

ВЛИЯНИЕ ПОРОДЫ ДРЕВЕСИНЫ НА КАЧЕСТВО АКУСТИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

С.В. ШЛЫЧКОВ, доц. ПГТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾

shlychkovsv@volgatech.net

⁽¹⁾Поволжский государственный технологический университет,
424000, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, пл. Ленина д. 3

В работе рассматриваются тонкостенные конструкции из древесины. В случае их использования для корректировки звуковых полей они называются акустическими панелями. Считается, что для эффективной корректировки акустических параметров помещений необходимо создание такой конструкции, которая имела бы максимально плотный спектр до граничной частоты. На этой частоте длина изгибной волны становится равной длине звуковой волны, перпендикулярно падающей на панель. Происходит волновое совпадение, при котором интенсивность изгибных колебаний резко увеличивается. Начиная с этой частоты происходит эффективное звукоизлучение от самой панели, что может негативно повлиять на акустику помещений. С целью анализа динамических свойств акустических панелей разработана расчетная модель на базе метода конечных элементов. Для дискретизации пластины используются шестиузловые оболочечные конечные элементы с шестью степенями свободы в узле. Данный конечный элемент способен достаточно корректно учитывать анизотропию физико-механических свойств древесины. Задача на собственные значения решается методом итераций в подпространстве собственных векторов. Исследуется акустическая панель, изготовленная из дощечек древесины, склеенных между собой вдоль волокон. Доски уложены вдоль короткой стороны. Для описания упругих свойств древесины используется модель ортотропного тела. Рассмотрены четыре конструктивных варианта, собранных из пяти одинаковых дощечек древесины ели, сосны, березы и дуба. Варьируя физико-механические свойства древесины в зависимости от ее породы, получаем разные спектры колебаний. Анализ полученных результатов позволяет отметить, что панель, изготовленная из древесины дуба, содержит в два раза больше собственных частот в диапазоне до граничной частоты. Следовательно, данная панель будет более эффективна в качестве звукопоглощающей конструкции.

Ключевые слова: акустическая панель, спектр колебаний, граничная частота, конечный элемент.

Известно, что деревянные панели широко используются в отделке помещений. В случае их использования не только в качестве декоративных элементов отделки, но и в целях корректировки тембра издаваемых звуков подобные конструкции называют акустическими панелями. Использование акустических панелей улучшает такие качества музыкальных звуков, как полнота, мягкость и глубина звучания. В работе рассматривается панель, которая крепится к потолку или стенам помещений. Под действием звуковых волн панель начинает вибрировать, при этом максимальная интенсивность этих колебаний будет при совпадении собственных и вынужденных частот (явление резонанса). Вблизи панели при этом образуется звуковое поле, в котором происходит перераспределение энергии от одной полу волны колеблющейся конструкции к другой и обратно. В результате часть энергии звуковых волн не излучается в окружающее пространство, а остается «связанной» с панелью в виде кинетической энергии присоединенной массы некоторого объема воздушной среды, прилегающей к конструкции [1, 2]. Та-

ким образом осуществляется процесс звукопоглощения в диапазоне низших частот. Однако с некоторой граничной частоты может начаться достаточно эффективное звукоизлучение от самой панели, что может негативно повлиять на акустику помещений [3–5]. Следует отметить, что подобным образом действуют все резонансные звукопоглотители: вазы в античных театрах, голосники в церквях [4]. Величина этой частоты определяется формулой [1, 2]

$$f_{zp} = 0,55 \left(\frac{C_g^2}{h C_d} \right), \quad (1)$$

где C_g – скорость звука в воздухе,
 C_d – скорость звука в древесине панели,
 h – толщина панели.

На этой частоте длина изгибной волны становится равной длине звуковой волны, перпендикулярно падающей на панель, происходит волновое совпадение, при котором интенсивность изгибных колебаний резко увеличивается. С граничной частоты начинается достаточно эффективное звукоизлучение от самой панели, что может негативно

повлиять на акустику помещений. Известно, что скорость звука в древесине определяется формулой [2, 6]

$$C_o = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости,

ρ – плотность древесины.

Таким образом, для эффективной корректировки акустической характеристики помещения в низкочастотном диапазоне необходимо создание такой конструкции, которая имела бы максимально большое количество собственных частот (плотный спектр), лежащих ниже граничной частоты (1). Это позволит наиболее эффективно поглощать энергию звуковых колебаний в области низших частот.

Расчетная динамическая модель [6–9] строится с помощью программного комплекса ANSYS. Для дискретизации пластины используются шестиузловые оболочечные конечные элементы Shell 93 с 6 степенями свободы в узле. Данный КЭ способен достаточно корректно учитывать анизотропию физико-механических свойств древесины [10]. Задача динамики решается методом конечных элементов (МКЭ) и описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = 0, \quad (3)$$

где $[M]$, $[K]$ – матрицы масс и жесткости конструкции,

$\{\ddot{q}\}$, $\{q\}$ – векторы обобщенных ускорений и перемещений соответственно.

Порядок матриц равняется числу степеней свободы (591). Для расчета двадцати низших собственных частот и форм колебаний используется метод итераций в подпространстве собственных векторов. Для дискретизации пластины используются восьмиузловые оболочечные конечные элементы (КЭ) с 6 степенями свободы в узле.

В работе исследуется прямоугольная тонкостенная панель, которая крепится к потолку или стенам помещений для создания условий максимально качественного прослушивания музыкальных звуков. В строительной акустике качество подобных систем принято оценивать двояко:

1. Исследование спектра собственных частот панели (рис. 1).
2. Исследование частотного спектра системы, состоящей из панели на отnose от жесткого основания с учетом влияния акустического объема, заключенного между панелью и жестким основанием.

Для предварительной оценки динамических свойств конструкции остановимся на первом варианте. Рассмотрим режим свободных колебаний шарнирно-опертых акустических панелей (рисунок). Для описания упругих свойств использованы данные [10], которые представлены в табл. 1.

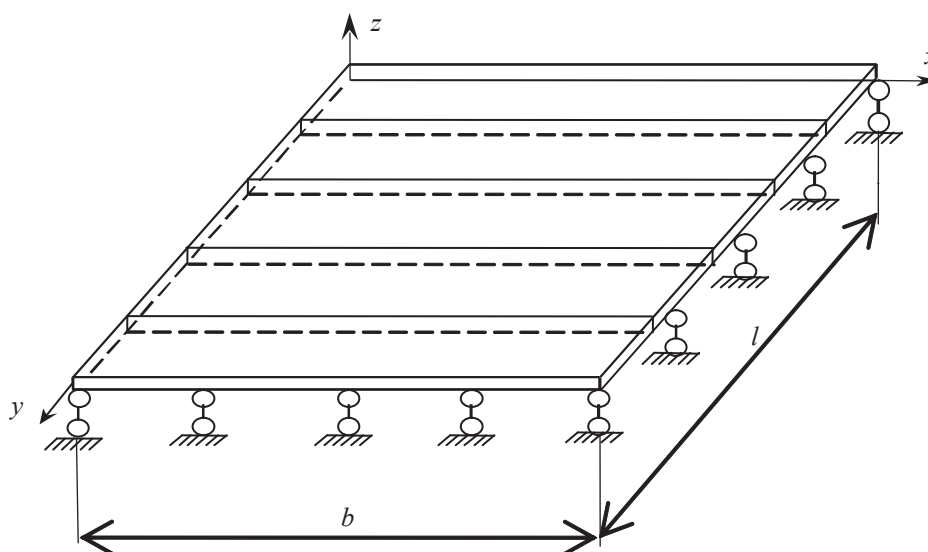


Рисунок. Акустическая панель
Figure. An acoustic panel

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики сортиментов древесины

Physical and mechanical properties of wood assortments

Древесина	ρ , КГ/М ³	E_x , Па 10 ⁷	E_y , Па 10 ⁷	E_z , Па 10 ⁷	G_{xy} , Па 10 ⁷	G_{yz} , Па 10 ⁷	G_{xz} , Па 10 ⁷	μ_{xy}	μ_{yz}	μ_{xz}
Ель	500	1622,5	70,1	40	64,5	3,47	41,6	0,44	0,42	0,33
Сосна	590	1660	112,4	58,2	118	6,7	69	0,42	0,68	0,51
Береза	620	1666	112,6	62,9	109,5	19,2	104,3	0,49	0,78	0,43
Дуб	660	582	218,5	98,5	128,7	40,3	80	0,32	0,64	0,5

Т а б л и ц а 2

Собственные частоты акустических панелей

The natural frequencies of acoustic panels

№ Моды	Частота, Гц			
	ЕЛЬ	СОСНА	БЕРЕЗА	ДУБ
1	51,9	57,3	57,1	56,4
2	92,2	101	102	96,3
3	160	174	176	161
4	178	193	196	188
5	206	228	233	226
6	250	273	280	253
7	263	291	300	289
8	328	366	379	366
9	342	378	390	379
10	365	401	414	393
11	382	425	442	437
12	431	482	506	487
13	435	489	513	501
14	486	535	556	507
15	509	572	605	586
16	545	612	648	623
17	573	648	703	668
18	582	661	705	692
19	611	687	738	698
20	644	720	768	732

Исследуется панель, изготовленная из дощечек древесины, склеенных между собой вдоль волокон. Доски уложены вдоль короткой стороны. Толщина панели составляет 28 мм, длина $l = 1500$ мм, ширина $b = 800$ мм.

Созданы несколько расчетных моделей с разной степенью дискретизации. Модель состоит из оболочечных КЭ Shell 93 с 6 степенями свободы в узле. Рассмотрено четыре конструктивных варианта, собранных из пяти одинаковых дощечек древесины ели, сосны, березы и дуба.

Результаты решения задачи (3) на собственные значения сведены в табл.2. Жир-

ным шрифтом выделены частоты, находящиеся в акустически важном диапазоне низших частот до граничной частоты, определяемой формулой (1).

Анализ представленных в табл. 2 данных позволяет отметить, что панель, изготовленная из древесины дуба, содержит в два раза больше собственных частот в диапазоне до граничной частоты. Следовательно, данная панель будет более эффективна в качестве звукопоглощающей конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №13-01-97045 р_поволжье_а

Библиографический список

1. Борьба с шумом на производстве. Справочник / Е.Я. Юдин и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
2. Колесников, А.Е. Шум и вибрация: Учебник / А.Е. Колесников. – Л.: Судостроение, 1988. – 248 с.
3. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учеб. Пособие для студентов вузов / Л. Г. Осипов и др. – М.: ООО Изд-во АСТ, 2004. – 450 с.
4. Рейхардт, В. Акустика общественных зданий / В. Рейхардт. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.
5. Акустика: Справочник / А.П. Ефимов и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
6. Куликов, Ю.А. Механические колебания дек музыкальных инструментов: Научное издание / Ю.А. Куликов, С.В. Шлычков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 188 с.
7. Шлычков, С.В. Исследование динамических процессов в задачах сопряженного типа / С.В. Шлычков // Ansys Advantage. Русская Редакция. – 2011. – № 2. – Вып. 16. – С. 43–49.
8. Шлычков, С.В. Исследование динамических свойств связанных систем / С.В. Шлычков // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4. – Ч. 4. – С. 1873–1875.
9. Шлычков, С.В. Исследование резонансных свойств акустических панелей / С.В. Шлычков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11560
10. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.

THE DEPENDENCE OF THE ACOUSTIC PANEL QUALITY ON WOOD

Shlychkov S.V., Assoc. Prof. VSUT, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

shlychkovsv@volgategh.net

⁽¹⁾ Volga State University of Technology, 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

In this work the thin-walled structures made of wood are studied. If they are used to adjust acoustic fields, they are called acoustic panels. It is believed that to provide the efficient adjustment of acoustic parameters of premises it is necessary to create such designs that would have the thickest acoustic spectrum up to the limit frequency. Within this frequency the flexural wave length becomes equal to the length of sound waves, perpendicular to the incident on the Panel. The wave convergence occurs and this makes the intensity of flexural vibrations increase sharply. Starting with this frequency, the effective sound emission occurs from the Panel that can adversely affect the acoustics of the space. To analyze the dynamic properties of acoustic panels the design model based on the finite element method has been developed. To discrete the plate, the six-node shell finite elements with six degrees of freedom per node have been used. The finite element is capable of correctly enough taking into account the anisotropy of physical and mechanical properties of wood. The task of the eigenvalues is solved using the method of iteration subspace eigenvectors. The acoustic Panel made of wood slats, which are glued along fibres, has been studied. Boards are stacked along the shortest side. To describe the elastic properties of wood, the orthotropic body model has been used. There are four constructive variants under consideration which are made from five identical plates of spruce, pine, birch and oak wood. By varying the physical and mechanical properties of wood, depending on its species, one can get different spectra. The analysis of the obtained results allows to note that the Panel made of oak wood contains twice as many as the eigenfrequencies within the range of the limit frequency. Therefore, this Panel will be more effective as a sound absorbing board.

Keywords: acoustic panel, spectrum of the vibrations, limit frequency, the finite element.

References

1. Yudin E.Ya. [i dr.] *Bor'ba s shumom na proizvodstve* [The fight against noise in the workplace]. Moscow: Mashinostroenie [Engineering], 1985. 400 p.
2. Kolesnikov, A.E. *Shum i vibratsiya* [Noise and vibration]. Leningrad: Sudostroenie [Shipbuilding], 1988. 248 p.
3. Osipov L.G. [i dr.] *Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshchenie* [Sound insulation and sound absorption]. Moscow: AST [Publishing House Ltd. AST], 2004. 450 p.
4. Reykhardt V. *Akustika obshchestvennykh zdaniy* [Acoustics of public buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 200 p.
5. Efimov A.P. [i dr.] *Akustika* [Acoustics]. Moscow: Radio i svyaz' [Radio and Communications], 1989. 336 p.
6. Kulikov Yu.A., Shlychkov S.V. *Mekhanicheskie kolebaniya dek muzykal'nykh instrumentov* [Mechanical vibrations of musical instruments]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. 188 p.
7. Shlychkov S.V. *Issledovanie dinamicheskikh protsessov v zadachakh sopryazhennogo tipa* [The study of dynamic processes in problems such as conjugated]. Ansys Advantage. Russkaya Redaktsiya. 2011, № 2, V. 16. pp. 43-49.
8. Shlychkov S.V. *Issledovanie dinamicheskikh svoystv svyazannykh sistem* [A study of the dynamic properties of related systems]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky]. 2011, № 4, P. 4. pp. 1873-1875.
9. Shlychkov S.V. *Issledovanie rezonansnykh svoystv akusticheskikh paneley* [Investigation of Resonance Characteristics of acoustic panels]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 6; URL: www.science-education.ru/113-11560
10. Ashkenazi E.K., Ganov E.V. *Anizotropiya konstruktsionnykh materialov* [Anisotropy of construction materials]. Leningrad: Mashinostroenie [Engineering], 1980. 247 p.