

УДК 629.12

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА КРЕНОВАНИЯ МОДЕЛИ СУДНА НА ВОДЕ И НАДУВНЫХ ОБОЛОЧКАХ

Жуков Алексей Владимирович¹, магистрант

e-mail: zukovaleksej225@gmail.com

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Статья посвящена сопоставлению результатов опыта кренования модели судна на воде и надувных оболочках. Оговорены методики и результаты проведенных испытаний. Оценена погрешность определения положения центра тяжести модели судна при креновании на надувных оболочках по сравнению с традиционным на воде. Процедура перемещения крен-балласта в ходе модельного эксперимента осуществлялась в соответствии с требованиями Российского Классификационного Общества. Показана удовлетворительная точность результата определения центра тяжести модели опыта кренования на оболочках по сравнению с аналогичным на воде

Ключевые слова: кренование, центр тяжести, надувные оболочки, модельные испытания, модель судна.

COMPARISON OF THE RESULTS OF THE EXPERIENCE OF HEELING A SHIP MODEL ON WATER AND INFLATABLE SHELLS

Aleksey V. Zhukov¹, Master's Degree student

e-mail: zukovaleksej225@gmail.com

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article is devoted to comparing the results of the experience of heeling a ship model on water and inflatable shells. The methods and results of the conducted tests are specified. The error in determining the position of the center of gravity of the ship model during heeling on inflatable shells compared with the traditional one on the water is estimated. The procedure for moving the roll ballast during the model experiment was carried out in accordance with the requirements of the Russian Classification Society. The satisfactory accuracy of the result of determining the center of gravity of the model of the heeling experiment on shells is shown in comparison with the same on water.

Keywords: heeling, center of gravity, inflatable shells, model tests, ship model.

Остойчивость судна — это одно из самых важных качеств судна, в процедуре оценивания, которого обязательно присутствует определение его центра тяжести. Предварительно центр тяжести судна определяют расчетом, а после постройки или

существенной модернизации обязательно предусматривается опыт кренования [1, 2]. Обычно опыт проводят водоизмещающем положении при нагрузке судна порожнем, что обязательно предусматривает обеспечение полной герметизации корпуса. В технических решениях [3, 4] предложен вариант ведения опыта кренования на надувных оболочках, который можно производить без полной герметизации корпуса судна. Возможность экспериментального определения центра тяжести судна до спуска на воду открывает возможность более раннего контроля фактического его расположения.

Целью исследования является оценка точности результатов опыта кренования на надувных оболочках по сравнению с традиционным на воде.

Для исследования точности сравниваемых опытов кренования была взята модель судна лабораторной установки опыта кренования на рисунке 1, в специальной, заполненной водой ванне.



Рисунок 1 – Лабораторная установка для опыта кренования модели судна на воде

Изначально был проведен эксперимент по определению центра тяжести модели в условиях лабораторной установки. Получено значение возвышения центра тяжести модели от ее основной плоскости (ОП)- 0,069 м.

Из патента № 2466900 РФ была взята основная информация для определения центра тяжести модели с помощью опыта кренования на поперечных надувных оболочках. Согласно данному патенту под судно, между расположенных под ним кильблоками симметрично от диаметральной плоскости (ДП) размещаются надувные оболочки и заполняются воздухом до тех пор, пока ОП судна не будет возвышаться над кильблоками на столько, чтобы при накренивании судна на предельно допустимое значение контакт днища судна и кильблоками отсутствовал. После чего в районе миделевого сечения со смещением к одному из бортов от ДП размещается груз с известным весом, что вызывает накренивание судна. После чего у каждой емкости измеряют пятно контакта, внутренне давление, ординату центра тяжести площади пятна контакта относительно ДП судна, после чего расчетным методом определяют результирующую сил реакции упругих эластичных емкостей, ординату точки приложения результирующей сил реакции упругих эластичных емкостей относительно ДП судна и далее вес судна и аппликату его центра тяжести. В

нашем исследовании было принято решение размещать грузы согласно схеме из Российского Классификационного Общества (РКО), так же было решено соединить оболочки трубкой для упрощения измерения давления и уменьшения погрешности при его измерении. Для измерения давления использовали U-образный манометр. Для опыта кренования на надувных оболочках были изготовлены надувные оболочки из полиэтилена посредством пайки. Также в оболочках были выполнены отверстия для трубок и ниппеля. Далее на плазе были размещены оболочки в пределах плоского днища модели судна. Днище модели судна было защищено стрейч плёнкой для нанесения краски, фиксирующей границу контакта оболочек с днищем. Изображение модели судна на накачанных воздухом оболочках приведено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Модель судна на накачанных воздухом поперечных оболочках

После каждого замера с модели снимали стрейч пленку для определения площадей надувных оболочек и ординату точки приложения результирующей сил. Всего было проведено три опыта согласно требованиям РКО (см. таблица 1)

Таблица 1. Размещение грузов согласно методике РКО

№ измерения	Порядок перемещения крен-балласта при четырех группах для борта	
	левого	правого
0	0204	1030
1	0004	1230
2	0000	1234
3	1000	0234
4	1030	0204
5	1230	0004
6	1234	0000
7	0234	1000
8	0204	1030

Для определения результирующей сил реакции упругих эластичных емкостей используется выражение:

$$\Delta = \sum p_i * F_i, \quad (1)$$

где Δ - результирующая сил реакции упругих эластичных емкостей из условия равновесия, т;

p_i – внутреннее давление воздуха в i – й емкости, т/м²;

F_i – площадь пятна контакта i – й емкости с днищем судна, м².

При этом ординату точки приложения результирующей сил реакции упругих эластичных емкостей относительно диаметральной плоскости (ДП) судна определяют, используя выражение:

$$e = \frac{\sum p_i * F_i * e_i}{\sum p_i * F_i}, \quad (2)$$

где e – ордината точки приложения результирующей сил реакции упругих эластичных емкостей относительно диаметральной плоскости судна, м;

e_i – ордината центра тяжести площади пятна контакта i -й емкости относительно диаметральной плоскости, м.

Для определения веса судна используют следующее выражение:

$$G = \Delta * \cos\theta - P, \quad (3)$$

где θ - угол крена судна в положении равновесия, рад;

P – вес крен-балласта, т.

Для нахождения аппликаты центра тяжести относительно ОП используют выражение:

$$Z_g = \frac{e - \frac{P}{\Delta} * (e_1 + H_{гр} * \theta)}{\theta * (1 - \frac{P}{\Delta})}, \quad (4)$$

где e_1 - величина смещения крен-балласта к борту от диаметральной плоскости судна, м;

$H_{гр}$ – аппликата центра тяжести крен-балласта относительно основной плоскости, м.

Итоговые значения по определению центров тяжести обоими методами кренования представлены на графике рисунка 3. Для упрощения восприятия результатов опыт кренования модели на воде представлен усредненным значением 69 мм (отметим, что два измерения, как грубые, пришлось исключить, а разбег оставшихся значений лежал в диапазоне ± 2 мм). Тривжды повторяемый опыт кренования на оболочках соответственно обозначен: Оболочка 1, Оболочка 2, Оболочка 3, а результат по этим 3 опытам – Оболочки 1+2+3.

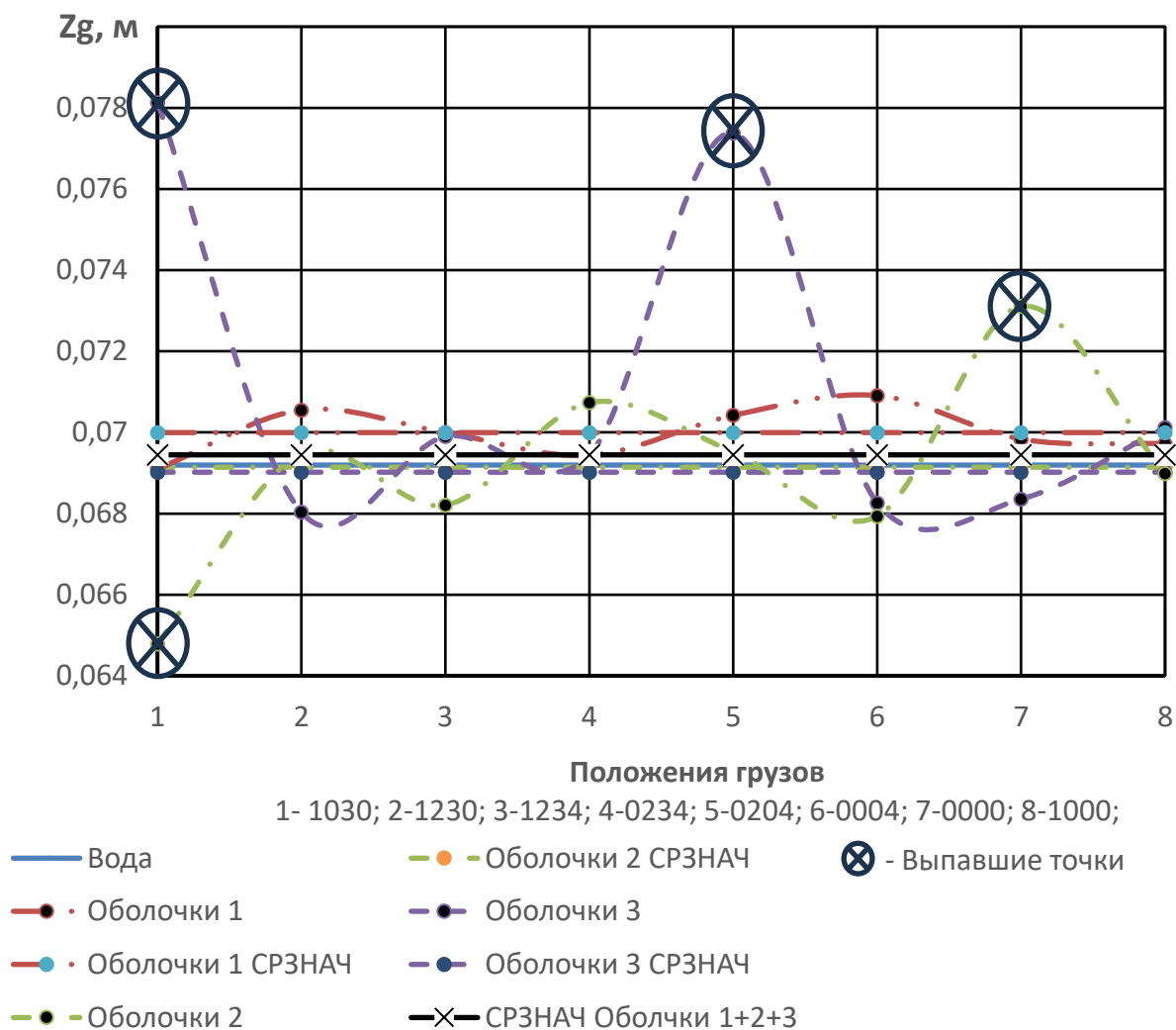


Рисунок 3 – Сравнение координат центров тяжести модели судна при креновании на воде и надувных оболочках

Из рисунка 3 видно, что после исключения точек с грубыми погрешностями значения точек центров тяжести в опыте кренования на надувных оболочках лежат в пределах $+2 \dots -1$ мм от усредненного значения результатов модели на воде. То есть имеем сопоставимую погрешность результатов в обоих вариантах опыта кренования.

Заключение

Результатом настоящего исследования является практическое подтверждение в модельном эксперименте равнозначности традиционного опыта кренования на воде и аналогичного на надувных оболочках. При этом в последнем случае возможно проведение опыта до герметизации корпуса и, возможно, по отдельным блокам корпуса, что позволит более ранее и точное определение центра тяжести вновь строящегося или модернизируемого судна.

Список литературы:

1. ФАУ «Российское Классификационное Общество». Правила классификации и постройки судов. – URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i->

[osvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/](https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru) (дата обращения 22.10.2025).

2. Классификационное общество Российский морской регистр судоходства. Руководство по техническому наблюдению за постройкой судов (раздел 2). – URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru> (дата обращения 22.10.2025).

3. Пат. № 2466900 Способ определения веса судна и аппликаты его центра тяжести: Российская Федерация, МПК В63В 9/08 / Аносов А. П., Шарапов Ю. К., Восковщук Н. И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ). — № 2011142210/11; заявл. 18.10.2011; опубл. 20.11.2012, бюл. № 32

4. Пат. № 114037 Устройство для определения и анализа массы судна МПК В63В 39/00 / Аносов А. П., Шарапов Ю. К., Восковщук Н. И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ). — № 2011142216/11, заявл. 18.10.2011; опубл. 10.03.2012, бюл. № 7

