

УДК 629.12.05

© Д. Г. Грязин

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПРИСОЕДИНЕННЫХ МАСС ВОДЫ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ВОЛНОМЕРНЫХ БУЕВ

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований значений присоединенных масс воды при вертикальных колебаниях волномерных буюв. На основе полученных результатов произведен расчет вертикальной качки буюв. Результаты расчета сопоставлены с экспериментальной характеристикой вертикальной качки, полученной в бассейне. Сравнение экспериментальной и расчетной кривых дает хорошие результаты. На основе результатов выполненной работы можно рекомендовать полученные значения присоединенных масс для использования в инженерных расчетах.

### ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным средством измерения характеристик морского волнения являются волномерные буюв. Эти приборы устанавливаются на акваториях морей и океанов и передают измерительную информацию по радио. Результаты измерений, полученные с помощью этих приборов содержат не только инструментальные, но и методические погрешности.

Одной из таких погрешностей является погрешность от вертикальной качки буюв. Под вертикальной качкой понимаются колебания буюв по вертикали относительно поверхности волны. Для расчета амплитудно-частотной характеристики вертикальной качки можно использовать дифференциальное уравнение

$$(m + \lambda)\ddot{\xi} + W\dot{\xi} + \rho g S \xi = \rho g s r e^{-Kz} \cos \omega t. \quad (1)$$

Здесь  $m$  — масса буюв,  $\lambda$  — присоединенная масса воды при вертикальных колебаниях буюв,  $W$  — коэффициент сопротивления,  $\rho$  — плотность воды,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $S$  — площадь сечения ватерлинии буюв,  $r$  — амплитуда волны,  $K = \frac{\omega^2}{g}$ ,  $\omega$  — круговая частота,  $\xi$  — мгновенное значение ординат вертикальных перемещений буюв,  $T$  — осадка буюв.

Для выполнения расчетов по выражению (1) значение присоединенной массы  $\lambda$  может быть получено по методикам, приведенным в справочной литературе [1, 2], либо определено экспериментально.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментального определения значения  $\lambda$  в бассейне были произведены записи затухающих вертикальных колебаний цилиндрических буюв трех типов при их различной массе рис. 1. Измерения производились с помощью установки, представленной на рис. 2. Чувствительным элементом этой установки является линейный потенциометр 1, который через редуктор 2 связан с барабаном 3, на котором намотана нить 4, подсоединенная одним концом к пружинному элементу 5, а другим к буюв. При колебаниях буюв на поверхности волны нить вращает барабан и разворачивает потенциометр, который преобразует величину вертикального перемещения буюв в электрический сигнал, регистрируемый самописцем. Во время проведения записей свободных колебаний буюв всех типов, для более точного определения значений присоединенных масс и коэффициентов сопротивления, измерения производились при каждой загрузке минимум 5 раз.

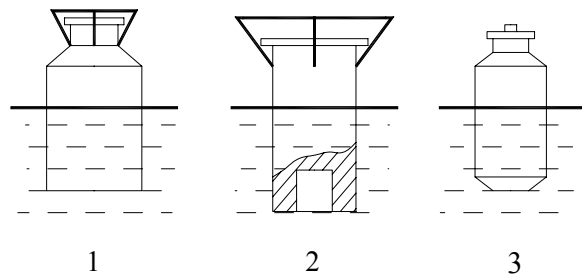
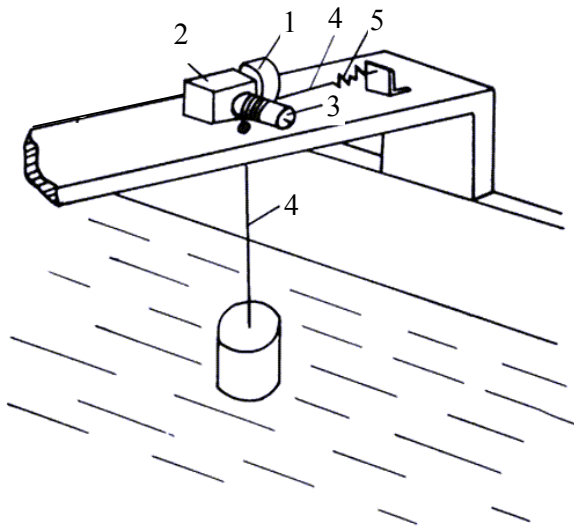


Рис. 1. Формы испытываемых буюв



**Рис. 2.** Установка для записи вертикальных перемещений буев

Для определения значения присоединенной массы воды  $\lambda$  воспользуемся выражением, связывающим ее с частотой собственных колебаний  $\omega$ :

$$\omega_c^2 = \frac{\rho g s}{m + \lambda}.$$

Результаты экспериментальных измерений приведены в таблице. Заметим, что при отсутствии экспериментальных данных в расчетах обычно применяют величины  $\lambda$ , полученные по методикам, приведенным в справочной литературе. В связи с этим произведем расчет величины присоединенной массы по указанным методикам и сравним его результаты со значениями, полученными экспериментально.

Расчет присоединенной массы воды при вертикальных колебаниях цилиндрических буев может быть выполнен по формуле для присоединенной массы диска, предложенной в [1]:

$$\lambda = \frac{8}{3} \rho R^3, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус диска.

В указанном справочнике для учета затекания жидкости по торцам, которое появляется при колебаниях цилиндрического буя, рекомендуется применять поправку Пабста. Приближенное значение поправки можно представить формулой

$$\mu(\lambda) = \frac{\lambda_1}{\sqrt{1 + \lambda_1^2}} \left( 1 - 0,425 \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1^2} \right),$$

где  $\lambda_1 = \frac{T}{b}$ ,  $T$  — осадка буя,  $b$  — его диаметр.

На эту поправку следует умножить значение присоединенной массы, полученной из выражения (2). В таблице представлены результаты расчета величины  $\lambda$ , сделанные по формуле (2), и значения поправки Пабста. Кроме того, в таблице приводятся значения передаточного коэффициента, полученные путем деления экспериментального значения  $\lambda$  на величину  $\lambda$ , рассчитанную по формуле (2).

Следует отметить, что значения коэффициентов присоединенных масс при колебаниях цилиндра, плавающего на поверхности воды, также приводятся в работе [2]. В таблице указаны значения этих коэффициентов для рассматриваемых буев и аналогичные предыдущим передаточные коэффициенты.

Очевидно, что значения коэффициентов  $\lambda$ , полученные экспериментально, лежат вблизи значений, рассчитанных различными способами. Сопоставление их значений показывает, что наибольшее совпадение экспериментально полученные величины  $\lambda$  имеют со значениями коэффициентов, указанными в работе [2], а также рассчитанными по формуле (2) без учета поправки Пабста. Кроме того, хорошее совпадение имеют значения  $\lambda$ , рассчитанные по формуле (2) без учета поправки Пабста, с экспериментальными значениями  $\lambda$ , полученными для буя диаметром 0,34 м. Отметим, что этот буй по сравнению с другими имел в нижней части корпуса дополнительный конструктивный элемент, влияющий, по всей видимости, на значение присоединенной массы, которое для простого цилиндрического буя диаметром 0,34 м должно лежать в пределах 7–9 кг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, согласно которому для расчета присоединенных масс буев диаметром 0,3–0,44 м массой 24–36 кг целесообразно использовать данные из справочника А.И. Короткина, умножив их на поправочный коэффициент 0,855. В том случае, если в нижней части буя присутствуют дополнительные конструктивные элементы, следует воспользоваться для расчета формулой (2). Производить расчет величины  $\lambda$  с учетом поправки Пабста представляется нецелесообразным.

На основании уравнения (1) и экспериментально полученных значений присоединенных масс буев были произведены расчеты амплитудно-частотных характеристик вертикальной качки буев с указанными в таблице массо-габаритными характеристиками.

Сопоставление значений присоединенных масс, полученных экспериментально, с результатами расчета различными способами

| Параметры буя   |                               | Значения $\lambda$    |                      |                     | Передат. коэффициенты |                    |                       | $\omega_c$<br>(с <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|
|                 |                               | $\lambda$<br>ф-ла (2) | $\lambda$<br>экспер. | $\lambda$<br>из [2] | Поправка<br>ф-лы (2)  | Поправка<br>Пабста | Поправка<br>расч. [2] |                                  |
| $R =$<br>0,22 м | $m = 36$ кг,<br>$T = 0,236$ м | 28,4                  | 22,0                 | 25,7                | 0,7                   | 0,4                | 0,8                   | 5,07                             |
|                 | $m = 28$ кг,<br>$T = 0,184$ м | 28,4                  | 22,8                 | 25,3                | 0,8                   | 0,3                | 0,9                   | 5,42                             |
|                 | $m = 22$ кг,<br>$T = 0,144$ м | 28,4                  | 23,6                 | 27                  | 0,8                   | 0,3                | 0,8                   | 5,71                             |
| $R =$<br>0,17 м | $m = 36$ кг,<br>$T = 0,4$ м   | 13,1                  | 13,5                 | 11                  | 1,0                   | 0,6                | 1,2                   | 4,24                             |
|                 | $m = 29$ кг,<br>$T = 0,32$ м  | 13,1                  | 13,4                 | 10                  | 1,0                   | 0,5                | 1,3                   | 4,58                             |
|                 | $m = 27$ кг,<br>$T = 0,3$ м   | 13,1                  | 13,8                 | 10,6                | 1,0                   | 0,5                | 1,3                   | 4,67                             |
| $R =$<br>0,15 м | $m = 21$ кг,<br>$T = 0,3$ м   | 9,0                   | 6,1                  | 7,2                 | 0,7                   | 0,6                | 0,8                   | 5,03                             |
|                 | $m = 17$ кг,<br>$T = 0,24$ м  | 9,0                   | 4,0                  | 7,6                 | 0,4                   | 0,5                | 0,5                   | 5,7                              |

Для проверки достоверности расчета в гидродинамическом экспериментальном бассейне были произведены экспериментальные записи амплитудно-частотных характеристик вертикальной качки указанных буев. На рис. 3 представлены расчетная и экспериментальная характеристики одного из буев. Сравнение характеристик показывает хорошую для инженерных расчетов точность.

Предложенные результаты исследований позволяют выполнить расчет погрешности данных волномерных буев от вертикальной качки и уточнить погрешность измерения ординат волнения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девнин С.И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций. Л.: Судостроение, 1983. 331 с.
2. Короткин А.И. Присоединенные массы судна. Справочник. Л.: Судостроение, 1986. 312 с.

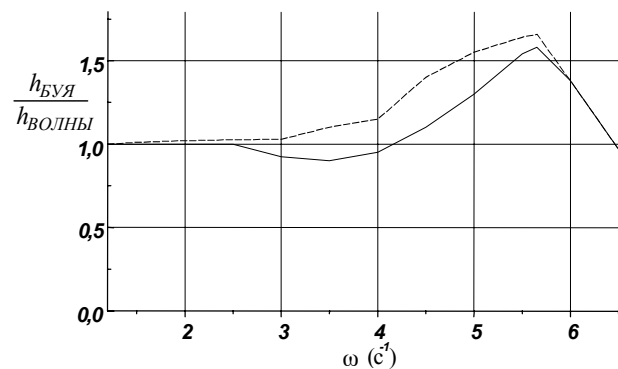


Рис. 3. Сравнение экспериментально полученной АЧХ вертикальной качки буя диаметром 0,44 м и массой 22 кг с расчетной характеристикой при крутизне волны (отношение высоты к длине) 1/40.  
 ————— экспериментальная характеристика.  
 - - - - - расчетная характеристика

Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (Технический университет)

Материал поступил в редакцию 05.04.2000.

## THE STUDY OF JOINED WATER MASS VALUES OF A WAVE-TRACKING HEAVING BUOY

**D. G. Gryazin**

*Saint-Petersburg State Institute of Fine Mechanics and Optics (Technical University)*

The most wide-spread facilities of sea chop features measurement are the wave-tracking buoys. These instruments are installed on water areas of seas and oceans and send data by the radio. Measurement results obtained with these instruments contain not only instrumental errors but truncation errors as well. One of such errors is an error caused by the buoy vertical rolling. By the vertical rolling we mean buoy fluctuations in vertical direction with regard to the wave surface.

For amplitude-frequency characteristic calculation of vertical rolling the differential equation of the second order is used. One component of this equation is the joined mass of water at buoy vertical fluctuations. The value of joined mass can be taken from hydrodynamics reference books but it should be refined. To make the reference data more precise an experiment in the pool was conducted on the definition of joined mass value of different buoy types. Obtained values were compared with data from the reference books and this has allowed us to correct the reference data.

On the base of obtained values of joined masses the calculation of buoy vertical rolling was made. Calculation results were compared with the experimental characteristic of vertical rolling obtained in the pool. The comparison of experimental and calculated curves gives good results. Based on the results of the work it is possible to recommend the obtained values of joined masses for using in calculations.