

УДК 531

## ИЗУЧЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА

Студент гр. 10301321 Браим Д.О.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д.С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В данной работе измерялись моменты инерции емкости с жидкостью при различных массах жидкости в нем. Момент инерции – мера инертности тела при вращательном движении, зависит от распределения масс тела при вращении, и для твердого тела не зависит от скорости. Но при движении жидкость тоже может двигаться относительно стенок сосуда, и представляло интерес рассмотреть, как это влияет на момент инерции. Измерения проводились с помощью крутильного маятника, который представляет собой тело, закрепленное на упругом элементе в виде стальной проволоки и жестко закрепленной в кронштейнах. Из формулы для периода  $T$  крутильных колебаний:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{f}}$ , где  $I$  – момент инерции закрепленного тела и маятника,  $f$  – модуль кручения струны, можно вывести формулу для тела с неизвестным моментом инерции  $I_x$ :  $I_x = I \frac{T_x^2 - T^2}{T^2}$ . В последней формуле  $T_x$ ,  $I_x$  – период колебаний маятника с емкостью с водой, момент инерции, соответственно. Сосуд представлял собой цилиндр с внешним радиусом 3,65 см, и внутренним  $R=3,58$  см. Также оценивалась погрешность измерений:  $\Delta I_x = I_x \left\{ \frac{\Delta I}{I} + \frac{2\Delta T}{T} + 2 \frac{T_x \Delta T_x + T \Delta T}{T_x^2 - T^2} \right\}$ . Для различного количества воды, по измеренным периодам колебаний, по этой формуле рассчитывались моменты инерции  $I_x$ . Как показали измерения, период колебаний такого маятника заметно зависит от амплитуды колебаний. Поэтому, измерения периода колебаний проводились при амплитуде колебаний 10-20°. Результаты измерений  $I_x$  от массы всей воды с учетом погрешности представлены на рисунке 1.

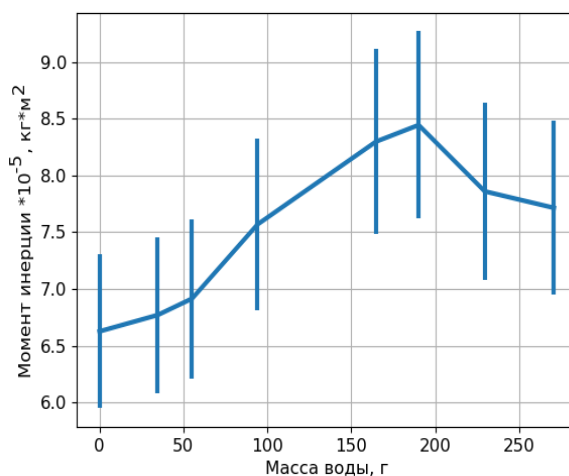


Рис. 1

Как видно из графика, момент инерции с возрастанием массы всей воды сначала возрастает, достигает максимума, затем уменьшается. Это можно объяснить особенностями движения воды в сосуде и силами внутреннего трения между слоями жидкости. Слой жидкости, примыкающий к внутренней поверхности цилиндра и его дну, прилипает к ней и движется вместе с цилиндром, а скорости внутренних последующих слоев жидкости уменьшаются по мере приближения к центру сосуда.

Часть жидкости близкая к стенкам увлекается сосудом в колебательное движение, другая часть, находящаяся ближе к центру, остается неподвижной и 'не отражается' на моменте инерции. Воду в цилиндре можно представить как толстостенный цилиндр и диск вблизи дна.  $I_x = \frac{m_1}{2} (R^2 + d^2) + \frac{m_2}{2} R^2$ ,  $m_1$  – масса воды в толстостенном цилиндре,  $m_2$  – масса воды вблизи дна,  $d$  –

эффективная толщина слоя вовлеченного в движение. По измеренной массе всей воды рассчитывалась высота  $h$  воды в цилиндре, затем по известным  $I_x$ , плотности воды  $\rho$ , решая алгебраическое уравнение:  $\frac{\pi\rho}{2}(h-d)(2Rd-d^2)(R^2-(R-d)^2+R^4d) = I_x$ , определялась эффективная толщина слоя  $d$ , вовлекаемая в движение.

#### Литература

1. Сивухин Д.В. Механика: учеб. пособие для вузов: в 5 т. / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1989. – 576 с.

УДК 531

### ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Студент гр. 10301221 Давыдкин Н.П.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д.С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Вязкость (коэффициент вязкости) – одна из важных характеристик воздуха, определяющая протекание в нем процессов переноса. Существуют несколько методов измерения вязкости воздуха: капиллярный, вибрационный, метод падающего шарика, ротационный метод вискозиметрии, ультразвуковой метод вискозиметрии [1]. Чаще всего используется капиллярный метод, опирающийся на закон Пуазейля о вязкой жидкости, описывающий закономерности движения жидкости в капилляре. Прибор этого метода – газовый капиллярный вискозиметр. Он состоит из емкости для измерения количества протекающей через капилляр жидкости,  $U$ -образной трубки, калиброванного капилляра диаметром  $0,3$ – $0,7$  мм, устройства для определения скорости течения жидкости. Вязкость определяется по времени протекания исследуемого газа через капилляр. Метод падающего шарика основан на законе Стокса, по которому вязкость измеряется по скорости, с которой шарик двигается в вязкой среде. Методы падающего шарика и ультразвуковой метод применимы для жидкостей. Ротационный метод (соосных цилиндров) заключается в том, что исследуемая вязкая среда помещается в зазор между цилиндрами, внутренний цилиндр вращается с постоянной скоростью, внешний цилиндр неподвижный. По измерению момента вращения, передаваемого через исследуемую среду неподвижному цилиндру, рассчитывается вязкость. В данной работе предлагается метод измерения вязкости воздуха на основе измерения периода затухающие колебаний математического маятника.

Математический маятник – это небольшое тело на невесомой нерастяжимой нити (рис. 1).

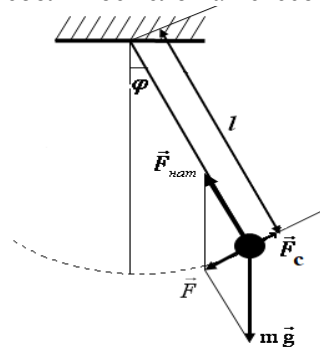


Рис. 1. Математический маятник

Уравнение движения математического маятника с учетом моментов силы тяжести, силы сопротивления:

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -mgl \sin \varphi - F_c l$$

где  $J$  – момент инерции маятника. Тело в данном случае представляет собой шарик радиусом  $r$ , и для силы сопротивления применима формула Стокса:  $F_c = 6\pi\eta r v$ ,  $v$  – линейная скорость шарика. Далее, стандартным способом, для малых колебаний  $\sin \varphi \approx \varphi$ ,  $J = ml^2$ ,  $v = l \frac{d\varphi}{dt}$  получим уравнение