

## Об экспериментальном методе определения коэффициента демпфирования разделителя двусвязной жидкости в баке

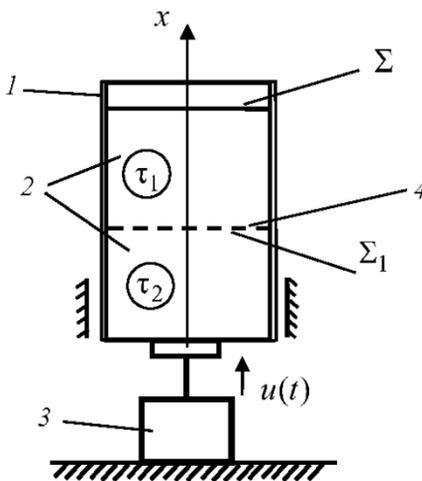
© Д.А. Гончаров, А.А. Пожалостин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты экспериментального исследования по определению коэффициента демпфирования в жестком цилиндрическом баке с проницаемым разделителем между двумя слоями жидкости. Разработана установка для возбуждения симметричных колебаний жидкости в баке. Впервые получена аналитическая зависимость по определению коэффициента демпфирования на основе точного аналитического решения соответствующей краевой задачи.*

**Ключевые слова:** идеальная жидкость, осесимметричные колебания, вязкое сопротивление, коэффициент демпфирования.

**Введение.** Спроектирована, изготовлена и отлажена установка для возбуждения симметричных колебаний идеальной жидкости в цилиндрическом жестком баке, в котором между двумя слоями жидкости помещен проницаемый разделитель. В состав экспериментальной установки для возбуждения симметричных колебаний жидкости в баке (рис. 1) входят: вертикальный бак 1, жидкость 2 плотностью  $\rho$ , силовой возбудитель 3 вынужденных колебаний, разделитель 4 слоев жидкости. Бак считается абсолютно жестким цилиндром радиусом  $R$ . Разделитель — жесткая пластина из проницаемого материала с отверстиями (рис. 2).



**Рис. 1.** Экспериментальная установка:

$\Sigma$  — поверхность верхнего слоя жидкости;  $\Sigma_1$  — поверхность разделителя

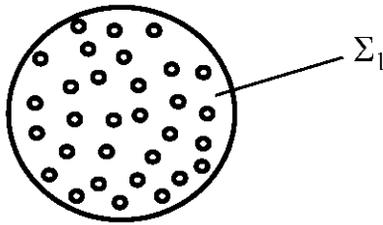


Рис. 2. Разделитель слоев жидкости

Предполагается, что сила вязкого сопротивления разделителя

$$F_c(r, t) = \gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} \Big|_{\Sigma_1}.$$

Жидкость считается идеальной, а ее движение — потенциальным с потенциалом  $\Phi_i(x, r, t)$  ( $i=1, 2$ ), где индекс  $i=1$  относится к некоторому объему жидкости  $\tau_1$  верхнего слоя, а индекс  $i=2$  — к некоторому объему жидкости  $\tau_2$  нижнего слоя (см. рис. 1).

Силовой возбудитель (см. рис. 1) задает баку с жидкостью возмущающее перемещение  $u(t) = u_0 \cos pt$  в вертикальном направлении, где  $u_0$  — амплитуда возмущающего перемещения,  $p$  — его частота.

**Экспериментальное определение коэффициента затухания.** Экспериментальное исследование симметричных колебаний системы проводится методом вынужденных колебаний. Эксперимент состоит из двух этапов. На первом этапе разделитель отсутствует. Для определения периода свободных колебаний  $T$  на экран компьютера выводят график функции  $S(t)$  (рис. 3). Здесь  $S(t)$  — временной множитель в формуле  $\Phi(x, r, t) = A \operatorname{ch}\left(\lambda \frac{x}{H}\right) J_0\left(\lambda \frac{r}{H}\right) S(t)$ , представляющей собой выражение потенциала скоростей для первого тона симметричных колебаний бака с жидкостью высотой  $H$  без разделителя, т. е. без сопротивления.

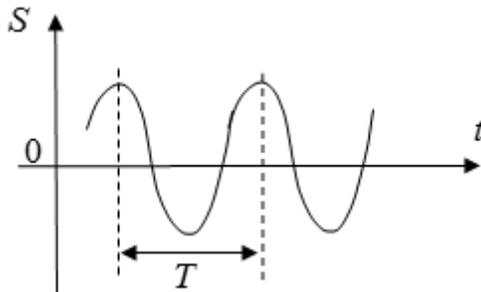


Рис. 3. К определению периода свободных колебаний

На втором этапе исследований в бак помещают разделитель (см. рис. 2), возбуждают осесимметричные колебания и определяют период  $T_1$  первого тона колебаний системы с сопротивлением. Полагая, что демпфирование линейно-вязкое, находим экспериментальное значение коэффициента затухания по следующей формуле [1]:

$$n_3 = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2},$$

где  $T_1 > T$ .

**Аналитическое определение коэффициента затухания.** Для определения коэффициента затухания  $n$  воспользуемся результатами работ [2–5]. Введем частотный параметр  $p = \alpha + i\beta$ . Временной множитель в потенциале скоростей  $\Phi(x, r, t)$  имеет вид

$$e^{ipt} = e^{-\beta t} e^{i\alpha t}.$$

Здесь первый множитель характеризует затухание колебаний, а второй определяет угловую частоту свободных колебаний системы. Отсюда следует, что коэффициент затухания  $n = \beta$ .

**Определение коэффициента демпфирования.** Искомый коэффициент демпфирования  $\gamma$  разделителя двух слоев жидкости в баке входит в выражение для определения  $\beta$ . На основании результатов работы [3] можно получить трансцендентное уравнение, содержащее величины  $\alpha$  и  $\beta$ . Запишем уравнение для первого тона колебаний:

$$2\alpha\beta\kappa_1 \operatorname{ch}\left(\lambda_1 \frac{h_2}{R}\right) - \xi_1 (\alpha^2 - \beta^2) \alpha \lambda_1 - 2\alpha\beta^2 \lambda_1 \xi_1 + 2\alpha\beta \operatorname{sh}\left(\lambda_1 \frac{h_1}{R}\right) \operatorname{sh}\left(\lambda_1 \frac{h_2}{R}\right) = 0, \quad (1)$$

где  $h_1, h_2$  — высоты соответственно верхнего и нижнего слоев жид-

кости в баке;  $\xi_1 = \frac{\gamma \operatorname{sh}\left(\lambda_1 \frac{h_1}{R}\right) \kappa_1}{\rho R (\alpha^2 + \beta^2)}$ ;  $\kappa_1 = \operatorname{ch}\left(\lambda_1 \frac{h_1}{R}\right) + g \frac{\lambda_1}{R} \operatorname{sh}\left(\lambda_1 \frac{h_1}{R}\right)$ .

Подставив в уравнение (1) вместо  $\alpha$  и  $\beta$  их значения, найденные экспериментально, т. е.  $\alpha = \omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$  и  $\beta = n_3$ , получим формулу для коэффициента демпфирования:

$$\gamma = 2\omega_1 n_3 \left[ \kappa_1 \operatorname{ch} \left( \lambda_1 \frac{h_2}{R} \right) + \operatorname{sh} \left( \lambda_1 \frac{h_1}{R} \right) \operatorname{sh} \left( \lambda_1 \frac{h_2}{R} \right) \right] \times \\ \times \left[ (\omega_1^2 - n_3^2) \omega_1 + 2\omega_1 n_3^2 \right] \lambda_1 \frac{\operatorname{sh} \left( \lambda_1 \frac{h_1}{R} \right)}{\rho R (\omega_1^2 + n_3^2)}. \quad (2)$$

**Заключение.** Впервые получено аналитическое выражение для определения коэффициента линейно-вязкого сопротивления пористой проницаемой перегородки, разделяющей вертикальный столб жидкости на два слоя. Экспериментально получено значение коэффициента затухания гидромеханической системы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Добронравов В.В., Никитин Н.Н., Дворников А.П. *Курс теоретической механики*. Москва, Высшая школа, 1968, 624 с.
- [2] Гончаров Д.А. Динамика двухслойной жидкости, разделенной упругой перегородкой с учетом сил поверхностного натяжения. *Наука и образование. Электронное научно-техническое издание*, 2013, № 1. DOI:10.7463/1113.0619258
- [3] Пожалостин А.А. Свободные колебания жидкости в жестком круговом цилиндрическом сосуде с упругим плоским дном. *Известия высших учебных заведений. Сер. Авиационная техника*, 1963, № 4.
- [4] Пожалостин А.А., Гончаров Д.А., Кокушкин В.В. Малые колебания двухслойной жидкости с учетом проницаемости разделителя. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2014, № 5, с. 109–116.
- [5] Темнов А.Н., Тэйн У. Осесимметричные колебания оболочки, частично заполненной жидкостью, вытекающей через заборное устройство. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2008, № 1(70), с. 46–59.
- [6] Гончаров Д.А. Осесимметричные колебания двухплотностной жидкости в цилиндрическом баке. *Наука и образование. Электронное научно-техническое издание*, 2012, № 4. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/362856.html> (дата обращения 15.10.2014)

Статья поступила в редакцию 29.10.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Гончаров Д.А., Пожалостин А.А. Об экспериментальном методе определения коэффициента демпфирования разделителя двусвязной жидкости в баке. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 12.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1342.html>

**Гончаров Дмитрий Александрович** родился в 1988 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2011 г. Аспирант кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: гидродинамика и динамика космических аппаратов. e-mail: [goncharov@bmstu.ru](mailto:goncharov@bmstu.ru)

**Пожалостин Алексей Алексеевич** родился в 1940 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1963 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 печатных работ в области гидроупругости. Научные интересы: гидроупругость, теория колебаний. e-mail: a.pozhalostin@mail.ru

# An experimental method for determining the damping coefficient of the divider of two-coherent liquid in a tank

© D.A. Goncharov, A.A. Pozhalostin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article presents results of an experimental study on determination of damping coefficient in a rigid cylindrical tank with a permeable divider between two layers of liquid. We developed an installation for initiation of symmetric fluctuations of liquid in a tank. Analytical dependence for determination of damping coefficient on the basis of the exact analytical solution of the corresponding boundary problem is received for the first time.*

**Keywords:** ideal liquid, axisymmetric fluctuations, viscous resistance, damping coefficient.

## REFERENCES

- [1] Dobronravov V.V., Nikitin N.N., Dvornikov A.P. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki* [A Course of Theoretical Mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1968, 624 p.
- [2] Goncharov D.A. *Nauka i obrazovanie. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie — Science and Education. Electronic Scientific and Technical Journal*, 2013, no. 1. DOI:10.7463/1113.0619258
- [3] Pozhalostin A.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Aviatsionnaya tekhnika — Russian Aeronautics*, 1963, no. 4.
- [4] Pozhalostin A.A., Goncharov D.A., Kokushkin V.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya Estestvennyye nauki — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural sciences*, 2014, no. 5, pp. 109–116.
- [5] Temnov A.N., Tane U. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Mashinostroenie — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering*, 2008, no. 1(70), pp. 46–59.
- [6] Goncharov D.A. *Nauka i obrazovanie. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie — Science and Education. Electronic Scientific and Technical Journal*, 2012, no. 4. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/362856.html> (accessed on 15.10.2014).

**Goncharov D.A.** (b. 1988) graduated with honor from Bauman Moscow State Technical University in 2011. Graduate student of the Theoretical Mechanics Department named after Professor N.E. Zhukovsky at Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of fluid dynamics and the dynamics of spacecraft. e-mail: [goncharov@bmstu.ru](mailto:goncharov@bmstu.ru)

**Pozhalostin A.A.** (b. 1940) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1963. Dr. Sci. (Eng.), professor of the Theoretical Mechanics Department named after Professor N.E. Zhukovsky at Bauman Moscow State Technical University. Author of over 150 publications in the field of hydroelasticity. Scientific interests include hydroelasticity, theory of vibrations. e-mail: [a.pozhalostin@mail.ru](mailto:a.pozhalostin@mail.ru)