

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ МАССЫ НЕОДНОРОДНОГО МАТЕРИАЛА

В.Г. Лукьянов, В.В. Надвоцкая

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В работе представлен краткий теоретический анализ взаимодействия ультразвукового сигнала с неоднородной средой. В рамках выявления зависимости амплитуды ультразвуковых колебаний от массы неоднородного материала предложена экспериментальная установка, принцип работы первичного измерительного действия которой основан на ослаблении акустических колебаний, прошедших через контролируемые образцы. Результаты экспериментальных исследований подтвердили зависимость характера поглощения ультразвуковых колебаний от массы вещества неоднородной среды.

Ключевые слова: уравнение регрессии, экспериментальная установка, массовый коэффициент затухания, неоднородный материал.

ВВЕДЕНИЕ

Проведенный анализ работ показал, что вопросы взаимодействия ультразвука с неоднородной средой не достаточно полно отражены в отечественных и зарубежных публикациях. Выполненные нами исследования позволили установить, что одним из наиболее перспективных способов повышения контроля массы неоднородного материала является ультразвуковой неразрушающий метод диагностики [1]. Ультразвуковые датчики можно использовать в автоматических системах контроля и регулирования развеса полуфабриката на различных технологических переходах переработки хлопковолокна предприятий текстильной промышленности, для расхода сыпучих материалов на зерноперерабатывающих предприятиях, объемной плотности древесной стружки, идущей на производство древесно-стружечных плит.

В классической теории известно влияние однородной среды на величину поглощения ультразвуковой энергии [1]. В однородной среде звуковые волны ослабляются как по амплитуде A_x , так и по силе звука J_x . Это ослабление определяется выражениями:

$$A_x = A_0 \cdot e^{-\alpha x}; \quad (1)$$

$$J_x = J_0 \cdot e^{-2\alpha x}. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) дают значение амплитуды A_x и силы звука J_x после прохождения пути X при начальных значениях амплитуды A_0 и силы звука J_0 . Измерив значения A_x и J_x в двух точках x_1 и x_2 , можно найти коэффициент затухания по формулам:

$$d = \frac{1}{x_2 - x_1} \cdot \ln \frac{A_x}{A_0}; \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1}{2(x_2 - x_1)} \cdot \ln \frac{J_x}{J_0}. \quad (4)$$

Коэффициент затухания измеряется в см^{-1} . Величина $1/\alpha$ определяет длину отрезка в сантиметрах, на которой амплитуда звуковых колебаний распространяющаяся в данной среде с данной плотностью, ослабляется в «е» раз. Поэтому этот коэффициент называют линейным коэффициентом затухания.

Линейный коэффициент α удобен при исследовании сред, характеризующихся постоянными значениями плотности ρ . К таким средам относятся твердые, жидкие и газообразные вещества, которые всесторонне исследованы. Однако существует множество сред, плотность которых непостоянна. Это значит, что для таких материалов коэффициент затухания есть переменная величина, т.к. она функционально связана с его плотностью. К таким средам относятся пористые и сыпучие материалы (пенопласт, песок, текстильные материалы и т.д.). Классическая теория не может однозначно отразить характер поглощения ультразвуковых колебаний в неоднородной среде, что является основой для проведения исследований, направленных на выявление зависимости амплитуды ультразвуковых колебаний от массы неоднородного материала.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования неоднородных материалов следует использовать массовый коэффициент затухания ультразвуковых волн α_m , то есть:

$$\alpha_m = \frac{\alpha}{\rho_{\text{cp}}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{cp}} = \frac{1}{h} \cdot \int_0^h \rho(x) dx$ - характеризует среднюю объемную плотность в направлении прозвучивания [2, 3]. В таком случае, формулы (3) и (4) меняют свой вид, масса d таких материалов ($S = 1 \text{ см}^2$ и длина h) будет определяться:

$$d = \rho_{\text{cp}} \cdot S \cdot h = \int_0^h \rho(x) dx. \quad (6)$$

Подставляя в (1) и (2) значения d из (6), получим:

$$A_x = A_0 \cdot e^{-\alpha_m x} \cdot \rho_{\text{cp}}; \quad (7)$$

$$J_x = J_0 \cdot e^{-2\alpha_m x} \cdot \rho_{\text{cp}}^2; \quad (8)$$

$$\alpha_m = \frac{\ln A_x - \ln A_0}{\rho_{\text{cp}} \cdot h \cdot S}. \quad (9)$$

Массосодержание (вес) неоднородного материала можно определить пьезоэлектрическим преобразователем, используя амплитудный метод, тогда массовый коэффициент затухания ультразвуковых волн α_m бу-

дет зависеть от амплитуд ультразвука на пьезоизлучателе и пьезоприемнике:

$$\alpha_m = \ln \frac{A_x}{A_0} / d, \quad (10)$$

где A_0 - амплитуда звука на пьезоизлучателе; A_x - амплитуда ультразвука на пьезоприемнике после прохождения контролируемого образца.

В связи с этим разработана экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рис.1.

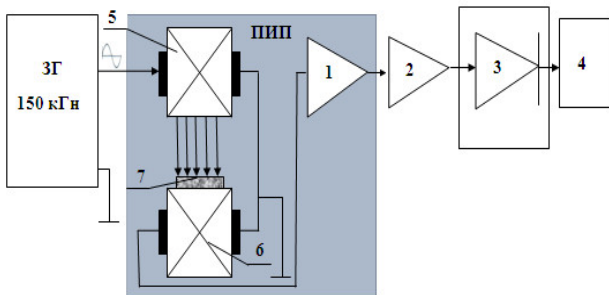


Рис. 1. Пример оформления рисунка

Экспериментальная установка состоит из задающего генератора синусоидального напряжения (ЗГ), первичного измерительного преобразователя (ПИП), предварительного усилителя (1), размещенного в корпусе ПИП, усилителя (2), выполненного по схеме умножения, детектора (3) и измерительного цифрового вольтметра постоянного тока. Первичный преобразователь включает пьезорезонансный излучатель (5) и пьезоприемник (6), в качестве которых используется пьезокерамика типа ЦТС – 19.

Принцип действия ПИП основан на ослаблении акустических колебаний, прошедших через контролируемые образцы (7), т.е. используется амплитудный метод измерения. Ослабленные колебания поступают на пьезоприемник (6), где преобразуются в электрический сигнал, который усиливается в предварительном усилителе (1). Далее сигнал усиливается, детектируется и регистрируется цифровым вольтметром постоянного тока [4].

Для установления зависимости поглощения ультразвука от веса неоднородного материала (хлопка-волокна) были подготовлены образцы различного веса, которые укладывались в кассету постоянного объема, установленную между излучателем и приемником ультразвуковых колебаний. Результаты измерений представлены в табл. 1.

По данным эксперимента найдем расчетное эмпирическое уравнение регрессии при условии, что экспериментальная зависимость описывается показательной функцией. Уравнение регрессии имеет вид:

$$\bar{U}_{\text{вых}} = U_0 \cdot e^{-\alpha_m d}, \quad (11)$$

где α_m – массовый коэффициент затухания; U_0 – напряжение на пьезоприемнике, при отсутствии контролируемого образца.

Далее рассчитаем массовый коэффициент затухания по экспериментальным данным для получения графика зависимости величины поглощения ультразвука от веса неоднородного материала.

Табл. 1. Экспериментальные данные

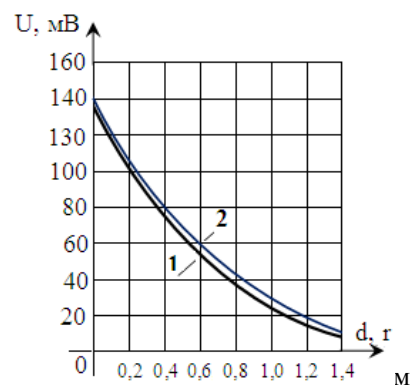
дис т.	S 10 ⁻³ [$\frac{\text{мг}}{\text{см}^3}$]	Напряжение на выходе, U _{вых} [мВ]										\bar{U}_i [мВ]	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
174	5,48	118,0	118,2	118,3	117,8	117,8	118,0	118,4	118,1	118,7	117,8	118,0	
324	6,48	90,0	95,0	85,0	88,0	90,0	92,0	85,0	80,0	90,0	89,0	88,4	
425	8,5	71,0	72,0	71,5	73,0	70,0	72,0	72,0	71,5	72,0	71,0	72,5	
548	109,6	57,0	57,0	57,5	57,8	57,5	57,8	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	
835	167,0	32,5	32,5	33,0	32,5	32,5	32,5	32,8	32,5	32,5	32,5	32,6	
988	197,6	22,1	22,2	22,3	22,1	22,3	22,5	22,5	22,4	22,6	22,3	22,3	
1098	219,6	17,0	16,7	16,5	16,7	16,5	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	
1316	263,2	10,0	10,0	10,1	10,0	10,1	10,1	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	

Для установления расчетной зависимости найдено значение массового коэффициента затухания по экспериментальным данным, представленным в табл. 2.

Табл. 2. Результаты расчета

d*10 ⁻³ (г)	324	425	548	835	988	1098	1316
α_i	1,638	1,715	1,75	1,83	1,95	2,002	2,058

Согласно табл. 2 расчетное значение массового коэффициента затухания равно $\alpha_m = \alpha = 1.85$. С помощью экспериментальных данных и формулы (11) получим график зависимости величины поглощения ультразвука от веса неоднородного материала, представленный на рис. 2.



1 – экспериментальная зависимость; 2 – расчетная зависимость

Рис. 2. Зависимость выходного сигнала от массы d материала

Таким образом, расчетное эмпирическое уравнение регрессии $\bar{U}_{\text{вых}} = 150 \cdot e^{-1,85\alpha} \cdot 10^{-3}$ [В] адекватно описывает экспериментальную зависимость, что подтверждает возможность использования ультразвуку-

кового метода для контроля веса неоднородных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы предложен амплитудный метод определения массосодержания неоднородного материала с помощью пьезопреобразователя. При этом массовый коэффициент затухания ультразвуковых волн α_m будет зависеть от амплитуд ультразвука на пьезоизлучателе и пьезоприемник. Разработанный стенд позволил провести ряд экспериментов, на основе которых найдено значение массового коэффициента затухания сигнала. Полученное расчетное эмпирическое уравнение регрессии адекватно описывает полученную экспериментальную зависимость. Таким образом, проведенное исследование данного метода контроля подтверждает возможность использования ультразвукового метода для контроля веса неоднородных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Костюков А. Ф. Метод ультразвукового контроля параметров сельскохозяйственного волоконного сырья : дисс. канд. тех. наук / А.Ф. Костюков. – Барнаул, 2012. – 141 с.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике: Перевод с немецкого. Издание 2 / Л. Бергман. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. – 726 с.
3. Бобров П.Н. Исследование возможности применения ультразвука для определения поверхностной плотности продуктов пряжедения : автореферат дисс. канд. тех. наук / П.Н. Бобров. – Томск, 1974. – 24 с.
4. Семенов Б.Ю., Шелестов И.П. Путеводитель в мир электроники. – М.: Солон-Пресс, 2004. – 400 с.

Лукьянов Владимир Григорьевич – доцент кафедры информационных технологий, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.

Надвоцкая Валерия Валерьевна – доцент кафедры информационных технологий, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, тел. (3852)290913, e-mail: nadvotskaya7@mail.ru.

STUDY OF THE ULTRASOUND METHOD OF CONTROL OF THE MASS OF INHOMOGENEOUS MATERIAL

V.G. Lukyanov, V.V. Nadvotskaya

Altai State Technical University, Barnaul

The paper presents a brief theoretical analysis of the interaction of an ultrasonic signal with a heterogeneous medium. Within the framework of identifying the dependence of the amplitude of ultrasonic oscillations on the mass of a heterogeneous material, an experimental setup was proposed, the principle of operation of which is based on the weakening of acoustic oscillations passed through controlled samples. The results of experimental studies confirmed the dependence of the nature of the absorption of ultrasonic vibrations on the mass of the substance of a heterogeneous medium.

Index terms: regression equation, experimental setup, mass attenuation coefficient, heterogeneous material.

REFERENCES

1. Kostyukov, A.F. Ultrasonic control of parameters of agricultural fiber raw materials, Ph.D. dissertation, Altai State Technical University, Barnaul, 2012
2. Ludwig Bergmann Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik, VDI-Verlag Berlin : G. M. B. H., 1957.
3. Bobrov, P.N. Ultrasonic control of parameters of agricultural fiber raw materials, Ph.D. dissertation, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 1974.
4. Semenov B.Yu., Shelestov I.P. Leitfaden für die Welt der Elektronik, Moscow: Solon-Press, 2004.

Lukyanov Vladimir Grigorievich – associate professor of information technology, candidate of technical sciences, Altai State Technical University, (3852)290913, e-mail: nadvotskaya7@mail.ru.

Nadvotskaya Valeria Valerievna – associate professor of information technology, candidate of pedagogical sciences, Altai State Technical University, (3852)290913, e-mail: nadvotskaya7@mail.ru.