

УДК 532.546

ХУСАИНОВ И.Г., д.ф.-м.н., профессор, профессор, СФ БашГУ
ХУСАИНОВА Г.Я., к.ф.-м.н., доцент, доцент, СФ БашГУ
г. Стерлитамак

ОТРАЖЕНИЯ ВОЛНОВОГО ИМПУЛЬСА ОТ ГРАНИЦЫ ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ

Строительство моста — это процесс, который оказывает очень сильное влияние на экологию. В ходе этого мероприятия происходит загрязнение окружающей среды транспортными средствами и людьми, вовлеченными в строительство. Строительство моста требует расходования природных ресурсов: песка, леса, воды и т.п. Иногда это приносит большой вред окружающей среде. В связи с этим крайне важны правильная эксплуатация и содержание моста. Для увеличения срока эксплуатации в данной работе предлагается использовать материал типа пенопласт [1].

На опоры моста постоянно действуют волны давления, которые распространяются по воде (например, когда недалеко от моста проплывает судно). Опоры моста можно защитить упомянутым выше материалом типа пенопласт.

Как правило, при демонтаже железных и бетонных опор мостов применяют взрывчатые заряды. От действия ударных волн погибают рыбы, уничтожается фауна и т.п. Пористые среды широко применяются для защиты фауны и гидротехнических сооружений от действия ударной волны, образующейся при подводном взрыве зарядов взрывчатых веществ.

В данной работе рассмотрено поведение импульса давления при преодолении преграды из пористого материала типа пенопласт, который расположен в воде. Исследования показали, что величина амплитуды импульса давления, преодолевшего преграду, уменьшается почти в десятки раз.

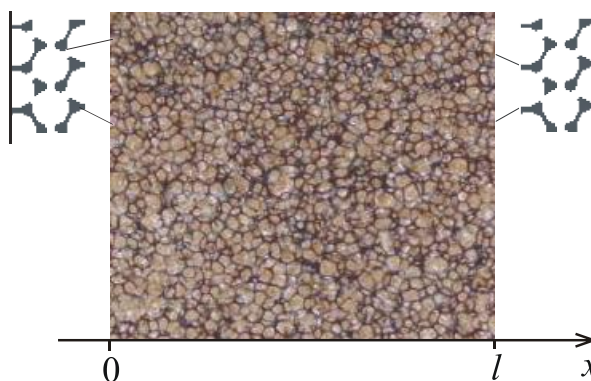


Рисунок 1. Изображение пористой преграды

Рассмотрим импульс давления, который распространяется по жидкости и перпендикулярно падает на плоскую границу преграды из пенопласта. Отметим, что пенопласт насыщен газом (см. рис. 1). Толщина преграды из пенопласта равна l , а остальные параметры являются достаточно большими и позволя-

ют не принимать во внимание краевые эффекты. Поверхность преграды из пенопласта, на которую непосредственно падает волна, является первой границей, а противоположная поверхность преграды, которая расположена на расстоянии l , — это вторая граница.

Для того, чтобы анализировать распространение волны в преграде из пенопласта, будем считать, что длина волны намного больше радиуса пор, — и в то же время она меньше длины l . Известно, что распространение волны в материале типа пенопласт описывается с использованием дисперсионного уравнения. В данном случае будем использовать уравнение, полученное в изученном источнике [2].

Когда импульс давления падает на границу преграды из пенопласта, он частично отражается от первой границы, а частично проходит через неё. Найдем коэффициенты отражения и прохождения волны. С этой целью исследуем прохождение гармонической волны через преграду из пенопласта.

Плоская гармоническая волна падает перпендикулярно на первую границу преграды из пенопласта. Круговая частота волны равна ω . Движение слева от первой границы преграды из пенопласта представляет собой сумму двух волн: первая — это падающая волна, а вторая — отраженная. Давление и скорость падающей и отраженной волн определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} p_e^{(o)} &= A_{p,e}^{(o)} \exp[i \cdot (K_e x - \omega \cdot t)], \quad v_e^{(o)} = A_{v,e}^{(o)} \exp[i \cdot (K_e x - \omega \cdot t)], \\ p_e^{(r)} &= A_{p,e}^{(r)} \exp[i \cdot (-K_e x - \omega \cdot t)], \quad v_e^{(r)} = A_{v,e}^{(r)} \exp[i \cdot (-K_e x - \omega \cdot t)]. \end{aligned} \quad (1)$$

Нижний индекс e относится к параметрам исходной волны, которая распространяется по жидкости и падает на первую границу. Верхние индексы o, r относятся к параметрам падающей и отраженной волн. Из изученного источника известно [2], что амплитуды скорости $A_{v,e}^{(m)}$ и давления $A_{p,e}^{(m)}$ ($m = o, r$) падающей и отраженной волн между собой связаны выражениями

$$A_{p,e}^{(o)} = \rho_{e0}^0 C_e A_{v,e}^{(o)}, \quad A_{p,e}^{(r)} = -\rho_{e0}^0 C_e A_{v,e}^{(r)}.$$

Здесь ρ_{e0}^0 — плотность жидкости, которая окружает преграду из пенопласта, C_e — скорость движения волны в жидкости, а K_e — волновое число.

Когда волна падает на первую границу преграды из пенопласта, то в жидкости возникает отраженная волна, а внутри пенопласта — прошедшая волна. Причем прошедшая волна делится на две волны — «быструю» и «медленную». Чтобы определить коэффициенты отражения и прохождения, рассмотрим граничные условия. Число граничных условий равно числу возникающих волн, т.е., в данном случае, трем. На первой границе $x = 0$ должны выполняться условия [3, 4]:

- 1) равенство скоростей жидкости и скелета пенопласта:

$$v_e = v_s \quad (2),$$

2) отсутствие относительного движения газа внутри пор и самого скелета пенопласта:

$$v_g - v_s = 0 \quad (3),$$

3) равенство сил слева и справа на первой границе пенопласта:

$$p_e = -\sigma_s^* + p_g \quad (4).$$

Здесь $p_e = p_e^{(0)} + p_e^{(r)}$, $v_e = v_e^{(0)} + v_e^{(r)}$ – суммарные изменения давления и скорости на первой границе со стороны жидкости.

Суммарные изменения эффективного напряжения в скелете пенопласта и давления в газовой фазе находятся из выражений:

$$\begin{aligned} \sigma_s^* &= [A_{\sigma,a} \exp(iK_a x) + A_{\sigma,b} \exp(iK_b x)] \exp(-i\omega t), \\ p_g &= [A_{p,a} \exp(iK_a x) + A_{p,b} \exp(iK_b x)] \exp(-i\omega t). \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $A_{\sigma,a}$, $A_{p,a}$ и $A_{\sigma,b}$, $A_{p,b}$ – соответственно амплитуды напряжения и давления «быстрой» и «медленной» волн, распространяющихся по скелету и газовой фазе. Нижние индексы a и b соответствуют параметрам «быстрой» и «медленной» волн. Волновые числа для «быстрой» и «медленной» волн K_a и K_b определяются из дисперсионного уравнения [2].

Суммарные скорости движения скелета пенопласта и газа в порах определяются из соотношений:

$$\begin{aligned} v_s &= [A_{s,a} \exp(iK_a x) + A_{s,b} \exp(iK_b x)] \exp(-i\omega t), \\ v_g &= [A_{g,a} \exp(iK_a x) + A_{g,b} \exp(iK_b x)] \exp(-i\omega t). \end{aligned} \quad (6)$$

Из граничных условий (2)-(4) можно найти коэффициенты отражения и прохождения как «медленной», так и «быстрой» волн.

Численно исследовались процессы отражения и прохождения волн давления через преграду из пенопласта. Расчеты приведены на рис. 2. Слева от первой границы раздела «вода – преграда из пенопласта» падает волна давления, которая получена с помощью выражения:

$$\Delta P = \exp \left(- \left(\frac{t - t_m}{t_* / 2} \right)^2 \right). \quad (7)$$

Здесь t_* и t_m – временная протяженность импульса и время достижения максимального значения амплитуды импульса соответственно.

Осциллограммы D_1 и D_2 на рис. 2 соответствуют показаниям датчиков D_1 и D_2 , которые расположены перед первой границей преграды из пенопласта и после второй границы преграды из пенопласта. Датчик D_1 фиксирует падаю-

щий и отраженный от первой границы преграды из пенопласта импульсы давления, а датчик D_2 – импульс, который прошел через вторую границу преграды.

Отсюда можно сделать вывод, что поведение импульса давления зависит от исходной объемной доли газа α_{g0} . Получено, что увеличение α_{g0} от 50% до 90% приводит к уменьшению амплитуды импульса, прошедшего через преграду, от 40% до 10% от исходной амплитуды.

Итак, используя предложенную математическую модель, можно найти параметры преграды из пенопласта для наилучшей защиты различных объектов от действия ударной волны.

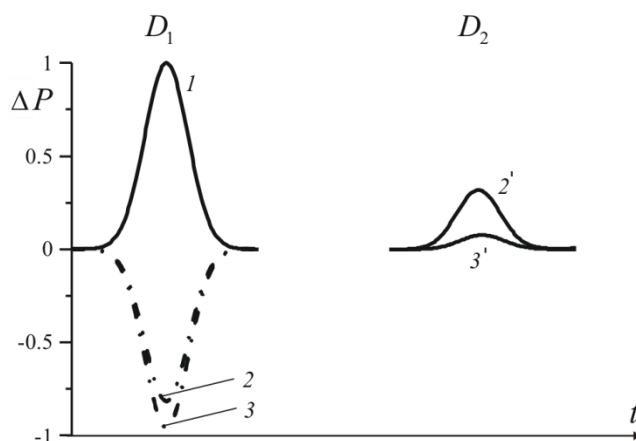


Рисунок 2. Поведение импульса давления, который падает на первую границу преграды из пенопласта.

Условные обозначения: линия 1 – падающий импульс, линии 2 и 3 – отраженные импульсы, линии 2' и 3' – прошедшие через вторую границу преграды из пенопласта импульсы. Линиям 2 и 2' соответствует $\alpha_{g0} = 0.5$, а линиям 3 и 3' –

$$\alpha_{g0} = 0.9.$$

Список литературы:

1. Экологи встревожены нарушениями при строительстве моста Седанка-Де-Фриз // Экология производства [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://www.ecoindustry.ru/news/view/25328.html>
2. Дмитриев В.Л., Хусаинов И.Г. Исследование эволюции волнового импульса при прохождении через пористую преграду // Прикладная механика и техническая физика. - 2011. - Т. 52. - №5. - С.136-145.
3. Хусаинов И.Г. Защита фауны от ударных волн с помощью пористой преграды // В сборнике: Глобализация экологических проблем: прошлое, настоящее и будущее сборник материалов заочной международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 121-123.
4. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. – М.: Наука, – 1978. – 336 с.