



## СОДЕРЖАНИЕ

### Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Оценивание неизвестных статистических параметров гидродинамических потоков несжимаемой жидкости, создаваемых движущимся сторонним источником .....	4
<i>Белов Б.П., Семенов Н.Н., Миронов И.В.</i> Цифровое формирование характеристики направленности гидроакустической антенны гидролокатора подводного робота во временной области .....	32
<i>Боженев Ю.А.</i> Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики .....	47
<i>Романенко Е.В., Пушков С.Г.</i> Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении .....	69
<i>Разумеенко Ю.В., Юссеф М.Ю.</i> Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения мореходности быстроходных катеров на основе принципа нейтрализации волновых нагрузок .....	81
<b>Из истории науки</b>	
<i>Готман А.Ш.</i> 200 лет со дня рождения Вильяма Фруда .....	88
<b>Поздравляем!</b> .....	97
<b>Хроника</b> .....	99
Правила представления материалов в редакцию.....	103

# CONTENTS

## Articles

- Klyachkin V.I.* The Estimation of Unknown Statistical Parameters of Hydrodynamic Flow of an Incompressible Liquid, Created by Moving Outside Source ..... 4

On the basis of the use of hydrodynamic equations to incompressible liquid, reduced to non-dimensional form within the framework of similarity law, probabilistic structure of the field is constructed and researched as the basis of the decision of the problem of the non-dimensional parameter estimation of the flow, created by moving outside source, as well as for estimation of the source proper parameters and parameters of the statistical field propagation channel. The analytical form of the likelihood ratio is found and algorithms of the unknown information parameter estimation as the object of the statistical inverse problem solving are formed..

**Key words:** hydrodynamics, flow, moving source, propagation channel, plausibility ratio, inverse problem.

- Belov B.P., Simenov N.N., Mironov I.V.* Digital Underwater Robot Sonar Antenna Beamforming in Time Domain ..... 32

Hydroacoustic data processing is being performed in time or spectral domain, the spectral domain processing is wider spread. In any case, antenna devices beamforming and input signals processing algorithms modeling must be performed. There are two possible approaches to the algorithms working out. The first is to process the signals on the outputs of the antenna channels and then calculate and simulate signals and noise on the antenna channels outputs in accordance with the calculated beam pattern of the channels and given source distribution and signals and noise parameters. The second is to generate signals and noise in the array elements, obtaining processes with the properties given on the item level on the channel outputs, and the total signal processing in time domain. The formulas of signals and noise for mobile underwater robot antenna are cited.

**Key words:** directivity, sonar, modeling of noise and signals, time domain, frequency domain, sonar channel formation.

- Bozhenov J.A.* Use of the Autonomous Underwater Vehicles for the Arctic and Antarctic Regions Exploration ..... 47

Polar marine research is a key to understanding of processes of the sea ecosystem and the Earth climate change. They are also of a great economic and defense importance. However, vast ice covers and ice thickness make it difficult to carry out research in such regions. Autonomous underwater vehicles (AUVs) are able to provide essential help in conducting this research. The paper deals with: the overview of development, role and technical capabilities of AUVs, used for marine research in ice environments.

**Key words:** Polar Regions, drifting ice, ice sheet, AUVs, sea researches, navigation, payload, equipment characteristics, risks.

<i>Romanenko E.V., Pushkov S.G. On the Method of the Wing Hydrodynamic Characteristics Calculation at Non-Stationary Movement .....</i>	69
---	----

Approximate expressions of hydrodynamic forces were used to develop a mathematical model of the flat rigid wing with different shape and aspect ratio varying pitch-axes location and sufficiently large heaving and pitching amplitudes. A peculiarity of this model is the usage of the first-order aerodynamic derivatives coefficients and kinematic parameters. Formulas for the calculation of the thrust and efficiency were derived. The results of calculations are in good agreement with numerical solutions.

**Key words:** wing, thrust, power, efficiency, aerodynamic derivatives, mathematical model.

<i>Razumeenko Y.V., Yussef M.Y. Theoretical and experimental approach to seaworthiness increase of high-speed boats on the basis of wave loadings neutralization .....</i>	81
--	----

Theoretical bases of essential seaworthiness increase and reduction of high-speed boats onboard rolling by application of wave loadings neutralizers are stated; wave loadings being the prime reason of rolling. It was proved experimentally that the most effective type of wave loadings neutralizer is wing profile lattices attached to the stern part of high-speed boats and that increased the attached weight – 2 times, and damping – 10 times. Comparative tests of the forced rolling of boats models in a seakeeping basin were conducted. They have confirmed high efficiency of the neutralizers in decreasing of boat onboard rolling. The structure of the left and right members of equation of boats onboard rolling with application of neutralizers is specified and their high efficiency in comparison with its traditional methods of rolling lessening was explained.

**Key words:** wave loadings neutralizers, wing profile lattices, specified structure of onboard rolling equation, model experiment.

## Из истории науки

© А.Ш. Готман, 2011

Новосибирская государственная академия водного транспорта  
Agotman@yandex.ru

### К 200-летию со дня рождения Вильяма Фруда



Вильям Фруд  
(28 ноября 1810 – 4 мая 1879)

Вильям Фруд – английский инженер, гидромеханик и военно-морской архитектор, член Английского Королевского общества. Работа Фруда и его сына Роберта охватила много проблем в области проектирования корабля, включая форму корпуса судна, двигатель, движитель, рулевое устройство, качку, поворотливость и остойчивость.

1871–1872 гг. являются поворотными в мировой истории судостроения, потому что в это время Вильям Фруд построил первый в мире опытовый бассейн для проведения модельных испытаний и разработал методику пересчета результатов модельных испытаний на натуру по критерию подобия – числу Фруда.

28 ноября 2010 г. вся мировая судостроительная общественность вместе с Великобританией отметила 200-летний день рождения Вильяма Фруда.

Если хотя бы на миг представить себе, что при проектировании обводов судна нет возможности проверить форму обводов и поведение на ходу или на волнении без опытового буксировочного бассейна, то сразу становится ясно, какой огромный шаг был сделан Вильямом Фрудом от блуждания во тьме к свету. Разделение полного сопротивления воды движению судна на составляющие, подчиняющиеся разным силам, действующим при движении тела в жидкости, было гениальным прозрением Фруда. Задолго до разработки теории пограничного слоя Прандтлем Фруд понял, что трение зависит от шероховатости поверхности корпуса и подчиняется другим законам подобия, нежели волновые и вихревые явления, сопутствующие движению тел на свободной поверхности воды и под ней. Если бы Фруд не разделил полное сопротивление воды на сопротивление трения и остаточное и не разработал закон, согласно которому можно пересчитывать с модели на натуру волновое и вихревое сопротивление по числу Фруда, а сопротивление трения – по числу Рейнольдса, то от модельных испытаний было бы мало пользы. Сейчас мы знаем, что сопротивление от всех нормальных давлений, независимо от их волновой или вихревой природы, подчиняется закону подобия Фруда, а от всех касательных напряжений – закону подобия Рейнольдса, но во времена Фруда в этом вопросе ещё не было ясности. Решению этой проблемы судостроители и гидромеханики всего мира обязаны именно работам Вильяма Фруда. Дело в том, что вихревое сопротивление воды движению судна Фруд отнес к остаточному, которое пересчитывается на натуру вместе с волновым сопротивлением по закону подобия Фруда. Но доказательства справедливости такого решения не было, поэтому в середине XX в. было решено делить полное сопротивление на гравитационное

(волновое) и вязкостное, к которому относили вихревое (так называемое сопротивление формы) и сопротивление трения, а также пересчитывать все это на натуру по закону подобия Рейнольдса. То, что вихревое сопротивление проявляется в виде нормального давления и подчиняется закону Фруда, было доказано Ичи Баба в Японии в 1969 г. Но это произошло только через сто лет после постройки Фрудом первого динамометрического опытового бассейна и разработки им метода пересчета с модели на натуру. Здесь уместно отметить удивительную интуицию Фруда.



Бывший Менделеевский опытовый бассейн в Новой Голландии в Санкт-Петербурге

Современник Вильяма Фруда, ведущий конструктор, а позже руководитель военно-морского строительства Н. Барнабу, сказал о нем так: *«...ему принадлежит очень большая часть достижений девятнадцатого столетия. Если бы нужно было выбрать человека, чей портрет должен быть на первой странице, как наиболее представительный среди любых других передовых творцов военно-морских разработок в этом удивительном столетии, то он бы нашел поддержку других судостроителей всего мира при выборе Вильяма Фруда».*

Работы В. Фруда были стимулированы появлением паровых судов. Нужно было найти пути для оценки мощности, необходимой для движения судна с заданной скоростью. В те времена было много случаев, когда проектная скорость не достигалась или когда судно было оборудовано более тяжелыми и дорогими двигателями, чем требовалось. Кроме того, возникла проблема качки, которой не было у парусных судов.

Вильям Фруд известен гидромеханикам как автор закона подобия и числа Фруда. Его техника модельных испытаний с пересчетом с модели на натуру дает возможность сделать точную оценку мощности, необходимой для движения судна. До появления работ Фруда мощность оценивалась по прототипу с большими ошибками, приводящими к высокой стоимости и низкой производительности.

В течение двадцати лет после постройки Фрудом первого опытового бассейна в Торквее был построен опытовый бассейн в Италии, а в 1894 г. – Д.И. Менделеевым в Петербурге\*. Этот первый в России бассейн в разное время относился либо к экспериментальному комплексу Ленинградского кораблестроительного института, либо к ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова. Его роль в развитии российского флота невозможно переоценить. Первыми научными руководителями этого бассейна были крупные ученые А.Н. Крылов и И.Г. Бубнов.

### Жизнь Вильяма Фруда

Вильям Фруд родился 28 ноября 1810 г. в Дарквинтоне (Девон) в литературной и академической семье. Его отец Роберт Юрелл Фруд (1771–1859) и мать Маргарет Спеддинг (1774–1821) были образованными и религиозными людьми. Один из братьев, Джеймс Антони Фруд, был известным историком, а старший брат, Юрелл Фруд, – писателем и священником.

Когда Вильяму было всего 10 лет, умерла его мать. Через два года, в 1823 г., Вильям поступил в Вестминстерскую школу. Уже в следующем году ему была дана Королевская премия, которая обеспечивала возможность получать стипендию для учебы в Кембридже

\* В настоящее время этот бассейн, вместо того чтобы сохранить его как музей истории российского судостроения, уничтожили, а на его месте начали строительство развлекательного центра.

или Оксфорде. В 1828 г. Вильям поступил в Оксфордский университет, где учился под руководством Джона Генри Ньюмена. В 1832 г. Вильям Фруд получил премии первого класса по математике и третьего класса по классике, а также – степень инженера. Окончил он учебу в 1837 г.



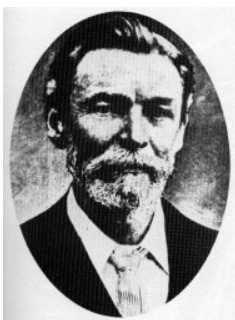
Вестминстер

управляемого океанского винтового металлического корабля, который был в то время (1843) самым большим. Его пароход сыграл значительную роль, когда прокладывался первый трансатлантический телеграфный кабель в 1865 г. Именно И.К. Брюнель обратил внимание Фруда на устойчивость кораблей на курсе, и в 1838 г. по его рекомендации суда были обеспечены скуловыми киями. В 2002 г. Брюнель был внесен в книгу «100 Великих британцев».

В 1839 г. Вильям Фруд женился на Катерине Генриетте Элизабет Холдсворд, дочери губернатора Дортсмута, коммерческого магната и члена Парламента. У Вильяма Фруда было пятеро детей. Его младший сын Роберт Эдмонд стал впоследствии его главным помощником и последователем. Следующие двадцать лет были важны для Фруда: именно тогда он сконцентрировался на решении трудных математических и прикладных научных задач.

Жизнь Вильяма Фруда делится на три периода. В начальной школе и затем в Оксфорде он показал выдающиеся способности, тогда же проявился его интерес к мореходству. После получения образования он работал помощником двух замечательных железнодорожных инженеров – Пальмера и Брюнеля. Фруд много выиграл от общения с И.К. Брюнелем – успешным менеджером, а позже – дипломатом, в то время, когда необходимо было преодолевать сопротивления, возникавшие при постройке новой железнодорожной линии.

Следует отметить значительные успехи Фруда в усовершенствовании железнодорожной техники, часто вопреки принятым правилам. В 1850-е годы целое десятилетие стало продуктивной зоной в его инженерной карьере. Несмотря на необходимость ухаживать за больным отцом, Вильям Фруд был очень активен. Например, работая ещё и в магистрате, он начал проводить свои первые эксперименты по пропульсивным качествам судов.



Младший сын  
Фруда  
Роберт Эдмонд  
(1846–1924)

В 1857 г. И.К. Брюнель на четыре года вернул Фруда к работе над задачей поведения судна на волнении. Фруд занялся проблемой оценки мощности, необходимой для проектирования нового судна. Несмотря на отсутствие успехов в предыдущих экспериментах, Фруд верил, что модельные испытания могут быть использованы для получения реальных результатов. В середине шестидесятых годов Фруд выполнил ряд испытаний, которые убедили Адмиралтейство выде-



лить 2000 фунтов стерлингов для постройки опытового бассейна.

И, наконец, третий, короткий, период незадолго до смерти, в течение которого Вильям Фруд буквально изменил весь военно-морской флот Великобритании.

### Главная работа

С незапамятных времен разработка корпуса английских кораблей была в значительной степени основана на эмпирических правилах, полученных в результате накопленного опыта мастерами кораблестроения и судоремонта. Еще раньше, в эпоху Просвещения, любители-экспериментаторы делали попытки, подобно Вильяму Фруду, найти научные способы для обоснования этих правил. Так, еще в 1756 г. Бэрд в Англии проводил испытания в десятиметровом опытовом бассейне. В 1870-е годы Джон Франклин, Шарль Боссю и Марк Бьюфой по предложению Французской академии наук проводили испытания моделей судов, предназначенных для движения в каналах.

Море и корабли всегда привлекали Фруда и вызывали у него особый интерес, поэтому он начал проводить эксперименты по определению сопротивления на малых моделях судов прямо на реке Дарт. С 1859 г. он экспериментировал с моделями кораблей у себя дома – сначала в Пейгнтоне, а потом в опытовом бассейне в Торквее. После смерти отца в 1859 г. Вильям Фруд переехал в Пейгнтон и там начал свои исследования по сопротивлению твердых тел при движении в жидкости.

Первоначально корпуса судов буксировались с помощью проводов, перекинутых через крышу домов, с присоединенным падающим грузом, но потом работа стала более сложной и проводилась на водоемах и на открытой воде ближе к Дортмуту ручья.

Вскоре Фруд загорелся идеей построить свой собственный испытательный бассейн, где он мог бы работать без помех и замечаний со стороны непонимающих зрителей. Его предложения были приняты, в 1870 г. недалеко от Торквея опытовый бассейн был построен.

Это произошло следующим образом. Как-то (1860-е годы) Фруд купил землю в Торквее и построил себе дом, известный как Челстон Кросс. В 1861 г. он отправил в Институт военно-морских архитекторов статью по бортовой качке кораблей, впоследствии опубликованную во втором томе трудов Института военно-морских архитекторов. Благодаря этой работе он познакомился с Эдвардом Ридом (автором диаграммы остойчивости, известной под названием «диаграммы Рида»), который очень поддержал его, ускорив получение ссуды для постройки опытового бассейна. Субсидия Адмиралтейства дала возможность Фруду покрыть стоимость здания испытательного бассейна, а также издержки его повседневной эксплуатации, и дать небольшое жалование сыну, главному помощнику Роберту Эдмонду Фруду. Сам Вильям Фруд от жалования отказался.

В августе 1871 г. погиб большой двухвинтовой броненосец «Капитан», проект которого отличался множеством недостатков, приведших к аварийной ситуации. Корабль

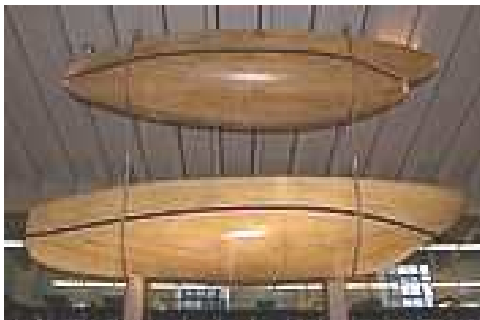


Дортмут



Челстон Кросс. Дом Фруда в Торквее

опрокинулся в заливе Бислау, потеряв почти весь экипаж в 500 человек. Эта большая трагедия утвердила Фруда в его решении выполнить работу по изучению постоянных ошибок в проектах и конструкциях кораблей. Она же способствовала ускорению работ по постройке бассейна.



«Сван» (вверху) и «Равен»,  
испытанные Фрудом в бассейне

ватерлинии, выполненные по Джону Скотту Расселу, модель «Сван» – тупые ватерлинии, что предполагало на практике уменьшение сопротивления движению. Именно в результате этих экспериментов Фруд обнаружил, что главные составляющие сопротивления – это трение корпуса и образование волн.

В результате всей этой работы Фруд получил практический метод проектирования кораблей, который позволил устранять дефекты, приводящие к тяжелым и неоправданным потерям людских жизней на море. Эти испытания показали также, что существует не одна идеальная форма корпуса, как считалось раньше.

Впервые в мире был проведен эксперимент на модели с использованием метода Фруда в 1871 г. Это была миниатюрная версия корабля Greyhound вооруженных сил Великобритании. Его морские испытания происходили годом позже в Соленте. Сформулированный Фрудом закон подобия для плавающих в жидкости тел позволил военным инженерам предсказывать по испытаниям малых моделей сопротивление движению кораблей и рассчитывать мощность, необходимую для их движения с заданной скоростью. Работа в бассейне привела Фруда к необходимости создания механизма для обработки поверхности моделей, динамометров и оборудования в виде записывающего устройства во время движения судна. Работа Фруда и его сына Роберта охватила много проблем в области проектирования корабля, включая двигатель, движитель, рулевое устройство, качку, поворотливость и устойчивость.



Опытный бассейн Фруда в Торквее

Самые первые из экспериментов были проведены Фрудом на масштабных моделях винтовых канонерок – «Сван» 3.6 футов длиной (~1.1 м) и «Равен» 12 футов длиной (~3.66 м).\*

Фруд использовал эти модели при буксировочных испытаниях для определения сопротивления и разработки закона пересчета. Для этих экспериментов Фруд изобрел более точное записывающее устройство, сооруженное с помощью паяльника из олова. Все это хранится сейчас в Научном музее Кенсингтона. Обе модели показаны на фотографии. Модель «Равен» имела заостренные

ватерлинии, выполненные по Джону Скотту Расселу, модель «Сван» – тупые ватерлинии, что предполагало на практике уменьшение сопротивления движению. Именно в результате этих экспериментов Фруд обнаружил, что главные составляющие сопротивления – это трение корпуса и образование волн.

В результате всей этой работы Фруд получил практический метод проектирования кораблей, который позволил устранять дефекты, приводящие к тяжелым и неоправданным потерям людских жизней на море. Эти испытания показали также, что существует не одна идеальная форма корпуса, как считалось раньше.

Впервые в мире был проведен эксперимент на модели с использованием метода Фруда в 1871 г. Это была миниатюрная версия корабля Greyhound вооруженных сил Великобритании. Его морские испытания происходили годом позже в Соленте. Сформулированный Фрудом закон подобия для плавающих в жидкости тел позволил военным инженерам предсказывать по испытаниям малых моделей сопротивление движению кораблей и рассчитывать мощность, необходимую для их движения с заданной скоростью. Работа в бассейне привела Фруда к необходимости создания механизма для обработки поверхности моделей, динамометров и оборудования в виде записывающего устройства во время движения судна. Работа Фруда и его сына Роберта охватила много проблем в области проектирования корабля, включая двигатель, движитель, рулевое устройство, качку, поворотливость и устойчивость.

Фруд спроектировал динамометр для измерения производительности модели винта и за корпусом, а также показал метод пересчета результата на натуре. И снова модель Фруда сразу же нашла применение для нового комплекса двигателей с более высоким давлением пара и скоростью вращения. Это помогло устранить несоответствие характеристик винта в ранних конструкциях.

\* «Сван» в переводе на русский язык означает «лебедь», а «равен» – «ворон».



Эти две разработки – моделирование сопротивления и проектирование винта – означали, что впервые судно может быть спроектировано с достижением проектной скорости и не будет слишком тяжелым и дорогостоящим.

С того времени, когда Вильям Фруд и его сын Роберт Эдмонд опубликовали свою основную работу, модельные испытания в опытовом бассейне уже проводились всеми ведущими судостроителями, часто с непосредственной помощью самого Фруда.

Личный вклад Фруда в понимание сопротивления был основан на наблюдениях и анализе модельных испытаний. В его работах были использованы самые передовые теории тех дней, относящиеся к поведению волн и пограничного слоя трения.

Работа Фруда привела к общему признанию значения модельных испытаний, которые были с тех пор распространены на другие аспекты поведения судов и на решение разных динамических задач. Необходимо отметить, что в 1870 г. весь технический и научный мир был убежден, что модельные испытания уже полностью исчерпаны и не дают реальных ответов. Члены Комитета Британской ассоциации «Существующие знания» отнюдь не были реакционерами, а напротив, – прогрессивными инженерами или учеными, но ни один из них тогда не поддерживал взгляда Фруда на использование моделей. Подобные отрицательные взгляды поддерживались учеными и других стран, и только голландский инженер доктор Б.Дж. Тидеман работал в этом же направлении.

Таким образом, работы Фруда нанесли удар по привычным идеям членов Адмиралтейства. Они получили возможность проведения экспериментальных исследований, ясно сознавая, что Фруд даст ответы на многие вопросы.

Оба Фруда (Вильям и Роберт Эдмонд) были отличными учителями, и первые ассистенты Вильяма Ваттс, Перрет и Парвис достигли с их помощью вершины профессии. Фруды привели военно-морских архитекторов к постановке верных вопросов на ранней стадии проектирования.

Сегодня никто не сможет проектировать судно с уверенностью в том, что выбранная его форма будет экономичной по затратам топлива, хорошо вести себя в море, а винт будет эффективным и свободен от ненужного шума или гидродинамических нагрузок без проведения модельных испытаний. Неудивительно, что портрет Фруда красуется во всех гидродинамических лабораториях.

Шесть лет Фруд был экспертом по новому разделу гидродинамики, служил во многих национальных комитетах и общался с коллегами во всем мире. Он отправился официальным гостем от Королевского военно-морского флота в Южную Африку, чтобы заодно поправить свое здоровье. Однако по пути он заболел дизентерией и 4 мая 1879 г. умер в Кейптауне, где и был похоронен со всеми морскими почестями.

Уже через две недели после смерти Вильяма Фруда, 27 мая 1879 г., лорды Адмиралтейства отправили Роберту Фруду письмо: *«...лорды желают принести Вам и всем членам Вашего семейства очень искреннее сочувствие по поводу непоправимой потери, которую Вы понесли – потери, которая не может рассматриваться иначе, чем национальная. Они чувствуют, что господин Фруд сослужил большую службу флоту и стране, отдав свои выдающиеся способности, знания и наблюдательность для усовершенствования проектов кораблей, и нельзя оста-*



Самое быстроходное военное судно в мире, обводы корпуса которого были разработаны Фрудом в 1875 г.

*вить его заслуги без такой награды, как благодарность, написанной на стене Адмиралтейства».* Эта эпитафия в равной степени применима и к его сыну Роберту Эдмонду Фруду, а комплекс зданий, который включает исследовательские институты Адмиралтейства в Хасларе, является их рабочим мемориалом. Дело в том, что к 1885 г. бассейн в Торквее истощил свои возможности, и срок арендного договора на землю с бассейном также истек. Срочно требовался новый и намного больший участок для расширения работ. В 1886 г. Роберт Фруд успешно контролировал перенос экспериментальных работ Адмиралтейства. Он сам выбрал участок в Хасларе рядом со смежным каналом в Докьярде, предпочтя его трем другим. Это объяснялось, возможно, относительной изоляцией Хаслара. Заинтересованные люди хотели использовать бассейн, длиной 475 футов (~145 м), шириной 20 футов (6.1 м) и 9 футов (~2.75 м) глубиной, с его полумиллионами галлонов пресной воды для моделирования гавани Портсмута.

Переезд в Хаслар совпал с огромным увеличением Военно-морской программы судостроения. Статистика первых двух декад модельных испытаний в Хасларе внушительна. К 1918 г. приблизительно 500 моделей различных военных кораблей стали субъектами испытаний строго по программе. В это число входили знаменитый «Дредноут», установленный в Портсмутской верфи в 1906 г., 33 линейных корабля, 46 крейсеров, 61 миноносец, 14 подлодок и 20 разнообразных судов.

В настоящее время в мире имеется 150 опытовых бассейнов.

### **Фруд и качка судов**

Всем хорошо известны работы Фруда в области определения сопротивления, но намного меньше известен его большой труд в области уменьшения бортовой качки судов. В ранней работе по бортовой качке Фруд впервые развил новую и всеобъемлющую теорию. Затем он разработал процесс модельных испытаний и графический анализ экспериментальных данных для практического ответа там, где теория была неполной или где уравнения не могли быть решены. Теория была трудной для понимания, а экспериментальный процесс довольно продолжительным, так что сам Фруд сказал, что все это еще недостаточно изучено из-за влияния качки на производительность экипажа.

Вильям Фруд с Вильямом Беллом разработали математическую теорию бортовой качки, основываясь на наблюдениях Фруда. Работа была представлена 1 марта 1961 г. в Институт военно-морской архитектуры (INA). Это была первая публикация Фруда по гидромеханике.

Фруд рассмотрел упрощенную картину стационарного движения судна по траверзу на регулярном волнении с постоянной длиной волны. Предполагалось, что момент силы, пытающейся вернуть судно в прямое положение, пропорционален углу наклона и что период качки одинаков для всех ее углов («изохронная» бортовая качка). Данные упрощения были важны для разработки теории, и подход Фруда был общим. Даже эта упрощенная теория бортовой качки была в своей основе корректна и дала возможность в дальнейшем разработать эмпирический метод. Наблюдения Фруда показали, что его малое судно может рассматриваться как маленькая частица воды, потому что по сравнению с океанскими волнами даже большой корабль является маленьким. Вспоминается молитва моряка: «О, Господи, море такое большое, а мой корабль такой маленький!».

Бортовая качка имеет много общего с маятником, и его теория была использована настолько, насколько это было возможно, чтобы объяснить результат Фруда. По аналогии с зависимостью периода качания маятника от его длины период бортовой качки является инверсией метacentрической высоты. Фруд первым ввел в расчет расстояние между положением центра тяжести и метacentром. Еще одно его заключение состояло в том, что суда с большим собственным периодом связаны с малой метacentрической высотой, в подтверждение чего Фруд привел несколько доводов.

Естественно, что основные усилия Фруда и Рида были направлены на разработку практических методов уменьшения бортовой качки. Здесь нет места для подробного анализа полученных Фрудом выводов, и его работам в области бортовой качки следует посвящать отдельную статью.

Теория Фруда была признана не сразу. Полное понимание его подхода к качке пришло только во время Второй мировой войны, когда в Великобритании для Королевского флота были построены фрегаты капитанского класса, у которых качка оказалась существенной. При исключительном использовании методики Фруда были сконструированы большие скуловые кили, уменьшена метацентрическая высота и увеличен момент инерции. Однако эти средства подходили только для одного класса судов, поэтому в дальнейшем понадобилась разработка общей теории, а также компьютерной техники.

### Фруд и математика

Для множества научных и инженерных разработок, необходимых для решения задач, связанных с гидродинамикой судов и приведших Фруда к созданию опытового бассейна, а также метода пересчета результатов модельных испытаний на натуре, ему потребовались математические методы. Мы не стали бы делать акцент на данной проблеме, если бы в настоящее время в силу слабой математической подготовки корабелов не начали высказывать мнение о том, что в судостроении можно обойтись без хорошей математической подготовки. Следует отметить, что исторически именно судостроение ставило перед математиками многие задачи, а потом математические разработки помогали в решении задач ходкости, теории корабля, качки, мореходности и др.

Фруду было 48 лет, когда он начал свою математическую работу, что редко бывает с людьми старше 30 лет, если они не занимались такой работой постоянно. В одном из писем Фруд писал: *«...математика и точный расчет, о которых я должен говорить, не только освобождают меня от всей трудоемкой части подробных численных расчетов, относящихся к судам, но также переходят легко и эффективно в теоретическую часть исследования, причем здесь имеется очень мало частей, которые я склонен считать специально моими»*.

Следует отметить щепетильность Вильяма Фруда по отношению к своим и чужим идеям и решениям. Например, в письме к своему другу Вильяму Беллу он пишет: *«...я не сомневаюсь в следующем интегрировании, ключ к которому освещен в том професора Эйри. Я только привел его к форме, которая мне более ясна. Я, однако, надеюсь, что он (Эйри) не посчитает, что я делаю попытку сохранить это как свое собственное выражение путем преобразования»*.

Как-то в мае 1857 г. Фруд писал И.К. Брюнелю о способностях Белла: *«Белл очень быстр и точен в использовании графиков, намного быстрее меня, и хотя он слишком зависит от формул, он совершенно честен, что очень важно и бывает очень редко, чтобы это стало общим для всех абсурдных теорий, которые существуют в мире и потом умирают из-за недостатков. И... еще я подозреваю, что есть мало людей, которые могут следить за работой своего собственного ума и знают, как трудно при этом быть честным»*.

### Характер Вильяма Фруда

Вильям Фруд испытал влияние трех великих людей в своей жизни: старшего брата Юрелла Фруда, И.К. Брюнеля и Дж. Ньюмена. Он находился также под влиянием матери и жены. Его мать Маргарет Спедлинг была известна своим развитым воображением, интеллектом и красотой, в то время как жена Катерина Холдворт была настоящей леди. Она относилась к итальянской католической церкви и позже привела к ней детей. Брак Вильяма Фруда был очень счастливым.

Интересно, что, будучи окруженным служителями церкви (старший брат Ричард и учитель Ньюман), Фруд считал религию и науку несовместимыми. Его жене Катерине было непонятно, как, будучи таким справедливым и чувствительным, он вел разговоры о католицизме, часто просто бессмысленные.



Адмирал Кельвин Ватсон  
(в настоящее время почетный секретарь  
г.Кейптаун) возлагает венок на могилу  
В. Фруда.  
(4 мая 2009 г., 130 лет со дня смерти)

В некрологе о Фруде было написано: «Он нес свет, куда бы он ни пришел. Если кто-нибудь был удручен или подавлен, когда встречал его, не зная, кто перед ним, то думал, что его жизнь проходит в заботах о других». Сын И.К. Брюнеля Генри писал: «Фруд часто думает, что он командует, когда его слова только выражают его мнение. Его голос имел почти патетический тон, являющийся результатом его симпатичного сердца. Его юмор был почти детским».

Фруд часто использовал неверные слова, что портило его письма, даже такие важные, как письмо к Риду с предложением о постройке бассейна. Это объясняется тем, что его мысль обогнала его руку, в результате чего получалось неразборчивое или нечитаемое письмо.

Совершенно очевидны такие черты Фруда, как глубокий интерес к явлениям природы и способность проникнуть в самую их суть, что присуще только великим изобретателям и ученым. Без целеустремленности было бы невозможно проделать такую огромную работу, в результате которой был построен первый в мире буксировочный бассейн. Ему были присущи скромность и внимание к нуждам людей.

Перечислим все, что В. Фруд сделал первым:

- спроектировал и построил динамометрический опытовый бассейн;
- придумал разделение полного сопротивления воды движению судна на остаточное и трения;
- придумал метод определения сопротивления трения судна путем буксировки досок, площадь которых равнялась площади смоченной поверхности модели судна;
- вывел закон подобия остаточного сопротивления судна и модели, а также число, носящее его имя – число Фруда;
- разработал конструкцию первого динамометра для замера полного сопротивления движущейся модели;
- разработал первую гидродинамическую теорию качки;
- вместе с Э. Ридом разработал скуловые кили для уменьшения качки.

### Литература

1. Baba, E. A new component of viscous resistance of ships // J. Soc. Nav. Arch. 1969. **125**. P.23–34.
2. The Papers of William Froude. London: Institution of Naval Architects, 1955. (The Institution also published a memoir by Sir Westcott Abell and an evaluation of his work by Dr R.W.L. Gawn of the Royal Corps of Naval Constructors; this volume reprints all Froude's papers from the Institution of Naval Architects and other sources as diverse as the British Association, the Royal Society of Edinburgh and the Institution of Civil Engineers).
3. Crichton A.T. William and Robert Edmund Froude and the evolution of the ship model experimental tank // Trans. New. Soc. 1990. N 61. P.33–49.
4. David K. The Way of the Ship in the Midst of the Sea. The Life and Work of William Froude. Brown RCNC, 2005. 255 p.