

Из истории науки

УДК 629.5(09)

© К.Е.Сазонов, 2013

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

kirsaz@rambler.ru

Гидрофизика в работах академика А.Н.Крылова (к 150-летию со дня рождения)

Статья посвящена 150-летию юбилею со дня рождения выдающегося российского ученого академика А.Н.Крылова. В работе дан обзор его работ, оказавших влияние на развитие гидрофизики.

Ключевые слова: А.Н.Крылов, качка корабля, опытовый бассейн, течение, гидрофизика.

15 августа 2013 г. исполнилось 150 лет со дня рождения выдающегося российского ученого – академика Алексея Николаевича Крылова. Итогом его многолетней научной деятельности стали классические труды по теории корабля, математике, баллистике, астрономии, магнетизму, а также не имеющий аналогов в мировой литературе перевод на русский язык «Математических начал натуральной философии» И.Ньютона и труды по истории науки. Многие из его работ послужили основанием для развития современной прикладной гидрофизики.

О жизни и трудах Алексея Николаевича Крылова написано большое количество работ (напр.[1–3]), поэтому в данной статье приводится лишь краткая его биография. А.Н.Крылов родился 3(15) августа 1863 г. С 1878 по 1884 г. он обучался в Морском училище, которое окончил с отличием. В годы обучения А.Н.Крылов заинтересовался математикой и механикой, самостоятельно изучил университетские курсы, выходящие за пределы программы Петербургского Морского училища. После окончания А.Н.Крылов был назначен в компасную часть Главного гидрографического управления к известному специалисту И.П.де-Колонгу, работая у которого выполнил и опубликовал первые свои научные исследования по девиации компаса: «О новом дромоскопе» и «О расположении стрелок на катушке компаса» в «Морском сборнике» за 1886 г., а также «Вычисление сил дефлектора компаса» в «Записках по гидрографии» за 1887 г.



Академик А.Н.Крылов

В 1888 г. А.Н.Крылов поступил в Николаевскую морскую академию, в 1890–1891 гг. прослушал курс лекций на физико-механическом факультете Императорского Санкт-Петербургского университета. После окончания Морской академии А.Н.Крылов был назначен ее штатным преподавателем. С осени 1891 г. он ведет курсы теории корабля и

начертательной геометрии. Готовясь к курсам теории корабля, А.Н.Крылов разработал усовершенствованную методику расчета элементов подводной части корпуса, которые необходимы для расчетов по статике корабля.

В 1896 г. А.Н.Крылов опубликовал свою первую оригинальную работу по качке корабля: «Новая теория килевой качки корабля на волнении и возникающих при этом усилий». Потом, в 1898 г., он издал «Общую теорию качки корабля на волнении» и «Об усилиях, испытываемых кораблем на волнении». Эти работы принесли А.Н.Крылову мировую славу.

Следующий важный этап в развитии научного творчества А.Н.Крылова связан с его заведованием опытовым бассейном в 1900–1908 гг. Подробно его деятельность на этом посту описана в монографии И.В.Гирса, посвященной истории первого русского опытового бассейна [4]. К периоду заведования опытовым бассейном относится и начало активной деятельности А.Н.Крылова в области развития учения о непотопляемости судов. Основы этого учения были заложены вице-адмиралом С.О.Макаровым, главную роль и приоритет которого А.Н.Крылов подчеркивал во всех своих публикациях.

В 1908 г. А.Н.Крылов назначается на должность главного инспектора кораблестроения. В 1912 г. он становится членом Правления Общества пароходства и торговли; в этом же году по поручению морского министра готовит доклад в Государственную думу о необходимости ассигнования 500 млн.руб. на программы развития флота. В 1914–1916 гг. А.Н.Крылов работал над переводом «Начал» Ньютона. В 1916 г. он был избран действительным членом Императорской Санкт-Петербургской Академии наук и становится директором Главной физической обсерватории. В Академии наук он в разное время руководил Физическим и Физико-математическим институтами.

С 1921 по 1927 г. А.Н.Крылов находился в зарубежной командировке, где выполнял различные задания советского правительства и Академии наук. После возвращения из командировки он трудился в различных советских организациях, связанных с судостроением, в том числе и в Главном управлении Северного морского пути. В последний период жизни ученым написаны фундаментальные работы по строительной механике, монографии по теории корабля, вибрации, гироскопии и девиации компасов, работы по истории науки и многие популярные статьи. Признанным шедевром мемуарной литературы является книга А.Н.Крылова «Мои воспоминания», изданная первый раз в годы Великой Отечественной войны и впоследствии неоднократно переизданная. Алексей Николаевич умер на 83-м году жизни 26 октября 1945 г. в Ленинграде и похоронен на Литераторских мостках Волковского кладбища.

Современное развитие прикладной гидрофизики, особенно динамики и гидродинамики морских объектов, во многом базируется на идеях А.Н.Крылова. В первую очередь это относится к изучению качки морских судов на волнении. Исследование качки судна представляет собой очень сложную задачу, решение которой пытались найти такие выдающиеся ученые, как Л.Эйлер и Д.Бернулли. Первый существенный результат в этой области был достигнут английским инженером В.Фрудом, который создал теорию боковой качки судов на регулярном волнении, используя для этого разработанную Ф.Герстнером, У.Ранкиным и им самим теорию трохoidalных волн [5, 6]. Основным недостатком предложенной теории было предположение о малости размеров судна по сравнению с основными элементами волны, поэтому она была не применима к исследованию килевой качки; кроме того, расчеты по этой теории в определенных случаях могли давать ошибочные результаты при определении амплитуд бортовой качки. Попытки целого ряда известных ученых, таких как У.Ранкин и А.Сен-Венан, усовершенствовать теорию В.Фруда не увенчались успехом. И только А.Н.Крылову удалось решить эту сложнейшую задачу.

Интерес к изучению килевой качки судов возник у А.Н.Крылова в процессе подготовки учебного курса по теории корабля и, по-видимому, был связан с чисто судостроительной проблемой нахождения моментов, изгибающих корпус корабля на волнении [7]. Дальнейшим стимулом для разработки теории явилась практическая задача об определении глубины судового хода (при постройке порта в Либаве) в целях безопасного прохода кораблей в условиях волнения и килевой качки. Работа о килевой качке корабля была доложена А.Н.Крыловым 1896 г. в английском Королевском обществе корабельных инженеров (Royal Institution of Naval Architects) и получила всеобщее одобрение – А.Н.Крылов был избран членом этого общества.

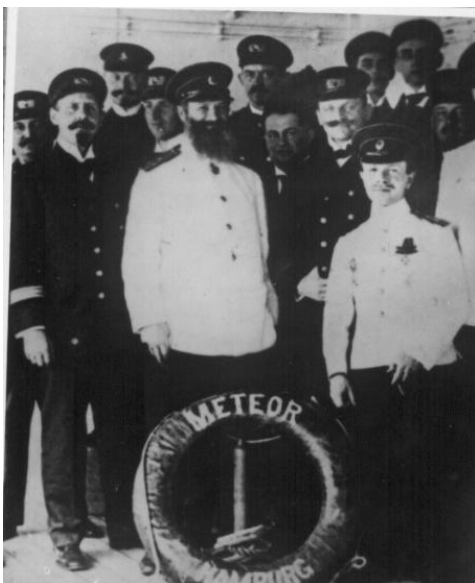
Для решения поставленной задачи А.Н.Крылов принял гипотезу о том, что на каждую погруженную точку подводной поверхности корабля действует давление той же величины, что и в соответствующей точке волны при отсутствии корпуса [8]. Такой подход позволил учесть не только линейные размеры корпуса корабля, но и форму его подводной поверхности. На основании теории трохoidalных волн А.Н.Крылов определил давление на подводную часть корпуса и составил дифференциальные уравнения его движения. При этом поверхностные интегралы были приведены к объемным. После ряда преобразований он привел систему дифференциальных уравнений к интегрируемому виду, причем коэффициенты системы были выражены через интегралы, вычисление которых было не сложнее обычно применяемых в теории корабля.

Очевидно, что предложенный А.Н.Крыловым прием позволяет описывать не все физические процессы, происходящие при взаимодействии корпуса корабля с волной, так как не учитывает влияние корпуса на характеристики волнения. Однако он позволил описать основные закономерности килевой качки, что дало возможность А.Н.Крылову в следующей работе (1898 г.) обобщить свою теорию на случай, когда курс корабля составляет произвольный угол с направлением распространения волн. Этот труд также был представлен в английском Королевском обществе корабельных инженеров. За работы по качке судов Королевское общество в 1899 г. присудило А.Н.Крылову золотую медаль (первому иностранцу в истории Общества).

В последующие годы А.Н.Крылов продолжал заниматься вопросами, связанными с

качкой корабля. Большое внимание он уделял разработке и экспериментальной проверке различных успокоителей качки: пассивных и гироскопических. В 1913 г. он руководил экспедицией на пароходе «Метеор» для исследования действия пассивных успокоителей качки. Он один из первых дал развитие прикладному направлению в теории качки. Так, были опубликованы работы «Об усилиях, испытываемых кораблем на волне», «О влиянии качаний корабля на орудие при откате», «Возмущения показаний компаса, происходящие от качки корабля на волнении» и др.

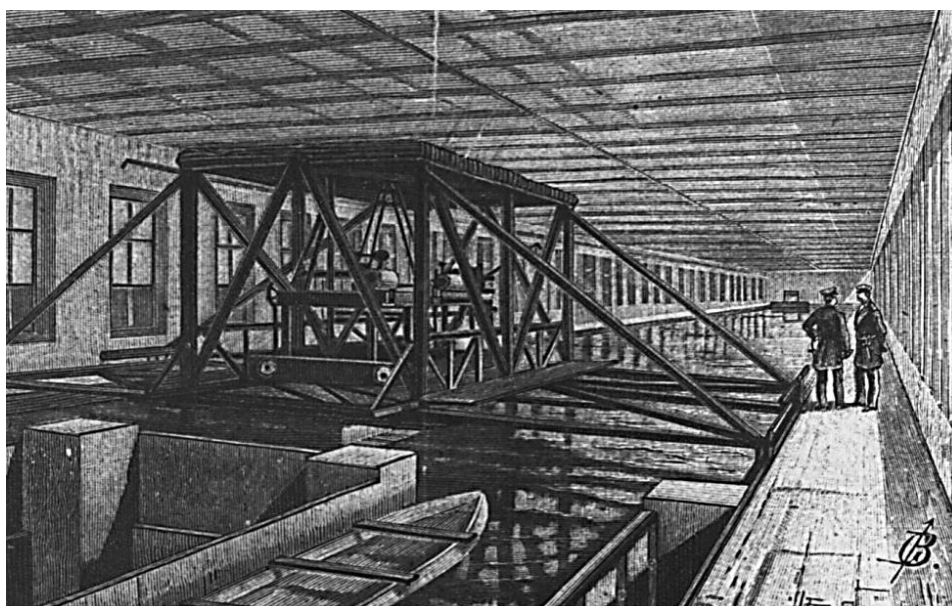
Дальнейшее развитие учения о качке судов базировалось на классических результатах А.Н.Крылова. Важными результатами деятельности исследователей были уточнение описания гидродинамического воздействия волны на корпус судна, учет нерегулярности волнения, различные прикладные аспекты теории качки. Среди советских и российских ученых этого направления можно на-



А.Н.Крылов во время испытаний парохода «Метеор» в 1913 г.

звать: С.Н.Благовещенского, И.К.Бородая, А.И.Вознесенского, А.В.Герасимова, В.В.Луговского, Ю.А.Нецветасва, Г.А.Фирсова, М.Д.Хаскинда и многих других.

Изучением сопротивления воды движению судов А.Н.Крылов непосредственно занимался в годы заведования опытовым бассейном Морского министерства. Первый в мире опытовый бассейн был создан в Англии В.Фрудом, который также разработал методику проведения модельных испытаний и пересчета полученных значений на натуральный корабль [5, 6]. Вскоре стали появляться опытовые бассейны и в других странах, российский бассейн был построен четвертым в мире. Первым заведующим опытовым бассейном был А.А.Грехнев, работа которого на этом посту вызывала целый ряд нареканий. В 1900 г. А.Н.Крылов был назначен новым заведующим бассейном. Вице-адмирал С.О.Макаров, поздравляя А.Н.Крылова с назначением на эту должность, писал: «Вы внесете в это живое дело правильные основания, и работы бассейна потеряют их теперешний случайный характер» [9]. Назначению предшествовала большая работа, выполненная Крыловым, по анализу работы бассейна и разработке предложений в целях ее улучшения. Основными пунктами предложенной программы были проверка возможности применения формулы Фруда, используемой при определении сопротивления воды движению судна, и проведение параллельных модельных и натуральных испытаний судов для уточнения методик пересчета результатов модельных испытаний в естественные условия. В течение всего срока заведования бассейном А.Н.Крылов стремился выполнить намеченную им программу. К сожалению, как показало развитие экспериментальной гидромеханики, выполнить ее за столь короткий срок было невозможно. В течение целого века в указанном им направлении совершенствовалась экспериментальная база не только у нас в стране, но и во всем мире. В 30-х годах прошлого века был создан Международный комитет опытовых бассейнов, который для всех бассейнов мира ставит задачи, созвучные с программой А.Н.Крылова.



Опытовый бассейн во времена А.Н.Крылова

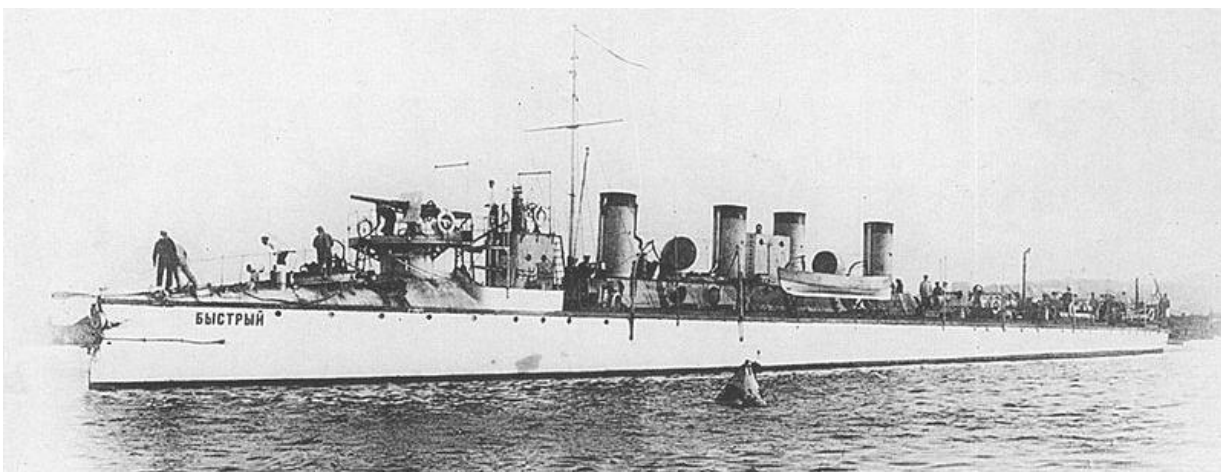
Большинство публикаций, основанных на данных опытового бассейна, сделано А.Н.Крыловым уже в советский период его жизни. В конце 20-х—начале 30-х годов прошлого века он опубликовал цикл работ, посвященный методам проведения натуральных испытаний судов и их анализу. В первой из этих работ [10] Крылов предложил приближенный метод решения прикладной океанологической задачи определения изменения во

времени скорости течения воды для учета его влияния на данные натурных испытаний судов. В то время при таких испытаниях на мерной миле проводили по три пробега корабля при заданном числе оборотов машины. По полученным результатам можно было составить три уравнения, связывавшие скорость корабля, обороты машины и скорость течения. Уравнения содержали четыре неизвестных величины, поэтому обычно предполагали, что при втором пробеге удвоенная скорость течения равна сумме скоростей течения при первом и третьем пробеге. Такое предположение иногда приводило к получению противоречивых результатов.

В своей работе А.Н.Крылов рассмотрел несколько возможностей оценки зависимости скорости течения от времени. Он показал, что простейшее предположение о линейности зависимости скорости течения от времени не позволяет разрешить возникающие противоречия. Поэтому он предложил использовать эмпирическую информацию формулы русского инженера В.И.Афанасьева, которая связывала скорость хода судна и частоту вращения двигателя. Используя эту формулу и вычисляя невязки между полученными в эксперименте и расчетными значениями одной из искомых величин, Крылов предложил графический способ приближенного восстановления характера изменения скорости течения воды во время проведения натурных испытаний. Его метод гарантировал получение непротиворечивых результатов испытаний.

В другой работе [11] А.Н.Крылов обосновывает обустройство мерной мили, исходя из анализа требуемой точности получаемых при натурных испытаниях результатов. Эти результаты позволили существенно повысить эффективность проведения натурных испытаний судов.

Работы [12, 13] А.Н.Крылов специально посвящает изучению влияния мелководья на результаты натурных испытаний. В настоящее время влияние мелководья на ходовые качества изучено достаточно хорошо, чего нельзя сказать о работах в этом направлении, относящихся к началу прошлого века. Это обстоятельство нашло отражение в парадоксальных результатах испытания миноносца «Быстрый» в 1915 г. в Черном море на Лукульской мерной миле, а также в трагическом инциденте, произошедшем с миноносцем «Новик». При анализе полученных при испытаниях на мелководье данных А.Н.Крылов подробно разобрал физическую сущность явления, заключающуюся в наличии на мелководье критических скоростей движения, при которых образуется большая «спутная» волна. На основании тщательного анализа всех данных он разработал рекомендации по проведению натурных испытаний с учетом глубины моря.



Миноносец «Быстрый»

Большую роль в развитии прикладной гидрофизики сыграла опубликованная в 1909 г. работа А.Н.Крылова «О равновесии шаровой мины на течении» [14]. Целью исследования были определение положения равновесия мины, формы, принимаемой минрепом,¹ и нахождение зависимостей между длиной минрепа, плавучестью мины и глубиной ее погружения при разных скоростях течения. В этой работе наибольший интерес представляет исследование формы, принимаемой минрепом на течении. А.Н.Крылов дает полное решение поставленной задачи, однако замечает, что «для практического применения уравнения слишком сложны и представляют лишь тот интерес, что показывают теоретическую возможность полного решения задачи». В этой же статье он делает упрощающее предположение о возможности пренебрежения весом минрепа, которое неоднократно в дальнейшем использовалось при изучении тросовых систем. Такое допущение позволяет получить простое решение, но А.Н.Крылов не ограничивается этим и разрабатывает простое графическое решение поставленной задачи. Для этого он заменяет реальную форму минрепа ломаной кривой. Крылов пишет: «Надо вообразить, что минреп заменен цепью, составленной из отдельных прутьев, соединенных шарнирами» [14]. Предложенный им прием в настоящее время часто используется при численных расчетах различных тросовых систем.

А.Н.Крылов был выдающимся математиком, его математические работы, хотя напрямую не касались вопросов гидрофизики, оказали существенное влияние на ее развитие. Особенно важным представляется курс лекций по приближенным вычислениям [15]. Это издание явилось первым в мире систематическим руководством по приближенным методам. В нем со всей ясностью был поставлен вопрос о необходимой и достаточной точности при проведении приближенных вычислений. Алексей Николаевич писал: «Точность вычислений должна соответствовать точности данных, которые получаются либо на основе наблюдений, либо непосредственным измерением; что касается точности последних, то она должна соответствовать точности, которая требуется практикой от конечного результата» [15]. Он сформулировал и другие принципы проведения расчетов, которые в значительной мере позволяют сокращать все вычисления. Благодаря деятельности А.Н.Крылова в среде российских ученых и инженеров была сформирована культура выполнения расчетов, что способствовало повышению качества выполняемых исследований.

Всю свою жизнь А.Н.Крылов благодаря своим многочисленным талантам и неустанной деятельности на благо Отечества пользовался уважением специалистов в различных областях знания; к его мнению прислушивались, обращались за консультацией и советом. Так, в документах можно найти свидетельства его контактов с известными океанологами – Ю.М.Шокальским и В.В.Шулейкиным. Ю.М.Шокальский в своей книге «Океанография», изданной в Петрограде в 1917 г., описывает наблюдения А.Н.Крылова за волнами, выполненные во время рейса парохода «Метеор» в 1913 г., и выражает ему благодарность за советы по главе о волнении. В классической монографии В.В.Шулейкина «Физика океана» неоднократно упоминается имя А.Н.Крылова. В некоторых изданиях Шулейкин рассказывает, например, о выполненном Алексеем Николаевичем расчете скорости движения меч-рыбы после ознакомления с экспонатом Кенсингтонского музея. После открытия инфразвукового излучения океана – «голоса моря» – В.В.Шулейкин сообщает об этом в письме А.Н.Крылову и просит его консультации в вопросе о возможности создания приемника инфразвукового штормоуловителя.

В заключение хотелось бы процитировать слова А.Н.Крылова: «Сила и мощь науки беспредельны, также беспредельны и практические ее применения на благо человечест-

¹Трос или цепь для крепления шаровой мины к якорю и удержания ее на заданном расстоянии от поверхности воды.

ва».² Вера в силу знаний и исключительное трудолюбие позволили А.Н.Крылову по праву занять почетное место в ряду самых выдающихся российских ученых.

Литература

1. *Смирнов В.И., Шиманский Ю.А., Идельсон Н.И.* Очерк жизни и деятельности А.Н.Крылова // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.1. Ч.1. М.; Л., 1951. С.7–39.
2. *Шиманский Ю.А.* Алексей Николаевич Крылов. Краткий очерк жизни и деятельности // Крылов А.Н. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С.734–743.
3. *Ханович И.Г.* Академик Алексей Николаевич Крылов. Л.: Наука, 1967. 250 с.
4. *Гирс И.В.* Первый русский опытовый бассейн. Л.: Судостроение, 1968. 184 с.
5. *Готман А.Ш.* К 200-летию со дня рождения Вильяма Фруда // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Т.4, №1. СПб.: Наука, 2011. С.88–96.
6. *Сазонов К.Е.* Роль В.Фруда в создании теории корабля // Судостроение. 2010. № 5. С.61–66.
7. *Сазонов К.Е.* Теория корабля в трудах А.Н.Крылова // Судостроение. 2013. № 4. С.21–26.
8. *Крылов А.Н.* Качка корабля // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.11. М.; Л., 1951. С.8–290.
9. Из переписки А.Н.Крылова с С.О.Макаровым, И.П.де-Колонгом, Н.Е.Жуковским и другими. Публ. Т.А.Красоткиной // Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1956. Т.15. С.54–168.
10. *Крылов А.Н.* Некоторые замечания об обработке прогрессивных испытаний судов // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.9. Ч.2. М.; Л., 1949. С.132–143.
11. *Крылов А.Н.* О прогрессивных испытаниях кораблей // Там же. С.110–118.
12. *Крылов А.Н.* Влияние глубины моря на результаты испытаний миноносца «Быстрый» // Там же. С.119–126.
13. *Крылов А.Н.* О волновом сопротивлении и о спутной волне // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.1. Ч.2. М.; Л., 1951. С.47–51.
14. *Крылов А.Н.* О равновесии шаровой мины на течении // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.IX. Ч.2. М.; Л., 1949. С.183–202.
15. *Крылов А.Н.* Лекции о приближенных вычислениях // Собрание трудов академика А.Н.Крылова. Т.III. Ч.1. М.; Л., 1949. 498 с.

Статья поступила в редакцию 27.09.2013 г.



²Цит. по работе [2].