму через свічкові фільтри, звільняючись від механічних домішок, передавлюється чистим азотом у бочки-дозатори. Туди автоматично додається 1...3% води і 0,05...0,1% адипінової кислоти для активації процесу і стабілізації молекулярної маси одержуваного полімеру.

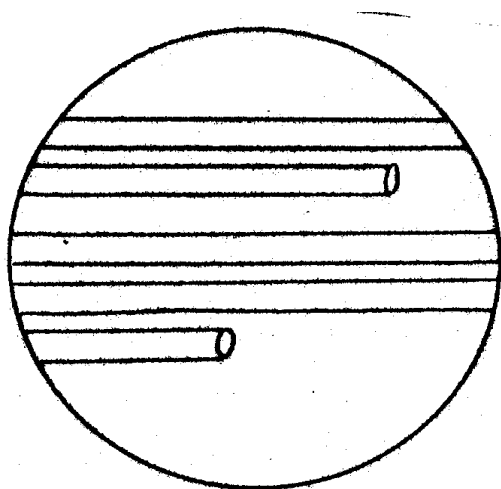
Розплав дозуючим насосом подається в апарат безперервної полімеризації, що представляє собою U- подібну посудину, що обігрівається парою теплоносія - динілу (суміш дифенілоксида і дифенілу). Процес проходить у середовищі азоту при температурі 260...265 °С протягом 24...30 годин. При цьому одержаний полімер у вигляді розплаву продавлюється азотом через отвори - фільтри в холодну воду і застигає у вигляді пружної стрічки. Потім стрічка подрібнюється в крихту, промивається гарячою водою для видалення капролактаму, який непрореагував, сушиться і направляється в прядильний цех для формування волокна.

Крихту полімеру завантажують у бункер, розташований над прядильною машиною, і продувають азотом до повного видалення слідів кисню повітря. Потім полімер через шлюз надходить у плавильну голівку, де плавиться при температурі 270...280 °С на решітці, що обігрівається парами динілу. Розплавлена в'язка маса у визначеній кількості

продавлюється прядильним насосом під великим тиском через фільтр з діаметром отворів 0,25 мм. Струмені рідкого полімеру, проходячи через повітряну шахту, застигають у вигляді пучка волокон. Отримане волокно замаслюється, зсукується, витягується, промивається, перемотується, а потім упаковується і відправляється споживачу.

Звичайно капронове волокно (капрон) напівпрозоре, відрізняється блиском, має порівняно невисоку щільність ( $1,14 \text{ г/см}^3$ ). Температура плавлення  $215^\circ\text{C}$ , розм'якшення -  $170^\circ\text{C}$ , електризується при терті. При охолодженні до  $-30^\circ\text{C}$  капрон зберігає свої властивості. З підвищенням температури від  $40$  до  $150^\circ\text{C}$  міцність волокна знижується на  $5\ldots 70\%$  у порівнянні з міцністю при  $20^\circ\text{C}$ . Капрон має високу стійкість до стирання, капронові волокна втрачають міцність під впливом світла, але мають високу хемостійкість.

Вони стійкі до дії лугів і розведених кислот. Окислювачі і вибілювальні хлормісткі речовини руйнують волокна. Капронові волокна горять, повільно плавлячись при цьому. Розчиняються в концентрованій мурашиній кислоті й у холодній соляній.



**Рисунок 30 - Капронове  
волокно**

Мають міцність  $45\ldots 75 \text{ гс/текс}$  у сухому стані і  $40\ldots 65 \text{ гс/текс}$  у мокрому при подовженні  $20\ldots 25\%$ . У нормальних умовах поглинають  $4,5\%$  вологи. Капронові волокна еластичні і міцні до багаторазових деформацій. Ці волокна відомі під різними назвами: капрон, фрилон, перлон, дедерон, найлон 6, стилон (Польща) і ін.

Капронові волокна забарвлюються хлорцинкйодом у яскраво-жовтий колір. Форма волокон циліндрична, без характерних рис, поверхня гладка і тільки у деяких нерівна. Ширина волокон  $0,023\ldots 0,030 \text{ мм}$  (рис. 30).

Капронові волокна використовуються для виготовлення високоміцного документного довговічного писального і друкарського, а також для технічного, стійкого до дії лугів, паперу.

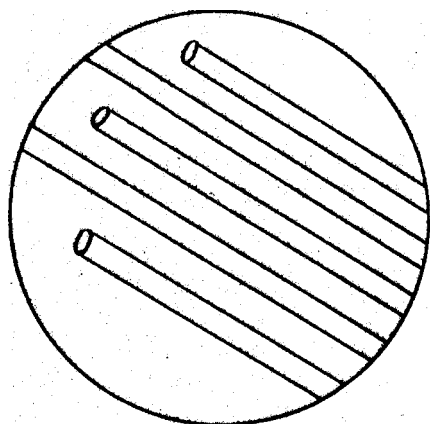
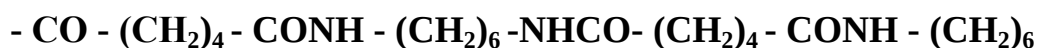
#### 4.6.2 Найлон і анід

Зовсім однакові за хімічним складом і структурою. Належать до групи поліамідних волокон. Одержують поліконденсацією гексаметилен-

діаміну й адипінової кислоти. (Назва найлон є поняттям збірним, оскільки в ряді випадків вона привласнена хоча і поліамідним волокнам, які одержують у різних країнах, але різного складу. Так, під назвою найлон 6 (США, ФРН) мається на увазі волокно на основі полікапролактаму, а найлон 7 належать до екантових волокон (США), найлон 11 - до унцеканових і т.д.).

Волокно зазначеного раніше складу відоме в США під назвою найлон 66. Анід – волокно, отримане в СРСР і цілком аналогічне найлону 66.

Схематично макромолекула найлону 66 і аніду може бути представлена у вигляді:



**Рисунок 31 - Найлонові  
волокна**

Волокна мають низку цінних властивостей, таких як висока стійкість до стирання й еластичність, що висуває їх у цьому відношенні в перший ряд серед усіх природних і хімічних волокон. Серед недоліків - порівняно невисока світлостійкість, занадто висока гладкість і слизькість, невисокі електроізоляційні властивості у вологому повітрі, невисока термостійкість. Щільність волокон 1,14 г/см<sup>3</sup>. Вони стійкі до лугів, але не витримують дії мінеральних кислот і окислювачів (рис. 31).

Міцність волокна 40...60 гс/текс. Втрати міцності у вологому стані 10...16%, видовження при розриві 26...32%, вологовбирність при 20 °С і відносній вологості повітря 60% - 3,5%. Вологовбирність при насиченні 10%. Теплопровідність 0,22...0,29 ккал/(м·год·°С).

#### **4.7 Поліефірні волокна. Лавсан**

Поліефірні волокна - наймасовіший вид хімічних волокон, які використовуються в побуті і техніці. Їх світове виробництво досягло 19 млн. т на рік, що складає близько 60% від випуску всіх видів текстильних хімічних волокон, або 30% від загальної кількості природних і хімічних волокон побутового призначення. Поліефірні волокна є найдешевшими серед хімічних волокон. Асортимент волокон на основі поліетилентерефталату дуже широкий- це штапельні волокна, текстильні і

технічні нитки, профільовані і текстуровані волокна, мікронитки і мікрОВОлокна, плівкові і фібрильовані нитки, неткані матеріали [8].

Текстильні поліефірні нитки використовуються для виробництва тонких тканин та трикотажу, тканин для інтер'єру житла, автомобілів.

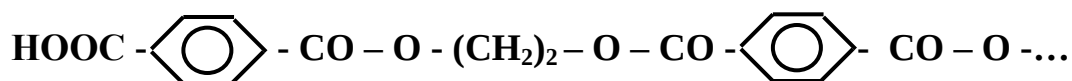
Поліефірні високоміцні технічні нитки незамінні в багатьох галузях промисловості. При застосуванні у виробництві гумових виробів вони суттєво переважають за своїми властивостями поліамідні і віскозні нитки, а використання технічних поліефірних ниток у фільтруючих полотнах, сітках папероробних машин, канатах, електроізоляції, виготовленні армованих швейних ниток поза конкуренцією.

Поліефірні плівки – важливий сучасний матеріал для носіїв інформації: це основа сучасних фото-, кіно- і рентгенівських плівок, жорстких дисків, гнучких дисків в комп'ютерній техніці, магнітних стрічок для аудіо-, відео- та іншої апаратури.

Поліефірні ємкості незамінні для упаковки рідких продуктів харчування.

Поліефірні волокна випускаються в десятках країн світу. За кордоном поліефірні волокна відомі під фірмовими назвами: флафлен, дакрон, дельвон, тетрон, грилен, діолон, лавсан.

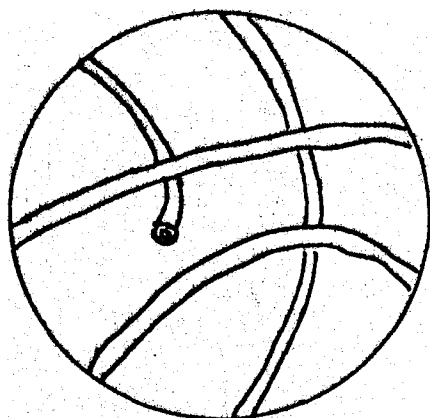
Характерна риса для вихідних полімерів - наявність складноефірних груп - С - О - Р , що утворюються взаємодією кислот і спиртів, наприклад поліконденсацією дикарбонових кислот із гліколями або відповідними похідними. У СНД виробляється волокно лавсан. Утворюється воно поліконденсацією диметилового ефіру терефталевої кислоти з етиленгліколем. Схема будови макромолекули, що утворюється:



Зараз замість синтезу поліефіру із диметилфталату і етиленгліколю розроблено більш економічний процес одержання поліетилентерефталату на основі терефталевої кислоти, за рахунок спрощення процесу синтезу вартість полімеру знизилася на 5...10%.

Міцність поліефірних волокон близька до міцності поліамідних, у вологому і сухому станах вона майже однакова. За стійкістю до стирання волокна знаходяться на другому місці після поліамідних, що є рекордною в цьому відношенні. Вони високогідрофобні, за нормальних умов поглинають 0,4% вологи, що викликає значну електризованість у процесах, що супроводжуються тертям.

У порівнянні з поліамідними ці волокна більш стійкі до дії кислот середньої і високої концентрації, розведені розчини лугів навіть при підвищеній температурі майже не змінюють міцність поліефірних волокон. До розчинників при кімнатній температурі і вибілювальних речовин інертні. При нагріванні розчиняються у фенолі, хлорфенолі, бензиловому спирті, нітробензолі. Є найбільш термостійкі. Допустимі межі робочих температур –  $-70...+175^{\circ}\text{C}$ . При  $240...248^{\circ}\text{C}$  міцність волокна дорівнює нулю.



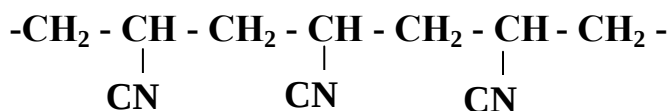
**Рисунок 32 - Лавсанове  
волокно**

Волокна лавсану мають трубчасту вигнуту форму. На поверхні волокна є вкраплення неправильної форми. Від фарбування хлорцинкйодом набувають навитого виду і не забарвлюються. Ширина волокна  $0,016...0,03$  мм (рис. 32).

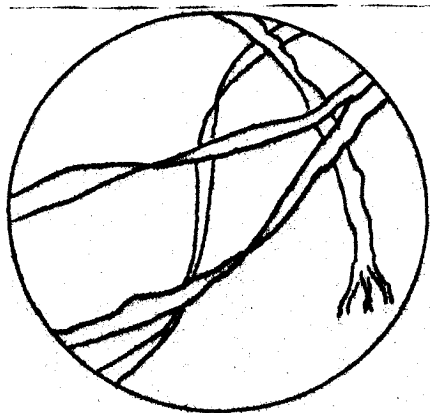
#### **4.8 Поліакрилонітрильні волокна. Нітрон**

Світове виробництво поліакрилонітрильних волокон на 2000 р. складало  $10...11\%$  від загальної кількості хімічних волокон. Використовуються головним чином для виготовлення тканин для верхнього одягу у суміші з вовною і іншими волокнами, верхнього трикотажу, штучного хутра та інших виробів. В техніці використовують для фільтрації гарячих газів (до  $150^{\circ}\text{C}$ ), а також як армуючі добавки для одержання спеціальних бетонів, замість азбесту при виготовленні волокнистоцементних покрівельних плит.

Схема макромолекули може бути подана в такий спосіб:



Волокна стійкі до світла й атмосферних впливів. Мають високу стійкість до кислот і лугів середніх концентрацій, а також до більшості органічних розчинників. Волокна стійкі до дії гнильних мікроорганізмів і бактерій. За зовнішнім виглядом і на дотик нагадують або вищого гатунку вовну, або натуральний шовк, але значно міцніші ( $35...50$  гс/текс при



**Рисунок 33 – Волокна  
нітрону**

видовженні 12...25%). Стійкі до термічної обробки. Вироби з цих волокон можна нагрівати до 160... 166 °С, а при більш високих температурах вони змінюють свій колір. За звичайних умов поглинають не більш 1,5... 2,0% вологи. Міцність у мокрому стані на 15...20% нижче міцності сухого волокна. Основний недолік - невисока стійкість до стирання.

Волокна нітрону під дією хлорцинкаюду набувають темно-жовтого забарвлення. Це волокна плоскі, стьожкуваті, деякі злегка вигнуті. Посередині волокон іноді видні темні смужки. Після розмелювання волокна частково роз'єднуються по довжині на окремі тонкі волоконця. Кінці волокон розщеплені. Ширина волокон 0,02...0,05 мм (рис.33).

#### **4.9 Полівінілспиртові волокна. Вінол**

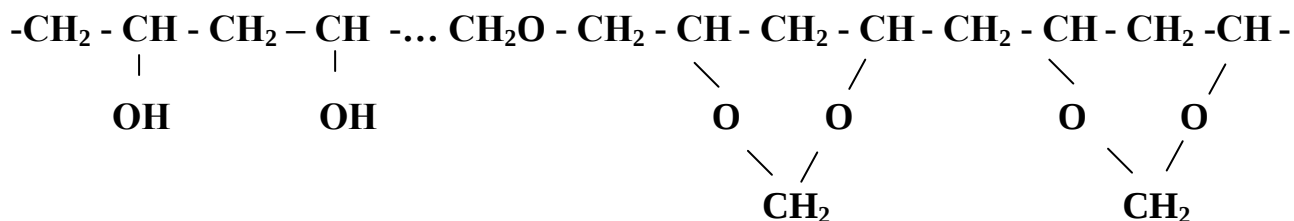
Випускаються під назвами вінол, віналон, вінілон, куралон, мьюлон.

Волокна полівінілового спирту - одні з найбільш гідрофільних, вони частково розчиняються у воді.

Волокна переробляють у чистому вигляді і в сумішах з іншими волокнами, використовують при виробництві тканин для верхнього одягу і трикотажу, зміцнені волокна - при виробництві технічних тканин (брзенти, бельтінги, парусина, діафрагмові), канати, швейні нитки.

Водорозчинні полівінілспиртові волокна використовуються в паперовій промисловості як зв'язувальні речовини при виготовленні різних видів паперу із целюлозних і хімічних волокон [7].

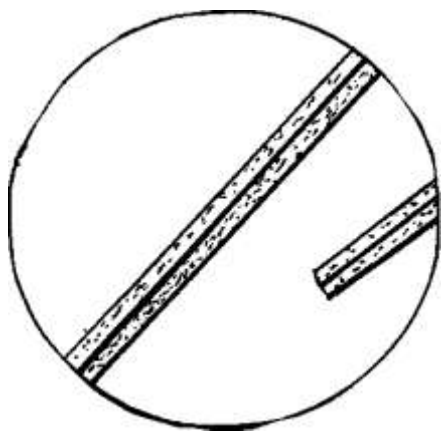
Для надання волокнам підвищеної водостійкості їх піддають термічній обробці при 200...220 °С. Проте такі волокна ще спроможні розчинятися в гарячій воді. Для значного підвищення нерозчинності у воді волокна піддають процесу ацетилювання, тобто обробці альдегідами. При взаємодії полівінілового спирту з формальдегідом утворюються зв'язки між ланками однієї і тієї ж макромолекули:



У цьому модифікованому продукті замість гідроксильних груп утворюються стійкі шестичленні цикли. Міцність звичайних формалізованих волокон залежить від умов їх одержання і призначення.

Так, міцність штапельних волокон, використовуваних для побутових цілей 35...40 гс/текс із видовженням 8...10%. Міцність полівінілспиртових волокон, навіть формалізованих, у мокрому стані знижується на 15...20%, а видовження зростає на 5...8%. За нормальних умов вони поглинають 4,5...5% вологи, а при 100% відносної вологості – 12%.

Вони стійкі до стирання, до дії кислот середніх концентрацій (за винятком мурашиної) і розведених лугів, достатньо стійкі до дії гнильних мікроорганізмів і цвілі, високостійкі



### Рисунок 34 – Волокна вінолу

до дії бензину і бензолу.

Волокна вінолу після фарбування хлорцинкйодом залишаються безбарвними. У середині волокна є повздовжні смужки, темніші або світліші, ніж інша частина волокна. Форма волокон плоска, ширина близько 0,02 мм; окремі волокна мають здатність до повільного набрякання в хлорцинкйоді, тому збільшується їхня ширина, утворюються здуття і волокна набувають синьо-фіолетового забарвлення (рис. 34).

## 5 МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ВОЛОКОН

Папероподібним матеріалам на основі мінеральних волокон відводиться важлива роль у технічному прогресі, у першу чергу в тих галузях техніки, де папір і картон з рослинних волокон не задовольняють спеціальним технічним вимогам.

Прискорення розвитку науки і техніки зажадало створення нових видів папероподібних матеріалів, що містять у композиції базальтові,



каолінові, скляні, азбестові й інші волокна, що мають специфічні властивості. Мінеральні волокна надають паперо- і картоноподібному матеріалу біостійкість, термостійкість, стійкість до впливу хімікатів, вологи, іонізуючого випромінювання, тепло- і звукоізоляційні властивості.

Розвиток криогенної і космічної техніки зумовив розвиток робіт зі створення ефективних теплоізоляційних матеріалів на основі мінеральних волокон, що експлуатуються в наднизькому і високотемпературному режимі. Папероподібний матеріал з мінеральних волокон знаходить застосування в металургії, суднобудуванні, літакобудуванні й інших галузях промисловості.

### 5.1 Базальтове волокно

Базальтове волокно одержують з гірських порід (базальтів). Хімічний склад базальтових порід залежить від родовища, але в основному характеризується наступними даними:

| <b>SiO<sub>2</sub></b> | <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>MgO</b>  | <b>FeO</b>  | <b>K<sub>2</sub>O</b> | <b>CaO</b>  | <b>TiO<sub>2</sub></b> |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|------------------------|
| <b>50,5%</b>           | <b>5,6%</b>                        | <b>15,3%</b>                       | <b>5,1%</b> | <b>9,9%</b> | <b>3,1%</b>           | <b>9,0%</b> | <b>1,6%</b>            |

Збільшення вмісту оксидів заліза і зменшення кількості MgO, CaO і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при постійному вмісті оксиду кремнію сприяє збільшенню кислотостійкості мінеральних волокон.

Великі запаси базальту, порівняна легкість його видобутку, добре відпрацьована технологія одержання базальтових волокон роблять їх найбільш перспективними для одержання папероподібного матеріалу спеціального призначення.

Базальтові волокна мають достатню міцність, високу термостійкість, хімічну стійкість, низьку теплопровідність, біостійкість поряд з іншими цінними для різних галузей народного господарства властивостями, яких не мають волокна рослинного походження.

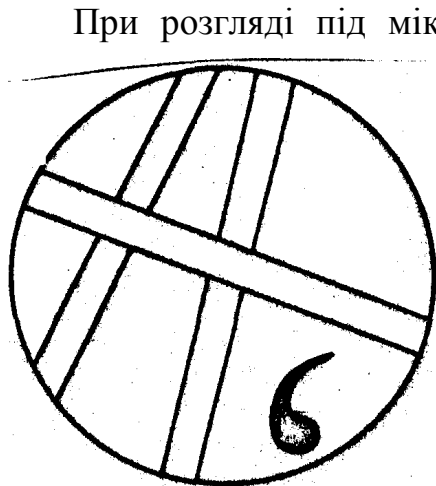
Для виробництва папероподібного матеріалу використовують в основному волокна, які у залежності від діаметра поділяються на мікротонкі - менш 0,6 мкм; ультратонкі – 0,6...1 мкм; супертонкі – 1,0...3 мкм.

Базальтові волокна (мікротонкі, ультратонкі, супертонкі) одержують наступним чином.

Базальтову породу плавлять у спеціальних печах і через платинові фільтри витягують первинні волокна:  $d = 150 \dots 200$  мкм. Далі під дією швидкісного високотемпературного потоку гарячих газів вони розм'якшуються, розчленовуються на невеликі відрізки і роздуваються в

найтонші волокна необхідного діаметра.

Базальтове волокно містить не тільки саме волокно, але і застигли крапельки матеріалу, з якого воно утворилося, - "корольки".



**Рисунок 35-Базальтове  
волокно, що містить  
"корольок"**

При розгляді під мікроскопом базальтові волокна мають блідо-жовте забарвлення і хлорцинкйодом не забарвлюються. Вони мають вид довгих, гладких, циліндричних волокон. Базальтове волокно не має каналу, відсутні будь-які шорсткості і зрушення. Більшість волокон вигнута, кінці рівні (рис.35).

Основна частина волокон має довжину 2...6 мм. Товщина волокон коливається в межах 0,002...0,02 мм.

Базальтові волокна не здатні фібрилюватися. Розмелювання їх призводить лише до вкорочування, що у свою чергу знижує міцність паперо- і картоноподібного матеріалу,

Крім того, поверхня базальтових волокон гладка, на ній відсутні активні функціональні групи, здатні утворювати міжволоконний зв'язок, внаслідок чого ці волокна практично не мають паперотворчих властивостей. Тому для надання міцності папероподібному матеріалу з базальтових волокон використовують різні в'язучі речовини. Як сполучні добавки використовуються латекси.

З метою активізації поверхні базальтових волокон проводиться також попередня обробка їх поверхні різними кислотами, лугами, солями. При обробці супертонких базальтових волокон сірчаною і соляною кислотами протягом 40 хвилин при температурі 20 °С міцність папероподібного матеріалу збільшується приблизно в 2 рази.

Для одержання папероподібного матеріалу, призначеного для використання при високих температурах (500 °С) і в агресивних середовищах, як сполучний матеріал використовували кремнійорганічні лаки і смоли. У процесі виробництва папероподібного матеріалу в сушильній частині ПРМ відбувається хімічна взаємодія (хемосорбція) базальтового волокна і кремнійорганічного сполучного.

Базальтові волокна хлорцинкйодом не забарвлюються, але забарвлюються в блідо-зелений колір під впливом барвника брильянтового зеленого.

## 5.2 Азбестове волокно

Азбестом називається мінерал, що має волокнисту будову і здатний при механічному впливі розщеплюватися на найтонші гнучкі волокна. Волокниста будова виявляється найбільш повно у хризотил-азбеста, що є водним силікатом магнію. Його хімічний склад виражається формулою:



В СНД найбільші родовища хризотил-азбесту знаходяться у Свердловській і Кустанайській областях, а також на північному Кавказі й у Східних Саянах.

Шкідливою домішкою до хризотил-азбесту є карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), що цементує елементарні кристали азбесту, знижує еластичність і розпушуваність волокон.

Хризотил-азбест негорючий, але в результаті нагрівання до  $370^\circ\text{C}$  він втрачає воду, при цьому зменшується міцність волокна. При охолодженні азбесту він знову приєднує до себе воду і міцність відновлюється. При нагріванні до  $600^\circ\text{C}$  азбест остаточно втрачає хімічно зв'язану воду, при цьому різко зменшується гнучкість і механічна міцність волокон азбесту.

Хризотил-азбест - продукт збагачення хризотил-азбестової руди, що добувається звичайно відкритим способом. Збагачення хризотил-азбестової руди ґрунтується на тому, що міцність зв'язку жил азбесту з порожньою породою менше, ніж міцність цих порід. Тому при подрібленні шматки руди звичайно розмелюються так, щоб від породи відокремлювалися жили азбесту. Внаслідок цього можливо виділити волокна хризотилу-азбесту з порожньої породи.

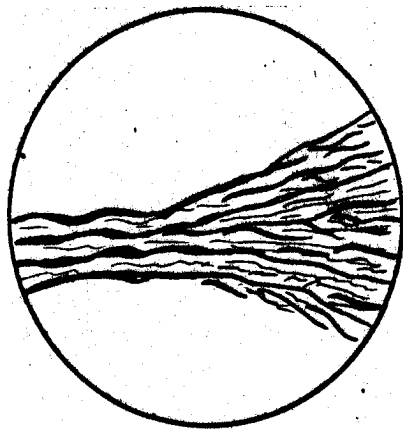
Розділення очищеного волокна хризотилу-азбесту на сорти - завершальна технологічна операція.

Хризотил-азбест характеризується наступними показниками:

- щільність  $2,4 \dots 2,6 \text{ г/см}^3$ ;
- температура плавлення  $1450 \dots 1500^\circ\text{C}$ ;
- термостійкість (втрата міцності) при тривалому постійному нагріванні до  $500^\circ\text{C}$ , при короткочасному нагріванні до  $700^\circ\text{C}$ ;
- лугостійкість - висока (масова частка розчинених речовин у 25% КОН при кип'ятінні протягом 4 годин не більш 5%);
- кислотостійкість слабка (масова частка розчинених речовин у НСІ щільністю  $1,19 \text{ г/см}^3$  при кип'ятінні протягом 4 годин до 57%);
- масова частка капілярної вологи 13,46%.

Хризотил-азбест - практично єдине з мінеральних волокон, що має паперотворчі властивості.

Кращі марки азбесту для застосування його в ЦПП - марки довговолоконного азбесту типу АК і ДВ.



**Рисунок 36 -Азбестове  
волокно**

Азбестові волокна здатні фібрилюватися (рис. 36). Крім того, вони мають шорсткувату поверхню і на ній є активні функціональні групи, здатні утворювати міжволоконний зв'язок, внаслідок чого ці волокна мають паперотворчі властивості. Більшість волокон вигнута. Кінці волокон розпушені. Окремі волокна мають трубчасту форму і внутрішню капілярну структуру. Волокна дуже м'які, гнучкі і мають велику міцність.

Основна частина волокон має довжину 2...18 мм, товщину 0,5...6 мкм.

Азбестові волокна хлорцинкйодом не забарвлюється.

### 5.3 Скляне волокно

Скляним волокном називають штучне волокно, виготовлене різними способами із розплавленого скла. Розрізняють два види елементарних скляних волокон: безперервне - довжиною 20 км і більше і штапельне - довжиною 1...50 см. За зовнішнім виглядом безперервне волокно нагадує натуральний чи штучний шовк, а штапельне - бавовну чи вовну.

Скляні волокна належать до класу негорючих хімічних волокон, які мають високу термо- і теплостійкість. Завдяки високій хімічній стійкості скляні тканини використовують у хімічній промисловості для фільтрації кислот, лугів і хімічно активних газів.

Скляні волокна у залежності від їх призначення і способу виробництва виготовляють із скла різного хімічного складу (табл.4).

Таблиця 4. Хімічний склад скла для виробництва скляного волокна, %

|                   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | Na <sub>2</sub> O |
|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|-----|-------------------|
| Комплексна нитка  | 54               | 14,5                           | 10                            | 16,5 | 4   | 1                 |
| Штапельне волокно | 55               | 5                              | -                             | 22   | 6   | 11                |

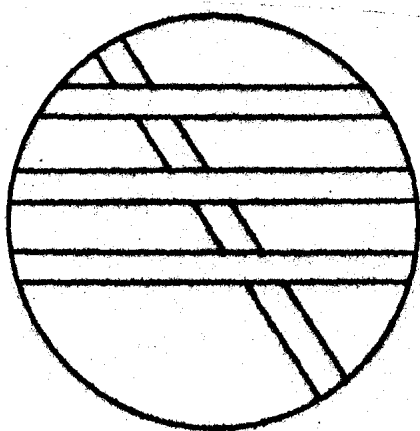
Скляні волокна одержують наступними способами: фільєрним, штабиковим, центробіжним і дуттьовим.

Найбільше поширення одержали фільєрний і дуттьовий способи. Першим способом одержують безперервне волокно, а другим - штапельне.

Діаметр скляного волокна, одержуваного різними способами, коливається в наступних межах, мкм:

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| <i>Текстильне</i>               | 3...11  |
| <i>Теплоізоляційне:</i>         |         |
| ультратонке                     | 1       |
| супертонке                      | 3       |
| тонке                           | 3...11  |
| потовщене                       | 11...20 |
| грубе                           | 20      |
| <i>Для армування пластмас</i>   | 5...20  |
| <i>Спеціального призначення</i> | 9...100 |

Мікроскопічні дослідження скляних волокон показують, що вони прозорі, мають гладку поверхню і строго циліндричну форму по всій довжині (рис.37).



**Рисунок 37 - Скляне  
волокно**

Скляні волокна не здатні фібрилюватися, розмелювання призводить тільки до їх укорочення. Поверхня волокон гладка, на ній відсутні активні функціональні групи, здатні утворювати міжволоконний зв'язок, внаслідок чого ці волокна не мають паперотворчих властивостей. Тому для одержання папероподібного матеріалу із скляних волокон використовують різні зв'язувальні. Вибір зв'язувального визначається умовами експлуатації матеріалу. Скляні волокна мають довжину від 0,5 см до 20 км; товщина волокон коливається в межах 3...100 мкм.

Скляні волокна хлорцинкйодом не забарвлюються.

## 5.4 Каолінове волокно

Вироби із вогнетривкого каолінового волокна використовуються для теплоізоляції конвертерів і теплонагрівачів металургічних виробництв, для футеровки жолобів і труб при розливі і транспортуванні рідких металів, для теплової ізоляції газових турбін.

У целюлозно-паперовій промисловості як вихідний матеріал для одержання паперо- і картоноподібного вогнетривкого матеріалу використовується високоглинисте каолінове волокно.

За своїми фізико-хімічними показниками каолінове волокно повинно відповідати наступним вимогам:

**Хімічний склад, %**

$Al_2O_3$ , не менше

50

$SiO_2$

45...50

**Втрати при прожарюванні, не більше, %**

0,3

**Вогнетривкість, °C, не менше**

1750

**Середній діаметр волокна, мкм, не більше**

4

**Колір**

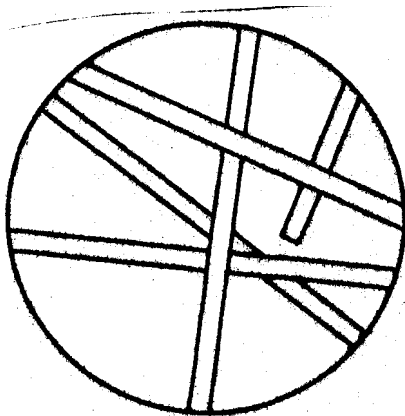
білий

**Масова частка неволокнистих включень**

(“корольків”), %, не більше

3

Каолінове волокно досить стійке до води і водяної пари, мастил, кислот (за винятком плавикової і фосфорної), не змочується рідкими металами, має малу гігроскопічність (0,2%).



**Рисунок 38 - Каолінове  
волокно**

Каолінові волокна одержують аналогічно скляним волокнам. Спосіб виробництва - дуттьовий, сировина - технічний глинозем і кварцовий пісок.

Каолінове волокно відрізняється від традиційно використовуваних у ЦПП волокон рослинного походження, тому виробництво паперо- і картоноподібних матеріалів з каолінових волокон пов'язане з цілою низкою технологічних

утруднень, що визначаються природою даних волокон:

- у процесі розмелювання волокна не фібрилюються;
- відсутні водневі зв'язки;
- не мають паперотворчих властивостей;
- поверхня волокна гладка.

Тому з волокнистої 100%-ї каолінової маси без застосування як органічних, так і неорганічних зв'язувальних не вдається одержати паперо- чи картоноподібний матеріал.

Для надання матеріалу на основі каолінових волокон необхідної міцності рекомендується використовувати як волокнисті сполучальні целюлозу й азбест. Причому відомо, що паперотворчі властивості азбестових волокон значно нижчі целюлозних. Застосування полімерних сполучальних призводить до технологічних ускладнень на папероробному устаткуванні (заклеюванні сіток і сукон ПРМ і КРМ).

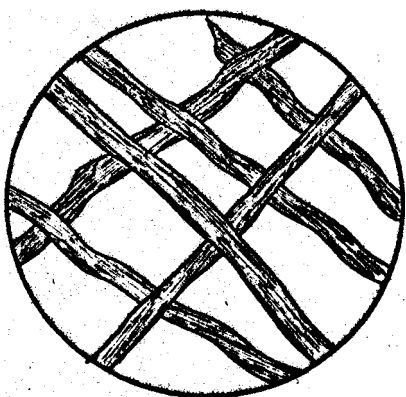
Каолінові волокна мають вид довгих гладких циліндричних волокон. Вони не мають каналу, відсутні будь-які шорсткості. Кінці волокон рівні (рис. 38).

Довжина каолінових волокон коливається в межах 2...6 мм, ширина - 0,6...4 мкм. Каолінові волокна хлорцинкйодом не забарвлюються.

## 5.5 Вуглецеві волокна

Вуглецеве волокно - це матеріал, що складається з аморфного і кристалічного вуглецю. Вуглецеві волокна - жаростійкі волокна, що можуть працювати при температурах понад 1000 °С.

Сировиною для одержання вуглецевих волокон є целюлозні, поліакрило-нітрильні, полівінілспиртові й інші волокна, але велика частина вуглецевих волокон виробляється з поліакрилонітрила і целюлози. Ці волокна одержують у результаті піролізу вихідних волокон. У залежності від кінцевої температури обробки одержувані волокна підрозділяються на три групи; частково карбонізовані (400...500 °С), вуглецеві (900...1500 °С), вуглеграфітові (3000 °С).



**Рисунок 39 - Вуглецеве  
волокно**

Піроліз волокон проводиться в спеціальних печах. Перед термічною обробкою волокно піддають обробці розчинами антипіренів (хлорид амонію, фосфат амонію, бура, борна кислота). Мають гладку поверхню, на якій відсутні активні функціональні групи, нездатні утворювати міжволоконний зв'язок; тому ці волокна не мають паперотворчих властивостей. При розгляді під мікроскопом вуглецеві волокна мають чорне забарвлення.

Кінці волокон мають форму ламаної лінії (рис.39).

Довжина волокон 10...200 мм, ширина - 1...20 мкм. Вуглецеві волокна хлорцинкйодом не забарвлюються.

## 6 ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОЗИЦІЇ ПАПЕРУ

У залежності від технічних вимог, які висуваються до різних сортів паперу, до їх складу може входити один чи кілька видів волокон й у різному співвідношенні. Склад паперу по виду волокна прийнято називати його композицією. При дослідженні композиції паперу визначають природу волокна і співвідношення кожного виду у відсотках.

Якісний і кількісний склад паперу по волокну визначають шляхом мікроскопічного дослідження препаратів, отриманих із зразків паперу, які потрібно проаналізувати. Кількісне визначення вимагає певних навичок в приготуванні препарату, знань мікроструктури волокнистих матеріалів і забарвлення, що набувається ними, при дії різних реактивів.

Кількісний склад паперу визначають методом підрахунку в полі зору мікроскопа числа волокон кожного виду матеріалу. Цей метод дуже важкий при наявності волокон, що різко відрізняються по довжині і ширині, при наявності дріб'язку, фібрил, пучків волокон. Цим методом важко також визначати композицію зразка, до складу якого входить деревна маса, солом'яна целюлоза, целюлоза з листяних порід деревини.

При мікроскопічному дослідженні зразків паперу чи картону для установлення виду волокнистих матеріалів, які входять до їх складу, середню пробу варто відбирати з п'яти аркушів зразка, з яких нарізають п'ять смужок шириною 15 і довжиною 200 мм. Усі смужки, складені разом, занурюють у пробірку з дистильованою водою чи з зазначеним далі розчинником у залежності від виду досліджуваного зразка і ступеня його обробки речовинами, що проклеюють.

### 6.1 Підготовка зразків паперу

Підготовка зразків до досліджень полягає у видаленні з паперу і картону речовин, що проклеюють, наповняють, просочують і покривних речовин та приготуванні препаратів волокон для забарвлення реактивами.

Зразки паперу і картону в залежності від їхнього виду і властивостей обробляють водою чи розчинами, при цьому після кожної обробки зразок диспергують або за допомогою препарувальної голки розщеплюють на окремі волокна. Якщо зразок розпадається на волокна, то приступають до приготування препарату; якщо розщепити зразок не вдається, то продовжують обробку іншими розчинами. Перед обробкою препарату спеціальними реактивами волокна ретельно промивають дистильованою водою від хімікатів і розчинників і диспергують.



### ***6.1.1 Підготовка паперу і картону без поверхневого покриття***

Відібрані для дослідження зразки обробляють одним із способів: замочують і кип'ятять протягом 5 хвилин у дистильованій воді в хімічній склянці, періодично помішують, потім диспергують; якщо після кип'ятіння у воді зразок важко розділити на волокна, його кип'ятять протягом 5 хвилин у 1,0%-му розчині гідроксиду натрію, періодично помішують. Волокна фільтрують через скляний фільтр, промивають дистильованою водою і диспергують.

### ***6.1.2 Підготовка паперу і картону з поверхневим покриттям***

Відібрані для дослідів зразки кип'ятять протягом 5 хвилин у 0,5%-му розчині кальцинованої соди чи в 0,1%-му розчині гідроксиду натрію й обережно змивають у дистильованій воді покривний шар, потім обробляють послідовно три рази по 10 хвилин чотирьоххлористим вуглецем, після чого кип'ятять протягом 5 хвилин у 1%-му розчині гідроксиду натрію, промивають дистильованою водою і диспергують.

### ***6.1.3 Підготовка паперу і картону зі спеціальними покриттями, що містять латекси***

Відібрані для дослідів зразки екстрагують диметилформамідом протягом 2...6 годин в апараті Сокслета, після чого висушують на повітрі і кип'ятять у воді або в 1%-му розчині гідроксиду натрію 5 хвилин, потім промивають водою і диспергують.

### ***6.1.4 Підготовка паперу і картону, оброблених бітумом***

Відібрані для дослідів зразки екстрагують у чотирьоххлористому вуглеці чи хлороформі в апараті Сокслета доти, поки неодноразово змінюваний розчин не буде залишатися прозорим, потім промивають водою і диспергують.

### ***6.1.5 Підготовка паперу і картону, оброблених поліетиленіміном, меламіновою чи сечовиноформальдегідною смолами***

Відібрані для дослідів зразки обробляють протягом 15 хвилин етиловим спиртом і висушують на повітрі, потім кип'ятять протягом 20 хвилин у 5%-му розчині сірчаноокислого алюмінію, промивають, кип'ятять протягом 5 хвилин у 1,0%-му розчині гідроксиду натрію,

промивають дистильованою водою, потім кип'ятять протягом 5 хвилин у 0,1%-му розчині соляної кислоти, знову промивають дистильованою водою і диспергують.

#### **6.1.6 Підготовка пергаменту**

Відібрані для дослідів зразки обробляють 6,5%-им розчином марганцевокислого калію протягом 1 години, потім розчин зливають, зразок добре промивають дистильованою водою й обробляють 5%-ою щавлевою кислотою протягом 1...2 хвилин, після чого знову промивають водою і диспергують.

#### **6.1.7 Підготовка забарвлених зразків**

Відібрані зразки обробляють до повного чи часткового знебарвлення при кімнатній температурі одним з нижчеперелічених розчинів, що дають найбільший ефект знебарвлення:

*2%-им розчином пероксиду водню;*

*3%-им розчином хлорного вапна;*

*етиловим спиртом;*

*ацетоном;*

*5%-им розчином аміаку;*

*10%-им розчином оцтової кислоти;*

*0,1%-им розчином соляної кислоти.*

Обробку ведуть доти, поки неодноразово змінюваний розчин не буде залишатися прозорим. Потім зразок промивають дистильованою водою і диспергують.

При аналізі багатошарового картону розділяють його на шари і кожен шар аналізують окремо.

#### **6.2 Підготовка препаратів волокон до забарвлення**

З підготовлених зразків паперу і картону препарати волокон для забарвлення готують із суспензії чи з відфільтрованого шару волокна.

Предметні і покривні стекла перед приготуванням препарату ретельно миють теплою водою і протирають 50%-им спиртом. Для утримання волокнистої суспензії на чистому предметному склі олівцем для скла окреслюють квадратну ділянку розміром, що трохи перевищує розміри покривного скла.

### **6.2.1 Приготування препарату із суспензії волокна**

Половину диспергованих зразків розбавляють дистильованою водою в хімічній склянці приблизно до концентрації 0,05 %. За допомогою скляної трубки з внутрішнім діаметром не менше 5 мм переносять 0,5 см<sup>3</sup> суспензії на предметне скло. Підсушують препарат на гарячій пластині чи у термостаті, на електроплитці з азбестовою сіткою, на слабкому вогні при температурі 50...60 °С. Після охолодження наносять відповідний реактив і накривають препарат покривним склом, уникаючи утворення повітряних пухирців. Препарат залишають на 1...2 хвилини, потім надлишок розчину реактиву видаляють промокальним папером.

### **6.2.2 Приготування препарату з відфільтрованого шару волокна**

Через сито чи скляний фільтр відфільтровують половину диспергованого зразка. Відфільтрований шар волокна переносять на предметне скло, яке поміщають у закриту чашку Петрі на весь період досліджень. Невелику кількість відфільтрованого шару волокон переносять на предметне скло і промокальним папером видаляють надлишок води. Наносять реактив, препарувальними голками рівномірно розподіляють волокна, добиваючись оптимальної щільності препарату, потім препарат накривають предметним склом. Надлишок розчину видаляють фільтрувальним папером, намагаючись не зрушувати покривне скло й уникаючи скупчення волокон [9].

## **6.3 Проведення дослідів**

Предметне скло з забарвленими волокнами поміщають на столик мікроскопа і розглядають при збільшенні 70 чи 120× при визначенні груп, підгруп, видів волокон і способу варіння по виникаючих забарвленнях і збільшенні 200 чи 500× при визначенні виду волокон за морфологічними ознаками.

Препарати розглядають при постійному освітленні: при денному розсіяному світлі чи застосовуючи настільний освітлювач марки ОІ-19 із синім світлофільтром, щоб уникнути одержання неправильного відтінку забарвлення волокон.

#### 6.4. Визначення кількісного співвідношення волокон у папері та картоні

Препарат переміщують на предметному столику до тих пір, поки центр перехрестя окуляра не збіжиться з верхнім кутом покривного скла. Потім предметне скло повільно переміщують по горизонталі і підраховують кількість волокон окремо для кожного виду, що пройшли під перехрестям. Після підрахунку усіх волокон на лінії препарат переміщують по вертикалі на 3...5 мм і встановлюють на новій лінії і потім знову рахують волокна кожного виду. Підрахунок проводять по 4...5 лініям, на яких повинно бути близько 300 волокон. Аналізують не менш двох препаратів, тобто близько 600 волокон.

Незалежно від довжини волокно підраховують стільки разів, скільки воно проходить через центр перехрестя. У скупченнях, що знаходяться під перехрестям, підраховують усі волокна. Якщо перехрестя переміщається уздовж волокна, то останнє підраховують один раз. Волокна, видимі в полі зору, але не пройшли під перехрестям, не враховують.

Не беруть до уваги дуже дрібні частки волокон, не враховують великі фрагменти, такі як розщеплені, розрубані волокна; при наявності двох чи трьох таких фрагментів на одній лінії їх вважають за одне волокно. Для целюлози з листяних порід деревини й однорічних рослин підраховують волокна, судини і великі паренхимні клітини. При наявності значної кількості дрібних паренхимних клітин кожні чотири клітини того самого виду, виявлені на одній лінії, вважають за одне ціле волокно.

Для деревної маси в пучках підраховують кожне волокно по мірі того, як воно проходить під перехрестям.

Кількість волокон кожного типу визначають у відсотках від загального числа підрахованих в усьому препараті волокон.

Масову частку кожного виду волокон (X) у відсотках обчислюють за формулою:

$$X = \frac{100 \cdot f_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^m f_i \cdot n_i},$$

де  $f_i$  — коефіцієнт переводу;

$n_i$  — загальна кількість волокон кожного виду.

За результат досліджень приймають середнє арифметичне результатів двох рівнобіжних визначень. Результат округляють до цілого числа.

Точність методу дорівнює  $\pm 5\%$  при довірчій імовірності 0,95.

Якщо розбіжність між рівнобіжними визначеннями перевищує  $\pm 5\%$ ,

то необхідно додатково приготувати і дослідити один чи більше препаратів.

Коефіцієнти переводу для різного виду волокон приведені в табл.5:

Таблиця 5.

| <i><b>Волокна</b></i>                  | <i><b>Коефіцієнт переводу</b></i> |
|----------------------------------------|-----------------------------------|
| текстильні                             | 1,0                               |
| хвойної целюлози                       | 0,9                               |
| листяної целюлози                      | 0,6                               |
| целюлози однорічних рослин             | 0,55                              |
| дефібрерної і рафінерної деревної маси | 1,5                               |
| термомеханічної деревної маси          | 1,4                               |

Приклад розрахунку відсоткового співвідношення мас волокон у композиції паперу при кількісному аналізі двох препаратів:

| <i><b>Підраховано волокон, шт</b></i> | <i><b>В 1-му препараті</b></i> | <i><b>В 2-му препараті</b></i> |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Дефібрерної деревної маси             | 100                            | 90                             |
| Хвойної целюлози                      | 100                            | 110                            |
| Листяної целюлози                     | 100                            | 90                             |

Після перемноження кількості волокон на перевідні коефіцієнти (вказані у дужках) отримують значення для

|                                          |     |     |
|------------------------------------------|-----|-----|
| Дефібрерної деревної маси (1,5)          | 150 | 135 |
| Хвойної целюлози (0,9)                   | 90  | 99  |
| Листяної целюлози (0,6)                  | 60  | 54  |
| Сумарна кількість одиниць маси препарату | 300 | 288 |

За приведеною вище формулою визначають кількість волокон кожного виду в %:

|                           | 1 препарат                         | 2 препарат                         | Середнє |
|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|
| Дефібрерної деревної маси | $\frac{150 \cdot 100}{300} = 50,0$ | $\frac{135 \cdot 100}{288} = 46,9$ | 48,5    |
| Хвойної целюлози          | $\frac{90 \cdot 100}{300} = 30,0$  | $\frac{99 \cdot 100}{288} = 34,4$  | 32,2    |
| Листяної целюлози         | $\frac{60 \cdot 100}{300} = 20,0$  | $\frac{54 \cdot 100}{288} = 18,7$  | 19,3    |

Розбіжності між паралельними дослідями не перевищують 5%, тому підраховують середній результат і округляють до цілого числа. Результати аналізу складу по волокну в %:

|                         |      |
|-------------------------|------|
| Дефібрерна деревна маса | -49; |
| Хвойна целюлоза         | -32; |
| Листяна целюлоза        | -19  |

## 7 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ МАСИ ТА ЩІЛЬНОСТІ ДЕРЕВИНИ

При вивченні деревини розрізняють два поняття: щільність деревини (об'ємна маса) та щільність деревної речовини (питома маса). Щільність деревної речовини у різних порід деревини приблизно однакова і коливається у межах  $1,50 \dots 1,56 \text{ г/см}^3$ . У середньому щільність деревної речовини (питома маса) приймається рівною  $1,54 \text{ г/см}^3$ .

Щільність деревини залежить від пористості її клітинних стінок та від вологості. Частка клітинних оболонок у деревині різних порід складає від 20 до 50% усього об'єму, 50...80% складають порожнини клітин та інші пустоти. Об'єм внутрішніх пустот у відсотках від об'єму деревини у абсолютно сухому стані називається пористістю. Оскільки об'єм пор значний, то щільність деревини зазвичай менше  $1 \text{ г/см}^3$ .

Породи деревини за щільністю при 12%-ій вологості можна поділити на три групи: 1) породи малої щільності -  $0,54 \text{ г/см}^3$  і менше. Наприклад, сосна, ялина, кедр, ялиця, тополя, липа, верба, осика; 2) породи середньої щільності —  $0,55 \dots 0,74 \text{ г/см}^3$ . Наприклад, модрина, тис, береза, бук, дуб; 3) породи високої щільності -  $0,75 \text{ г/см}^3$  - акація, граб, самшит.

Середня щільність найважливіших порід при 12%-ій вологості дорівнює ( $\text{г/см}^3$ ): сосни - 0,5; ялини - 0,445; модрина - 0,66; кедру - 0,435; ялиці сибірської - 0,375; дуба - 0,690.

Об'ємна маса деревини або її щільність залежить від ряду факторів: породи деревини, її вологості, ширини річного шару, вмісту пізньої деревини, від умов росту, віку дерева та ін.

Для визначення щільності деревини досліджуваному зразку надають правильну геометричну форму у вигляді куба або призми та визначають його об'єм шляхом заміру трьох сторін штангенциркулем. Після заміру зразок зважують на технічних вагах з точністю до 0,01 г, а потім на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г. Об'ємна маса деревини ( $\gamma$ ) розраховується поділом маси зразка на його об'єм:

$$\gamma = \frac{P}{V},$$

де  $P$  - маса зразка, г;

$V$  - об'єм зразка,  $\text{см}^3$ .

Таким чином, щільність деревини визначається при даній її вологості зазвичай у повітряно-сухому стані і приводиться до стандартної вологості 12%.

Об'ємною пористістю (ОП) деревини вважають об'єм пор у відсотках від загального об'єму абсолютно сухої деревини. Для визначення пористості деревини достатньо визначити її щільність у абсолютно-сухому стані. Для цього той же зразок деревини висушують у сушильній шафі при температурі  $105^\circ\text{C}$  до постійної маси, зважують та визначають об'єм. Тоді пористість деревини у відсотках визначається за формулою:

$$\text{ОП} = \left(1 - \frac{P_1}{V_1 \cdot d}\right) \cdot 100, \%$$

де  $P_1$  - маса зразка в абсолютно-сухому стані, г;

$V_1$  - об'єм зразка в абсолютно-сухому стані,  $\text{см}^3$ ;

$d$  - питома маса деревної речовини =  $1,54, \text{г/см}^3$ .

Позначивши об'ємну масу деревини у абсолютно-сухому стані через  $\gamma_1$ , та підставивши значення питомої маси, отримаємо:

$$\text{ОП} = (1 - 0,65 \cdot \gamma_1) \cdot 100, \%$$

## 8 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗМЕЛЮВАННЯ

Процес розмелювання паперової маси контролюють шляхом визначення ступеня млива і середньої довжини волокна. Ступінь помелу паперової маси визначають на апараті СР-2, а середню довжину волокна — на апараті марки СДВ.

### 8.1 Визначення середньої довжини волокна

Апарат СДВ (рис.40) складається з воронкоподібної посудини 2 з нижнім отвором діаметром 40 мм. Отвір закривається клапаном 3. Усередину посудини встановлене опорне кільце, на яке ставиться робоча рамка 5. Рамка є основним робочим органом приладу. Це грати з тонких металевих лез обтічної форми, рамка має стрижень з гачком для зважування на важільних вагах .

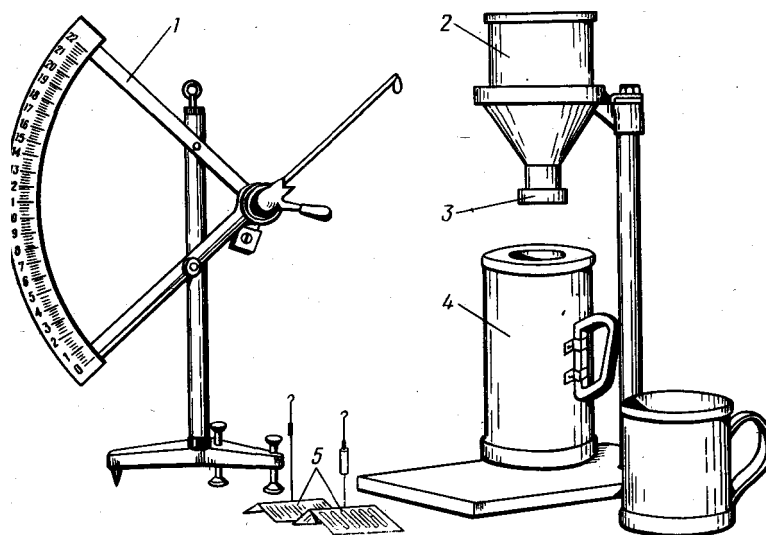
Перед початком дослідів необхідно установити прилад і квадрантні ваги по нульових рівнях, вибрати робочу рамку, на якій буде проводитися випробування. Вибір рамки залежить від характеру помелу випробуваної маси. При довговолокнистій масі беруть рамку № 1 з відстанню між лезами 10 мм, а при коротковолокнистій — рамку № 2 з відстанню між лезами 5 мм. Далі закривають клапаном отвір воронкоподібної посудини і встановлюють під нього прийомний кухоль 4.

Для аналізу беруть таку кількість випробуваної маси, щоб у ній містилося 6 г абсолютно сухого волокна, і доводять об'єм до 2 л. Суспензію ретельно перемішують до повного зникнення грудочок маси і виливають у воронкоподібну посудину апарата з робочою рамкою. Далі натискають на засувку клапана і випускають суспензію в прийомний кухоль.

Рамка залишається в посудині ще 2...3 хвилини для стікання з неї надлишкової води, а потім її зважують разом з волокном, що залишилося, на квадрантних вагах.

Показання ваг у дециграмах і є масним показником маси. Визначення повторюють з тією ж суспензією, для цього волокно, що осіло на рамці, після зважування повертають назад у суспензію, зануливши рамку в кухоль із суспензією.

За табл. 6 знаходять середньозважену довжину волокна, яка відповідає даному масному показнику. Прилад СДВ придатний для визначення середньої довжини волокна при ступені млива маси в межах 18...90° ШР.



**Рисунок 40 - Схема апарата типу СДВ для визначення середньої довжини волокна**



Таблиця 6 - Залежність між масним показником і довжиною волокна для хвойної сульфітної целюлози

| Масний показник, дцг | Довжина волокна, мм | Масний показник, дцг | Довжина волокна, мм | Масний показник, дцг | Довжина волокна, мм |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 8                    | 0,5                 | 50                   | 1,2                 | 90                   | 1,9                 |
| 14                   | 0,6                 | 56                   | 1,3                 | 97                   | 2,0                 |
| 21                   | 0,7                 | 62                   | 1,4                 | 104                  | 2,1                 |
| 26                   | 0,8                 | 67                   | 1,5                 | 112                  | 2,2                 |
| 32                   | 0,9                 | 73                   | 1,6                 | 124                  | 2,3                 |
| 38                   | 1,0                 | 79                   | 1,7                 | 140                  | 2,4                 |
| 44                   | 1,1                 | 84                   | 1,8                 | 167                  | 2,5                 |

## 8.2 Визначення ступеня млива

Ступінь млива характеризує здатність маси віддавати воду на сітках папероробних машин, тому є однією з найважливіших її характеристик.

Ступінь млива маси визначається на приладі СР-2 типу Шоппер-Рігlera, який зображений на рис.41. Принцип роботи приладу полягає в різній швидкості віддачі води масою різного ступеня млива при зневоднюванні її на сітці.

Верхня частина приладу 1, яка знімається, є циліндром, дно якого обтягнуте одинарною миткалевою сіткою №40. Сітчасте дно закривається клапаном 2, краї якого обтягнуті гумовим кільцем, щоб він щільно закривав знизу циліндр. Нижня частина

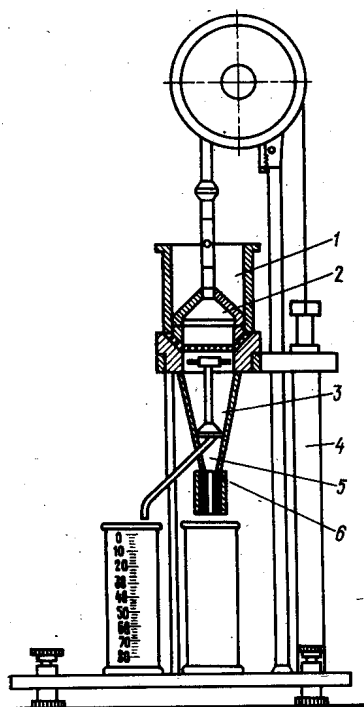


Рисунок 41- Прилад СР-2

приладу 3 є конусом, який закріплений на стійкому штативі 4 і має два отвори: центральний 6 вузький (строго визначеного діаметра) і боковий 5, більш широкий. Розміщення цих отворів вибрано так, що вода, яка стікає через шар маси і сітку з верхнього циліндра, може виходити через боковий отвір тільки тоді, коли швидкість стікання її більша, ніж пропускна здатність центрального отвору. У цьому випадку вода не встигає витікати через нижній отвір, зосереджується в конусі, і частина води буде витікати через боковий переливний отвір.

З підвищенням ступеня млива швидкість водовіддачі зменшується. При низькому ступені млива вода стікає швидко і велика частина її виливається через широкий бічний отвір у градуйовану посудину. При високому ступені млива вода настільки повільно стікає, що майже вся проходить через центральний вузький отвір в іншу посудину. Ступінь млива виражають в умовних градусах  $^{\circ}\text{ШР}$  (Шоппер-Ріглера).

Для визначення ступеня млива розмеленої маси беруть 1 л суспензії, що містить точно 2 г маси в розрахунку на абсолютно сухе волокно. Суспензію ретельно перемішують і швидко вливають у циліндр приладу СР-2 при опущеному клапані, який потім швидко піднімають, а вода стікає через шар маси і сітку в циліндри, підставлені під центральний і бічний отвори.

Визначивши об'єм води (V), яка витекла у бічний циліндр, обчислюють ступінь млива деревної маси (целюлози) за наступною формулою:

$$^{\circ}\text{ШР} = \frac{1000 - V}{10}$$

За ступінь млива  $^{\circ}\text{ШР}$  приймають умовно різницю між кількістю води, взятої для аналізу волокнистої суспензії, і кількістю води, що витекла через широкий бічний отвір. При цьому 10 мл води відповідає  $1^{\circ}\text{ШР}$ .

У зв'язку з тим, що швидкість водовіддачі волокнистою масою залежить від в'язкості води, ступінь млива необхідно визначати при температурі води  $20^{\circ}\text{C}$ . Підвищення температури на  $1^{\circ}\text{C}$  знижує показник ступеня млива на  $0,46^{\circ}\text{ШР}$ .

Прилад СР-2 має недолік: він малочутливий в низькій ( $8 \dots 16^{\circ}\text{ШР}$ ) і у високій ( $85 \dots 90^{\circ}\text{ШР}$ ) областях помелу маси [10].

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Диагностические признаки древесины и целлюлозных волокон: Атлас / Под ред. Г.М. Козубова и Н.П. Зотовой-Спановской.- Петрозаводск, 1976.- 149 с.
2. Диагностические признаки недревесных растительных и химических волокон / Под ред. Н.П. Зотовой-Спановской.-М.: Лесн. пром-сть, 1981.- 119 с.
3. Справочник льновода/ Под. Ред. Афонина М.П. - Минск: "Ураджай", 1973.- 240 с.
4. Пузырев С.С. Современная технология механической массы. т.2. Механическая масса из щепы. - С.-Петербург, 1996. - 236 с.
5. Пузырев С.С. Современная технология механической массы. т.1. Дефибрерная древесная масса, полученная под давлением.- С.-Петербург, 1995. -70 с.
6. Химическая энциклопедия. т.1.- М.: «БРЭ», 1988. - 620 с.
7. Химическая энциклопедия. т.3.- М.: «БРЭ», 1992 .- 639 с.
8. Химическая энциклопедия. т.4.- М.: «БРЭ», 1995. - 670 с.
9. ГОСТ 7500-85. Бумага и картон. Методы определения состава по волокну. - М.: Издательство стандартов, 1987.- с. 48.
- 10.Примаков С.Ф., Миловзоров В.П., Кухникова М.С., Царенко И.М. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству.-М.: Лесн.пром-сть, 1980.- 168 с.

## ЗМІСТ

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ</b>                                                     | <b>3</b>  |
| <b>1 Мікроскопічне дослідження деревини</b>                      | <b>3</b>  |
| 1.1 Загальні відомості                                           | 3         |
| 1.2 Будова мікроскопа                                            | 4         |
| 1.3 Робота з мікроскопом                                         | 5         |
| 1.4 Приготування препарату                                       | 5         |
| 1.5 Замальовка препарату                                         | 6         |
| 1.6 Анатомічна будова деревини                                   | 7         |
| 1.7 Мікроскопічна будова хвойної деревини                        | 10        |
| 1.8 Мікроскопічна будова листяної деревини                       | 12        |
| 1.9 Ультраструктура клітинної стінки волокна                     | 14        |
| <b>2 Мікроскопічне дослідження рослинних волокон</b>             | <b>16</b> |
| 2.1 Визначення роду (виду) волокон                               | 16        |
| 2.2 Бавовна                                                      | 17        |
| 2.3 Льон                                                         | 19        |
| 2.4 Коноплі                                                      | 22        |
| 2.5 Кенаф                                                        | 22        |
| 2.6 Целюлоза хвойна                                              | 23        |
| 2.7 Целюлоза листяна                                             | 24        |
| 2.8 Целюлоза очеретяна                                           | 27        |
| 2.9 Целюлоза солом'яна                                           | 29        |
| 2.10 Дефібрерна деревна маса (біла)                              | 30        |
| 2.11 Деревна маса термомеханічна                                 | 31        |
| 2.12 Хіміко-термомеханічна маса                                  | 32        |
| <b>3 Мікроскопічне дослідження волокон тваринного походження</b> | <b>33</b> |
| 3.1 Вовна                                                        | 33        |
| <b>4 Мікроскопічні дослідження хімічних волокон</b>              | <b>34</b> |
| 4.1 Загальні властивості хімічних волокон                        | 34        |
| 4.2 Нітроцелюлозне волокно                                       | 34        |
| 4.3 Мідно-аміачне волокно                                        | 35        |

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4 Віскозне волокно                                                                                           | 37        |
| 4.5 Ацетатне волокно                                                                                           | 40        |
| 4.6 Поліамідні волокна                                                                                         | 42        |
| 4.6.1 Капронове волокно                                                                                        | 42        |
| 4.6.2 Найлон і анід                                                                                            | 43        |
| 4.7 Поліефірні волокна. Лавсан.                                                                                | 44        |
| 4.8 Поліакрилонітрильні волокна. Нітрон.                                                                       | 46        |
| 4.9 Полівінілспиртові волокна. Вінол.                                                                          | 47        |
| <b>5 Мікроскопічні дослідження мінеральних волокон</b>                                                         | <b>48</b> |
| 5.1 Базальтове волокно                                                                                         | 49        |
| 5.2 Азбестове волокно                                                                                          | 51        |
| 5.3 Скляне волокно                                                                                             | 52        |
| 5.4 Каолінове волокно                                                                                          | 54        |
| 5.5 Вуглецеві волокна                                                                                          | 55        |
| <b>6 Визначення композиції паперу</b>                                                                          | <b>56</b> |
| 6.1 Підготовка зразків паперу                                                                                  | 56        |
| 6.1.1 Підготовка паперу і картону без поверхневого покриття                                                    | 57        |
| 6.1.2 Підготовка паперу і картону з поверхневим покриттям                                                      | 57        |
| 6.1.3 Підготовка паперу і картону зі спеціальними покриттями, що містять латекси                               | 57        |
| 6.1.4 Підготовка паперу і картону, оброблених бітумом                                                          | 57        |
| 6.1.5 Підготовка паперу і картону, оброблених поліетиленіміном, меламіновою чи сечовиноформальдегідною смолами | 57        |
| 6.1.6 Підготовка пергаменту                                                                                    | 58        |
| 6.1.7 Підготовка забарвлених зразків                                                                           | 58        |
| 6.2 Підготовка препаратів волокон для забарвлення                                                              | 58        |
| 6.2.1 Приготування препарату із суспензії волокна                                                              | 59        |
| 6.2.2 Приготування препарату з відфільтрованого шару волокна                                                   | 59        |

|     |                                                                  |    |
|-----|------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3 | Проведення дослідів                                              | 59 |
| 6.4 | Визначення кількісного співвідношення волокон у папері і картоні | 60 |
| 7   | <b>Визначення питомої маси та щільності деревини</b>             | 62 |
| 8   | <b>Контроль процесу розмелювання</b>                             | 63 |
| 8.1 | Визначення середньої довжини волокна                             | 63 |
| 8.2 | Визначення ступеня млива                                         | 65 |
|     | <b>Перелік посилань</b>                                          | 67 |



