

А. Крылов, О волновом сопротивлении воды и о спутной волне, *Kvant*, 2013, Number 3, 12–14

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:
IP: 18.97.9.170
January 23, 2025, 23:57:52



цузского флота, член Парижской академии наук, знаменитый инженер де Бюсси. Само собой разумеется, что он посетил постройку «Наварина».

П.К.Дюбюи хотел его быстренько провести по постройке и увести на какой-то званый завтрак. Но не тут-то было. Старик сразу заметил, что постройка ведется не рутинными, а оригинальными способами, быстро свел Дюбюи на роль простого переводчика и стал вникать во все детали, расспрашивая Титова. Он забыл и про завтрак, облазил весь корабль, проведя на постройке часа четыре. Расставаясь, он взял Титова за руку и, не выпуская ее, сказал при всех Дюбюи:

– Переведите вашему инженеру мои слова. Я 48 лет строил суда французского флота, я бывал на верфях всего мира, но нигде я столь многому не научился, как на этой постройке.

Титов был растроган почти до слез, — зато вечером и было же у него приятелям угощение!

Кажется, в 1892 или 1893 г. Морское министерство организовало конкурс на составление проекта броненосца по объявленным заданиям, причем были назначены две довольно крупные премии.

На конкурс было представлено много проектов, и по

рассмотрении их Техническим комитетом были признаны: заслуживающим первой премии проект под девизом «Непобедимый» и второй премии — проект под девизом «Кремль».

Вскрывают конверт с девизом и читают: «Составитель проекта под девизом «Непобедимый» — инженер Франко-русского завода Петр Акиндинович Титов»; затем читают: «Составитель проекта под девизом «Кремль» инженер Франко-русского завода Петр Акиндинович Титов».

Произошла немая сцена, более картинная, нежели заключительная сцена в «Ревизоре», ибо многие члены комитета относились к Титову свысока и говорили про него: «Да он для вразумительности слово инженер пишет с двумя ятями». И вдруг такой пассаж: два его проекта, оригинальных, отлично разработанных, превосходно вычерченных и снабженных всеми требуемыми расчетами, получают обе высшие премии.

От получения премий Петр Акиндинович отказался, передав их, кажется, в пользу Морского инженерного училища.

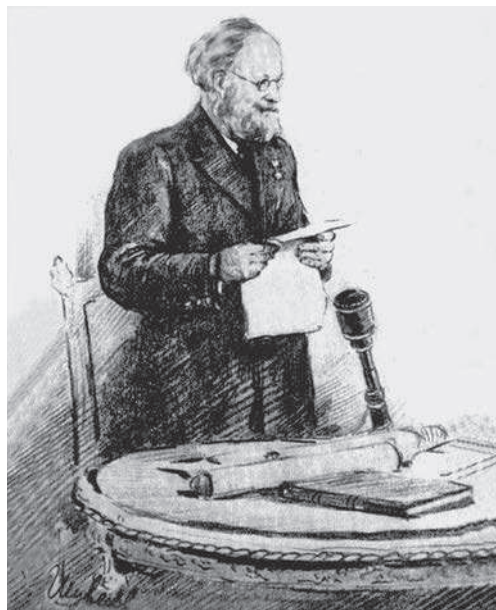
Но не суждено было Петру Акиндиновичу построить ни «Непобедимого», ни «Кремля» — в ночь на 16 августа 1894 г. он внезапно скончался в возрасте 51 года, в полном расцвете сил и таланта.

О ВОЛНОВОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ВОДЫ И О СПУТНОЙ ВОЛНЕ

А. КРЫЛОВ

ОСЕНЬЮ 1885 Г. МНЕ ПРИШЛОСЬ ПОД РУКОВОДСТВОМ И.П.Колонга уничтожить девиацию у кормовых путевых компасов минного крейсера «Лейтенант Ильин», который тогда вышел на приемные ходовые испытания. В то время это было самое быстроходное и самое большое из минных судов нашего флота. Его ход был равен 20–21 узлу¹, водоизмещение — 750 т.

Меня тогда же поразили почти полное отсутствие буруна у форштевня, незначительность носовой волны, сравнительно небольшие расходящиеся волны и система весьма больших (высотой около 2 м) поперечных волн за кормой, бежавших за кораблем, но со скоростью, меньшей скорости его хода, так что эта система волн отставала от корабля; однако при мертвом штиле она была ясно заметна на расстоянии более 2 миль, что было видно по вехам мерной мили. Волны на свое образование требуют затраты энергии; становилось ясным, что эта энергия доставлялась главными



Портрет А.Н.Крылова за работой

механизмами корабля и безвозвратно уносилась в море.

Это являлось весьма наглядным подтверждением теории, данной за 10 лет перед тем В.Фрудом, заключающейся в подразделении полного сопротивления

¹ Интересно, что:

1 узел = 1 морская миля в час,

1 морская миля в час = 1,852 км,

1 фут = 12 дюймов = 0,3048 м,

1 сажень = 1/500 версты = 3 аршина = 12 пядей = 48 вершков = 7 футов = 2,1336 м.

(Прим. ред.)

воды на сопротивление от трения и волновое сопротивление и в раздельном определении того и другого по опытам над моделями, а затем определении потребной мощности для данной скорости хода корабля.

Наш Опытный бассейн был открыт в 1892 г. по совету Д.И.Менделеева.

1 января 1900 г. я был назначен на должность заведующего бассейном и с лета 1900 г. приступил к ряду натурных прогрессивных испытаний судов, которые прежде почти не производились; параллельно испытывались и модели этих судов.

Было весьма удивительно, насколько близко теория Фруда, несмотря на известное ее противоречие теоретическим основам гидродинамики, согласовалась с действительностью (погрешность в скорости составляла около 2–2,5%), хотя многие суда («Петропавловск», «Севастополь», «Полтава», «Александр III») были полного образования и главная часть мощности поглощалась у них волновым сопротивлением.

В январе 1898 г. была опубликована статья Митчеля о теории волнового сопротивления. Я пытался тогда же приложить эту теорию к вычислению волнового сопротивления, но с первых же шагов встретил такие основные гипотезы, общие для большей части положений классической гидродинамики, которые меня сразу оттолкнули от затраты большого труда и времени на обстоятельное изучение статьи Митчеля и на постановку опытов для ее проверки, — настолько эти гипотезы казались противоречащими всей установившейся практике бассейнов, как нашего, так и зарубежных.

К такого рода гипотезам относятся следующие допущения.

1. Жидкость предполагается *идеальной*, т.е. не вязкой. Вся же деятельность бассейна основывалась на вычислении *трения* на основании опытов Фруда, а в идеальной жидкости внутреннего трения или вязкости нет.

2. Жидкость предполагается несжимаемой — такая жидкость звука проводить не может. Между тем, в это время изучался гидрофон системы Ниренберга; гидрофон так оглушительно был слышен в Галерной гавани, что его было слышно за 7 верст на Невском плавучем маяке; по воздуху же туда звук не достигал. Предварительные опыты с этим гидрофоном производились в бассейне. Опять выходило непримиримое противоречие между теоретической гидродинамикой идеальной жидкости и практикой.

В 1909 г., когда я уже был главным инспектором кораблестроения и председателем Морского технического комитета, по моему представлению, ввиду предстоявших испытаний бы-

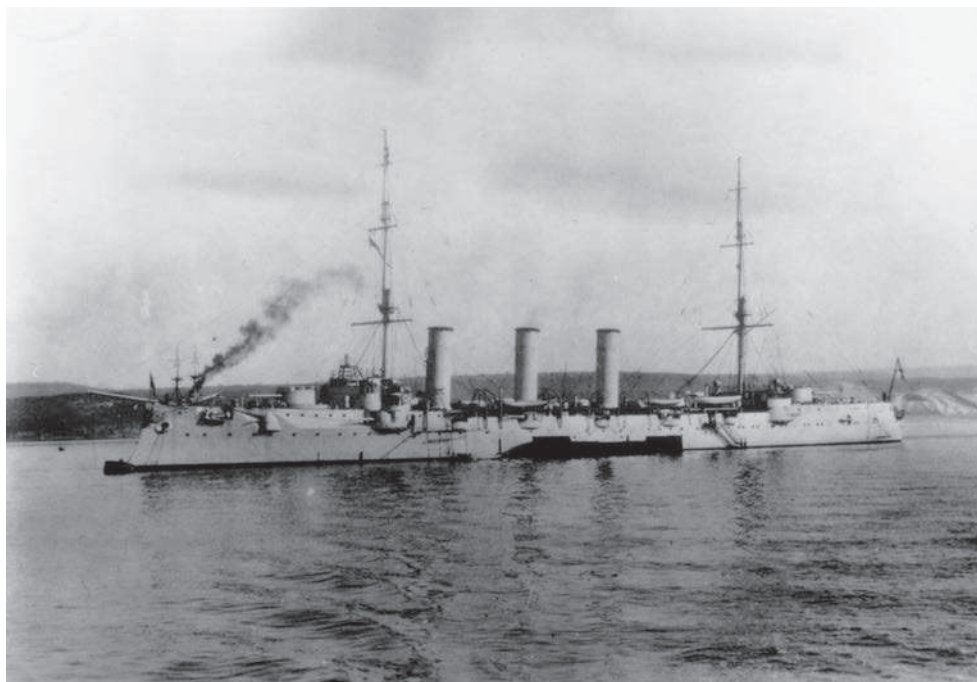
строходных миноносцев и строившихся наших первых дредноутов, было решено произвести в Черном море, на Лукулльской мерной миле, испытания влияния глубины воды на волновое сопротивление. Для производства этих испытаний была назначена комиссия под председательством заведующего бассейном проф. И.Г.Бубнова при участии персонала бассейна.

В распоряжение комиссии был предоставлен на *два месяца* крейсер «Кагул», водоизмещением 6500 т, стоимостью в 8 млн тогдашних рублей; таким образом, одно погашение и проценты на затраченный капитал за два месяца составляли около 150000 рублей. К этим накладным расходам надо прибавить содержание и довольствие команды (500 человек), офицеров и механиков (25 человек) и стоимость угля, масла и пр. — еще около 50000 рублей.

Результаты этих испытаний, произведенных с большой точностью специально построенными самозаписывающими приборами, были опубликованы отдельной книгой и не утратили своего значения и поучительности и по сие время. Дело в том, что проф. Сретенский в 1938 г. развил и обобщил теорию Митчеля, а проф. Ханович и проф. Павленко показали упрощенные способы производства относящихся сюда числовых расчетов.

Таким образом, результаты испытаний «Кагула» дают возможность сличить чисто теоретические расчеты с непосредственно наблюдаемыми данными, установив при этом размеры спутной волны, что при теперешних быстроходных судах и сравнительном мелководье Финского залива получает немаловажное практическое значение.

На той же Лукулльской мерной миле в 1915 г. под председательством контр-адмирала Белоголового работала комиссия по производству приемных испытаний шести миноносцев типа «Быстрый» (водоизмеще-



Крейсер «Кагул»

ние 1350 т, машина в 30000 л.с., ход 35 узлов). В числе контрактных испытаний было оговорено 10-часовое испытание при скорости в 30 узлов, что требовало мощности около 0,8 от полной.

Не зная об испытаниях «Кагула» или не придавая им значения, контр-адмирал Белоголовый хотел добиться требуемого хода 30 узлов и на глубине около 20 м. Однако, хотя машина развила мощность не в 20000, а в 30000 сил и даже больше, ход оставался равным 29 узлам и дальше не возрастал. За кормой бежала громадная волна, и, если бы не протест представителя завода (с записью в акт испытаний и в вахтенный журнал), котлы были бы сожжены и произошел бы массовый разрыв котельных трубок, причем пострадали бы кочегары, подобно тому как в 1888 г. от другой причины на броненосце «Синоп» были обварены на-смерть 29 кочегаров и матросов.

Авария на «Кагуле» имела бы и другие чрезвычайно тяжелые последствия: личный состав всего флота потерял бы доверие к водотрубным котлам, т.е. флот потерял бы доверие к своим кораблям, а это уже значительно важнее, чем доверие или недоверие к формуле Митчеля, к гипотезам гидродинамики или к справедливости математических преобразований.

Испытания на Лукулльской миле были прекращены (продолжением их явились испытания близ мыса Сарыч, где глубина воды составляла около 100 саженей и миноносец свободно развил 30 узлов при мощности, несколько большей 20000 сил).

Мне было поручено разобрать это дело. Я тогда же составил о нем подробную записку, которая только в 1931 г. была напечатана в «Бюллетене Научно-технического комитета» под заглавием «Об испытаниях миноносца «Быстрый»».

Сущность явления состоит в том, как это было установлено опытами Ярроу еще в 1905 г., что при скорости

$$v = \sqrt{gh},$$

где v – скорость, h – глубина воды, g – ускорение силы тяжести, образуется спутная волна, скорость бега которой равна скорости хода корабля, и добавочная мощность, развиваемая машиной корабля, затрачивается не на увеличение скорости хода, как было бы на глубокой воде, а на поддержание этой волны. Надо, чтобы машина развила мощность, соответствующую примерно скорости, на 5–6 узлов большей указанной «критической»; тогда корабль, как бы скачками, сразу достигнет этой повышенной скорости и далее пойдет нормально, подобно тому как на глубокой воде.

Скорость 30 узлов составляет 51 фут в секунду; «критическая» глубина воды:

$$h = \frac{v^2}{g} = \frac{51 \cdot 51}{32,2} \text{ фут} = 81 \text{ фут} = 14,5 \text{ сажени};$$

это как раз та глубина, на которой производилось испытание на Лукулльской мерной миле, и надо было бы развить мощность не в 20000 сил, соответствующую 30 узлам, а мощность, соответствующую 36 узлам, около 33000 сил, т.е. большую, нежели предельная.

Стремление достигнуть скорости в 30 узлов на 10-часовом испытании было бы равносильно производству испытания самым полным ходом в течение 10 часов, что надорвало бы котлы.

В 1912 г. миноносец «Новик» под командованием капитана 2-го ранга Д.Н.Вердеревского проходил 20-узловым ходом в расстоянии около 6 миль мимо маяка, расположенного при входе в один из шхерных фарватеров, подобно тому как башня Грохара расположена при входе в Гельсингфорс. У этого маяка была построена на сваях деревянная пристань, помост которой возвышался над водой на 9 футов. Был мертвый штиль, на пристани лежала вверх килем шлюпка, и около нее играли два мальчика, один 10 лет, другой 6 лет. Старший заметил, что по морю к пристани идет высокая волна, и бросился бежать к берегу; младший остался на пристани. Волна вкатилась на пристань, смыла шлюпку и все, что было на пристани, в том числе и мальчика, который и утонул. Само собой разумеется, что с «Новика» ничего этого видно не было, и лишь по приходе в Ганге командир была доставлена телеграмма о происшедшем несчастии.

Было наряжено следствие, и морской министр поручил мне доложить ему это дело. Оказалось, что на открытом плесе по пути «Новика» была короткая банка с глубиной воды в 35 футов. Эта глубина является как раз «критической» для скорости 20 узлов; на ней и образовалась громадная волна, которая затем побежала дальше и натворила беду. Это была воистину «непредвиденная на море случайность».

Случай с «Новиком» показывает, насколько опасно не для самого корабля, а для маяков, башен, знаков, построенных на низменных местах, для мимо идущих судов и пр. развитие на данной глубине «критической» и близких к ней скоростей (начиная примерно от скорости в 0,75 до 1,25 от критической).

Подвергнув заново исследованию волновое сопротивление «Кагула» и определив по формулам проф. Сретенского элементы спутной волны для типичных судов Краснознаменного Балтийского флота (эскадренного миноносца, лидера, крейсера, линейного корабля), можно было бы нанести на генеральные карты Балтийского моря изобаты, т.е. линии равных глубин, соответствующие критическим скоростям. Изучив такую карту и имея ее перед собой, командир или старший штурман корабля могли бы выбирать курсы и скорости своего корабля так, чтобы не причинять вреда береговым сооружениям. Вместе с тем им не пришлось бы удивляться внезапным падениям ходкости корабля и приписывать неведомым причинам это естественное и неизбежное явление.

Такая работа, выполненная в Военно-морской академии, была бы полезным упражнением для слушателей академии и в то же время могла бы с пользой послужить и для флота.