

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**М.В. Иванов**

mivanov2005@mail.ru

С.А. Гаврильев

stepan.tab92@gmail.com

С.А. Трофимов

mivanov2005@mail.ru

Б.С. Ксенофонтов

borisflot@mail.ru

О.А. Иванова

o.ivanova@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Рассмотрен опыт проектирования импедансной трубы для исследования коэффициента отражения, поглощения звука и акустического импеданса различных материалов при использовании их под водой. С помощью собранной установки были определены гидроакустические характеристики звукопоглощающих материалов: трех разновидностей экструдированного пенополистирола, а также смеси цемента и древесной стружки. Описаны методика проведения экспериментов, калибровки оборудования и способы снижения инструментальных погрешностей измерения. Показано, что некоторые образцы экструдированного пенополистирола имеют высокие (до 0,9) коэффициенты звукопоглощения в диапазоне частот от 3 до 6 кГц. Даны рекомендации по использованию приведенных материалов для устройства заглушенных подводных камер

Ключевые слова

Гидроакустика, импедансная труба, безэховая камера

Поступила в редакцию 05.04.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Цель настоящей работы — определение коэффициента звукопоглощения ряда материалов, которые в дальнейшем могут использоваться для облицовки заглушенной подводной камеры. Требуемый частотный диапазон, в котором искомые материалы должны быть максимально эффективны, составляет от 3000 до 6000 Гц.

В работе [1] описан опыт применения трубы Кундта для исследования подводных звукопоглощающих материалов. Показано, что импульсная генерация сигнала предпочтительна, однако также возможно эффективное использование постоянного случайного шума в широком диапазоне частот и бегущего тона по диапазону частот. Впервые описан опыт использования метода двух гидрофонов в гидротрубе Кундта. При этом отмечено, что метод двух гидрофонов может применяться только в диапазоне не более половины длины волны, равной расстоянию между гидрофонами.

Кроме того, показана необходимость учета когерентности измерений двух гидрофонов, т. е. проводить достоверные измерения можно только в той области частот, в которой когерентность сигналов двух гидрофонов близка к единице.

Отдельно следует отметить работу [2], в которой описана труба Кундта длиной 2 м, диаметром 80 мм и рабочим диапазоном частот 100...7000 Гц, т. е. наиболее близкая по своим характеристикам к трубе, проектируемой в настоящей работе.

Преимуществами измерения в импедансной трубе являются компактность установки (по сравнению с реверберационной камерой) и возможность автоматизации измерений по сравнению с трубой Кундта. Поэтому была разработана установка на основе импедансной трубы для исследования акустических свойств материалов в воде.

Известно, чтобы материал был акустически эффективен под водой, должно соблюдаться соответствующее соотношение между импедансами материала и жидкости, чтобы большая часть энергии звуковой волны проходила в материал, а не отражалась от него, а также материал должен иметь эффективный механизм поглощения звуковой энергии.

В работе [3] рассмотрено использование клиньев, заполненных материалом из смеси цемента и древесной стружки.

Кроме того, известны такие сложные материалы и структуры, как прорезиненный конский волос, используемый в качестве наполнителя [4]; экраны из медной набивки, погруженной в касторовое масло и покрытой слоем резины снаружи [5]; многослойная обивка, состоящая из песка, морской глины, резины, алюминиевой крошки [6].

В настоящее время все большую популярность набирает вспененный алюминий как высокоакустически эффективный материал. В работе [7] показано, что коэффициент поглощения значительно увеличивается с уменьшением диаметра пор. При этом установлено, что оптимальным является диаметр пор ~2 мм, а их количество — 75...80 %. Эффективная толщина материала в частотном диапазоне от 5 до 30 кГц составляет 30 мм и более.

В работе [2] описан безэховый материал для использования на частотах до 10 кГц, состоящий из полистирена и полиэстера. Согласно данной работе, материал имеет средний коэффициент подводного звукопоглощения ~0,5–0,8. Особенно высокие значения коэффициента звукопоглощения были получены для частотного диапазона 3...10 кГц.

На основании данного обзора было принято решение в качестве исследуемых материалов взять образцы из экструдированного пенополистирола, а также из смеси цемента и древесной стружки.

Материалы и методы. Основными акустическими характеристиками материалов являются акустический импеданс, коэффициент отражения звука и коэффициент звукопоглощения.

Акустический импеданс — комплексное сопротивление, которое представляет собой отношение комплексной амплитуды звукового давления к амплитуде объемной колебательной скорости

$$Z_s = \frac{p(x, t)}{v(x, t)}$$

Это обычно комплексная величина. Однако для плоских бегущих волн импеданс является вещественной величиной, так как давление и скорости частиц находятся в одной фазе [8]:

$$Z_s = \frac{p(x, t)}{v(x, t)} = \frac{j\omega\rho_0 c A(\omega) e^{j(\omega t - kx)}}{j\omega A(\omega) e^{j(\omega t - kx)}} = \rho_0 c = Z_c. \quad (1)$$

Давление и скорость для волны, распространяющейся вдоль оси X в положительном направлении, запишем как

$$p(x, t) = A e^{j(-kx + \omega t)};$$

$$v(x, t) = \frac{A}{Z_c} e^{j(-kx + \omega t)},$$

а для волны, распространяющейся в отрицательном направлении,

$$p^*(x, t) = A^* e^{j(kx + \omega t)};$$

$$v^*(x, t) = -\frac{A^*}{Z_c} e^{j(kx + \omega t)}.$$

Если звуковое поле является суперпозицией двух волн, описанных ранее, то суммарное давление и скорость определяются как

$$p_t(x, t) = A e^{j(-kx + \omega t)} + A^* e^{j(kx + \omega t)};$$

$$v_t(x, t) = \frac{A e^{j(-kx + \omega t)} - A^* e^{j(kx + \omega t)}}{Z_c}.$$

На рис. 1 две волны распространяются в противоположных направлениях параллельно оси X . Импеданс в точке x_2 можно записать так:

$$Z(x_2) = \frac{p_t(x_2, t)}{v_t(x_2, t)} = Z_c \frac{A e^{j(-kx_2 + \omega t)} + A^* e^{j(kx_2 + \omega t)}}{A e^{j(-kx_2 + \omega t)} - A^* e^{j(kx_2 + \omega t)}} = Z_c \frac{A e^{j(-kx_2)} + A^* e^{j(kx_2)}}{A e^{j(-kx_2)} - A^* e^{j(kx_2)}}.$$

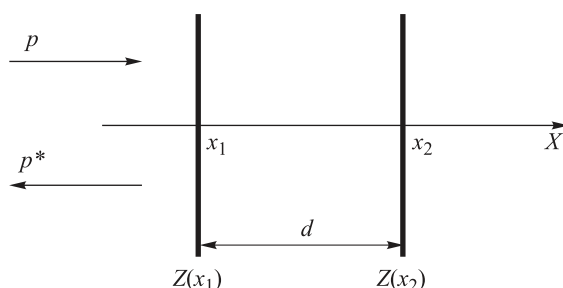


Рис. 1. Распространение двух волн в противоположных направлениях параллельно оси X

Тогда импеданс $Z(x_1)$ в точке x_1 может быть записан как

$$Z(x_1) = \frac{p_t(x_1, t)}{v_t(x_1, t)} = Z_c \frac{Ae^{j(-kx_1)} + A^*e^{j(kx_1)}}{Ae^{j(-kx_1)} - A^*e^{j(kx_1)}}.$$

Из этих двух выражений получаем, что

$$\frac{A}{A^*} = \frac{Z(x_2) - Z_c}{Z(x_2) + Z_c} e^{-2j(kx_2)};$$

$$Z(x_1) = Z_c \frac{-jZ(x_2) \operatorname{ctg}(kd) + Z_c}{Z(x_2) - jZ_c \operatorname{ctg}(kd)},$$

где $d = x_2 - x_1$ [9, 10].

Коэффициент отражения R на границе раздела двух сред представляет собой отношения давлений p и p^* , создаваемых исходящей и входящей волнами на поверхность раздела двух сред. Например, в случае, показанном на рис. 2, коэффициент отражения $R(x_1)$ может быть найден как

$$R(x_1) = \frac{p^*(x_1, t)}{p(x_1, t)}.$$

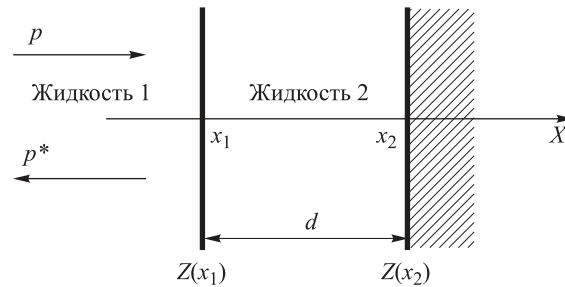


Рис. 2. Частный случай отражения на границе раздела двух сред

Он не зависит от времени t , так как числитель и знаменатель имеют одинаковую зависимость от времени. Используя предыдущие выражения, можем записать

$$R(x_1) = \frac{Z(x_1) - Z_{c1}}{Z(x_1) + Z_{c1}}, \tag{2}$$

где Z_{c1} — акустический импеданс среды 1. Заметим, что входящая и исходящая волны имеют одинаковые амплитуды в точке x_1 , если $|R(x_1)| = 1$. Это происходит, если $|Z(x_1)|$ равен бесконечности либо нулю. Если $|Z(x_1)|$ больше единицы, то амплитуда исходящей волны больше амплитуды входящей волны [2].

При этом выражая из формулы (2) акустический импеданс и используя формулу (1), можно получить следующее уравнение:

$$Z = \rho_0 c \frac{1+R}{1-R}. \quad (3)$$

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является частотная зависимость безразмерного коэффициента звукопоглощения α , определяемого как отношение поглощенной звуковой энергии к падающей.

Коэффициент звукопоглощения $\alpha(x_1)$ зависит от коэффициента отражения $R(x_1)$ следующим образом:

$$\alpha(x_1) = 1 - |R(x_1)|^2.$$

Это выражение может быть переписано в следующем виде:

$$\alpha(x_1) = 1 - \frac{E^*(x_1)}{E(x_1)},$$

где $E(x_1)$ и $E^*(x_1)$ — средние потоки энергии падающей и отраженной волн через плоскость $x = x_1$ [10].

По найденным расчетным или экспериментальным величинам активной и реактивной компонент безразмерного акустического импеданса слоя или конструкции значение коэффициента звукопоглощения может быть определено по формуле

$$\alpha = \frac{4X}{(X-1)^2 + Y^2}.$$

Поглощение тем выше, чем больше активная составляющая импеданса и меньше реактивная; при $Y = 0$, $X = 1$ достигается максимальное звукопоглощение, т. е. $\alpha_{\max} = 1$.

Существует три стандартных метода измерения коэффициента звукопоглощения материалов: в интерферометре (трубе Кундта); в импедансной трубе; в реверберационной камере [11].

Преимуществами измерения в импедансной трубе являются компактность установки (по сравнению с реверберационной камерой) и возможность автоматизации измерений (по сравнению с трубой Кундта). Поэтому была разработана установка на основе импедансной трубы для исследования акустических свойств материалов в воде [11].

Импедансная труба — это прямая цилиндрическая труба, состоящая из двух основных секций: передающей и принимающей. Образец тестируемого материала устанавливается на одном конце трубы (принимающей секции). Плоские звуковые волны генерируются в передающей секции трубы с помощью источника звука, закрепленного на другом конце трубы.

Стационарные плоские волны, создаваемые внутри импедансной трубы, измеряются гидрофонами в двух точках, расположенных между собой на расстояниях S и L от тестируемого материала.

Переменное избыточное давление, возникающее в упругой среде при прохождении через нее звуковой волны, можно записать как

$$P_1(f) = A(f) e^{ikx_1} + B(f) e^{-ikx_1};$$

$$P_2(f) = A(f) e^{ikx_2} + B(f) e^{-ikx_2};$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0},$$

где A и B зависят от частоты прямой и обратной волны; k — волновое число; P_1 , P_2 — сигнал, улавливаемый из двух гидрофонов [12]. Коэффициент отражения можно вычислить по измеренной передаточной функции между двумя гидрофонами. Передаточная функция H_{12} определяется в ПО Pulse Labshop.

В дальнейшем из передаточной функции легко получить коэффициент отражения $R(f)$ [10]:

$$R(f) = \frac{H_{12} - e^{iks}}{e^{iks} - H_{12}} e^{2ik(L+s)}. \quad (4)$$

При известном коэффициенте отражения определяются коэффициент звукопоглощения по формуле (2) и акустический импеданс по формуле (3):

$$\alpha(f) = 1 - |R(f)|^2 \quad (5)$$

и

$$z(f) = \rho_0 c_0 \frac{1 + R(f)}{1 - R(f)}$$

соответственно.

Поскольку создаваемые внутри импедансной трубы стационарные звуковые волны должны быть плоскими, вводятся ограничения на диапазон частотных измерений. Измерения должны проводиться в диапазоне (f_l, \dots, f_u) .

Верхний предел частот определяется из условия, что длина волны должна быть больше диаметра трубы:

$$f_u < 0,58 \frac{c}{d}, \quad (6)$$

где c — скорость звука в воде; d — диаметр трубы.

Верхний предел частот также ограничен расстоянием s между гидрофонами:

$$f_u < 0,45 \frac{c}{s}. \quad (7)$$

Нижний предел частот ограничен так, чтобы можно было различить значения звуковых давлений, измеряемых в точках расположения гидрофонов:

$$f_l > 0,05 \frac{c}{s}. \quad (8)$$

Установка (рис. 3) состоит из импедансной трубы 1, четырехканального предварительного кондиционирующего усилителя 2, усилителя мощности 8 и контроллера фирмы Bruel & Kjaer типа LanXI с компьютером 3 с ПО B&K Pulse Labshop. Импедансная труба заполнена водой. На дне стоит источник звуковых колебаний 4 — гидрофон типа 8103 фирмы Bruel & Kjaer. Сверху установлен исследуемый образец 7, а от него на расстоянии l и $(l + s)$ стоят два гидрофона 5 и 6 типа 8104 фирмы Bruel & Kjaer.

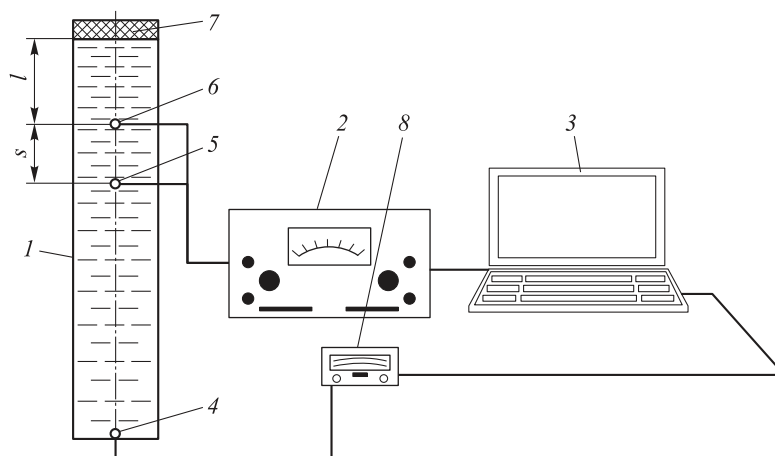


Рис. 3. Схема установки

Данная установка позволяет создавать стационарные плоские звуковые волны внутри импедансной трубы и измерять передаточную функцию между двумя гидрофонами. Из передаточной функции можно легко получить акустические свойства тестируемого образца: коэффициенты отражения $R(f)$, звукопоглощения $a(f)$ и акустический импеданс $Z(f)$.

Технические характеристики установки

Диаметр трубы d , м.....	0,1
Длина трубы H , м.....	1,7
Верхний предел измерений f_u , Гц.....	8578
Нижний предел измерений f_b , Гц.....	739
Расстояние между гидрофонами s , м.....	0,1

Проверим верхний и нижний пределы измерений. Согласно формулам (6)–(8), получим: $f_u < 0,58 c/d = 0,58 \cdot 1479/0,1 = 8578$; $f_u < 0,458 c/d = 0,458 \cdot 1479/0,1 = 6655$; $f_b < 0,05 c/d = 0,05 \cdot 1479/0,1 = 739$.

Отметим, что большую роль при измерениях в импедансной трубе играет скорость звука в воде. Она зависит от таких факторов, как температура воды, давление, солесодержание, загазованность и т. п.

Поскольку очень сложно одновременно учесть все эти параметры, было принято решение, что скорость звука следует измерять перед экспериментами.

Данный метод основан на явлении резонанса. Когда на длине трубы укладывается половина звуковой волны, что происходит при совпадении частоты внешнего воздействия динамика с основной частотой данной акустической системы, или кратное число половин, наблюдается увеличение акустического отклика системы в результате образования стоячих волн. Определение скорости звука в настоящей работе основано на измерении разностей двух соседних частот, для которых имеет место усиление сигнала на приемнике звука [12].

Условие возникновения резонанса следующее:

$$L = m \frac{\lambda}{2} = m \frac{c}{2f_m} = (m + 1) \frac{c}{2f_{m+1}},$$

где L — длина трубы; m — целое число; λ — длина волны; c — скорость звука. Из этой формулы можно выразить скорость звука

$$c_m = 2(f_{m+1} - f_m)L. \quad (9)$$

Таким образом, определяя набор частот, на которых происходит усиление звуковых колебаний в некотором частотном диапазоне, и зная длину трубы по формуле (9), можно определить скорость звука.

Исследуемые материалы. В качестве исследуемых выбраны образцы материалов, доступных в широкой продаже и имеющих достаточные характеристики звукопоглощения (по результатам предварительного анализа литературы).

Для сравнения результатов толщина образцов всегда была равна 60 мм. Общий вид образцов изделий показан на рис. 4, среди них можно выделить: экструдированные пенополистиролы фирм Ravatherm (а), URSA (б) и Пеноплекс (в), а также смесь древесной стружки и цемента (г).

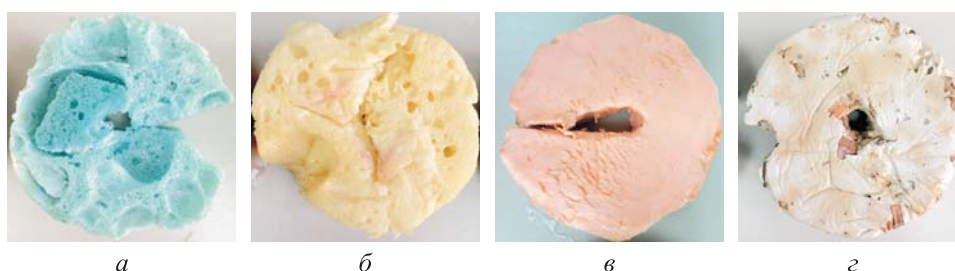


Рис. 4. Образцы исследуемых материалов в импедансной трубе

Результаты экспериментальных исследований. Сначала была измерена скорость звука в воде по методике, описанной в предыдущем разделе.

При определении скорости звука на компьютере с помощью ПО Pulse Labshop генерировался гармонический сигнал с частотой 500 Гц, он через усилитель подавался на динамик в трубе. Затем плавно увеличивая частоту до 3000 Гц и следя за откликом гидрофона L , определяли набор частот f_i , на которых происходит усиление звуковых колебаний. Результаты измерений следующие:

щие: $f_1 = 570$ Гц, $f_2 = 1010$ Гц, $f_3 = 1460$ Гц, $f_{41} = 1880$ Гц, $f_{51} = 2310$ Гц, $f_{61} = 2745$ Гц; при этом $c_1 = 1496$ м/с, $c_{21} = 1530$ м/с, $c_{31} = 1428$ м/с, $c_{41} = 1462$ м/с, $c_{51} = 1479$ м/с.

Далее для каждой пары соседних частот рассчитывали скорость звука c_i по формуле (9). В качестве скорости звука принимали среднее значение найденных скоростей $c = 1479$ м/с.

После того как измерена скорость звука, непосредственно определяют акустические характеристики тестируемого образца. Измерения проводились в диапазоне от 500 до 3000 Гц с шагом 500 Гц. В ПО Pulse Labshop измерялись амплитуда $|H_{12}(f)|$ и фаза $phase(f)$ передаточной функции между гидрофонами 5 и 6 (см. рис. 3).

Затем представив передаточную функцию в виде

$$H_{12} = |H_{12}| e^{i \times phase(f)},$$

по формулам (3)–(5) получили зависимость коэффициента звукопоглощения $a(f)$ от частоты звуковых колебаний.

Отметим, что при всех вычислениях учитывалось, что волновое число

$$k = \frac{2\pi f}{c},$$

где $c = 1479$ м/с — найденная ранее скорость звука.

Результат экспериментального определения звукопоглощения приведен на рис. 5.

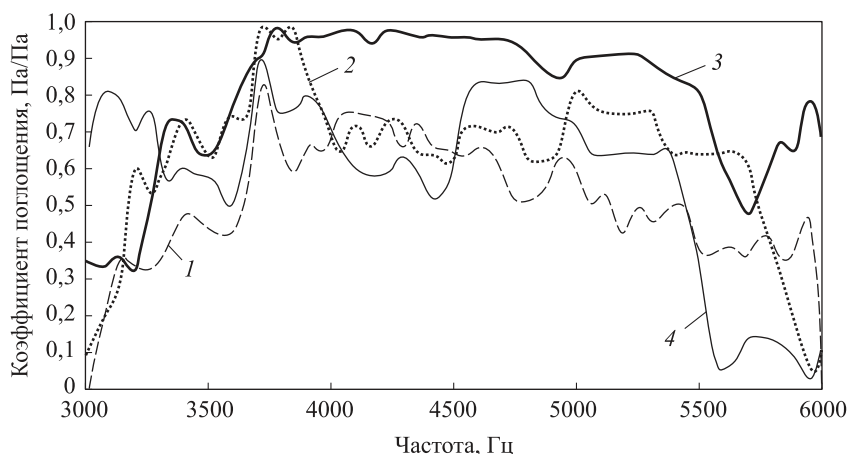


Рис. 5. Коэффициенты звукопоглощения для различных материалов:
1–3 — голубой, желтый, красный пенопласт; 4 — бетон

Сравнивая полученные результаты, выявили, что образцы из экструдированного пенополистирола фирм Ravatherm и URSA имеют самые низкие качества звукопоглощения из рассмотренного списка образцов. Средний коэффициент звукопоглощения для данного материала составляет 0,5–0,7. Также следует отметить его крайне низкую эффективность на границах диапазона измерений.

Образец фирмы Пеноплекс имеет наилучшие характеристики среди указанных материалов. Средний коэффициент звукопоглощения во всем диапазоне измерений составляет 0,75–0,85. При этом в диапазоне частот от 3700 до 5500 Гц коэффициент звукопоглощения превышает 0,9, что означает практически полное поглощение звука. На границах диапазона измерений коэффициент звукопоглощения составляет 0,4–0,7.

Образец из смеси древесной стружки и цемента имеет хорошие показатели по звукопоглощению в диапазоне частот от 3000 до 5500 Гц, средний коэффициент звукопоглощения в данном диапазоне частот составляет 0,7, однако на высоких частотах его эффективность снижается практически до нуля.

Заключение. Рассмотрен метод определения акустических характеристик материалов в гидроакустической импедансной трубе со средой распространения звука — водой. Собрана установка для определения гидроакустических характеристик материалов методом двух микрофонов (гидрофонов). Получены зависимости коэффициента звукопоглощения образцов из экструдированного пенополистирола фирм Ravatherm, URSA и Пеноплекс, смеси древесной стружки и цемента. Установлено, что из указанного перечня лучшие свойства имеет образец фирмы Пеноплекс. При этом дополнительное звукопоглощение этим материалом может быть обеспечено путем устройства облицовочных панелей, выполненных в виде набора конусов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Scott Sutherland Corbett III.* A two hydrophone technique for measuring the complex reflectivity of materials in water filled tubes. Technical Memorandum TM 82-246. Pennsylvania State University, 1982.
2. *Muggleton J.M., Pinnington P.J.* A low frequency anechoic lining for underwater use // *J. Sound and Vibration.* 1990. Vol. 143. No. 2. P. 183–197. DOI: 10.1016/0022-460X(90)90949-Z
3. *Darner C.L.* An anechoic tank for underwater sound measurements under high hydrostatic pressures // *JASA.* 1954. Vol. 26. No. 1. P. 221–222. DOI: 10.1121/1.1917828
4. *Tamarkin P., Eby R.K.* Tank wall lining for underwater sound use // *JASA.* 1955. Vol. 27. No. 4. P. 692–698. DOI: 10.1121/1.1907997
5. *Mason W.P., Hibbard F.H.* Absorbing media for underwater sound measuring tanks and baffles // *JASA.* 1948. Vol. 20. No. 4. P. 476–482. DOI: 10.1121/1.1906400
6. *Bjorno L., Kjeldgaard M.* A wide frequency band anechoic water tank // *Acta Acustica.* 1975. Vol. 32. No. 2. P. 103–109.
7. *Cheng G., He D., Shu G.* Underwater sound absorption property of porous aluminum // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2001. Vol. 179. No. 2-3. P. 191–194. DOI: 10.1016/S0927-7757(00)00656-7
8. *Мунин А.Г., ред.* Авиационная акустика. Ч. 1. Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1968. 242 с.
9. *Иголкин А.А., Гаспаров С.С.* Программа для измерений акустических свойств звукопоглощающих материалов в импедансной трубе // *Сб. трудов IX Междунар. науч.-практ. конф.* 2010. С. 496–498.

10. *Chung J.Y., Blaser D.A.* Transfer function method of measuring in-duct. acoustic properties I. Theory. II. Experiment // *J. Acoust. Soc. Am.* 1980. Vol. 68. No. 3. P. 907–921.

DOI: 10.1121/1.384778 DOI: 10.1121/1.384779

URL: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.384778> <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.384779>

11. *Wolkesson M.* Evaluation of impedance tube methods — a two microphone in-situ method for road surfaces and the three microphone transfer function method for porous materials. Master's thesis. Chalmers University of Technology, 2013. 81 p.

12. *Кузнецова И.В.* Определение скорости звука методом стоячих волн в трубе. Общий физический практикум. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 25 с.

Иванов Михаил Витальевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Гаврильев Степан Андреевич — аспирант кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Трофимов Сахамин Александрович — магистр кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Ксенофонтов Борис Семенович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Иванова Ольга Алексеевна — аспирантка кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Иванов М.В., Гаврильев С.А., Трофимов С.А., Ксенофонтов Б.С., Иванова О.А. Исследование гидроакустических свойств материалов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение.* 2018. № 4. С. 71–83. DOI: 10.18698/0236-3941-2018-4-71-83

INVESTIGATING HYDROACOUSTIC PROPERTIES OF MATERIALS

M.V. Ivanov

mivanov2005@mail.ru

S.A. Gavril'ev

stepan.tab92@gmail.com

S.A. Trofimov

mivanov2005@mail.ru

B.S. Ksenofontov

borisflot@mail.ru

O.A. Ivanova

o.ivanova@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study deals with designing an impedance tube for investigating acoustic reflectivity, acoustic absorption coefficient and acoustic impedance of various materials when used underwater. We employed our installation to

Keywords

Hydroacoustics, impedance tube, anechoic chamber

determine hydroacoustic properties of the following soundproofing materials: three types of extruded polystyrene foam as well as a mixture of cement and wood chips. We describe our methods of conducting experiments, calibrating equipment and reducing instrument errors in measurement. We show that certain samples of extruded polystyrene foam have high acoustic absorption coefficients (up to 0.9) in the 3 to 6 kHz frequency range. We provide recommendations for using these materials to create underwater anechoic chambers

Received 05.04.2017
© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] Scott Sutherland Corbett III. A two hydrophone technique for measuring the complex reflectivity of materials in water filled tubes. Technical Memorandum TM 82-246. Pennsylvania State University, 1982.
- [2] Muggleton J.M., Pinnington P.J. A low frequency anechoic lining for underwater use. *J. Sound and Vibration*, 1990, vol. 143, no. 2, pp. 183–197. DOI: 10.1016/0022-460X(90)90949-Z
- [3] Darner C.L. An anechoic tank for underwater sound measurements under high hydrostatic pressures. *JASA*, 1954, vol. 26, no. 1, pp. 221–222. DOI: 10.1121/1.1917828
- [4] Tamarkin P., Eby R.K. Tank wall lining for underwater sound use. *JASA*, 1955, vol. 27, no. 4, pp. 692–698. DOI: 10.1121/1.1907997
- [5] Mason W.P., Hibbard F.H. Absorbing media for underwater sound measuring tanks and baffles. *JASA*, 1948, vol. 20, no. 4, pp. 476–482. DOI: 10.1121/1.1906400
- [6] Bjorno L., Kjeldgaard M. A wide frequency band anechoic water tank. *Acta Acustica*, 1975, vol. 32, no. 2, pp. 103–109.
- [7] Cheng G., He D., Shu G. Underwater sound absorption property of porous aluminum. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2001, vol. 179, no. 2-3, pp. 191–194. DOI: 10.1016/S0927-7757(00)00656-7
- [8] Munin A.G., ed. *Aviatsionnaya akustika. Ch. 1. Shum na mestnosti dozvukovykh passazhirskikh samoletov i vertoletov* [Aviation acoustics. P. 1. Subsonic passenger aircraft and helicopters afield noise]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 242 p.
- [9] Igolkin A.A., Gasparov S.S. Program for measuring the acoustic properties of sound absorbing materials in the impedance tube. *Sb. trudov IX Mezhd. nauch.-prakt. konf* [Proc. IX Int. Sci.-Pract. Conf.], 2010, pp. 496–498 (in Russ.).
- [10] Chung J.Y., Blaser D.A. Transfer function method of measuring in-duct. Acoustic properties. I. Theory. II. Experiment. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1980, vol. 68, no. 3, pp. 907–921. DOI: 10.1121/1.384778 DOI: 10.1121/1.384779 Available at: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.384778> <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.384779>
- [11] Wolkesson M. Evaluation of impedance tube methods — a two microphone in-situ method for road surfaces and the three microphone transfer function method for porous materials. Master's thesis. Chalmers University of Technology, 2013. 81 p.
- [12] Kuznetsova I.V. *Opreделение skorosti zvuka metodom stoyachikh voln v trube. Obshchiy fizicheskii praktikum* [Determination of the sound velocity using standing waves method in tube. General physics practicum]. Moscow, Lomonosov MSU Publ., 2012. 25 p.

Ivanov M.V. — Cand. Sc. (Eng.), Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Gavril'ev S.A. — post-graduate student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Trofimov S.A. — Master's Degree student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Ksenofontov B.S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Ivanova O.A. — post-graduate student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Ivanov M.V., Gavril'ev S.A., Trofimov S.A., Ksenofontov B.S., Ivanova O.A. Investigating Hydroacoustic Properties of Materials. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostroy.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2018, no. 4, pp. 71–83 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2018-4-71-83