

УДК 674-41

## ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛІВ ПРУЖНОСТІ ЗАГОТОВОК З ДЕРЕВИНИ ДУБА АКУСТИЧНИМ СПОСОБОМ

Асист. О.О. Кривик; проф. В.О. Масєвський, докт. техн. наук;  
здоб. Удовицька М.В.; інж. II-ї категорії В.М. Борисов;  
ст.викл. Сторожук О.Л., канд.техн.наук  
(НЛТУ України)

*Описано визначення модуля пружності заготовок деревини акустичним способом. Наведено розрахунок модуля пружності деревини дуба вздовж волокон залежно від швидкості поширення звукової хвилі. Проведено перерахунок показників модулів пружності деревини дуба впоперек волокон в радіальному та тангентальному напрямках. Підтверджено вплив окремих змінних факторів на модуль пружності деревини дуба.*

***Ключові слова:** модуль пружності, швидкість поширення звуку, акустичний спосіб, заготовки з деревини дуба.*

**Постановка задачі досліджень та їх актуальність.** Фізико-механічні властивості деревини є важливим показником на етапі визначення напряму та доцільності використання деревини як в наукових, так і у виробничих цілях. Важливе значення цей процес має при виготовленні клеєних конструкцій, зокрема при виробництві клеєних щитів. Поєднання заготовок деревини, що мають різні фізико-механічні характеристики у одній клеєній конструкції може стати причиною зміни якісних характеристик виробу в цілому. Виготовлення клеєних конструкцій передбачає врахування кількісних характеристик фізико-механічних властивостей деревини та вміння їх поєднувати для забезпечення формостійкості як одного з показників якості виготовленої продукції.

При формуванні клеєного пакету, зокрема бруса чи щита, необхідно дотримуватись визначених правил склеювання, які враховують вплив таких основних характеристик заготовок деревини як орієнтація волокон, кут нахилу, геометричні параметри, вологість та структурні особливості. Наведені характеристики формують пружні властивості деревини, які впливають на формостійкість клеєного елемента. Однак, клеєний елемент - це не лише деревина, а й клейове з'єднання, без якого, загалом, жоден клеєний елемент чи клеєна конструкція не існуватиме. Властивості клейового шва є ще одним фактором впливу на якісні характеристики клеєних конструкцій. Вплив клейового шва на формування напружено-деформаційного стану клеєних конструкцій, зокрема клеєного щита, буде незначним і ним можна знехтувати [1].

Важливим показником пружних властивостей деревини є її модуль пружності. Відповідно до нормативного документу [2] модуль пружності

деревини визначається на основі малих чистих взірців деревини, розмірні характеристики яких повинні відповідати вимогам, наведеним в цьому документі. Стандартизовані розміри експериментальних взірців для визначення модулів пружності повинні становити 20×20×300 мм. Відповідно, більшість довідкових даних в літературних джерелах подаються саме для такого типу взірців [3, 4, 5 та ін.].

У виробничих умовах розміри є відмінними від допустимих нормативним документом. Зі зміною розмірів, відповідно, змінюються і інші характеристики заготовок деревини. Основні змінні фактори впливу на кількісні характеристики модуля пружності заготовок з деревини наведено на рис. 1.

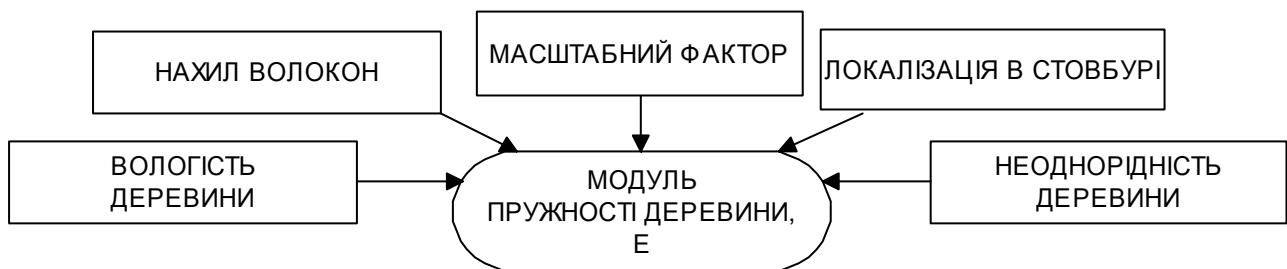


Рисунок 1. Основні змінні фактори впливу на кількісні характеристики модуля пружності заготовок з деревини

Окремими з вищенаведених факторів (рис.1) можна знівелювати. Зокрема, у виробництві клеєних щитів геометричні характеристики його елементів зводяться до однієї розмірної лінії по ширині, товщині та довжині. Те ж саме стосується вологості ділянок клеєних елементів. За правилами склеювання вона повинна знаходитися в межах  $8 \pm 2\%$  з різницею між вологістю сусідніх ділянок не більше 1%. Якщо зміну пружних характеристик заготовок конкретного перетину із певною вологістю ще можна прогнозувати, то вплив ряду вад деревини на цих заготовках, як видимих, так і невидимих людському оку, врахувати надзвичайно складно.

Важливим фактором впливу на пружні характеристики заготовок деревини також є місце її розташування у стовбурі дерева. Пружні характеристики деревини мають властивість змінюватися залежно від відстані випилювання заготовки від осі стовбура дерева, а також від їх розміщення по висоті стовбура [4].

Навіть за наявності теоретичних даних, прописаних у чинних нормативних документах, їх використання у виробничих умовах, зазвичай, є некоректним. Це зумовлено тим, що використання на виробництві заготовок з чистої деревини (без вад) є малоімовірним. У будь-якому випадку на виробництві використовують заготовки з деревини, геометричні параметри яких є відмінними від нормативних [2], і власними фізико-механічними (пружними) характеристиками (зокрема, модулем пружності) для кожної з цих заготовок. Наведені фактори потрібно враховувати при формуванні клеєних пакетів з метою уникнення деформацій клеєних конструкцій у процесі їх експлуатації.

Розглядаючи методику визначення фізико-механічних характеристик заготовок з деревини у лабораторних умовах, описаних у нормативних

документах, варто зауважити, що пристосування їх до виробничих умов є складним завданням. У зв'язку з цим виникає потреба пошуку нових методик, які будуть більш адекватно, без значного впливу на функціонування технологічного процесу, відображати величину модуля пружності заготовок з деревини.

Можливість визначення модуля пружності неруйнівним методом у виробничих умовах та відповідно сортування заготовок за модулем пружності є актуальною задачею, вирішення якої дасть змогу підібрати раціональні варіанти поєднання заготовок у клеєний щит та зменшити можливість його деформування.

**Предмет досліджень** – заготовки з деревини дуба.

**Об'єкт досліджень** – модуль пружності заготовок з деревини дуба.

**Прилади і матеріали.** Для визначення модуля пружності заготовок з деревини дуба акустичним способом використали зразки розміром  $22 \times 44 \times 450$  мм (Т  $\times$  Ш  $\times$  Д). Нестандартні розміри експериментальних зразків зумовлені потребами виробництва меблевого клеєного щита, який після подальшої обробки використовуватиметься як фасадна поверхня шафи.

Для проведення експериментальних досліджень з визначення модуля пружності заготовок з деревини дуба застосовували пристрій для визначення швидкості поширення акустичних хвиль у зразку деревини, розроблений у НЛТУ України [6, 7], який реалізує неруйнівний безконтактний спосіб.

Методика проведення експериментальних досліджень. Експериментальне визначення швидкості поширення звуку в заготовках проводили за запропонованою методикою [7]. Експериментальний зразок розміщували у підвісці у вигляді петель, зафіксованих на нерухомій опорі. Для збудження коливань зразка використано маятниковий механізм з електромагнітом. Електромагніт відхилив металеву кульку маятника в бік, протилежний від зразка, що дало змогу звільнивши її від впливу магніту, здійснити одиничний удар в торець зразка. Цей удар забезпечив збудження акустичної хвилі в деревині, що спричинило автоколивання зразка, для сприйняття якого використано ширококутовий мікрофон MF5. Мікрофон MF5 встановлюється з протилежного торця зразка, не створюючи механічного контакту з ним. Для визначення частоти автоколивань отриманий сигнал обробляли в середовищі GoldWave [ 8 ].

Резонансну частоту власних вільних коливань зразка ( $f$ ) обчислювали за формулою:

$$f = n/T \quad (1)$$

де  $n$  – число періодів автоколивань на обраній ділянці часової діаграми, шт.;  
 $T$  – тривалість вибраної ділянки часової діаграми, с.

Швидкість поширення звуку у зразку ( $C$ ) в м/с визначали за формулою:

$$C = 2 \cdot l \cdot f, \quad (2)$$

де  $l$  – розмір зразка в напрямку поширення коливань, мм.

**Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.** Модуль пружності деревини вздовж волокон визначали з формули знаходження швидкості поширення звуку у деревині [3,5].

$$C = \sqrt{\frac{E_a}{\rho}}, \quad (3)$$

де  $E_a$  – модуль пружності деревини вздовж волокон;  $\rho$  – щільність деревини, кг/м<sup>3</sup>.

Модуль пружності деревини вздовж волокон ( $E_a$ ) визначається за формулою:

$$E_a = \rho \cdot C^2 \quad (4)$$

Окремі результати експериментального визначення швидкості поширення звукових хвиль у заготовках з деревини дуба та розрахунку їх модулів пружності вздовж волокон  $E_a$  наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Швидкість поширення звукових хвиль у заготовках з деревини дуба та розрахунку їх модулів пружності вздовж волокон  $E_a$ .

| № зразка | Вага, гр. | Вологість, % | Розміри, м |       |      | кут нахилу волокон | Об'єм зразка, м <sup>3</sup> | Щільність, кг/м <sup>3</sup> | Швидкість поширення звуку, м/с | E, кг/см <sup>2</sup> , вздовж волокон (W=10%) | E, кг/см <sup>2</sup> , вздовж волокон (W=12%) | E, ГПа (кН/мм <sup>2</sup> ), вздовж волокон | Клас міцності |
|----------|-----------|--------------|------------|-------|------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|--|--|---------------|
|          |           |              | Ш          | Т     | Д    |                    |                              |                              |                                |  |  |  |               |
| 60       | 317       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 74                 | 0,000436                     | 728                          | 4630                           | 159091   | 155091   | 15,5091                                      | D50           |
| 61       | 278       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 60                 | 0,000436                     | 638                          | 4735                           | 145933   | 141933   | 14,1933                                      | D50           |
| 62       | 291       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 80                 | 0,000436                     | 668                          | 3949                           | 106266   | 102266   | 10,2266                                      | D30           |
| 63       | 312       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 85                 | 0,000436                     | 716                          | 3833                           | 107353   | 103353   | 10,3353                                      | D30           |
| 64       | 254       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 88                 | 0,000436                     | 583                          | 4680                           | 130284   | 126284   | 12,6284                                      | D40           |
| 65       | 278       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 85                 | 0,000436                     | 638                          | 4745                           | 146584   | 142584   | 14,2584                                      | D50           |
| 66       | 279       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 85                 | 0,000436                     | 640                          | 4816                           | 151514   | 147514   | 14,7514                                      | D50           |
| 67       | 294       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 80                 | 0,000436                     | 675                          | 3911                           | 105312   | 101312   | 10,1312                                      | D30           |
| 68       | 315       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 70                 | 0,000436                     | 723                          | 4610                           | 156777   | 152777   | 15,2777                                      | D50           |
| 70       | 291       | 10           | 0,044      | 0,022 | 0,45 | 70                 | 0,000436                     | 668                          | 4104                           | 114788   | 110788   | 11,0788                                      | D40           |

Для опису пружних характеристик деревини недостатньо лише одного модуля пружності вздовж волокон  $E_a$ . Потрібно знайти ще два додаткових модулі пружності впоперек волокон у відповідних напрямках  $E_r$  та  $E_t$ . Проведення експериментальних досліджень з визначення цих двох показників вимагатиме значних часових затрат. Тому, враховуючи, що модулі пружності деревини є залежними між собою і мають певні співвідношення [3], згідно цих співвідношень визначали модулі пружності заготовок з деревини дуба поперек волокон в радіальному  $E_r$  і тангенціальному  $E_t$  напрямках, не проводячи додаткових експериментальних досліджень.

Для деревини дуба співвідношення модулів пружності вздовж та впоперек волокон має вигляд [3]:

$$\frac{E_a}{E_r} = 2,6; \quad \frac{E_a}{E_t} = 5,91 \quad (5)$$

Результати розрахунків модулів пружності окремих заготовок з деревини дуба впоперек волокон зведено у табл. 2.


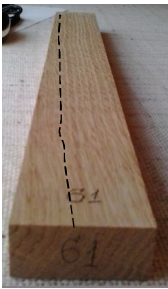
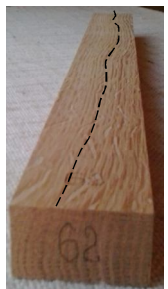
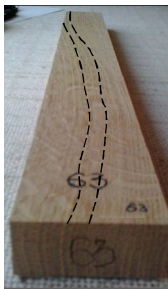

Таблиця 2. Модулі пружності дубових рейок поперек волокон  $E_r$  та  $E_t$

| № зразка | Порода | $E_a$ , ГПа<br>(кН/мм <sup>2</sup> ) | Співвідношення<br>модулів пружності |           | $E_r$ ,<br>ГПа | $E_t$ ,<br>ГПа |
|----------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------|----------------|----------------|
|          |        |                                      | $E_a/E_r$                           | $E_a/E_t$ |                |                |
| 1        | 2      | 3                                    | 4                                   | 5         | 6              | 7              |
| 60       | дуб    | 15,5091                              | 2,6                                 | 5,91      | 5,9650         | 2,6242         |
| 61       | дуб    | 14,1933                              | 2,6                                 | 5,91      | 5,4589         | 2,4016         |
| 62       | дуб    | 10,2266                              | 2,6                                 | 5,91      | 3,9333         | 1,7304         |
| 63       | дуб    | 10,3353                              | 2,6                                 | 5,91      | 3,9751         | 1,7488         |
| 64       | дуб    | 12,6284                              | 2,6                                 | 5,91      | 4,8571         | 2,1368         |
| 65       | дуб    | 14,2584                              | 2,6                                 | 5,91      | 5,4840         | 2,4126         |
| 66       | дуб    | 14,7514                              | 2,6                                 | 5,91      | 5,6736         | 2,4960         |
| 67       | дуб    | 10,1312                              | 2,6                                 | 5,91      | 3,8966         | 1,7142         |
| 68       | дуб    | 15,2777                              | 2,6                                 | 5,91      | 5,8760         | 2,5851         |
| 70       | дуб    | 11,0788                              | 2,6                                 | 5,91      | 4,2611         | 1,8746         |






За розрахованими модулями пружності вздовж волокон заготовки сортують за класами міцності відповідно до ДСТУ EN 338:2004 [9]. Результати, представлені у табл. 1, засвідчують, що розраховані модулі пружності знаходяться в межах, допустимих відповідними нормативними документами з встановлення класу міцності (від 10 до 20 ГПа).

Кут нахилу волокон вздовж довжини заготовок з деревини дуба встановлювали візуальним способом за світлинами. Порівняльну характеристику експериментально визначених модулів пружності заготовок з деревини дуба проводили на основі встановлених кутів нахилу волокон вздовж довжини заготовок. Результати порівняння представлені у таблиці 3.

Таблиця 3. Порівняльна характеристика експериментально визначених модулів пружності заготовок з деревини дуба

| № взірця   | 60  | 61  | 62  | 63  | 64  |
|--|---|---|---|---|---|
| Щільність  | 728   | 638   | 668   | 716   | 583   |
| Кут нахилу волокон                                 | 74  | 60  | 80  | 85  | 88  |
| $E$ , ГПа (кН/мм <sup>2</sup> ),<br>вздовж волокон | 15,5091   | 14,1933   | 10,2266   | 10,3353   | 12,6284   |
| Клас міцності                                      | D50   | D50   | D30   | D30   | D40   |
| Світлина   |  |  |  |  |  |
| Відхилення   | сучок   |   | нахил волокон   | нахил волокон   | мінімальний нахил волокон   |

Продовження табл.3

| № взірця                                     | 65  | 66  | 67   | 68  | 70  |
|--|---|---|--|---|---|
| Щільність                                    | 638   | 640   | 675  | 723   | 668   |
| Кут нахилу волокон                           | 85  | 85  | 80   | 70  | 70  |
| E, ГПа (кН/мм <sup>2</sup> ), вздовж волокон | 14,2584   | 14,7514   | 10,1312  | 15,2777   | 11,0788   |
| Клас міцності                                | D50   | D50   | D30  | D50   | D40   |
| Світлина                                     |  |  |  |  |  |
| Відхилення                                   |   |   | нахил волокон  |   | нахил волокон, нерівності на поверхні   |

Варіювання значень модулів пружності та їх розподіл за класами міцності заготовок можна пояснити впливом таких змінних факторів: кута нахилу волокон, щільності, неоднорідності структури деревини (табл. 3). У цьому випадку найвагомий вплив має нахил волокон за довжиною заготовки. Чим більший кут нахилу волокон за довжиною заготовки від її осі, тим меншим є модуль пружності заготовки.

### Висновки.

1. Результати експериментальних досліджень визначення модулів пружності деревини за допомогою швидкості поширення звуку в заготовках засвідчили можливість застосування акустичного методу для визначення пружних характеристик деревини та підтвердили його ефективність.

2. Аналіз експериментальних досліджень засвідчив, що найбільший вплив на модуль пружності заготовок з деревини дуба мають структурні особливості, зокрема місце випилювання заготовок зі стовбура дерева, неоднорідність деревини заготовок та нахил волокон деревини за довжиною заготовок. Останню з перерахованих характеристик можна визначити візуально навіть у виробничих умовах.

3. За результатами аналізу встановлено, що чим більше відхилення кута нахилу волокон за довжиною заготовки від її осі, тим більше зменшується модуль пружності заготовки. Так, для розглянутих нами варіантів, із збільшенням кута нахилу волокон модуль пружності вздовж волокон зменшувався в межах від 15 до 11 ГПа.

4. Методика визначення швидкості поширення звуку в деревині акустичним методом цілком придатна для застосування у виробничих процесах виготовлення

виробів з деревини, зокрема для ефективної реалізації операції формування пакетів клеєних конструкцій.

### Список літератури

1. Пардаев А.С. Обеспечение формоустойчивости неоднородных массивов древесины с учетом цилиндрической анизотропии их элементов при усушке и разбухании : дисс. канд. техн. наук: 05.21.05 / Пардаев Александр Сергеевич. – Минск, 2008.
2. Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний. ГОСТ 16483.31-74. – [Изменение 1, 2, утвержденные в январе 1980 г., июне 1985 г.]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 7 с.
3. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази – М.: Лесная промышленность, 1978. – 224 с.
4. Леонтьев Н.Л. Упругие деформации древесины/ Н.Л. Леонтьев – М.: ГОСЛЕСБУМИЗДАТ, 1952.
5. Вінтонів І.С. Деревинознавство: навч. Посібник [2-е вид., доповн.] / Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. – Львів.: Апріорі, 2007. – 269 с.
6. Патент України на корисну модель №76854. Пристрій для безконтактного вимірювання швидкості звуку в зразку матеріалу / Я.І. Соколовський, І.Р. Кенс, О.Л. Сторожук, В.М. Борисов ; заявл. 19.03.2012 ; опубл. 25.01.2013, Бюл. №2.
7. Сторожук О.Л. Визначення анізотропних пружних характеристик деревини акустичним методом: дис. канд. техн. наук: 05.23.06 / Сторожук Олександр Леонідович. – Львів, 2012.
8. Офіційний сайт GoldWave Inc. [Електроний ресурс]: <http://www.goldwave.com>.
9. Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності (EN 338:2003, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 338:2004. – введ. 01.04.2006.

### Аннотація

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ЗАГОТОВОК С ДРЕВЕСИНЫ ДУБА АКУСТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

О.О. Кривик, В.О. Маевский, Удовицкая М.В., В.М. Борисов, Сторожук О.Л.

*Описана возможность определения модуля упругости – одной из основных упругих характеристик древесины акустическим методом. Подано расчет модуля упругости древесины дуба вдоль волокон в зависимости от скорости распространения звуковой волны. Произведено перерасчет показателей модулей упругости древесины дуба поперек волокон в радиальном и тангентальном направлениях. Подтверждено влияние отдельных переменных факторов на модуль упругости древесины дуба.*

**Ключевые слова:** модуль упругости, скорость распространения звука, акустический способ, заготовки с древесины дуба.

**Abstract**

**DETERMINATION OF ELASTIC MODULUS FOR OAK WOOD BLANKS  
BY ACOUSTIC METHOD**

Kryvyk O.O.; Mayeskyu V.O., Udovyts'ka M.B.; Borysov V.M.; Storozhuk O.L.

*Determination of elastic modulus for wood blanks by acoustic method is described. The calculation of oak wood elastic modulus along fibers according to spreading rate of sound wave is given. The recalculation of oak wood elastic modulus across fibers in radial and tangential directions was performed. The influence of individual variable factors on oak wood elastic modulus was confirmed.*

*Key words: elastic modulus, spreading rate of sound, acoustic method, blanks from oak wood.*

Рецензент: д.т.н., професор Кійко О.А.