

УДК 620.179.161

О. П. Богдан, канд. техн. наук, доц.

Д. С. Рысев, магистрант

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Исследование анизотропии скорости звука в пенополиэтилене

В статье исследована возможность оценки анизотропии скорости звука в пенополиэтилене по измерению времени прохождения ультразвукового импульса частотой 50 кГц сквозь лист в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Показана зависимость скорости звука в пенополиэтилене от направления прозвучивания и определен коэффициент анизотропии, который составил 0,08–0,35, а также выявлена его ортотропность.

Ключевые слова: пенополиэтилен, анизотропия свойств, акустический метод, скорость звука.

Введение

Пенополиэтилен (ГОСТ Р 56729-2015 (EN 14313:2009)) является газонаполненным полимером, состоящий из открытых или закрытых ячеек, с уникальными физическими свойствами (высокие коэффициенты шумопоглощения, виброгашения, эластичность, ветро-влажностойчивость, низкая теплопроводность и др.), благодаря которым он нашел свое применение в различных областях промышленности, в том числе и особо опасных. В основном пенополиэтилен используют в качестве теплоизоляции в широком диапазоне температур ($-80\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +150\text{ }^{\circ}\text{C}$) и для шумо- и виброгашения механических колебаний [1–4]. Несмотря на широкое применение пенополиэтилена, его физические свойства и их изменение по объекту плохо изучены.

Одним из таких физических свойств является скорость звука в пенополиэтилене и ее анизотропия, обусловленная различием форм ячеек и их ориентацией в направлении вспенивания, влияющая на его прочностные характеристики [1, 5]. Исследование анизотропии скорости звука в листах пенополиэтилена позволит определить его ориентацию в пространстве, что обеспечит наиболее эффективное его применение для реализации требуемой задачи, например шумогашение. В настоящее время в существующей нормативной базе ГОСТ Р 56729–2015 (EN 14313:2009), ГОСТ Р 56227–2014, ТУ 2244-069-04696843-00, ТУ 2244-

001-61124153-2014 и др. регламентировано определение физических свойств листов пенополиэтилена, таких как кажущаяся плотность, теплопроводность, влагопоглощение и паропроницаемость, линейные размеры, сопротивление растяжению и расслаиванию, звукопоглощение и выделение вредных веществ [6], при этом отсутствуют методики измерения скорости звука в пенополиэтилене и ее анизотропии.

Целью работы является измерение скорости звука и ее анизотропии в листах пенополиэтилена различной толщины и плотности акустическим теневым временным методом.

Используемые подходы

Исследование анизотропии скорости звука в листах пенополиэтилена основано на измерении времени прохождения ультразвуковой волны сквозь лист в двух взаимно перпендикулярных направлениях и дальнейшем расчете. Ввиду того, что пенополиэтилен является высокопористым материалом, для его исследования необходимо применять бесконтактный метод измерения или измерение с сухим контактом. Блок-схема экспериментальной установки, используемой для исследования анизотропии свойств листов пенополиэтилена, представлена на рис. 1.

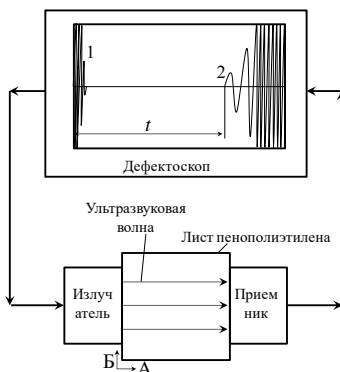


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для исследования анизотропии свойств листов пенополиэтилена: 1 – зондирующий импульс, 2 – импульс, прошедший сквозь лист пенополиэтилена

С дефектоскопа электрический импульс поступает на излучатель, трансформирующий его в акустический импульс и излучающий в лист пенополиэтилена в направлении А. Акустический импульс частично проходит сквозь лист пенополиэтилена, частично по воздуху, это обусловлено тем, что размер преобразователей больше толщины листа. Да-

лее сигнал поступает на приемник и обратно в дефектоскоп, где происходит обработка принятого сигнала и измерение времени t прохождения волны в объекте. На осциллограмме (рис. 1) видно, что часть энергии импульса 2, прошедшая сквозь лист, приходит на приемник раньше, чем доля энергии импульса, прошедшей по воздуху, т. к. пенополиэтилен имеет большую скорость звука, чем воздух, а также этот сигнал имеет более низкую частоту, что связано с большим поглощением волны в пенополиэтилене. Далее необходимо повторить аналогичное измерение в направлении Б листа пенополиэтилена. Обязательным условием для обеспечения достоверности измерения является соосность излучателя и приемника.

Измерив время t прохождения волны сквозь лист пенополиэтилена в направлениях А и Б, скорость звука в данных направлениях можно определить по формуле

$$C = \frac{L}{t - 2t_p}, \quad (1)$$

где L – расстояние, пройденное ультразвуковой волной в листе пенополиэтилена; t – время между зондирующим импульсом и импульсом, регистрируемым приемником; $t_p = 6,83$ мкс – время прохождения волны в преобразователях (излучателе, приемнике), определенное по стандартному образцу СО-2.

Результаты и обсуждение

Для исследования анизотропии скорости звука в пенополиэтилене использовались листы размером 50×50 мм, толщиной от 2 мм до 6 мм, различной плотности в диапазоне от 29 кг/м^3 до 63 кг/м^3 . Частота ультразвукового излучения выбрана 50 кГц для повышения проникающей способности ввиду высокого звукопоглощения в материале листа. Результаты измерения скорости звука в направления А и Б листа пенополиэтилена показаны в табл. 1.

Для оценки анизотропии скорости звука в листе используется коэффициент анизотропии K_C , определяемый по формуле [7, 8]

$$K_C = \frac{C_B - C_A}{C_B}, \quad (2)$$

где C_A и C_B – скорость звука в листе пенополиэтилена в направлении А и Б соответственно. Коэффициент анизотропии скорости звука в пенополиэтилене для исследуемых листов представлен в таблице.

Результаты измерения скорости звука в листах пенополиэтилена

№	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Скорость звука C , м/с		Коэффициент анизотропии скорости звука K_C
			в направлении А	в направлении Б	
1	2	39	–	625	–
2	2	45	–	625	–
3	3	36	–	625	–
4	3,5	63	500	769	0,35
5	4	29	–	588	–
6	4,5	48	526	714	0,26
7	5	35	446	568	0,21
8	5	50	575	625	0,08
9	6	35	500	556	0,10
10	6	59	500	667	0,25

Из таблицы видно, что для листов № 1 (толщина 2 мм, плотность 39 кг/м³), № 2 (толщина 2 мм, плотность 45 кг/м³), № 3 (толщина 3 мм, плотность 36 кг/м³) и № 5 (толщина 4 мм, плотность 29 кг/м³) скорость звука в направлении А не определена ввиду высокой анизотропии, чувствительность оказалась не достаточной для регистрации прошедшего сигнала. Для остальных листов пенополиэтилена скорость звука в направлении Б имеет большее значение, чем в направлении А. Это связано с тем, что ячейки, сформированные в результате вспенивания, ориентированы в направлении Б и соответственно перпендикулярно направлению А. Коэффициент анизотропии скорости звука в пенополиэтилене составил 0,08–0,35. Выявить определенную зависимость коэффициента анизотропии скорости звука от плотности листа пенополиэтилена или его толщины не удалось ввиду небольшого набора объектов исследования одинаковой толщины или плотности. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что листы пенополиэтилена являются ортотропными.

Выводы

В ходе проделанной работы была определена скорость звука в листах пенополиэтилена во взаимно перпендикулярных направлениях. Исследования показали, что в направлении Б скорость звука примерно на 150–200 м/с больше скорости звука в направлении А, что позволило оценить коэффициент анизотропии скорости звука в пенополиэтилене, который составил 0,08–0,35, и сделать вывод о его ортотропности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» в рамках научного проекта № ПАВ/20-90-17.

Список литературы

1. Бакирова, И. Н. Газонаполненные полимеры : учеб. пособие / И. Н. Бакирова, Л. А. Зенитова. – Казань : Изд-во Казан. гос. технолог. ун-та, 2009. – 105 с.
2. Влияние минеральных наполнителей на свойства химически сшитого пенополиэтилена / А. В. Панкратов, Г. Н. Матюхина, Ю. Т. Панов, О. А. Фридман // Пластические массы. – 2010. – № 7. – С. 32–34.
3. Дроздова, Л. Ф. Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума / Л. Ф. Дроздова, Е. Ю. Чеботарева, А. В. Кудаев // Noise theory and practice. – 2018. – Т. 4, № 2 (12). – С. 11–20.
4. Ковалевский, В. Тепловая изоляция для объектов трубопроводного транспорта нефти / В. Ковалевский // Технологии топливно-энергетического комплекса. – 2006. № 1. – С. 58–63.
5. Перрен, А. А. Неразрушающий контроль полимерных композитных материалов в судостроении / А. А. Перрен, А. М. Баганик // В мире неразрушающего контроля. – 2011. – № 3 (53). – С. 24–26.
6. Исследование характеристик листов пенополиэтилена акустическими методами / О. П. Богдан, О. В. Муравьева, А. В. Платунов, Д. С. Рысев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 61–68.
7. Гречников, Ф. В. К расчету среднего значения коэффициента анизотропии листовых материалов / Ф. В. Гречников, Я. А. Ерисов, В. М. Зайцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4. – С. 154–157.
8. Черепецкая, Е. Б. Экспериментальные исследования анизотропии горных пород с помощью аппаратуры лазерного ультразвукового структуроскопа «ГЕОСКАН-02М» / Е. Б. Черепецкая, В. Н. Иньков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 1. – С. 53–55.

O. P. Bogdan, CSc in engineering, associate professor

D. S. Rysev, master student

E-mail: pmkk@istu.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Research of Sound Velocity Anisotropy in Polyethylene Foam

The article studies the possibility of estimating the anisotropy of the sound velocity in polyethylene foam by measuring the passage time of an ultrasonic pulse with a frequency of 50 kHz through a sheet in two mutually perpendicular directions. The dependence of sound velocity in polyethylene foam on the direction of sounding is shown, also the anisotropy coefficient is determined, which is 0.08–0.35, and its orthotropy is revealed.

Ключевые слова: polyethylene foam, anisotropy of properties, acoustic method, sound velocity.