

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ БАРЖИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ СБРОСЕ ОПОРНОГО БЛОКА БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ

Савинов В.Н.

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Минобразования и науки РФ», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), e-mail: babanov@nntu.ru*

Поставлен модельный эксперимент по определению параметров устойчивости «воза» баржа-блок для ряда положений спускаемого блока в направлении сброса. Проведено сопоставление результатов эксперимента с данными, полученными расчетом численным методом по программе «Sbros». Экспериментальный метод исследования предусматривал изготовление модели баржи в масштабе 1:100 и модели надстройки, позволяющей имитировать процесс перемещения блока по направляющим дорожкам баржи. Опыты по определению продольной и поперечной устойчивости «воза» проводились в опытовом бассейне университета. Эксперименты позволили установить факторы, влияющие на изменение продольной и поперечной метацентрических высот при продольном смещении блока. Анализ полученных результатов эксперимента показал, что они хорошо согласуются с данными численных расчетов по программе «Sbros». Углы дифферента баржи находятся в пределах начальных углов дифферента. Математическая модель, заложенная в программу «Sbros», правильно отражает физическую картину происходящих явлений. Материалы статьи окажутся полезными для учебного процесса по дисциплинам теории корабля, а также для организаций, занимающихся проектированием и постройкой стационарных буровых платформ.

Ключевые слова: модельный эксперимент, устойчивость, баржа с блоком, численный расчет, сопоставление.

## EXPERIMENTAL DEFINITION OF CHANGE OF STABILITY OF THE TRANSPORT BARGE AT LONGITUDINAL DUMP OF THE BASIC BLOCK OF THE CHISEL PLATFORM

Savinov V.N.

*Nizhniy Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseeva, Nizhni Novgorod, Russia (603950, Nizhniy Novgorod, street Minina, d. 24), e-mail: babanov@nntu.ru*

Modeling experiment by definition of parameters of stability of "cart" the barge-block for a number of positions of the lowered block in a dump direction is put. Comparison of results of experiment to the data received by calculation by a numerical method under the program «Sbros» is spent. The experimental method of research provided manufacturing of model of the barge in scale 1:100 and models of the superstructure, allowing simulating process of moving of the block on directing paths of the barge. Experiences by definition of longitudinal and cross-section stability of "cart" were spent in development pool of university. Experiments have allowed establishing the factors influencing change longitudinal and cross-section metasentric of heights at longitudinal displacement of the block. The analysis, the received results of experiment has shown that they will well be co-ordinate with data of numerical calculations under the program «Sbros». Corners of a trim of the barge are in limits of initial corners of a trim. The mathematical model which has been put in pawn in the program «Sbros», correctly reflects a physical picture of the occurring phenomena. Article materials will appear useful to educational process on disciplines of the theory of the ship, and also for the organizations which are engaged in designing and construction of stationary chisel platforms.

Keywords: modeling experiment, stability, the barge with the block, numerical calculation, comparison.

Для бурения скважин и добычи углеводородов на континентальном шельфе широкое применение нашли стационарные буровые платформы (СБП) с опорным блоком (ОБ) сквозной конструкции на свайном основании [1,6]. Такие платформы могут быть установлены на акваториях с глубиной 100–400 и более метров. Вопросы, связанные с транспортировкой, сбросом и постановкой на дно опорных блоков глубоководных СБП,

актуальны и требуют тщательной проработки. Когда конструкция ОБ доставляется в район месторождения для постановки на дно на специальной барже, то процессы транспортировки и сброса проходят при высоко расположенном центре масс воза «баржа-блок». В этом случае воз «баржа-блок» имеет минимальную остойчивость. Отсутствие экспериментальных данных о мореходных качествах воза «баржа-блок», таких как плавучесть и остойчивость, а также желание убедиться в достоверности результатов, получаемых численным расчетом по программе «Sbros», послужило причиной постановки данных модельных испытаний.

Методика расчета продольного сброса опорного блока морской стационарной буровой платформы и результаты расчета по программе «Sbros» приведены в [2,3].

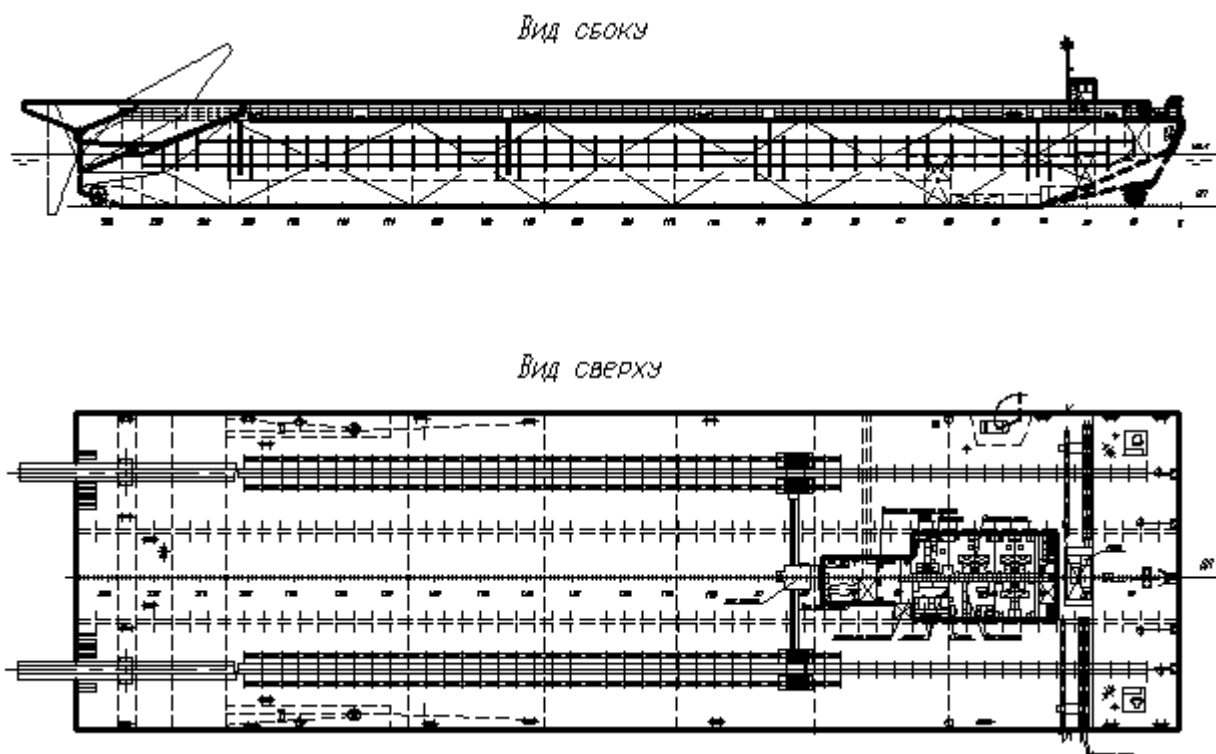
### **Задачи исследования и вопросы моделирования**

Продольный сброс опорного блока с транспортной баржи сопряжен с возможной потерей остойчивости воза «баржа-блок». В процессе сброса баржа получает значительный дифферент на корму, который приводит к уменьшению ее площади действующей ватерлинии. В результате метацентрические высоты принимают малые значения. Понять, от чего зависят максимальные углы дифферента баржи, и как изменяются метацентрические высоты воза в процессе сброса опорного блока – является задачей экспериментальных исследований. При моделировании транспортной баржи за основу были взяты технические характеристики натурной транспортно-спусковой баржи СТБ-1, имеющейся в распоряжении нефтяников Каспия (рис.1). Характеристики баржи:

Длина наибольшая, м.....	163;
Длина по палубе, м.....	153;
Ширина наибольшая, м.....	45;
Ширина, м.....	44,6;
Высота борта до главной палубы, м.....	12;
Осадка, летний надводный борт, м.....	7,26;
Водоизмещение, т.....	45500;
Грузоподъемность, т.....	18000.

Процесс моделирования осуществлялся в соответствии с принципами теории размерностей и подобия [4,7]. В теории подобия рассматривают три вида подобия: геометрическое, кинематическое и динамическое. Так как опыты проводились в статической постановке, то достаточно было соблюсти лишь геометрическое и динамическое подобия. При соблюдении геометрического подобия выдерживается пропорциональность соответствующих линейных размеров для природы и модели, т.е.:  $L_n/L_m=\lambda_L$ . В данном случае масштаб линейного подобия  $\lambda_L=100$ . Динамическое подобие, подразумевающее пропорциональность сил, действующих на соответствующие элементы природы и модели, будет равно  $F_n/F_m=\lambda_\rho\lambda_L^3$  для каждой пары

действующих сил. При равенстве плотностей водной среды, когда  $\rho_n = \rho_m$  масштаб плотностей  $\lambda_\rho = 1$ . Тогда выражение для масштаба сил примет вид  $\lambda_F = \lambda_L^3$ .



**Рис.1. Общий вид транспортно-спусковой баржи СТБ-1**

Модель баржи изготовлена в масштабе 1:100. Опорный блок имитировался симметричным грузом, имеющим массу, соответствующую массе опорного блока глубоководной платформы, равной 18 000 т. Экспериментальные исследования проводились в опытовом бассейне НГТУ им. Р.Е. Алексеева в отсутствии волнения. Модель баржи дополнялась специальной надстройкой, позволяющей осуществлять перемещение центра масс блока, имитируя его сброс. Объем погруженной части блока, образующийся в результате изменения угла дифферента вала «баржа-блок», имитировался сменными тарированными пенопластовыми плавучестями. Последние сочетали в себе как погруженный объем, так и площадь действующей ватерлинии в соответствующем масштабе характерными для данного угла дифферента и конкретных величин смещения блока. Крепление плавучестей к модели баржи осуществлялось с помощью двух брусьев (рис. 2). Положение плавучестей по длине брусьев варьировалось в соответствии с выдвиганием блока.

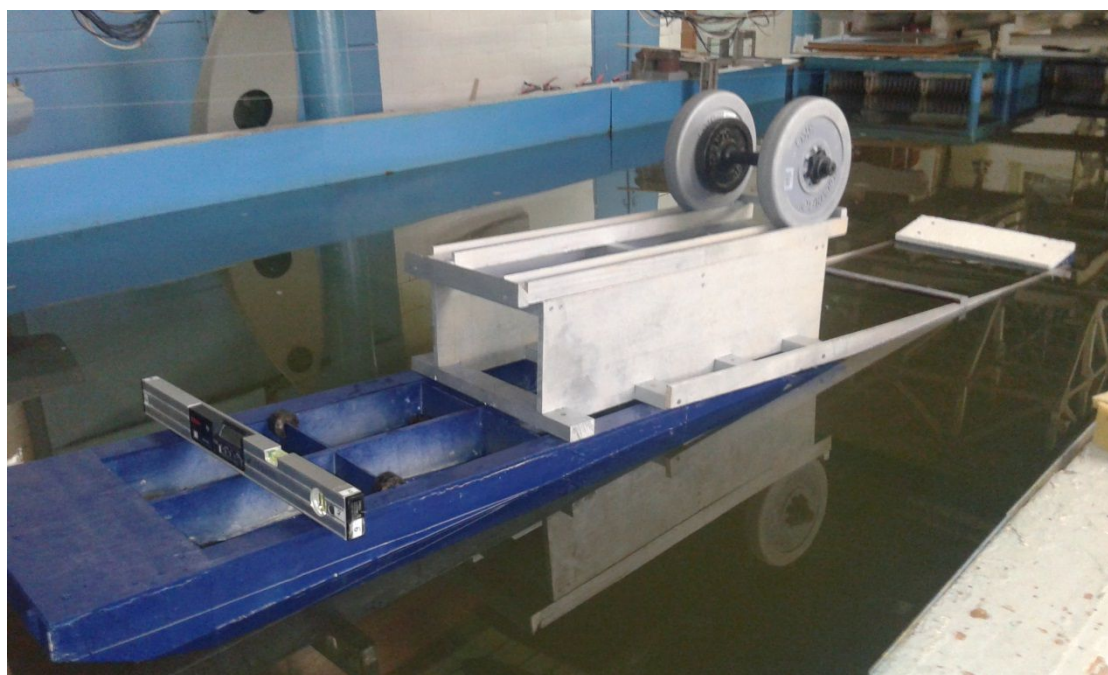
Программа модельных экспериментов предусматривала:

- построение графиков гидростатических кривых;
- определение метацентрических высот для посадки прямо и на ровный киль;
- определение продольных метацентрических высот баржи с блоком при горизонтально-продольном переносе груза;

- определение углов дифферента воза «баржа-блок» при продольном смещении центра масс блока.

Перемещение блока (груза) производилось от положения баржи прямо и на ровный киль до положения, когда центр масс блока располагался над осью поворота аппарели баржи.

При проведении экспериментов использовались весы для взвешивания моделей, балластных грузов и дополнительных элементов, электронный уровень и масштабные линейки. Результаты эксперимента впоследствии сравнивались с аналогичными данными, полученными для тех же условий расчетом по программе «Sbros».



**Рис.2. Модель воза «баржа-блок» при проведении эксперимента**

Дифферент баржи, а также продольная и поперечная метацентрические высоты в эксперименте определялись по методике, приведенной в [5] для следующих случаев:

- воз «баржа-блок» находится в положении прямо и на ровный киль (баржа имеет дифферент  $\psi_1=0^0$ , крен  $\theta_1=0^0$ , центры масс блока и баржи лежат на одной вертикали  $l_1=0$  м);
- блок получает смещение на  $l_2=0,110$  м в корму;
- блок получает смещение на  $l_3=0,268$  м в корму;
- блок получает смещение на  $l_4=0,412$  м в корму;
- блок получает смещение на  $l_5=0,543$  м в корму;
- блок получает смещение на  $l_6=0,681$  м в корму. При этом смещении центр масс блока находится над осью поворота аппарелей баржи.

Модель перед началом смещения блока имела осадку,  $T=0,0726$  м.

## Результаты и анализ

Модельные испытания позволили:

1. Установить факторы, влияющие на изменение продольной и поперечной метацентрических высот веза «баржа-блок» в зависимости от положения центра масс блока по длине баржи;
2. Определить изменение дифферента «веза» для заданных смещений блока.

Данные о площадях действующих ватерлиний, величинах погруженных объемов блока, плечах сил поддержания и координатах центров тяжести площадей ватерлиний для заданных смещений блока были взяты из расчетов, проведенных численным методом по программе «Sbros». Эти данные использовались при подготовке и проведении экспериментов, когда смещения центра масс блока приводили к его входу в воду.

Перед проведением основной серии испытаний экспериментально были определены метацентрические высоты баржи без блока при крене  $\theta=0^0$  и дифференте  $\psi=0^0$ . В пересчете на натуру продольная метацентрическая высота получилась равной  $H_3=424$  м, а поперечная –  $h_3=33$  м. Поверочные расчеты, проведенные по программе «Sbros», показали близкие значения:  $H_p=454$  м и  $h_p=35,5$  м (расхождения не более 7 %).

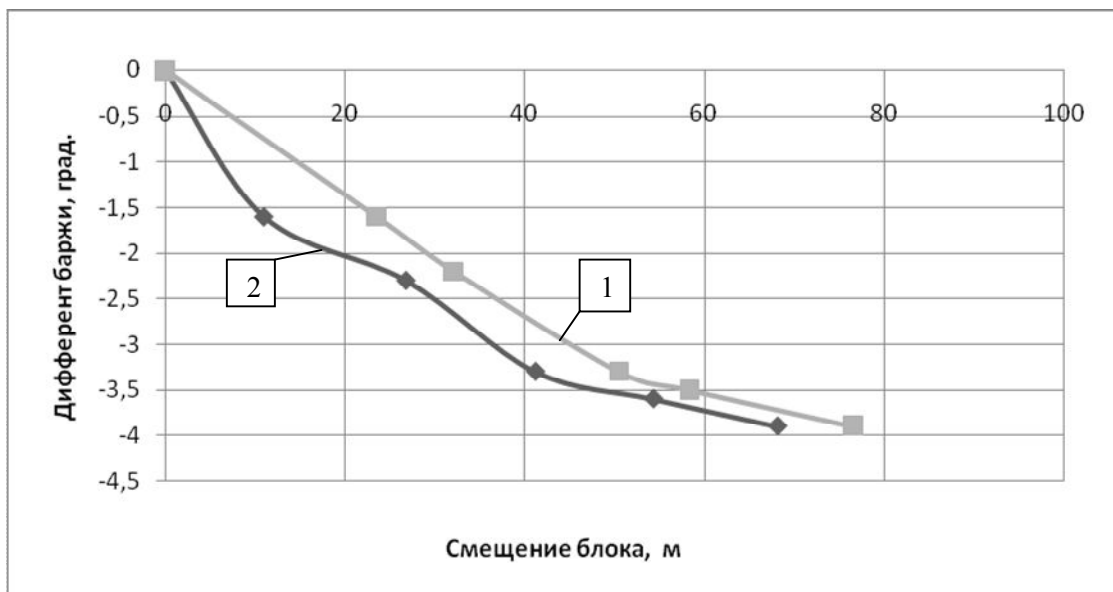
В опытах кренования и дифферентования веза «баржа-блок» при посадке прямо и на ровный киль ( $\theta_1=0^0$ ,  $\psi_1=0^0$ ) метацентрические высоты в пересчете на натуру имели следующие значения:  $h_3=0,87$  м  $H_3=221$  м, а соответствующие им значения, полученные расчетом –  $h_p=0,82$  м и  $H_p=242,2$  м (расхождения менее 9 %).

При смещениях  $l_2=0,110$  м, и  $l_3=0,268$  м блок не касался воды, а дифферент баржи для этих смещений составлял соответственно углы:  $\psi_2=-1,6^0$ ,  $\psi_3=-2,3^0$ . При смещениях блока на  $l_4=0,412$  м,  $l_5=0,543$  м, и  $l_6=0,681$  м происходило его частичное вхождение в воду. Причем, уже при смещении блока на  $l_4=0,412$  м кормовая часть палубы под аппаратами погружалась в воду. Существовала реальная угроза опрокидывания баржи. Это бы случилось, если бы блок не вошел в воду. Вход блока в воду способствовал появлению силы поддержания, действующей на блок и момента инерции площади действующей ватерлинии блока. Эти существенные факторы способствовали сохранению остойчивого состояния баржи.

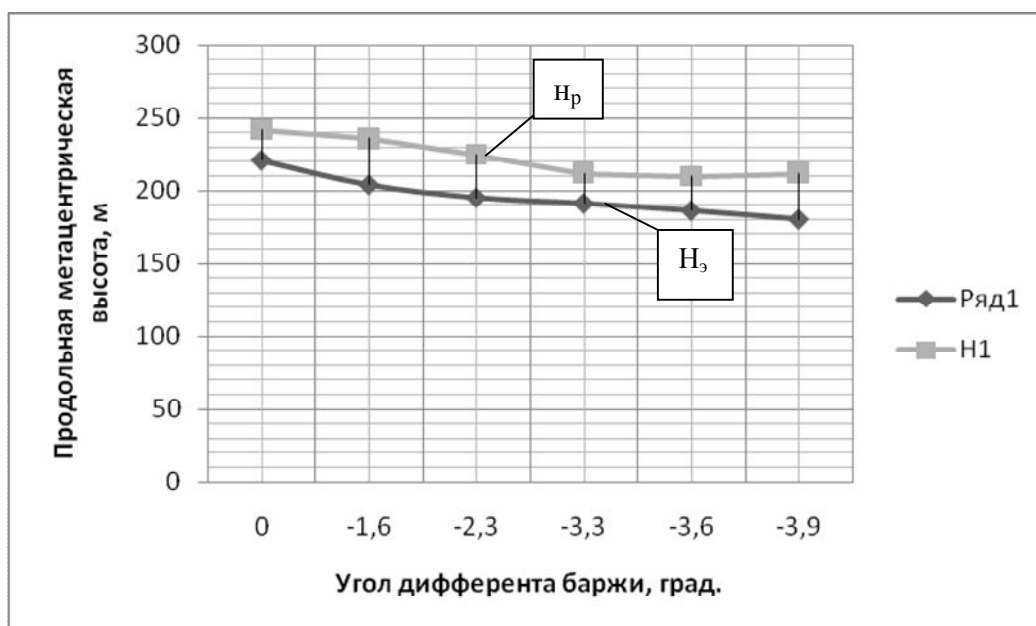
На рис.3 приведено изменение дифферента баржи при продольном смещении центра масс блока, полученное в опытах и расчетом по программе «Sbros». Видно, что при начальном смещении блока на  $l_2=0,110$  м вез получает дифферент на корму, равный  $\psi_2=-1,6^0$ . При последующем смещении блока на  $l_3=0,268$  м дифферент увеличился до  $\psi_3=-2,3^0$ . Здесь, можно заметить, что абсолютная величина изменения угла дифферента меньше, чем в

предыдущем случае, несмотря на большую величину смещения центра масс блока. Силы, приложенные к погруженной части блока, сдерживают изменение дифферента ваза.

На рис.4 показаны графики изменения продольной метацентрической высоты  $H_s$  и  $H_p$ , полученные экспериментально и расчетом. Рассмотрение графиков показывает, что метацентрическая высота с увеличением дифферента на корму плавно уменьшается, оставаясь всегда положительной и достаточной. Расхождение результатов расчета и эксперимента составляют не более 15 %.



**Рис. 3. Изменение дифферента баржи при продольном сбросе блока: 1 – зависимость, полученная расчетом по программе «Sbros»; 2 – экспериментальная зависимость**



#### **Рис. 4. Изменение продольной метацентрической высоты при продольном сбросе**

**блока:  $H_p$  – полученная расчетом по программе «Sbros»;**

**$H_e$  – экспериментальная зависимость**

#### **Выводы**

Проведенный анализ результатов модельных испытаний показал, что:

- остойчивость воза «баржа-блок» при сбросе зависит от ряда факторов: веса блока, его габаритов, осадки баржи, метеорологических условий, от конструктивных особенностей размещения дополнительных плавучестей на блоке;
- для принятой за основу конструкции натурального опорного блока массой 18000 т, спроектированного ЦНИИпроектстальконструкция им. В.П. Мельникова для постановки на глубине моря 232 м при транспортировке на СТБ-1 с осадкой  $T=7,26$  м и последующем сбросе, остойчивость является достаточной;
- сила поддержания и момент инерции площади действующей ватерлинии баржи, дополненные при входе блока в воду одноименными параметрами блока, являются основными факторами сохранения положительной остойчивости воза «баржа-блок» во время продольного сброса;
- расхождение результатов эксперимента и расчета по программе «Sbros» при определении метацентрических высот составило не более 15 %;
- для выполнения требований безопасности и безаварийности проведения операции сброса опорного блока на стадиях проектирования необходимо опираться на методы расчета остойчивости комплекса «баржа-блок», которые подтверждены результатами модельных испытаний. Представленный экспериментальный комплекс будет также использован для постановки лабораторных опытов студентам-специалистам и магистрам в разделе дополнительных глав, читаемых по курсам «Теория корабля» и «Океанотехника» по направлению подготовки 180100 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры».

#### **Список литературы**

1. Морские инженерные сооружения. Ч. 1. Морские буровые установки: учеб./ Р.В. Борисов, В.Г. Макаров, В.В. Макаров, В.С. Никитин и др.; под общ. ред. В.Ф. Соколова. – СПб.: Судостроение, 2003. – 535 с.
2. Савинов В.Н. Метод расчета динамики продольного сброса опорного блока морской стационарной буровой платформы // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. – № 1. – С. 48-55.

3. Савинов В.Н. Параметрические исследования динамики и напряженно-деформированного состояния опорного блока при сбросе с баржи // Морской вестник. – 2005. – № 4(16). – С. 92-96.
4. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1987. – 430 с.
5. Семенов-Тянь-Шанский В.В.. Статика и динамика корабля: учеб. для вузов. – Л.: Судостроение, 1973. – 608 с.
6. Симаков Г.В. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе: учеб. для вузов / Г.В. Симаков, К.Н. Шхинек, В.А. Смелов и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
7. Эпштейн Л.А. Методы теории размерностей и подобия в задачах гидромеханики судов. – Л.: Судостроение, 1970. – 208 с.

**Рецензенты:**

Любимов В.И., д.т.н., профессор, профессор ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта», г. Нижний Новгород.

Панов А.Ю., д.т.н. профессор, директор института промышленных технологий машиностроения (ИПТМ) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.