

А. Н. Крылов – пионер фотографического способа

12, декабрь 2014

DOI: 10.7463/1214.0747444

Вуколов А. Ю.^{1,*}, Егорова О. В.¹

УДК 629

¹Россия, МГТУ им. Баумана

^{*}twdragon@bmstu.ru

1. Период теоретической разработки

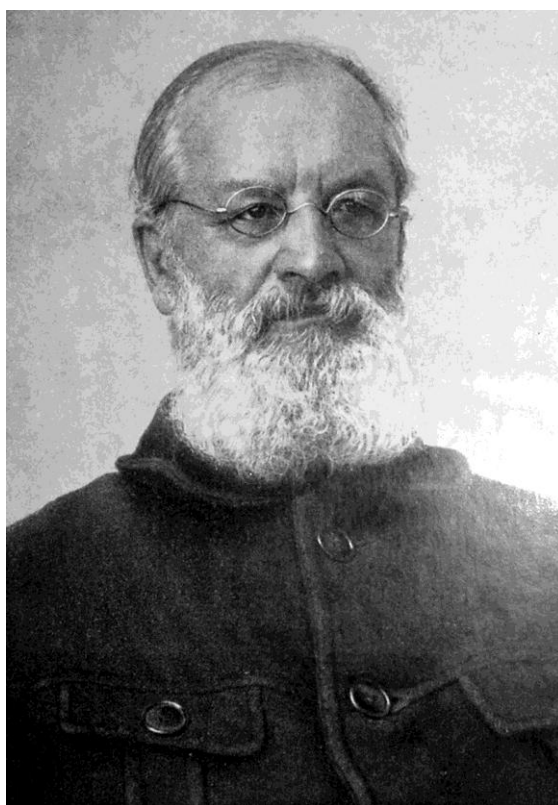


Рис. 1. А. Н. Крылов

Являясь с 1900 по 1908 год заведующим Опытным бассейном [2], А. Н. Крылов (рис. 1) в период с февраля 1902 по январь 1904 гг. активно проводит исследования,

имеющие отношение к боевой живучести и непотопляемости бронированных судов, а также к определению параметров систем наведения флотской артиллерии в условиях качки. В эпоху линкоров возмущения отдачи от выстрелов орудий сверхкрупного калибра имели величину, не позволяющую пренебрегать собой при расчете траекторий снарядов и коррекции наведения орудий. Одновременно специфика условий измерения (большие расстояния выстрелов, сочетание необходимости измерения больших и малых величин, высокая интенсивность возмущений при низкой временной плотности выстрелов) требовала разработки специальных комплексных экспериментальных методик. Как будет показано ниже, одна из таких методик, основанная на фотографических принципах, была Крыловым успешно разработана и применена на практике.

Прямых упоминаний о разработке какого-либо нового метода бесконтактного измерения в трудах А. Н. Крылова не прослеживается [1] до 1905 г. Напротив, в воспоминаниях, относящихся к 1902-1904 гг. ученый акцентирует внимание на своей загруженности исследованиями и внедрением нетрадиционных на то время методов оптимального проектирования броненосных крейсеров, просветительской деятельностью. Как пример, известен затяжной конфликт, возникший среди членов Морского технического комитета при обсуждении проблемы проектирования кораблей со свойством непотопляемости. В книге «Мои воспоминания» Крылов излагает суть спора [2] следующим образом:

В марте 1902 года адмирал С. О. Макаров подготовлял лекцию о непотопляемости военных судов, которую он намеревался прочесть в зале Морской библиотеки в Петербурге. Посетив Опытовый бассейн, адмирал пожелал видеть опыт опрокидывания модели броненосца «Петропавловск», построенной по его системе...

...

До сих пор при составлении проектов боевых судов производились по большей части те же расчеты остойчивости, которые имели значение для судов парусных, а при суждении о столь важном качестве, как живучесть или непотопляемость корабля, довольствовались не расчетами, точными и определенными, а общими соображениями, - попросту говоря, разговорами. От этого произошли многие недостатки...

...

Еще в октябре 1902 года я представил председателю Морского технического комитета расчеты и таблицы...

...

Председателем комитета был вице-адмирал Ф. В. Дубасов. На моем рапорте он [...] поручил кораблестроительному отделу спешно рассмотреть мою работу и доложить ему.

...

В конце января 1904 г. началась японская война, дело о непотопляемости не двигалось и к «спешному» рассмотрению приступлено не было.

31 марта 1904 года броненосец «Петропавловск» под флагом командующего флотом вице-адмирала Макарова подорвался на mine заграждения, произошла детонация или мин, или пороховых погребов, и броненосец потонул, опрокинувшись при этом. Адмирал Макаров погиб.

Распространился слух, что эта гибель была мною предсказана...

...я сделал на заседании доклад...

...через несколько дней мне был объявлен выговор за резкий тон и недопустимые в служебном докладе выражения...

...

Этот доклад был напечатан целиком. Времена изменились, никто меня за это не преследовал и в вину этого не ставил.

Я продолжал, заведую бассейном, кроме текущей работы по испытанию моделей, производить [...] ряд других работ...

...

...производство опытов на лодке «Уралец» по предложенному мною методу для определения влияния качаний корабля на меткость стрельбы.

Конец вышеприведенной цитаты датируется (самим автором) июлем 1905 года. Так как в дальнейшем (в записях 1906-1908 гг.) А. Н. Крылов упоминает лодку «Уралец» [3] в связи с испытаниями приборов для фотографической записи качки корабля, есть все основания полагать, что к лету 1905 г. основные теоретические положения нового метода были уже вполне разработаны и пригодны для внедрения в натурном эксперименте. Прямых упоминаний о такой разработке, однако, нет. Первая достоверная публикация результатов применения метода фотографической записи качки корабля (в виде научного отчета) относится к декабрю 1908 года [4]. Находящиеся в архиве АН СССР предположительно более ранние материалы [5] автором не датированы (ориентировочная датировка производилась по протоколам заседаний Особого Совета [6]). Таким образом, начало теоретической разработки Крыловым нового метода измерений следует с наибольшей степенью вероятности отнести к периоду с мая 1904 по март 1905 гг. В этот же период ученый побывал в Италии, где мог ознакомиться с доступными материалами по теории фотографии и фотограмметрии [2]. Сам он приписывает создание теоретического задела и разработку базовой идеи метода французскому инженеру Хюйе [7], ссылаясь на публикацию в «Mémorial du génie Maritime» за 1874 г.

2. Метод фотографической записи качки. Теория и реализация

Предложенный А. Н. Крыловым метод фотографической записи качки корабля фактически превращает фотокамеру простейшей конструкции в аналоговый запоминающий осциллограф прямого преобразования. Согласно схеме [7, 12], камера, размещенная на судне таким образом, чтобы ее оптическая ось была перпендикулярна продольной плоскости по киллю, наводится на линию горизонта (рис. 2).

На фоточувствительном материале регистрируется видимая граница раздела яркостей (свечение неба – отраженный свет от поверхности воды), при неподвижной камере представляющая из себя прямую линию (рис. 3).

Тогда при отклонении продольной плоскости судна от вертикали на угол θ , видимая граница яркостей на фотоснимке отклоняется (рис. 4) от горизонтальной оси кадра на величину ординаты:

$$HH_1 = OH \cdot \tan(\theta) = f \cdot \tan(\theta),$$

где OH_1 - длина прохода луча до фокальной плоскости от точки преломления, f - фокусное расстояние объектива.

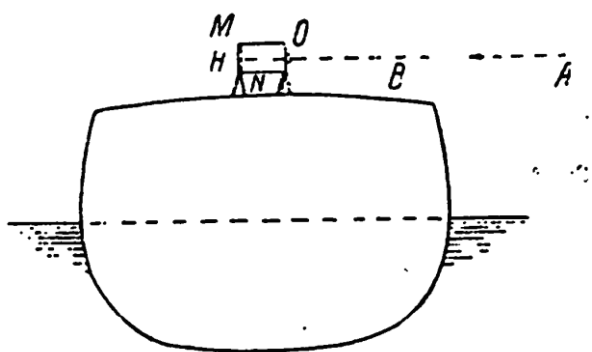


Рис. 2. Размещение фотокамеры на судне

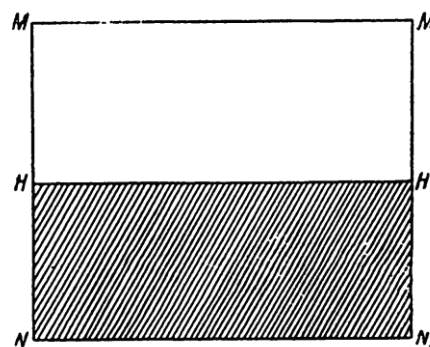


Рис. 3. Видимая граница раздела яркостей

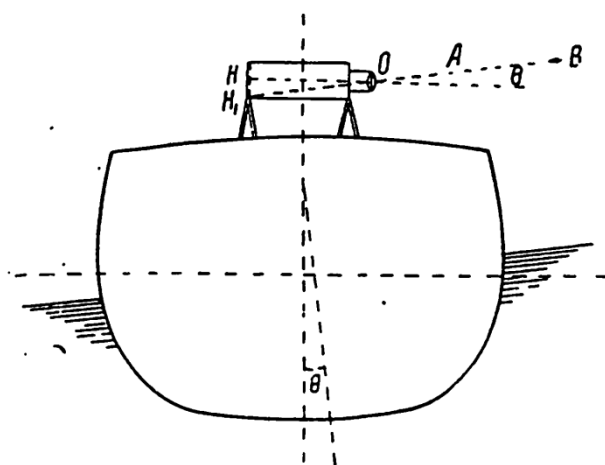


Рис. 4. К описанию метода



Рис. 5. Щелевая диафрагма

Временную развертку записи обеспечивает щелевая диафрагма (рис. 5) вблизи фокальной плоскости объектива, мимо которой с помощью часового механизма, с известной скоростью, протягивается нанесенный на бумажную ленту светочувствительный материал. В результате процесса записи получается осциллограмма, подобная представленной на рис. 6.

Из воспоминаний А. Н. Крылова явствует [7], что для применения метода на практике (определения влияния качки от отдачи выстрелов орудия на разброс попаданий снаря-

дов) была специально сконструирована камера-осциллограф (ее рисунков и полного описания не сохранилось), которая, кроме собственно механизма записи, содержала электромагнитный отметчик момента выстрела (рис. 7), подключенный к спусковой кнопке орудия. Осциллограмма качки корабля с отметкой момента выстрела представлена на рис. 8.

Особенность отметчика конструкции А. Н. Крылова состояла в том, что в нем использовался режим нормально замкнутого переключателя, который активировал электромагнитный спуск предварительно взведенного механического одношторочного затвора. При технологиях того времени такое решение обеспечивало существенное уменьшение времени спуска затвора с 1/40 до 1/100 секунды. Отметка момента выстрела представляла собой вертикальную белую (или черную на позитиве) линию на осциллограмме.

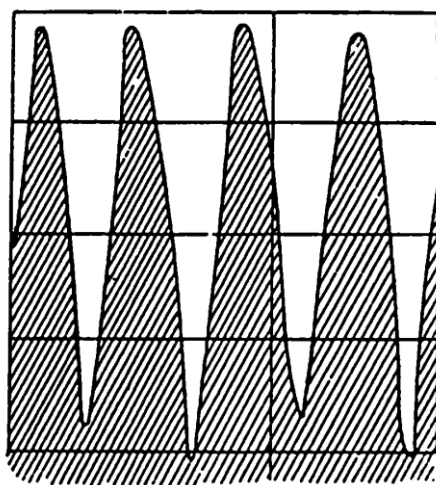


Рис. 6. Осциллограмма качки корабля

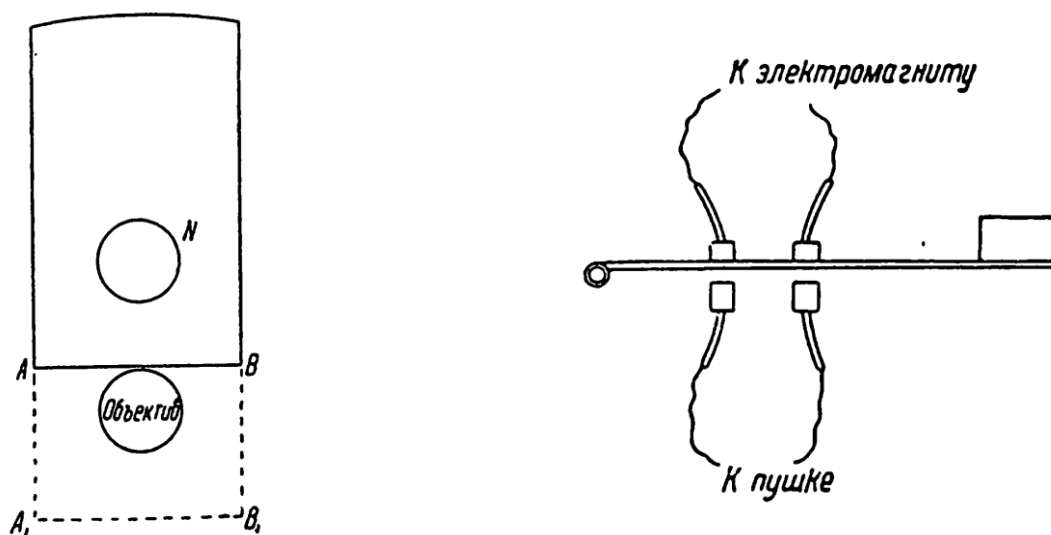


Рис. 7. Конструкция отметчика



Рис. 8. Осциллограмма с отметкой момента выстрела

3. Практическое применение

Первое применение на практике предложенного Крыловым метода фотографической записи качки корабля относится к периоду с 26 сентября по 18 октября 1913 г. К этому времени относится сохранившийся в личном архиве ученого «Рабочий журнал» канонерки «Уралец» [8], на которой проводились испытательные стрельбы по выявлению влияния качки на разброс попаданий снарядов. Сохранились также таблицы [7] параметров камеры, дающие масштаб угла крена корабля при различных фокусных расстояниях объектива. Величина скорости протяжки ленты выбиралась подтормаживанием часового механизма.

Таблица 1. Параметры камеры

Фокусное расстояние [мм]	Длина нормируемого отрезка оси ординат [мм]	Угол крена	Масштаб [мм/рад]
250 (объектив Zeiss)	10	2°29'	230.72
350 (объектив Zeiss)	10	1.63°	351.51
600 (объектив DeRogée)	10	0.95°	603.11
900 (объектив DeRogée)	10	0.64°	895.25

Сохранилась осциллограмма качки канонерки «Уралец» с нанесенными отметками выстрелов. Часть этой осциллограммы уже была приведена выше. Полный негатив имеет вид 145-мм ленты длиной более 5 метров [9]. После обмера осциллограммы результаты измерений сопоставлялись с имеющимися фотографиями (рис. 9) распределения попаданий снарядов в скалы-мишени.

Полученные в результате стрельб результаты вошли в упомянутый выше научный отчет [4] «Об опытах стрельбы на качке с канонерской лодки «Уралец» в 1907 году», датированный декабрем 1908 г., а также в неопубликованный материал «Влияние качки корабля на меткость стрельбы» [10].

Основное же применение метод фотографической записи качки нашел в феврале-марте 1913 года, когда проводилась большая исследовательская работа по успокоительным цистернам Фрама. Система цистерн готовилась к внедрению на строящихся линей-

ных крейсерах «Измаил» и «Кинбурн», а также готовилась к внесению в проекты кораблей типа «Гангут». А. Н. Крылов, тогда пребывавший в чине генерал-лейтенанта, был назначен председателем Специальной морской комиссии, которой было поручено провести испытания системы цистерн в Атлантике на подходящем судне.



Рис. 9. Фотография распределения попаданий снарядов

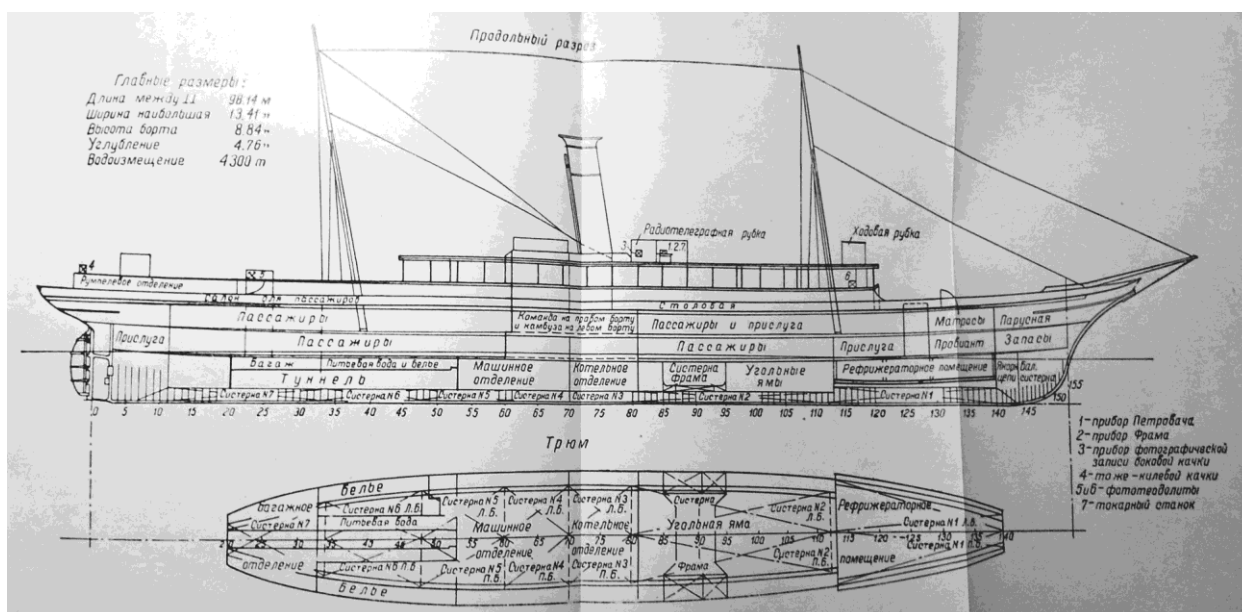


Рис. 10. Продольный разрез парохода «Метеор» и схема расстановки регистрирующего оборудования

Испытания были проведены на специально зафрахтованном для этого 98-метровом пароходе «Метеор» водоизмещением 4300 т [11]. Он имел цистерны Фрама, кроме этого, непосредственно перед экспериментом его дооборудовали фототеодолитами, гироскопическими самописцами конструкции Петровача и Фрама, фотографическим осциллографом Крылова. На корабль были погружены запасы фотоматериалов, реактивов, компоненты лабораторного оборудования для проявки и фиксации. В одном из подсобных помещений была оборудована фотолаборатория с полуавтоматическим процессом обработки негативов. Ею руководил профессор Н. А. Смирнов [2]. Сохранилась схема расстановки регистрирующих приборов при испытаниях (рис. 10), анализ которой говорит о том, что показания приборов разных типов для регистрации колебаний судна продуманно дублировались с расчетом на обеспечение максимально возможной повторяемости.

В частности, прибор Крылова, самописец Петровача (рис. 11) и близкий к нему по конструкции прибор Фрама размещены в точке наибольшей заметности боковой качки – на высшем уровне палуб, у радиотелеграфной рубки. Дополнительно, изучая схему и воспоминания ученого, можно сделать вывод о том, что Крылов был уверен в точности именно своего прибора – он прямо упоминает его как первичный при проверке правильности показаний гироскопических приборов [11]. Очевидно, простота принципа и реализации метода фотографической записи качки выводила его в лидеры по точности и надежности, учитывая сравнительно низкий уровень развития гироскопической технологии измерений в то время, даже, несмотря на высочайшую культуру конструирования и изготовления приборов.

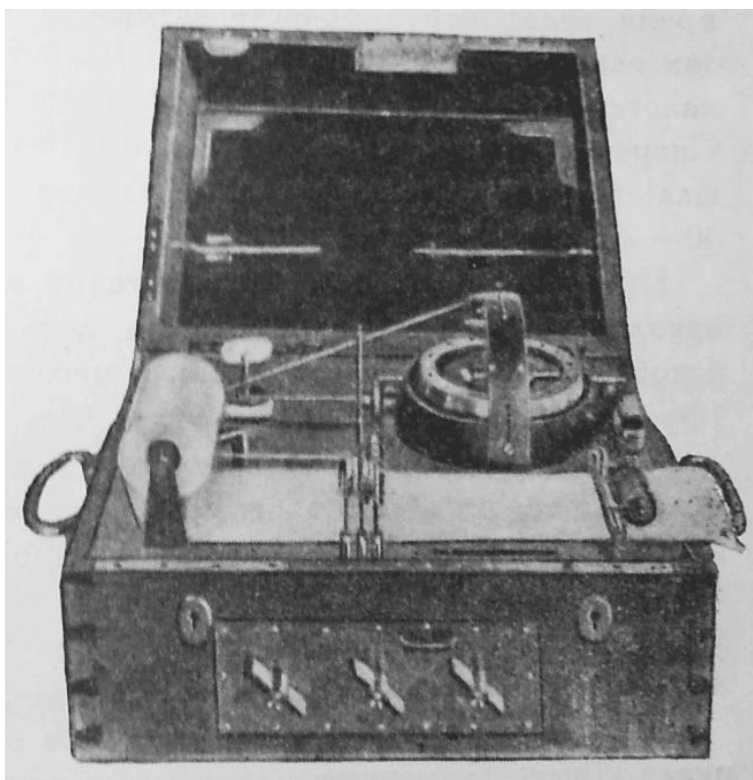


Рис. 11. Самописец Петровача

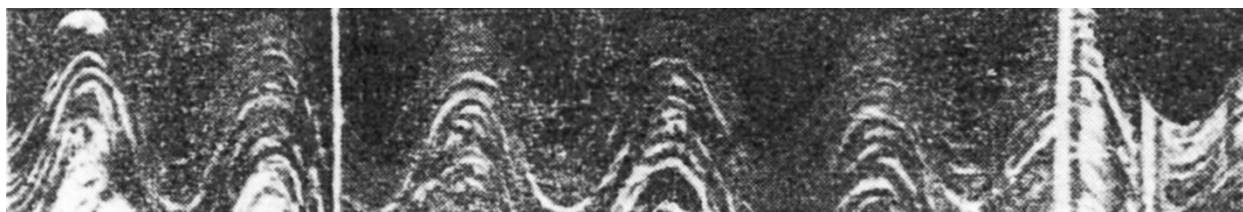


Рис. 12. Пример записанной фотографическим прибором осциллограммы качки

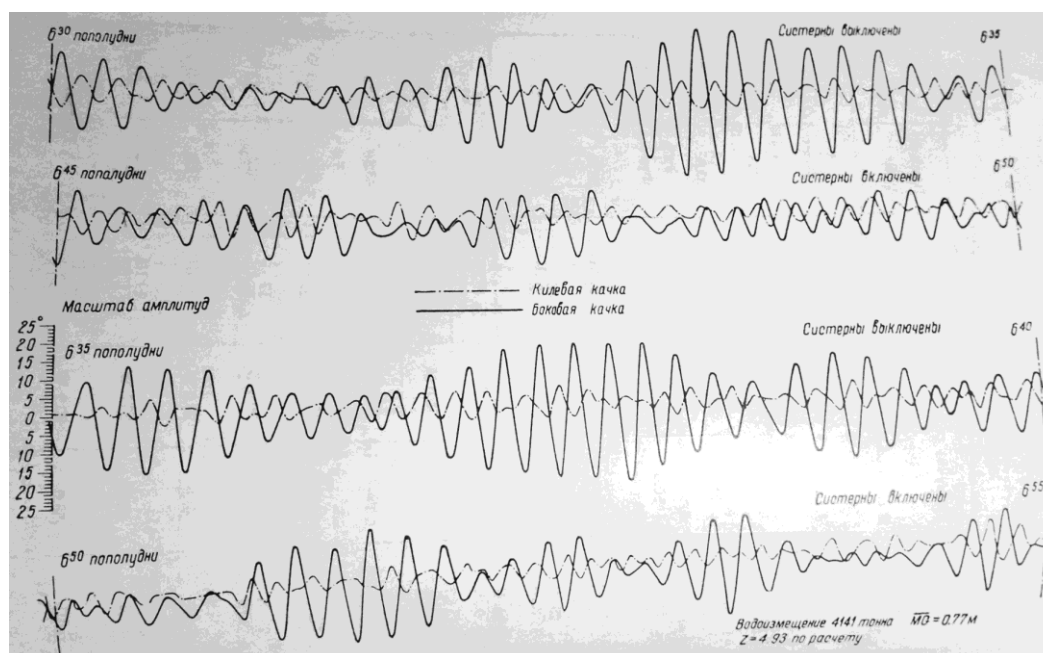


Рис. 13. Пример обработанной диаграммы качки

А. Н. Крылов приводит полное обстоятельное описание процесса испытаний и базовую интерпретацию результатов:

Испытание цистерн проводилось следующим образом. Корабль ложился на курс в разрез волны, т. е. чтобы направление гребней волн было перпендикулярно диаметральной плоскости и волна была встречная. На этом курсе лежали 10 минут с выключенными цистернами, затем 10 минут с включенными цистернами, причем всеми приборами записывалась и сверх того прибором Петровача и одним из фотографических приборов записывалась килевая качка. После этого корабль изменял курс на 45° , скажем, вправо, и на этом курсе лежал опять 10 минут с включенными и 10 минут с выключенными цистернами, после чего опять изменяли курс на 45° вправо же, и т. д. до тех пор, пока корабль приходил на первоначальный курс в разрез волны.

Таким образом, корабль описывал правильный восьмиугольник, состоящий из прямолинейных галсов, на каждом из которых лежал по 20 минут, из них 10 минут со включенными и 10 минут с выключенными цистернами.

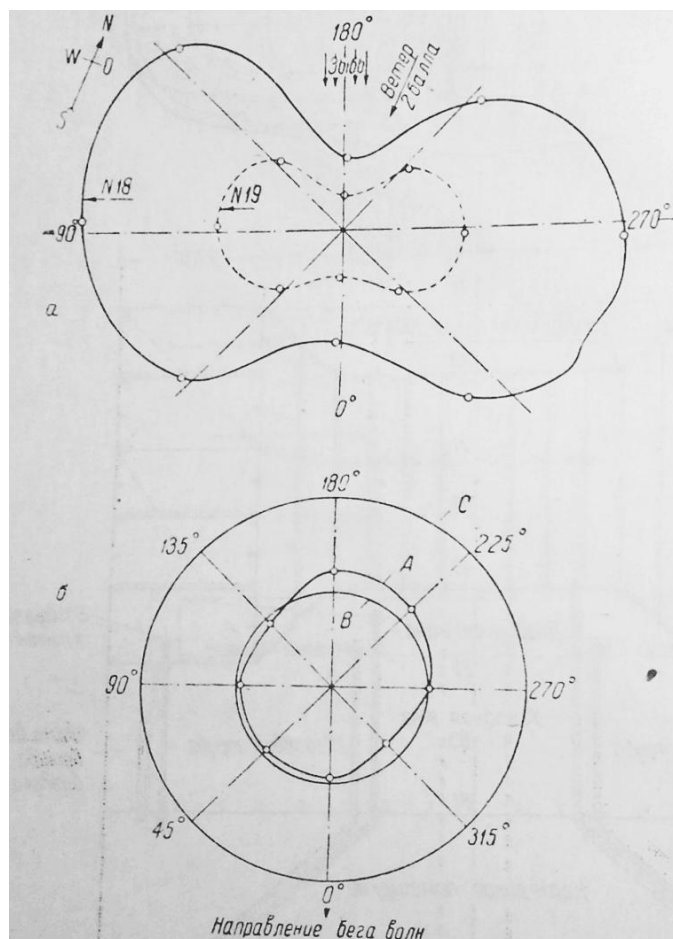


Рис. 14. Сводная диаграмма результатов испытаний парохода «Метеор»

Применялась и другая метода, а именно сперва корабль описывал восемь галсов так, как указано выше с включенными цистернами, затем такие же восемь галсов с выключенными цистернами. Эта метода применялась главным образом тогда, когда зыбь была ровная, установившаяся, так что за время наблюдений элементы волны чувствительно не изменялись. Таких наблюдений производилось ежедневно по две серии: утром от 9 до 12 часов и днем от 14 до 17 часов.

В тот же самый день вечером все наблюдения обрабатывались следующим образом:

1. С записей боковой качки, полученных каждым из приборов, снимались копии,
2. С записей килевой качки, полученных прибором Петровача, а также нашим фотографическим (рис. 12)¹, также снимались копии,
3. Все размахи боковой качки, полученные по записям гироскопических приборов, обмерялись и наиболее характерные из них сличались с записями

¹ Здесь и далее в тексте цитаты ссылки на рисунки добавлены авторами данной статьи с целью улучшения понимания ее содержания. В первоисточнике ссылки на рисунки отсутствуют.

фотографическими, чтобы иметь контроль правильности показания гироскопических приборов,

- 4. Результаты обмеров размахов на сторону (амплитуды) при каждом курсе заносились в отдельную ведомость, затем для каждого курса определялась средняя и максимальная амплитуда и составлялась таблица [...]*

По этим отдельным таблицам составлена затем сводная таблица, в которую для каждого из относительных курсов внесены отношения средней амплитуды при включенных цистернах к средней амплитуде – при выключенных, после чего из этих отношений взято как простое среднее, так и взвешенное [...] и на основании этого построена диаграмма (рис. 13, 14), представляющая графически общую сводку всех результатов.

На этой диаграмме по каждому из восьми радиусов-векторов отложено соответствующее отношение амплитуд размаха при включенных цистернах и при выключенных (кривая А), наружный же круг С представляет отношение, равное 1, то есть соответствующее выключенным цистернам или отсутствию их.

Общий результат такой: при характеристике цистерн 3° амплитуда размахов в среднем при выключенных цистернах составляет 0.50 (круг В) от амплитуды при выключенных.

Заключение

Подытоживая вышесказанное, можно увидеть, что предложенные А. Н. Крыловым экспериментальная методика и способ реализации фотографической записи качки нашли успешное практическое применение, и его результаты прошли проверку на достоверность [12]. Кроме того, из воспоминаний ученого следует, что он ознакомил со своим оборудованием и результатами иностранных инженеров, а именно команду итальянского линкора «Данте Алигьери», встреча с которым состоялась на рейде у о. Мадейра 7-8 марта 1913 года [2]. Однако, нет достоверных свидетельств о том, что фотографическая запись качки когда-либо после этого случая использовалась за пределами России в качестве основы экспериментального исследования. Очевидно, нераспространению новой методики поспособствовала весьма высокая по тем временам сложность получения и обработки результатов, связанная с необходимостью использования специальных реактивов и наличия высокой лабораторной культуры.

Другие упоминания о бесконтактных способах измерения физических величин начинают встречаться в архивах А. Н. Крылова только в послереволюционное время. Как свидетельствуют «Справки о трудах академика А. Н. Крылова», представленные в Академию Наук СССР и датированные 1918-1940 гг., ученый возвращался к этой тематике в 1920-1923 гг. Это материалы [1], посвященные определению траекторий и баллистических характеристик трассирующих снарядов по данным дистанционной съемки их полета и разрыва с помощью фототеодолитов. По большей части эти работы так и остались незаконченными. В дальнейшем до появления цифровой фотографии бесконтактные методики

измерения физических величин с использованием фототехники применялись в России весьма ограниченно, в тех случаях, когда сложность постановки эксперимента многократно превышала сложность обработки фотоматериалов (например, при экспериментах на пузырьковых камерах, применявшихся в ядерной физике). В прикладной же механике они, пережив кратковременный расцвет, оказались на положении узкоспециализированных отраслевых. В настоящее время бесконтактные методики измерений получают в механике второе рождение [12 – 16] в связи с развитием цифровых технологий [17] и появлением специализированных программно-аппаратных комплексов класса Motion Capture.

Список литературы

1. Рукописное наследие академика Алексея Николаевича Крылова. Научное описание / под ред. акад. В.И. Смирнова. Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1969. (Труды Архива АН СССР; вып. 23).
2. Крылов А.Н. Мои воспоминания. Л.: Судостроение, 1984.
3. Крылов А.Н. 1907, июня 15. «Памятная записка». Докладная записка Ф.Д. Ремесникову «Об окончании работ по установке приборов для фотографической записи качки на канонерской лодке «Уралец» и о необходимости замены искусственной качки естественной во время зыби в открытом месте». С подписью // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98/2. Л. 33-34 об.
4. Крылов А.Н. Об опытах стрельбы на качке с канонерской лодки «Уралец» в 1907 году. Отчет полковника Крылова. С четырьмя приложениями // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98/1. Л. 1-46.
5. Крылов А. Н. О фотографической записи качаний корабля. Доклад в Морском техническом комитете. Литогр. оттиск // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98 (точное местонахождение устанавливается дополнительно).
6. Записка об ученых трудах акад. А.Н. Крылова: Приложение к протоколу II заседания ОС. Официальные работы. № 29. К. 355. С. 45. Протоколы ОС АН, 1916.
7. Крылов А.Н. О фотографической записи качаний корабля // Собрание трудов академика А.Н. Крылова. Т. XI. «Качка корабля» / Отв. ред. чл.-корр. АН СССР Ю.А. Шиманский. М.-Л.: Изд-во Академии Наук СССР, 1951. С. 261-264.
8. Крылов А.Н. 1907, сентября 26 – октября 18. Лодка «Уралец». Рабочий журнал. 1907 год // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98/5. Л. 1-29.
9. Крылов А.Н. 1907, октября 17. Запись бортовых качаний корабля. Фотобумага с негативным изображением // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98/12.
10. Крылов А.Н. Влияние качки корабля на меткость стрельбы // Санкт-Петербургский филиал архива РАН. Ф. 759. Оп. 1. № 98/10. Л. 28-27 об.

11. Крылов А.Н. Испытания цистерн Фрама на пароходе «Метеор» // Собрание трудов академика А.Н. Крылова. Т. XI. «Качка корабля» / Отв. ред. чл.-корр. АН СССР Ю.А. Шиманский. М.-Л.: Изд-во Академии Наук СССР, 1951. С. 273-285.
12. Vukolov A., Golovin A. A.N. Krylov: The Pioneer of Photographic Non-invasive Measurement Methods in Russian Science // In: New Trends in Mechanism and Machine Science / ed. by P. Flores, F. Viadero. Springer, 2015. P. 903-911. DOI: 10.1007/978-3-319-09411-3_94
13. Swaneveldt A.G. An optical gait analysis system for horses // Masters Abstracts International. 1995. Vol. 33, no. 2. P. 5-81.
14. Vukolov A., Kharitonov E. Kinematical Analysis of Mechanical Systems by Results of Digital Video Recording // In: SYROM 2009. Proceedings of the 10th IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines / ed. by I. Visu. Springer, 2009. P. 457-464. DOI: 10.1007/978-90-481-3522-6_37
15. Golovin A., Vukolov A., Umnov N. Horse Gait Exploration on Step Allure by Results of High Speed Strobelight Photography // In: New Trends in Mechanism Science: Analysis and Design / ed. by D. Pislă, M. Ceccarelli, M. Husty, B. Corves. Springer, 2010. P. 361-368. DOI: 10.1007/978-90-481-9689-0_42
16. Golovin A., Vukolov A., Potapova A. Peculiarities of Flat Cam Measurement by Results of Digital Photo Shooting // In: New Trends in Mechanism Science: Analysis and Design / ed. By D. Pislă, M. Ceccarelli, M. Husty, B. Corves. Springer, 2010. P. 269-276. DOI: 10.1007/978-90-481-9689-0_31
17. Yakushina E. Place Function Definition of the Cam Mechanism by the Digital Photography Method and Statistical Processing of Measurements Results // Proceedings of Russian-Italian Students' Workshop "Problems in Robotics". Kursk: KSTU, 2008.

A. N. Krylov is a Pioneer of Photographic Technique

12, December 2014

DOI: 10.7463/1214.0747444

A.Yu. Vykolov^{1,*}, O.V.Egorova¹

¹Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

^{*}twdragon@bmstu.ru

Keywords: [oscilloscope](#), [A. N. Krylov](#), [photographic technique](#), [ship pitching](#), [contactless measurement](#)

Within a period from February, 1902 to January, 1904 A. N. Krylov actively conducted research activities concerning both the mission survivability and subdivision of armoured ships and the parameterization of the naval artillery guidance systems under ship motion conditions. Specifics of measurements in such conditions demanded that the special sophisticated experimental techniques were developed. Krylov successfully developed and put into practice one of such techniques based on the photographic principles of record.

The method of photographic record of the ship motion offered by Krylov, actually, turns a camera of the simplest design into the analogue storage oscilloscope of direct transformation which records the time-variant ship deviation angle from a vertical on a photosensitive tape. To define the influence of motion from the jump of gun rounds on scattering of impact points of projectiles such camera was ad hoc designed, but it is not in existence today.

The first practical application of Krylov method for photographic record of ship motion was implemented within the period from September 26 to October 18, 1913. At that time the gun boat "Uralets" held test gun practice to reveal the influence of motion on scattering of impact points of projectiles. In February-March, 1913 during large-scale research activities on Frahm antirolling tanks the method found its main application. Tests were carried out at the steamship "Meteor" ad hoc reequipped for this purpose, including devices for photographic and gyroscopic record of motion. Thus, thanks to its accuracy, simplicity, and reliability, the Krylov photographic method was used as a reference when checking a validity of gyroscopic devices.

Later on, before emerging digital photos the contactless techniques to measure the values of physical quantities using photo-equipment were rather restrictedly applied in Russia in case a

complexity of experimental set up exceeded manifold the complexity of photographic materials processing.

References

1. Smirnov V.I., ed. *Rukopisnoe nasledie akademika Alekseya Nikolaevicha Krylova. Nauchnoe opisanie* [Manuscript heritage of academician Alexei Nikolaevich Krylov. Scientific description]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. (*Trudy Arkhiva AN SSSR* [Proceedings of the Archive of the Academy of Sciences of the USSR]; is. 23). (in Russian).
2. Krylov A.N. *Moi vospominaniya* [My memories]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1984. (in Russian).
3. Krylov A.N. 1907, iyunya 15. “Pamyatnaya zapiska”. *Dokladnaya zapiska F.D. Remesnikovu “Ob okonchanii rabot po ustanovke priborov dlya fotograficheskoy zapisi kachki na kanonerskoy lodke “Uralets” i o neobkhodimosti zameny iskusstvennoy kachki estestvennoy vo vremya zybi v otkrytom meste”. S podpis'yu* [1907, June 15. “Memorandum”. Memorandum to F.D. Remesnikov “On completion of work on the installation of devices for the photographic record of oscillations on the gunboat “Uralets” and the need to replace artificial oscillations by natural oscillations during a swell in the open place”. With the signature]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv. 1, no. 98/2, pp. 33-34. (In Russian, unpublished).
4. Krylov A.N. *Ob opytakh strel'by na kachke s kanonerskoy lodki “Uralets” v 1907 godu. Otchet polkovnika Krylova. S chetyr'mya prilozheniyami* [About the experience of shooting when oscillations of the gunboat “Uralets” in 1907. Report of Colonel Krylov. With four applications]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv. 1, no. 98/1, pp. 1-46. (In Russian, unpublished).
5. Krylov A. N. *O fotograficheskoy zapisi kachaniy korablya. Doklad v Morskom tekhnicheskoy komitete. Litogr. ottisk* [About a photographic record of the oscillations of the ship. Report to the Naval Technical Committee. Lithographic print]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv. 1, no. 98. (In Russian, unpublished).
6. *Zapiska ob uchenykh trudakh akad. A.N. Krylova : Prilozhenie k protokolu 2 zasedaniya OS. Ofitsial'nye raboty. № 29. K. 355. S. 45. Protokoly OS AN, 1916* [A note about scientific works of the academician A.N. Krylov: Annex to Protocol of the 2nd meeting of the General Assembly. Official work, no. 29, k. 355, p. 45. Protocols of the General Assembly of the Academy of Sciences, 1916]. (In Russian, unpublished).
7. Krylov A.N. *O fotograficheskoy zapisi kachaniy korablya* [About a photographic record of the oscillations of the ship]. In: *Sobranie trudov akademika A.N. Krylova. T. 11. “Kachka korablya”* [Collected Works of Academician A.N. Krylov. Vol. 11. “The oscillations of a ship”]. Moscow – Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1951, pp. 261-264. (in Russian).

8. Krylov A.N. 1907, *sent'yabrya 26 – oktyabrya 18. Lodka «Uralets». Rabochiy zhurnal. 1907 god* [1907, September 26 - October 18. Boat “Uralets”. The logbook. 1907]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv.1, no. 98/5, pp. 1-29. (In Russian, unpublished).
9. Krylov A.N. 1907, *oktyabrya 17. Zapis' bortovykh kachaniy korablya. Fotobumaga s negativnym izobrazheniem* [1907, October 17. Recording of oscillations of the ship. Photo paper with negative image]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv. 1, no. 98/12. (In Russian, unpublished).
10. Krylov A.N. *Vliyaniye kachki korablya na metkost' strel'by* [Influence of oscillations of a ship on shooting accuracy]. St. Petersburg Branch of Archive of Russian Academy of Sciences, f. 759, inv. 1, no. 98/10, pp. 28-27 ob. (In Russian, unpublished).
11. Krylov A.N. *Ispytaniya tsistern Framy na parokhode “Meteor”* [Testing of Frame tanks on the ship “Meteor”]. In: *Sobranie trudov akademika A.N. Krylova. T. 11. “Kachka korablya”* [Collected Works of Academician A.N. Krylov. Vol. 11. “The oscillations of a ship”]. Moscow – Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1951, pp. 273-285. (in Russian).
12. Vukolov A., Golovin A. A.N. Krylov: The Pioneer of Photographic Non-invasive Measurement Methods in Russian Science. In: Flores P., Viadero F., eds. *New Trends in Mechanism and Machine Science*. Springer, 2015, pp. 903-911. DOI: 10.1007/978-3-319-09411-3_94
13. Swanevelter A.G. An optical gait analysis system for horses. *Masters Abstracts International*, 1995, vol. 33, no. 2, pp. 5-81.
14. Vukolov A., Kharitonov E. Kinematical Analysis of Mechanical Systems by Results of Digital Video Recording. In: Visa I., ed. *SYROM 2009. Proceedings of the 10th IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines*. Springer, 2009. P. 457-464. DOI: 10.1007/978-90-481-3522-6_37
15. Golovin A., Vukolov A., Umnov N. Horse Gait Exploration on Step Allure by Results of High Speed Strobelight Photography. In: Pisla D., Ceccarelli M., Husty M., Corves B., eds. *New Trends in Mechanism Science: Analysis and Design*. Springer, 2010, pp. 361-368. DOI: 10.1007/978-90-481-9689-0_42
16. Golovin A., Vukolov A., Potapova A. Peculiarities of Flat Cam Measurement by Results of Digital Photo Shooting. In: Pisla D., Ceccarelli M., Husty M., Corves B., eds. *New Trends in Mechanism Science: Analysis and Design*. Springer, 2010, pp. 269-276. DOI: 10.1007/978-90-481-9689-0_31
17. Yakushina E. Place Function Definition of the Cam Mechanism by the Digital Photography Method and Statistical Processing of Measurements Results. In: *Proceedings of Russian-Italian Students' Workshop "Problems in Robotics"*. Kursk, KSTU, 2008.