

РАДІОЕЛЕКТРОННЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 534.6 / 681.817.061.6

Юрій Карп, *Степан Мергель, Василь Якубенко
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань;
 *Український державний лісотехнічний університет,
 кафедра ботаніки, деревинознавства і недеревних ресурсів лісу

ЕЛЕКТРОННА ДІАГНОСТИКА АКУСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ТА МУЗИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

© Карп Юрій, Мергель Степан, Якубенко Василь, 2003

Запропоновано вдосконалену методику вимірювання фізико-акустичних параметрів деревини резонансним методом та подано результати їх визначення для різних порід деревини. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найвищими акустичними показниками характеризуються висушені ялина, явір та клен.

An improved methodology of physical acoustic parameters measurement for different wood sorts by means of resonance method and its results are introduced. Based on the research results it was defined that dry fir-wood, sykamore-wood, and maple-wood have the best acoustic indicators

1. Постановка проблеми та її практичне значення

Основним параметром деревини, який найбільш вагомо впливає на якість звучання дерев'яних музичних інструментів та резонансних радіоелектронних акустичних систем, які в останній час широко використовуються для озвучення приміщень, є акустична константа A [1, 2, 3], яка визначається модулем пружності E та густиною ρ деревини:

$$A = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \text{ м}^4/(\text{кг} \cdot \text{с}), \quad (1)$$

або, враховуючи, що модуль пружності $E = \rho \cdot c^2$, швидкістю поширення звуку в деревині c :

$$A = \frac{c}{\rho}. \quad (2)$$

Її вимірювання має особливо важливе значення для оцінки акустичних властивостей деревини, яка використовується для виготовлення вищезгаданих акустичних пристроїв.

2. Аналіз поширених способів вимірювання

Найбільш поширеним способом вимірювання параметрів, необхідних для визначення акустичної константи, є резонансний метод [4]. Суть цього методу полягає в тому, що, якщо на одному кінці дерев'яного бруска деякої довжини L (рис. 1, *a*) збудити звукові коливання, то в бруску виникнуть звукові хвилі. При цьому на частотах, на яких довжина бруска L кратна півхвилі ($L = k\lambda/2$, $k = 1, 2, 3, \dots$), на протилежному кінці бруска спостерігатиметься

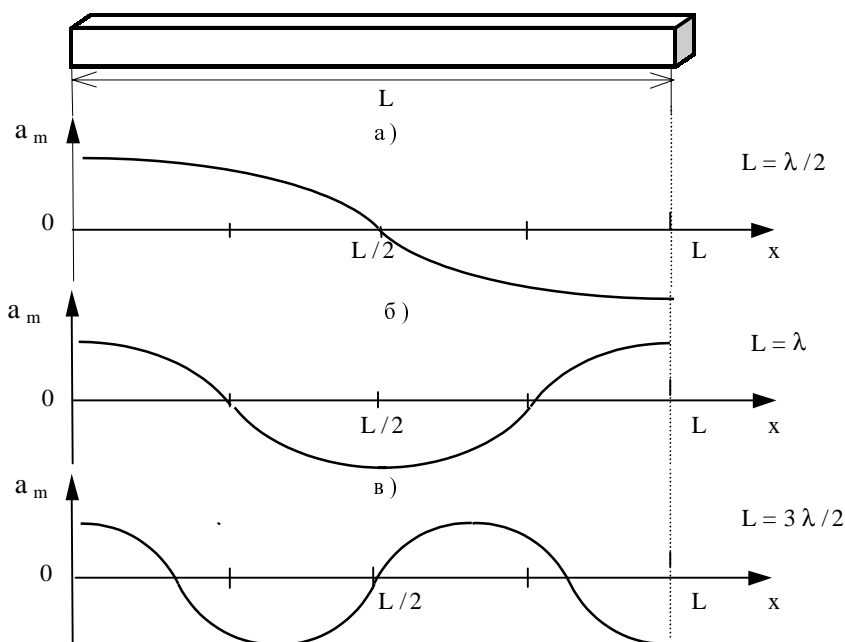


Рис. 1. Зміни амплітуди a_m збуджених звукових коливань вздовж бруска

максимум амплітуди коливань, тобто виникнення резонансних явищ. Вздовж бруска утворюються стоячі звукові хвилі з пучностями на його кінцях (рис. 1, б, в, г).

Частота f_1 , при якій настає перший резонанс, відповідає основній резонансній частоті деревини (основному тону), вищі резонансні частоти f_k ($k = 2, 3, \dots$) – обертонам.

Швидкість поширення звуку, яка необхідна для визначення акустичної константи деревини, визначають через одну з резонансних частот f_k ($k = 1, 2, 3, \dots$), виміряну як частоту f_k , на якій досягається максимум амплітуди коливань на протилежному кінці бруска, та довжину бруска L за формулою:

$$c = 2Lf_k / k, \text{ де } l = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Найчастіше це здійснюють на підставі основної резонансної частоти f_1 :

$$c = 2Lf_1. \quad (4)$$

Однак вищезгаданий спосіб визначення резонансної частоти та, відповідно, швидкості поширення звуку не дає точних результатів, особливо у випадку деревини із значними коефіцієнтами поглинання звукової енергії.

3. Вдосконалення методу вимірювань

Для усунення вищезгаданих недоліків пропонується вдосконалити резонансний метод визначення акустичних параметрів деревини, а саме проводити вимірювання резонансних частот як частот, на яких різниця фаз ψ між звуковими коливаннями на кінцях бруска дорівнює $k\pi$ (див. рис. 1), де $k = 1, 2, 3, \dots$, тобто

$$\psi = \frac{2\pi L}{\lambda} = k\pi, \quad (5)$$

звідки отримується формула для визначення швидкості поширення звуку, аналогічна формулі (3).

Для збудження та реєстрації звукових хвиль в дерев'яному бруску пропонується використовувати малогабаритні електромагнітні перетворювачі з незначною масою порівняно з масою бруска та з ідентичними характеристиками, які прикріплюються безпосеред-

ньо до торців бруска. У цьому випадку відпадає потреба у жорсткому закріпленні бруска під час проведення експерименту. Брусок просто підвішується на двох нитках або встановлюється на двох клиноподібних опорах.

На один з електромагнітних перетворювачів, який призначений для збудження звукових коливань в бруску, подається напруга від генератора гармонічних сигналів. Амплітуду вихідної напруги генератора встановлюють такою, щоб не виникали нелінійні спотворення коливань, та під'єднується її в процесі експерименту сталою. Другий електромагнітний перетворювач, який призначений для приймання звукових коливань на протилежному торці бруска, підключається через електронний підсилювач до осцилографа, електронного вольтметра чи самописця. Для обмеження високочастотних наводок і низькочастотних завад, які можуть виникати в системі з'єднувальних кабелів, та виключення впливу вібрацій вимірювального стенду використовуються фільтри верхніх та нижніх частот. Частоту гармонічних коливань контролюють за допомогою частотоміра. Точні значення резонансних частот визначаються на підставі вимірювання різниці фаз збуджених коливань на торцях бруска, яка на цих частотах повинна відповідати умові (5), за допомогою фазометра, який підключається до виходів підсилювача та генератора.

4. Результати вимірювань

Фізико-акустичні параметри вимірювались на дерев'яних брусках різних порід завдовжки 300 мм та поперечним перетином 20x20 мм, вирізаних вздовж волокон деревини. При цьому спочатку вимірювались параметри брусків, які характеризувалися деякою вологістю W , а пізніше – висушених. Результати вимірювань параметрів та визначені на їх підставі акустичні характеристики дерев'яних брусків подані в таблиці. Тут же вказана пористість Π сухої деревини.

Експериментально визначені акустичні параметри дерев'яних брусків різних порід

Порода деревини	W , %	ρ , кг/м ³	Π , %	f_1 , Гц	c , м/с	E , ГПа	A , м ⁴ /(кг·с)
Дуб	6,6	666	–	7710	4626	14,25	6,95
	0	625	58	8006	4803	14,42	7,68
Червоне дерево	6,6	699	–	7124	4274	12,77	6,11
	0	660	57	7332	4399	12,77	6,67
Бук	6,3	777	–	8330	4998	19,41	6,43
	0	731	52	8581	5148	19,37	7,04
Бук модифікований	8	787	–	8246	4947	19,65	6,28
	0	750	51	9092	5455	22,31	7,27
Клен	13	579	–	8013	4807	13,38	8,30
	0	537	65	8604	5162	14,31	9,61
Явір	17,3	635	–	8013	4790	14,68	7,57
	0	560	60	8648	4807	15,11	9,25
Ялина	129,5	829	–	5247	3148	8,21	3,8
	53	637	–	6188	3713	8,79	5,8
	0	417	72	8220	4932	10,14	11,8

5. Висновки

Отримані результати вимірювань дозволяють точніше оцінити акустичні властивості деревини різних порід, а також порівняти їх з властивостями модифікованої деревини чи іншими конструктивними матеріалами, що надає можливість використовувати останні як замітники деревини при виготовленні резонансних акустичних систем та музичних інструментів. Це, в свою чергу, забезпечить можливість оптимізації технологічних процесів, удосконалення конструкції музичних інструментів та прогнозування їх акустичних характеристик.

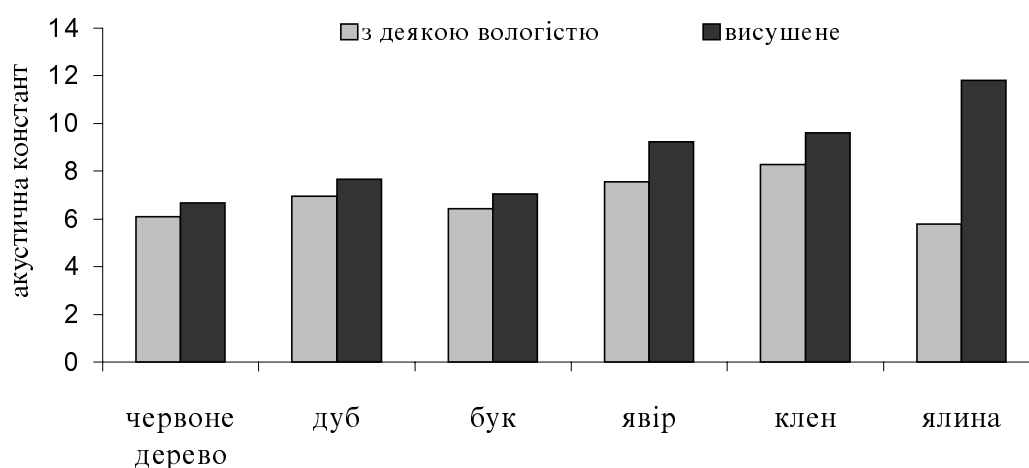


Рис. 2. Діаграма значень акустичних констант різних порід деревини

Для порівняння акустичних властивостей природної деревини з модифікованою вперше проведено визначення фізико-акустичних параметрів модифікованого бука, характерною особливістю якого є здатність до поглинання вологи та розбухання, а отже, і до всихання. Порівняння фізико-акустичних параметрів, визначених для висушеної деревини природного та модифікованого бука, показує, що їх акустичні властивості є невисокими та мало відрізняються між собою, оскільки їх пористість є невеликою та різниться лише на один відсоток. Невисокими фізико-акустичними параметрами також характеризуються дуб та червоне дерево, що зумовлено їх низькою пористістю порівняно з явором, кленом та ялиною. Як і очікувалось, найвищими акустичними показниками характеризується висушена деревина ялини (рис. 2). Високі акустичні показники мають також явір і клен.

1. Макарьева Т.А. Исследование акустических характеристик древесины, используемой для дек музыкальных инструментов, и разработка методов их контроля в условиях производства // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1975. 2. Мергель С.С. Поліпшення акустичних характеристик резонансної деревини // Автореф. ... канд. техн. наук. – Львів, 1994. 3. Emil Rajčan. Application of Acoustics to some Problems of Material Science Related to the Making of Musical Instruments // *Acustica. The Journal of the European Acoustics Association.* – Vol. 84. – 1998. – P. 125 – 128. 4. Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и в твердых телах. – М.: Госиздат, 1960.