

## ЛЕКЦІЯ № 1

### Тема: Фізико-механічні властивості деревини – **Physico-mechanical properties of wood**

#### План

1. Загальна характеристика фізико-механічних властивостей.
2. Об'ємна вага.
3. Об'ємна усушка.
4. Стиск вздовж волокон.
5. Статична твердість.
6. В'язкість або ламкість.



**Основні поняття та терміни:** в'язкість, ламкість, міцність, об'ємна вага, статичний вигин, стиск, твердість, ударний вигин, усушка.

#### **1. Загальна характеристика фізико-механічних властивостей**

Основними фізико-механічними властивостями деревини, показниками які часто необхідні при її обробці та використанні є *об'ємна вага, усушка* та коефіцієнт межи міцності при стисканні, статичному та ударному вигині, а також *твердість деревини*. Всі ці властивості в значній ступені залежать від будови деревини та піддаються значним коливанням для деревини не тільки різних порід, але й для однієї й тієї ж деревини. Умови зростання (тип лісу, положення дерева у насадженні), вік дерева, а також розташування зразка в стовбурі дерева впливають на величину показника фізико-механічних властивостей. Тому в практичній роботі при характеристиці тієї чи іншої технічної властивості деревини користуються середніми показниками, які отримують в результаті великої кількості випробувань.

На багато фізико-механічних властивостей деревини великий вплив має ступінь її вологості. В розроблених класифікаціях деревини показники об'ємної ваги та коефіцієнти міцності при стисканні вздовж волокон та статичної твердості подано за умов вологості 15%.

#### **2. Об'ємна вага**

*Об'ємна вага* деревини коливається в залежності від породи від 0,4-0,45 (кедр, піхта) до 0,85-1,2 г/см<sup>3</sup> (самшит, фісташка) та піддається великим змінам навіть у дерев того й самого виду. В залежності від величини об'ємної ваги деревину можна поділити на наступні 5 класів:

1 *Легка* – менш ніж 0,5 – кедр корейський, лапина, ялиця бальзамічна,

ялиця білокора, ялиця маньчжурська, сосна веймутова, секвойя вічнозелена, ялина звичайна, кипарис вічнозелений, липа, ялиця кавказька, Сосна Банка, сосна могильна, тополя.

2 *Помірно легка* – 0,51-0,6 – бархат, в'яз польовий, в'яз гладенький, калопанакс, верба біла, каштан їстівний, модрина європейська, вільха, горіх сірий, осика, сосна звичайна, сосна Роксбурга, сосна кримська, туя, платан, черемха.

3 *Помірна важка* – 0,61-0,7 – айлант, береза бородавчаста, бук, глід, дуб монгольський, в'яз, клен маньчжурський, ліщина, модрина даурська, модрина, ялівець, горіх волоський, горобина, сосна приморська, сосна чорна, тис, черешня, шовковиця, ясен маньчжурський.

4 *Важка* – 0,71-0,8 – абрикос, береза жовта, береза чорна, груша, граб, в'яз дрібнолистий, дуб звичайний, паротія персидська, клен гостролистий, клен польовий, лавровишня, хурма, яблуня, ясен звичайний, ясен пенсільванський.

5 *Дуже важка* – більш ніж 0,8 – робінія псевдо акація, береза Шмідта, гледичія, горобина глоговіна, граб східний, дерен, маклюра, самшит, саксаул, фісташка, хмелеграб.

### 3. *Об'ємна усушка*

Повна об'ємна усушка коливається від 10-12 до 18-22%. В наведеній класифікації вказані коефіцієнти об'ємної усушки, а не повна усушка, бо за допомогою коефіцієнтів, що вказують на зміну об'єму матеріалу у відсотках при зміні вологості на 1% легко можна знайти як повну так і відносну усушку. В залежності від величини коефіцієнтів об'ємної усушки деревина може бути поділена на наступні 4 класи:

1 *Така, що мало усихає* – менш ніж 0,45 – бархат, верба біла, каштан їстівний, кедр корейський, кедр, горіх сірий, паротія персидська, ялиця бальзамічна, ялиця маньчжурська, ялиця, сосна веймутова, сосна Банка, сосна кримська, сосна могильна, тис, тополя, фісташка.

2 *Така, що помірно всихає* – 0,46-0,55 – береза жовта, береза чорна, вяз, дуб звичайний, ялина аянська, ялина звичайна, ялина, явір, клен маньчжурський, клен моно, клен гостролистий, клен польовий, модрина даурська, модрина європейська, горіх волоський, осика, ялиця кавказька, сосна звичайна, туя, хурма, ясен звичайний.

3 *Така що значно всихає* – 0,56-0,65 – робінія псевдо акація, амодендрон, береза бородавчаста, береза Шмідта, глід, бук, гледичія, груша, в'яз, модрина, липа, ясен маньчжурський.

4 *Така що дуже всихає* – більш ніж 0,65 – айлант, граб, дуб червоний, лавр благородний, лапина, саксаул.

#### **4. Стиск вздовж волокон**

У деревних порід межа міцності при стисканні вздовж волокон змінюється від 300-400 до 700-800 кг/см<sup>2</sup>. В однієї породи може спостерігатися мінливість за цим показником. Деревину за цим показником поділяють на 5 класів:

1 *Маломіцна* – менш ніж 350 кг/см<sup>2</sup> – верба біла, кедр корейський, кипарис, лапина, липа дрібнолиста, липа амурська, липа маньчжурська, вільха японська, осика, горіх сірий, ялиця бальзамічна, ялиця маньчжурська, ялиця, сосна веймутова, сосна кедрова, сосна могильна, сосна приморська, тополя, туя, черемха.

2 *Помірно міцна* – 351-450 кг/см<sup>2</sup> – маакія амурська, бархат, в'яз, глід, дуб червоний, ялина звичайна, каштан їстівний, кедр, вільха чорна, ліщина, горіх маньчжурський, ялиця, сосна звичайна, сосна Банка, сосна італійська, сосна кримська, гірко каштан звичайний.

3 *Міцна* – 451-550 кг/см<sup>2</sup> – айлант, береза бородавчаста, береза чорна, бук, гледичія, горобина глоговіна, граб східний, граб, дуб звичайний, дуб монгольський, паротія персидська, явір, клен високогірний, клен маньчжурський, клен моно, клен гостролистий, клен польовий, лавровишня, модрина даурська, модрина, ялівець, горіх волоський, горобина, саксаул, секвойя, платан, шовковиця, яблуня, ясен звичайний.

4 *Вельми міцна* – 551-700 кг/см<sup>2</sup> – абрикос, робінія псевдо акація, амодендрон, береза жовта, груша, дерен, маклюра, тис, хмелеграб.

5 *Найміцніша* – більш ніж 700 кг/см<sup>2</sup> – береза Шмідта, самшит, фісташка, хурма.

#### **5. Статична твердість**

*Статична твердість* деревини визначається за методом Янка. Існує декілька класифікацій деревина відносно твердості (Нердлінгера, Стоп, Янка, Перелигіна) вони базуються на різних принципах. Дана класифікація – класифікація Перелигіна і згідно неї деревина поділяється на 6 класів (показники наведено в кг/см<sup>2</sup>).

1 *Дуже м'яка* – менш ніж 200 - кедр, лапина, липа, тополя.

2 *М'яка* – 201-350 – бархат, ялина звичайна, верба біла, гірко каштан звичайний, кедр корейський, вільха, горіх сірий, осика, ялиця, сосна звичайна, сосна веймутова, сосна кримська, сосна могильна, сосна приморська, туя, черемха.

3 *Посередньо м'яка* – 351-500 – береза бородавчаста, в'яз, глід, кипарис, модрина, сосна Роксбурга.

4 *Посередньо тверда* – 501-650 – айлант, бук, дуб звичайний, дуб монгольський, в'яз, клен високогірний, лавр благородний, магнолія, ялівець, горіх волоський, горобина, яблуня, черешня, шовковиця, ясен

маньчжурський.

5 *Тверда* – 651-1000 – робінія псевдо акація, абрикос, гледичія, горобина глоговіна, граб східний, граб, груша, паротія персидська, клен маньчжурський, клен моно, клен польовий, лавровишня, тис, хмелеграб, хурма, ясен звичайний.

6 *Дуже тверда* – більш ніж 1000 – береза Шмідта, дерен, самшит, фісташка.

### **6. В'язкість або ламкість**

Вона визначається показниками відносної праці, що поглинається під впливом ударного вигину. Значення цього показника при випробуваннях дуже мінлива та коливається у великих межах у однієї породи. В залежності від показника спротиву ударному вигину деревини породи поділяють на 5 класів. Кількість праці вимірюється у  $\text{кг}\times\text{м}/\text{см}^3$ .

1 *Ламка* – менш ніж 0,15 – каштан їстівний, горіх маньчжурський, кедр, ялиця білокора, ялиця маньчжурська, ялиця, сосна Банка, сосна веймутова, сосна жорстка, сосна могільна, сосна кедрова.

2 *Помірно ламка* – 0,15-0,30 – маакія амурська, бархат, дуб монгольський, верба біла, тис, в'яз, ялина, липа амурська, липа дрібнолиста, модрина даурська, модрина, ялиця кавказька, ялиця бальзамічна, сосна звичайна, тополя, фісташка.

3 *Помірно в'язка* – 0,31-0,45 – береза біла, береза Шмідта, береза чорна, бук, в'яз японський, горобина, хурма, граб, дуб звичайний, клен маньчжурський, клен гостролистий, клен польовий, горіх волоський, осика, ясен маньчжурський, хурма.

4 *В'язка* – 0,45-0,60 – береза жовта, груша, клен моно, ясен звичайний.

5 *Дуже в'язка* – більш ніж 0,6 – робінія псевдоакація, ясен пенсільванський.

## **Фізичні властивості деревини та кори – Physical properties of wood and bark**

### **План**

1. Колір.
2. Блиск.
3. Текстура.
4. Вологість деревини.
5. Усушка.
6. Щільність.
7. Проникність для рідин та газів.
8. Теплові властивості деревини.
9. Електричні властивості деревини.

## *1. Колір*

Деревина поглинає падаюче світлове випромінювання вибірково. Від спектрального складу відбитого нею світлового потоку залежить зорове відчуття що виникає та яке має назву колір. Зазвичай для характеристики кольору деревини використовують словесні описи, в основі яких лежать певні зорові образи або символічні поняття. Однак цю властивість деревини можна об'єктивно охарактеризувати за допомогою методів, якими володіє колориметрія – наука про колірні виміри. Для цього необхідно встановити чисельні значення трьох показників колірного тону  $X$ , чистоти  $P$  і світлин  $p$ .

Характеристики кольору деревини можна встановити, використовуючи фотоелектричні колориметри або атлас кольорів, що представляє собою альбом з великою кількістю зображень кольорів. Кожному зображенню відповідає визначений номер, за яким в таблиці довідника, прикладеного до

атласу, знаходять значення X, P і p.

Основна речовина, з якої складається деревина – целюлоза майже білого кольору. Все різноманіття колірних відтінків деревині надають речовини які відкладаються в порожнинах клітин або просочують їх стінки: фарбувальні і дубильні, смоли і продукти їх окислення.

Деревина порід помірнього пояса забарвлена блідо, а тропічних – дуже яскраво. Інтенсивність забарвлення збільшується з віком тому, особливо у ядрових порід; в оптимальних умовах зростання забарвлення буває більш яскравим.

Деревина багатьох порід змінює колір при витримці під впливом повітря і світла. Проте колір багатьох порід настільки характерний, що може слугувати однією з ознак при їх ідентифікації. Зміна кольори деревини найчастіше вказує на поразку її грибами.

Колір – одна з найважливіших характеристик зовнішнього вигляду деревини, яку враховують при виборі порід для внутрішньої обробки приміщень, виготовленні меблів, музичних інструментів, художніх виробів, спортивного інвентарю і т. ін.

## **2. Блиск**

Під блиском деревини розуміють її здатність спрямовано відбивати світловий потік. Найбільший блиск спостерігається при освітленні дзеркальних, тобто гладких поверхонь з розмірами нерівностей, меншими половини довжини світлової хвилі. На відміну від них матові поверхні, що мають однорідні нерівності великих розмірів, відбивають світловий потік дифузно, тобто рівномірно на всі боки. Поверхні навіть самим ретельним чином обробленої деревини наближаються до матових і можуть характеризуватися коефіцієнтом дифузного відображення (білизнаю).

Якщо на поздовжніх розрізах деревини зустрічаються ділянки з порівняно невеликими структурними нерівностями, з'являються білки, відблиски. Таку здатність мають серцевинні промені на радіальних розрізах (розколах) деревини клена, платана, бука, ільма, дубу, кизилу, білої акації, ясеня; шовковистий блиску властивий деревині оксамитового дерева. З іноземних порід особливо помітним блиском відрізняється деревина сатинового дерева і махагони (червоне дерево).

Дослідження, за допомогою блискоміра, показують, що вимірювання ступеня блиску залежить від колориметрических характеристик деревини і її білизни. Чим більша білизна, тим вищий показник блиску. Ці показники зростають зі збільшенням кута падіння (і відображення) світлового потоку.

Поки що не вдається дати повну кількісну характеристику блиску деревини, точно відповідну нашим зоровим сприйняттям.

## **3. Текстура**

Текстурою називають малюнок, що утворюється на поверхні деревини внаслідок перерізання анатомічних елементів. Чим складніша будова деревини і різноманітніше поєднання окремих елементів, тим багатша її текстура. У будові деревини хвойних порід приймає участь порівняно мало типів впорядковано розташованих анатомічних елементів, що створюють досить одноманітну текстуру.

У хвойних порід текстура залежить в основному від різниці в забарвленні ранньої та пізньої деревини, а також від ширини річних кіл. Звивісті обриси річних кілець утворюють більш цікавий малюнок, особливо у модрина і тиса на тангенціальних розрізах.

Для деревини листяних порід з більш складною будовою характерна наявність видимих неозброєним оком великих судин (наприклад, ясен, оксамитове дерево, дуб), серцевинних променів, зазвичай забарвлених темніше, ніж навколишня деревина (наприклад, бук, ільм, платан), неправильно розташованих волокон і т. ін. Це створює більш багату текстуру.

Вибір напрямку розрізу деревини визначає характер текстури. З наших листяних порід на радіальному розрізі красиву текстуру, обумовлену наявністю серцевинних променів мають: бук, платан, клен, явір, дуб, ільм, в'яз. Три останні кільце судинні породи цінуються своєю текстурою і на тангенціальному розрізі.

Крім цих порід на тангенціальному розрізі красиву текстуру, утворену в основному перерізними судинами, мають: ясен, горіх волоський, оксамитове дерево, каштан їстівний, в'яз.

Плутане розташування волокон створює високо декоративну текстуру деревини капів – наростів на стовбурах дерев листяних порід.

Текстура, так само як і колір, визначає цінність деревини як декоративного матеріала.

#### ***4. Вологість деревини***

У зростаючому дереві деревина містить значну кількість води, необхідної для його життєдіяльності. В зрубаній деревині в залежності від умов зберігання і транспортування вміст води може збільшуватися або зменшуватися. При використанні деревини в більшості випадків воду з неї видаляють з метою поліпшення якості матеріалів і готових виробів.

Для кількісної характеристики вмісту води в деревині використовують показник – вологість. Під вологістю (абсолютною) розуміють виражене у відсотках відношення маси води до маси сухої деревини:

Вологість деревини вимірюють прямими і непрямими методами.

Прямі методи засновані на виділенні у той чи інший спосіб води з деревини. Воду можна відокремити шляхом висушуння і визначити вологість

із заданим ступенем точності. Згідно ДСТУ 16483.7-71 з похибкою до 0,1% можна визначити вологість проб із зразків, що піддавалися фізико-механічним випробуванням.

Очищені проби вміщують в скляні бюкси з притертими кришками і зважують на аналітичних вагах з похибкою до 0,001 г. Бюкси використовують для того, щоб маса проби не змінилася під час зважування. Масу бюкси визначають заздалегідь на тих самих вагах. Проби знаходяться в бюксах (але зі знятими кришками) і під час висушування.

Проби висушують в сушильних шафах. Бюкси з пробами знаходяться в шафі при температурі повітря  $103 \pm 2$  С до тих пір, поки не буде досягнуто постійне значення маси. Це встановлюється контрольними зважуваннями. Перше зважування проводять через 6-10 год., а далі через кожні 2 ч. Якщо різниця в масі при двох зважуваннях із зазначеним інтервалом виявиться менше 0,002 г, вважають, що досягнуто абсолютно сухий стан деревини. проби з смолистої деревини хвойних порід не повинні знаходитися в сушильній шафі більше 20 ч.

Перед кожним зважуванням бюкси закривають кришками і охолоджують в сухому повітрі в ексикаторах. Вологість у %, обчислюють за формулою.

Вологість деревини з більшою похибкою (до 1%) визначають за зразками розмірами 20x20x30 мм, зважуючи їх без бюксів на технічних вагах з похибкою до 0,01 г. Після першого зважування зразки вміщують в сушильну шафу, в якій вони знаходяться до тих пір, поки за результатами двох останніх контрольних зважувань (різниця повинна бути не більше 0,02 г) не буде встановлено досягнення постійної маси. Вологість зразка обчислюють за формулою.

Значно рідше стосовно деревині використовують інший прямий метод – метод дистиляції. За цим методом спочатку визначають на вагах масу зразка вологої деревини. Потім його нагрівають з толуолом; при цьому утворюються пари які конденсуються та завдяки різній щільності й в'язкості рідин вода легко відділяється від толуолу, і можна виміряти її обсяг (масу). Знаючи масу вологої деревини і масу води що міститься в ній, можна визначити вологість деревини у відсотках.

Основна вада прямих методів полягає в тому, що тривалість процедури дуже велика. При методі висушування вона займає 8-10 год, а іноді і більше. Цієї вади позбавлені непрямі методи. Вони засновані на вимірюванні показників інших фізичних властивостей деревини, які залежать від вмісту води в деревині.

Для створення вологомірів широко використовуються залежно між вологістю і електричними параметрами деревини. Найбільшого поширення набули кондуктометричні електровлагомери, засновані на вимірі електропровідності деревини. В таких приладах контакт з деревиною здійснюється за допомогою датчика з трьома голчастими електродами. Голки



датчика вводять через бічну (НЕ торцеву) поверхню в деревину. Вологість визначають зазвичай на глибині 10 мм.

У сучасних конструкціях електровологоміра вводяться дані про породи і температурі повітря. На лицьовій панелі приладу висвічуються показання вологості деревини у відсотках. абсолютна похибка вимірювання вологості деревини в межах нижче 30% становить +1,5%, а в межах більше 30% похибка значно вище.

До недоліків цих приладів окрім меншою точності (у порівнянні з методом висушування) відноситься також і те, що вони дають значення локальної вологості деревини в місці введення голчастих контактів.

При зазвичай нерівномірному розподілі вологості за обсягом дошки або заготовки цей недолік може бути причиною додаткової похибки у визначенні інтегральної вологості деревини.

Є пропозиції вимірювати вологість по проникності деревини для рентгенівського, бета- і гамма-випромінювання та іншими, в тому числі і комбінованими способами.

Вологість в зростаючому дереві розподілена нерівномірно як по радіусу, так і по висоті стовбура. У хвойних порід вологість заболоні в 3-4 рази вища за вологість ядра і стиглої деревини. У листяних порід як ядрових (дуб, ясен, в'яз, ільм), так і безядрових (береза, осика, липа) розподіл вологості по перерізу стовбура більш-менш рівномірно. При цьому вологість ядрової деревини у деяких листяних порід (дуб, в'яз і ін.) може бути значно вище, ніж у хвойних, досягаючи 70-80%, а іноді і більше.

Вологість кори в свіжозрубаному стані, в середньому склала: для сосни 120 %, берези 58%.

Оскільки деревина молодих дерев майже повністю складається з заболоні, вона більше схильна до сезонних коливань. Вологість заболоні влітку може бути на 25-50% нижче, ніж взимку, а вологість ядра (стиглої деревини) протягом року майже не змінюється.

Розрізняють дві форми води, що міститься в деревині – зв'язану (або гігроскопічну) і вільну. Зв'язана (адсорбована і мікрокапілярну) вода знаходиться в клітинних стінках, а вільна міститься в порожнинах клітин і в міжклітинних просторах.

Зв'язана вода міцно утримується в основному фізико-хімічними зв'язками; видалення цієї води, особливо її адсорбційної фракції істотно відбивається на більшості властивостей деревини.

Вільна вода, що утримується силами капілярної взаємодії, видаляється значно легше і чинить менший вплив на властивості деревини. Прийнято називати деревину вологою, якщо вона містить тільки зв'язану воду, або сирою, якщо вона містить крім зв'язаної і вільну воду.

Максимальна кількість зв'язаної води в клітинних стінках відповідає межі їх насичення або межі гігроскопічності. Раніше ці поняття ототожнювали.

Межа насичення клітинних стінок  $W_{nM}$  – це максимальна вологість клітинних стінок, що досягається при зволоженні деревини в воді. Пряме експериментальне визначення  $W_{nH}$  утруднено оскільки після зволоження

деревини в воді або в зростаючій деревині при повному насиченні клітинних стінок зв'язаною водою в клітинах і в міжклітинних просторах знаходиться і вільна вода.

Однак цей показник можна визначити, %, за формулою.

Межа гігроскопічності  $W_{nr}$  – це максимальна вологість клітинних стінок, що досягається при сорбції парів води з повітря; характеризується відсутністю води в порожнинах клітин і рівновагою вологості клітинних стінок з повітрям, що наближається до насиченого стану. Цей показник може бути визначений прямим експериментом.

При дотриманні деревини в повітрі певного стану її вологість стає сталою. Стан повітря характеризується температурою  $t$  і відносною вологістю (ступенем насиченості вологою)  $\phi$ , яка може змінюватися від 0 до 100%. Величина сталої вологості деревини, яку тривалий час витримують при певних значеннях  $t$   $\phi$  практично однакова для всіх порід. При поглинанні вологи (сорбції) вона менше, ніж при видаленні вологи (десорбції).

При підвищеному тиску (в середовищі перегрітої пари), так само як при атмосферному тиску, рівноважна вологість деревини, витриманої при постійній відносній пружності пара  $\phi$ , буде тим нижче, ніж вища температура середовища.

У практиці розрізняють п'ять ступенів вологості деревини: свіжа (свіжозрубана) деревина; деревина атмосферної сушки (повітряно-суха); деревина камерної сушки (кімнатно-суха); деревина висушена в камерах або витримана в приміщенні що опалюється; абсолютно суха деревина.

Висихання деревини. Вологість деревини, що знаходиться на відкритому повітрі або в приміщенні, поступово зменшується. При цьому відбуваються одночасно два процеси: випаровування води в навколишнє середовище і переміщення води зсередини до поверхні. Оскільки випаровування води з поверхні деревини відбувається швидше, ніж її просування по деревині, внутрішня зона сортименту (дошки, бруса, колоди) має більшу вологість, ніж периферичні зони. Розподіл вологості по товщині, ширині або довжині сортименту характеризується градієнтом вологості, тобто тангенсом кута нахилу дотичної до кривої вологості.

При вологості нижче межі насичення клітинних стінок  $W_{nr}$  я, коли в деревині міститься тільки зв'язана вода, швидкість її пересування пропорційна градієнту вологості і коефіцієнту вологості. Вологопровідність визначає здатність деревини проводити зв'язану воду. Вода переміщується в деревині по системі макрокапілярів, заповнених повітрям (порожнини клітин, міжклітинного простору), і по системі мікрокапілярів в клітинних стінках. За макрокапілярами волога переміщується у вигляді пари, а по

мікрокапілярах – переважно у вигляді рідини.

При вологості вище  $W_n M$ , коли в деревині присутні не тільки зв'язана, але і вільна вода, градієнт вологості, як показав П.С. Серговський, не визначає швидкість пересування води. Якщо деревина містить вільну воду по всьому об'єму сортименту, в ній можливе лише пересування вільної води у вигляді рідини під дією зовнішніх сил (наприклад, різниці гідростатичного або надлишкового тиску). В цьому випадку пересування вільної води буде визначатися водопровідністю (або капілярною проникністю деревини).

У процесі висихання вологість у поверхневих шарів внаслідок випаровування вільної води швидко доходить до межі насичення клітинних стінок. Коли запаси води в зонах, порівняно близько розташованих до поверхні, будуть вичерпані і буде потрібно підведення води з більш глибоких зон, вологість на поверхні стане нижче  $W_n$ . Починаючи з цього моменту, випаровування вільної води (частково) буде відбуватися в глибині сортименту і по його товщині утворюються дві зони.

При висиханні товстих сортиментів (дошки, бруси), коли доступ вільної води до поверхні затруднений, період постійної швидкості сушки практично відсутній.

Коефіцієнт вологопровідності залежить від щільності деревини. При малої щільності основну роль в пересуванні вологи по деревині, ймовірно, грає система макрокапілярів, тому зменшення щільності і відповідне відносне збільшення обсягу порожнин клітин, природно, викликають підвищення коефіцієнта вологопровідності.

У ядрового і стиглої деревини проникність пір в стінках клітин значно менша, ніж в заболоні, оскільки і в зростаючому дереві тільки заболонь є зоною проведення вологи. Цим пояснюється менша вологопровідність ядрової (стиглої) деревини в порівнянні з заболонною при однаковій щільності.

У радіальному напрямку вологопровідність дещо більше, ніж в тангенціальному, що пов'язано з впливом серцевинних променів.

Вологопровідність значно збільшується при підвищенні температури, внаслідок зростання коефіцієнта дифузії пара і зниження в'язкості води.

Серед промислових способів сушіння найбільшого поширення мають атмосферна і камерна сушки.

## **5. Усушка**

Зменшення лінійних розмірів і об'єму деревини при видаленні з неї зв'язаної води називається усушанням. Зниження рівня вільної води не призводить до усушання деревини.

Усушку викликає видалення адсорбційної води, що знаходиться всередині деревинної речовини. Однак одночасно з адсорбційною водою відбувається випаровування мікрокапілярної води, тому усушка спостерігається при будь-якій температурі відразу ж після зниження

вологості за межу насичення клітинних стінок. Спочатку віддаляється переважно мікрокапілярна вода і порівняно невелика кількість адсорбційної води. Тому на початковому етапі зниження вологості усушка зростає порівняно повільно. Після видалення всієї мікрокапілярної води спостерігається значно більш інтенсивний ріст усушки.

Враховуючи що анатомічні елементи витягнуті переважно вздовж осі стовбура, найбільша усушка повинна спостерігатися в поперечних напрямках. Дійсно, поздовжня усушка, яка обумовлена деяким нахилом мікрофібрилл, в кілька десятків разів менше, так як складає лише частку від основної поперечної деформації. У тангенціальному напрямку поперек волокон усушка в 1,5-2 рази більше, ніж в радіальному.

Усушка залежить від особливостей анатомічної будови деревини. Відношення тангенціальної усушки до радіальної в ранній зоні річних шарів становить у хвойних порід 2-3 (у модрина навіть 5), в той час як в пізній зоні вказане відношення приблизно в 2 рази менше.

Спостережуване при сушінні зменшення розмірів пиломатеріалів слід називати усадкою. Вона включає крім власне усушки, деформацію від сушильних напруг і, можливо, колапс. Усадка деревини враховується при розпилуванні колод на дошки (припуски на усушку).

Внутрішні напруги в деревині. Внутрішніми прийнято називати такі напруги, що виникають без участі зовнішніх навантажень в результаті неоднакових змін обсягу; вони врівноважені в межах даного тіла. При висиханні деревини утворюються сушильні напруги.

## **6. Щільність**

Щільність деревинної речовини  $\rho_d$  в  $\text{г/см}^3$  в абсолютно сухому стані можна обчислити за формулою. Нехтуючи масою повітря, що має на три порядки меншу щільність, ніж речовина деревини, можна визначити щільність досить точно зважуючи невеликий зразок абсолютно сухої деревини на аналітичних вагах. Обсяг об'ємної вологи  $V_d$  деревинної речовини в зразку визначити важче. Для цього застосовують методи, засновані на вимірі обсягу витісненої зразком рідини або газу. Використовують воду, бензол, толуол або гази (гелій, азот).

Щільність абсолютно сухої деревини характеризує масу одиниці об'єму деревини при відсутності в ній води. Щільність деревини менша за щільність деревинної речовини, бо вона включає в себе порожнечі (порожнини клітин і міжклітинні простори, заповнені повітрям).

Пористість деревини являє собою відносний об'єм пустот в абсолютно сухій деревині, %, і визначається за формулою. Пористість деревини наших порід коливається в межах 40-77%.

Щільність вологої деревини виражається відношенням маси зразка при будь-якій даній вологості до її об'єму при тій самій вологості.

Зволоження абсолютно сухої деревини призводить до збільшення маси зразка. При цьому підвищення вмісту зв'язаної води викликає одночасне збільшення об'єму зразка. Збільшення вмісту вільної води відбивається тільки на масі зразка.

Підвищення вмісту зв'язаної води (до  $W = 30\%$ ) мало впливає на щільність деревини. Збільшення вмісту вільної води призводить до підвищення щільності деревини. Зростання щільності залежить від обсягу порожнин, які можуть бути заповнені водою, тому при водопоглинанні досягається максимальна щільність деревини.

Щільність деревини при нормалізованій вологості виражається відношенням маси зразка при вологості (зазвичай дорівнює 12%) до його об'єму при тій же вологості; позначається  $\rho_{12}$ .

Парціальна щільність деревини виражається відношенням маси абсолютно сухого зразка до його об'єму при будь-якій даній вологості. У загальному випадку волога деревина є трифазною системою, що складається з деревинної речовини, повітря і води.

Парціальна щільність деревини залежить від вологості, яка впливає на величину  $V_w$ . Мінімальне значення парціальної щільності спостерігається при  $W > W_n H$ .

Експериментально щільність деревини визначають згідно з ДСТУ 16483.1-84 на зразках, що мають форму чотиригранної ної прямокутної призми з основою 20x20 мм і висотою вздовж волокон 30 мм. Зразок повинен включати не менше п'яти річних шарів. Зразки попередньо витримують до вологості  $12 \pm 1\%$ . На кожному зразку можна визначити чотири показники: щільність деревини при вологості в момент випробувань  $\rho_w$ , щільність абсолютно сухої деревини  $\rho_0$ , парціальну  $\rho'_i$ , і базисну щільність деревини  $\rho_b$ .

За щільністю деревини при 12% вологості породи можна поділити на три групи: а) породи з малою щільністю (щільність 540 і менш); б) породи з середньою щільністю (щільність 550-740); в) породи з високою щільністю (щільність 750 і вище).

Щільність лубу значно вища, ніж щільність кірки.

## ***7. Проникність для рідин та газів***

Проникність характеризує здатність деревини пропускати рідини або газу під тиском. При випробуваннях зазвичай використовують з рідин воду, а з газів – повітря або азот.

Водопроникність деревини уздовж волокон значно вища, ніж поперек; при цьому у деревини листяних порід вона в кілька разів більша, ніж у хвойних. Заболонь має набагато більшу проникність води, ніж ядро (стигла деревина), яке у деяких порід взагалі не пропускає воду.

Вода в деревині рухається по системі капілярів, що включає в себе

порожнини клітин, отвори в мембранах пор і субмікроскопічні канали в клітинних стінках.

На проникність впливає зміст і характер розподілу в ядрі смолистих та інших екстрактивних речовин, що ускладнюють або виключають можливість переміщення води по мікрокапілярах в мембранах пор і клітинних стінках. Видалення цих речовин шляхом їх екстракції спиртобензолом підвищує проникність ядра, особливо сильно у сосни і кедра, менше - у ялини і модрина. У ялиці проникність істотно збільшується після обробки деревини метанолом або ацетоном. Пізня деревина річних шарів у сосни, ялини (крім заболони), ялиці більш водонепроникність, ніж рання деревина. Істотний вплив на проникність поперек волокон надають серцевинні промені.

Визначення водонепроникності проводять за стандартним методом, розробленим В.А. Баженовим згідно ДСТУ 16483.15-72.

Газонепроникність деревини. Найбільша проникність виявляється при русі газів уздовж волокон, вона в десятки разів більша, ніж поперек волокон. При цьому проникність деревини сосни для газів в радіальному напрямку більше, ніж в тангенціальному в 2-5 раз, ялини - в 10 разів.

Повітропроникність деревини визначається кількістю повітря, см<sup>3</sup>, що пройшов через 1 см поверхні зразки за 1 сек. Ядро сосни має дуже незначну повітропроникність; вона принаймні в 10-15 разів менша, ніж у заболони. У ядрової деревини дуба проникність менша в радіальному і більша в тангенціальному напрямку лише в тонких зразках.

Випробування деревини на газонепроникність вимагають значно менше часу, ніж випробування проникності рідинами. Між вказаними властивостями спостерігається тісна кореляція і визначення газонепроникності використовують для оцінки здатності деревини просякатися розчинами антисептиків і антипіренів, варильні розчинами при отриманні целюлози і т. ін.

## ***8. Теплові властивості деревини***

До теплофізичних властивостей деревини відносяться теплоємність, теплопровідність, температуропровідність і теплове розширення.

Відомо, що теплоємність матеріалу характеризує його здатність акумулювати тепло. Показником цієї властивості є питома теплоємність  $c$ , що представляє собою кількість теплоти, необхідне для того, щоб нагріти 1 кг маси матеріалу на 1 К (або на 1 С). Питома теплоємність вимірюється в кДж / (кг·С).

Процеси поширення (перенесення) тепла в матеріалі характеризується коефіцієнтами теплопровідності і температуропровідності. Перший з них входить в рівняння стаціонарного теплообміну та встановлює зв'язок між кількістю теплоти  $Q$ , що поширюється всередині тіла, і площею перетину  $F$ , перпендикулярного тепловому потоку, часом  $t$ , перепадом температур  $\Delta t$  на

двох ізотермічних поверхнях, а також відстанню між ними  $\Delta x$ . Коефіцієнт теплопровідності  $X$  чисельно дорівнює кількості теплоти, що проходить в одиницю часу через стінку з даного матеріалу площею  $1 \text{ м}^2$  і товщиною  $1 \text{ м}$  при різниці температур на протилежних боках стінки в  $1^\circ \text{ С}$ . Коефіцієнт теплопровідності вимірюється в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ \text{ С})$ .

При стаціонарному теплообміні температурне поле в матеріалі залишається постійним у часі.

Другий із зазначених вище показників, характеризує швидкість з трансформаційних змін температури матеріалу при нестаціонарному теплообміні (нагрівання або охолодження)

Експериментально питому теплоємність матеріалу визначають калориметрами. Також прямим методом можна встановити коефіцієнт теплопровідності при стаціонарному потоці тепла. Однак для деревини, особливо вологою, більш зручні нестаціонарні методи. Один з таких методів, заснований на використанні "миттєвого" джерела тепла.

Теплоємність деревини. Суха деревина являє собою двухфазную систему, що включає в себе деревинну речовину і повітря.

Однак частка повітря (по масі) в деревині вкрай мала, і теплоємність сухої деревини практично дорівнює теплоємності деревинної речовини.

Оскільки склад деревинної речовини у всіх порід однаковий, питома теплоємність деревини не залежить від породи і за сучасними даними для абсолютно сухої деревини дорівнює  $1,55 \text{ кДж}/\text{кг}\cdot^\circ \text{ С}$ .

З підвищенням температури питома теплоємність деревини кілька зростає за лінійним законом і при  $100^\circ \text{ С}$  збільшується приблизно на 25%.

Значно сильніше впливає на теплоємність зволоження деревини. Наприклад, збільшення вологості деревини від 0 до 130% призводить до підвищення теплоємності приблизно в 2 рази.

На здатність деревини проводити тепло впливає її щільність.

## ***9. Електричні властивості деревини***

У цій групі властивостей розглядається електропровідність, електрична міцність, діелектричні і п'єзоелектричні властивості деревини.

Здатність деревини проводити електричний струм знаходиться в зворотній залежності від її електричного опору. У загальному випадку повний опір зразка деревини, це різниця між двома електродами, що визначається як результуюча двох опорів – об'ємного і поверхневого. Об'ємний опір чисельно характеризує перешкоду проходженню струму крізь товщу зразка, а поверхневий опір проходженню струму по поверхні зразка. Показниками електричного опору служать питомий об'ємний і поверхневий опори. Перший з названих показників виражається в Ом на сантиметр (Ом-см) і чисельно дорівнює опору при проходженні струму через дві протилежні грані кубика розміром  $1 \times 1 \times 1 \text{ см}$  з даного матеріалу (деревини). Другий

показник вимірюється в Ом на см і чисельно дорівнює опору квадрата будь-якого розміру на поверхні зразка деревини при підведенні струму до електродів, які обмежують дві протилежні сторони цього квадрата. Методи вимірювання цих показників для деревини стандартизовані (ДСТУ 18408-73).

Деревина відноситься до діелектриків, яких питомий опір дорівнює 108- 1017 Ом-см. Цей показник вздовж волокон у більшості порід в кілька разів менший, ніж впоперек.

Суха деревина має дуже малу електропровідність, приблизно таку, як у кращих електроізоляційних матеріалів. З підвищенням вологості деревини її опір зменшується.

Особливо великий вплив на електропровідність надає зв'язана вода.

Різке падіння опору триває при підвищенні вологості до межі насичення клітинних стінок. Електропровідність деревини при  $W_p \approx H$  більше електропровідності абсолютно сухої деревини в десятки мільйонів разів. Подальше підвищення вологості за рахунок збільшення вмісту вільної води призводить до збільшення Електропровідності лише в десятки або сотні разів.

Поверхневий опір деревини також істотно знижується зі збільшенням вологості. Підвищення температури призводить до зменшення об'ємного опору деревини. Найбільший вплив температури помітно при порівняно низькій вологості деревини. Так, збільшення температури від 20 до 94 ° С знижує опір абсолютно сухої деревини в мільйон раз, а деревини вологістю 22-24% всього лише в 100 разів.

При негативних температурах об'ємний опір деревини зростає.

Просочування деревини мінеральними антисептиками (наприклад, хлористим цинком) зменшує питомий опір, в той час як просочування креозотом мало відбивається на електропровідності.

Електропровідність деревини має значення при розробці режимів її обробки лаками у полі високого потенціалу; режимів різання деревини; методів зняття статичних зарядів при шліфуванні та ін. На залежності величини електропровідності деревини від її вологості заснований пристрій кондуктометричних вологомірів. Ці прилади дають найбільш точні свідчення при вологості нижче межі насичення клітинних стінок, тобто в межах особливо сильного впливу вологості на електропровідність.

Здатність деревини протистояти пробою, тобто зниження опору при великій напрузі, називається електричною міцністю. Для визначення електричної міцності деревини при змінній напрузі, частотою 50 Гц розроблений ДСТУ 18407-73.

Електричну міцність  $E_{пр}$ , кВ/мм, обчислюють з похибкою до 0,01 за формулою.

Електрична міцність абсолютно сухої деревини уздовж волокон в 4-7 разів менше, ніж поперек. З підвищенням вологості електрична міцність помітно знижується, при цьому зменшується відмінність між  $E_{пр}$  уздовж і



поперек волокон. Міцність знижується в 2 рази при зміні вологості з 10 до 14%.

Електрична міцність деревини в порівнянні з іншими твердими ізоляційними матеріалами невелика (у скла  $E_{пр}$  дорівнює 30, у поліетилену – 40 кВ / мм).

Для підвищення електричної міцності деревину просочують парафіном, оліфою, штучними смолами та іншими речовинами.

Деревина, яка перебуває в змінному електричному полі, проявляє свої діелектричні властивості, що характеризуються двома показниками. Перший з них – відносна діелектрична проникність  $\epsilon$  – чисельно дорівнює відношенню ємності конденсатора з прокладкою з деревини до ємності конденсатора з повітряним зазором між електродами. Другий показник – тангенс кута діелектричних втрат  $\text{tg } \delta$  визначає частку підведеної потужності, яка внаслідок дипольної поляризації деревини поглинається нею і перетворюється у тепло. При цьому вектор струму випереджає вектор напруги на кут, менший, ніж 90. Кут  $\delta$ , доповнює кут зсуву фаз  $\alpha$  до прямого, і називається кутом діелектричних втрат. Чим більше розсіюється в деревині потужність, тим більше кут  $\delta$ . Методи визначення діелектричних показників деревини поки не стандартизовані. Діелектрична проникність абсолютно сухої деревини приблизно в 2 рази більше, ніж повітря ( $\epsilon$  повітря дорівнює 1). З зростанням щільності деревини показник істотно збільшується. Значно більше впливає зволоження деревини. Підвищення частоти викликає зниження  $\epsilon$ . Для широкого діапазону частот (10-1011 Гц), включаючи область надвисоких частот (НВЧ), діелектрична проникність абсолютно сухої деревини уздовж волокон більша ніж поперек в середньому в 1,4 рази.

Тангенс кута діелектричних втрат деревини також залежить від її щільності. Оскільки втрати в речовині деревини значно більші, ніж в повітрі, зі збільшенням щільності деревини  $\text{tg } \delta$  зростає. При великих частотах також спостерігається збільшення  $\text{tg } \delta$ .

Уздовж волокон  $\text{tg } \delta$  вище, ніж поперек волокон в середньому в 1,7 рази.

З підвищенням вологості  $\text{tg } \delta$  збільшується. Залежності цього показника від частоти мають складний характер.

При діелектричному нагріванні температура підвищується одночасно по всьому об'єму деревини. Такий спосіб нагріву можна використовувати в процесах сушіння, склеювання, просочення і ін. Останнім часом знаходить застосування мікрохвильова сушка деревини в поле НВЧ.

На поверхні деяких діелектриків під дією механічної напруги з'являються електричні заряди. Це явище, пов'язане з поляризацією діелектрика, носить назву прямого п'єзоелектричного ефекту.

П'єзоелектричні властивості були спочатку виявлені у кристалів кварцу, турмаліну, сегнетової солі і ін.

Найбільший п'єзоелектричний ефект спостерігається при стисканні і розтягуванні при навантаженнях під кутом  $45^\circ$  до волокон. Механічні напруги, спрямовані строго уздовж або поперек волокон п'єзоелектричного ефекту не викликають.

Максимальний п'єзоелектричний ефект спостерігається в сухій деревині, зі збільшенням вологості він зменшується і вже при вологості 6-8% майже зовсім зникає. З підвищенням температури до  $100^\circ\text{C}$  його показники збільшуються. Чим вище модуль пружності деревини, тим менший п'єзоелектричний ефект.