

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ М. В. ЛОМОНОСОВА В ОБЛАСТИ
АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ****И. Б. Литинецкий**

«В природе мера и вес суть
главные орудия познания».

(Д. И. Менделеев)

«Новые средства измерения знаменуют собой настоящий прогресс». Эта лаконичная характеристика роли и значения измерительной техники, данная выдающимся русским ученым Б. С. Якоби более ста лет назад, стала особенно весомой и зримой в наш век, век грандиозных успехов науки и техники, бурного развития механизации и автоматизации производства. Можно без преувеличения сказать, что современные измерительные приборы и средства автоматики стали той материальной базой, без которой невозможно дальнейшее развитие науки, промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

История измерительной техники показывает, что некоторые замечательные идеи и принципы, получившие широкое применение в различных областях современной человеческой деятельности, возникли уже давно и, в частности, как результат творческого гения нашего народа.

В стремлении «облегчить труд по нас грядущим», раскрыть глубочайшие закономерности в наблюдаемых явлениях природы дерзали и созидали многие поколения русских приборостроителей, обогащая своим творчеством, изобретением новых средств и методов измерения отечественную и мировую науку и технику на всех этапах их развития. Это особенно ярко запечатлено в бессмертных трудах великого сына русского народа, ученого-энциклопедиста — Михаила Васильевича Ломоносова, который «на все века оставил своей Родине пример того, как наука может и должна служить народу» (С. И. Вавилов).

Все многогранное творчество Ломоносова является блестящим образцом единства науки и практики. Разрабатывая различные теории в области физики и химии, проводя гравиметрические наблюдения, исследуя электрические явления в атмосфере, великий ученый не только решал задачу основания и развития передовой отечественной науки, но и стремился одновременно применять науку непосредственно к практике для развития производительных сил России и укрепления ее экономической мощи. «Н а у к и, — писал Ломоносов в своем «Слове о пользе химии», — п о д а ю т я с н о е о в е щ а х п о н я т и е и о т к р ы в а ю т п о т а е н н ы е д е й с т в и я и с в о й с т в п р и ч и н ы; х у д о ж е с т в а (промышленность.—И. Л.) к п р и у м н о ж е н и ю ч е л о в е ч е с к о й п о л ь з ы о н ы я у п о т р е б л я ю т» (т. II, стр. 351)*.

*) Здесь и далее в ссылках указываются том и страницы Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова, изданного Академией наук СССР в 1950—1957 гг.

В равной степени ученый прекрасно понимал огромное значение развития всех областей человеческой практики для прогресса науки и в своем творчестве всегда использовал достигнутые успехи в промышленности, технике, земледелии и мореплавании. «Науки и искусства путь показывают», — говорил ученый; «искусства происхождение наук ускоряют» (т. II, стр. 351) (разрядка наша.—И. Л.).

Зная большие и строгие требования, предъявляемые к науке промышленностью, земледелием, мореплаванием и военным делом, Ломоносов постоянно стремился к тому, чтобы всякая научная теория проверялась опытом и опиралась на опыт. «Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением» (т. II, стр. 125), — писал ученый в своих «Заметках по физике и корпускулярной философии», имея в виду многих ученых своего времени, которые нередко забывали об опытных корнях научного знания. Вместе с тем Ломоносов не раз предостерегал и об опасности одностороннего увлечения опытами, энергично отстаивал права теоретического мышления в естествознании и едко высмеивал тех, кто «все свои дни затемняют дымом и сажей и в мозгу которых господствует хаос от массы непродуманных опытов». И поныне обаятельно свежи замечательные строки ученого в «Рассуждении о большой точности морского пути», утверждающие принцип неразрывного единства теории и опыта: «Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения — есть лучший во всех способов к изысканию правды» (т. IV, стр. 163) (разрядка наша.—И. Л.).

Ставя в прямую зависимость успехи науки и практики от развития экспериментального искусства, Ломоносов в своих трудах достиг величайшей гармонии опытного и теоретического исследования. В ряде областей его деятельности экспериментальное исследование приобрело необычайно широкий размах. Достаточно сказать, что при отыскании способов окрашивания стекла ученый произвел свыше трех тысяч опытов с подробным описанием каждого. Таких примеров можно было бы привести еще немало. Подавляющее число его работ обладает всеми признаками классических экспериментов. В них сочетается большая принципиальная значимость результатов с оригинальностью и остроумием экспериментальной методики. Глубокое понимание единства эксперимента и теории и блестящее воплощение этого единства в собственном научном исследовании коренных проблем науки высоко поднимало Ломоносова над его современниками, открывало его взору перспективы развития естествознания на многие десятилетия вперед.

Правильно решив проблему взаимоотношения теории и практики, теории и опыта, М. В. Ломоносов, как повествует дошедшее до нас его рукописное и печатное наследие, много сил и энергии отдал развитию техники эксперимента, усовершенствованию методов измерений и на протяжении четверти века своей многосторонней деятельности изобрел несколько десятков новых, неизвестных науке XVIII столетия астрономических, навигационных, гравиметрических, метеорологических, оптических, физических, химических и других приборов, которые, по образному выражению ученого, были ему нужны, чтобы «испытывать все, что только можно измерить, взвешивать и определять вычислением».

Однако значимость творчества М. В. Ломоносова в области приборостроения определяется не только большим количеством изобретенных им новых средств измерения. Прозорливый ученый, неутомимый труженик и искатель новых, неизведанных путей в науке и технике, Ломоносов, как показывает тщательное изучение оставленных им трудов, всемерно

стремился к автоматизации измерений. Автоматизация измерительной техники, по мысли Ломоносова, должна была обеспечить объективность и высокую точность измерений, облегчить и обезопасить труд людей во многих областях их практической деятельности, а главное, открывала широкие возможности для развития экспериментальных работ во всех отраслях естествознания, даже при малом числе квалифицированных исследователей, имевшихся в середине XVIII века в России.

Свою деятельность в области автоматизации измерений Ломоносов начал с изобретения в 1748 г. саморегистрирующего анеморумбометра. И это не случайно. Проблема предсказания погоды волновала ученого с самого начала его научной деятельности. В ее решении он видел дело, «достойное златых гор». Между тем метеорология во времена Ломоносова находилась лишь в зародыше и «знание воздушного круга» было «великою тьмою покрыто». Причиной этого, как правильно заключил ученый в своем «Слове о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», было «и н с т р у м е н т о в, к с е м у д е л у и з о б р е т е н н ы х, несовершенство (разрядка наша.—И. Л.), обстоятельств разность, наблюдателей неравные рачения, наблюдений превеликое и беспорядочное множество» (т. III, стр. 25). При таких исторически сложившихся обстоятельствах в метеорологии не могло быть и речи о научном предвидении погоды. Для того чтобы раскрыть тайны погоды и тем самым решить одну из жизненно важных для человечества проблем, по глубокому убеждению Ломоносова, необходимо было прежде всего коренным образом улучшить существовавшие инструменты и создать ряд новых, более совершенных метеорологических приборов. Особенно заманчивой была идея осуществить полную автоматизацию измерений всех важнейших элементов метеорологических наблюдений. И несмотря на очевидные большие трудности в реализации столь сложного замысла, Ломоносов все же решил его осуществить и начал с изобретения саморегистрирующего анеморумбометра, в котором давно назрела необходимость.

В верхней части изобретенного Ломоносовым саморегистрирующего анеморумбометра, как это видно из приводимого рис. 1, находилось приемное устройство в виде большого крыльчатого колеса, состоявшего из шестнадцати буковых крыльев, прочно связанных между собой посредством двух железных проволок *ссс* и *gg*. В каждый данный момент половина крыльев была защищена от ветра деревянным ящиком *BCED*, вместе с которым колесо ориентировалось по ветру при помощи большого флюгера *Q*. У основания прибора находилось регистрирующее устройство, которое давало возможность автоматически не только фиксировать направление ветра, измерять его скорость и определять сумму скоростей за известный промежуток времени, но и позволяло находить сумму скоростей ветров каждого румба отдельно.

Такое устройство ломоносовского анеморумбометра, которое, по отзыву немецкого физика Мунке, было задумано «необыкновенно остроумно», выгодно отличало его от всех анемометров, ранее созданных Христианом Вольфом (1709), Лейтманом (1725), Он-ан-Брэ (1734) и другими учеными. Более того, высокосовершенная конструкция изобретенного русским ученым саморегистрирующего анеморумбометра долгое время оставалась непревзойденной и повторялась в конце XVIII и начале XIX столетий в ряде стран (сейчас трудно установить, по идее ли Ломоносова или независимо от нее) в нескольких модификациях, весьма близких по кинематике к анеморумбометру Ломоносова.

Начав с создания саморегистрирующего анеморумбометра, Ломоносов в течение 1748—1751 гг. изобрел и изготовил, по-видимому, еще несколько новых метеорологических приборов-автоматов. Ни один из них, к сожалению,

до нас не дошел, не сохранилось и их описания. Однако достоверно известно, что при помощи этих автоматически действующих приборов ученый организовал в 1751 г. в Петербурге первую в России и, вероятно, первую в мире «метеорологическую с самопишущими приборами обсерваторию». Тремя годами позже (1753—1754), Ломоносов построил в Усть-Рудицах вторую метеорологическую обсерваторию, оснатив ее, как

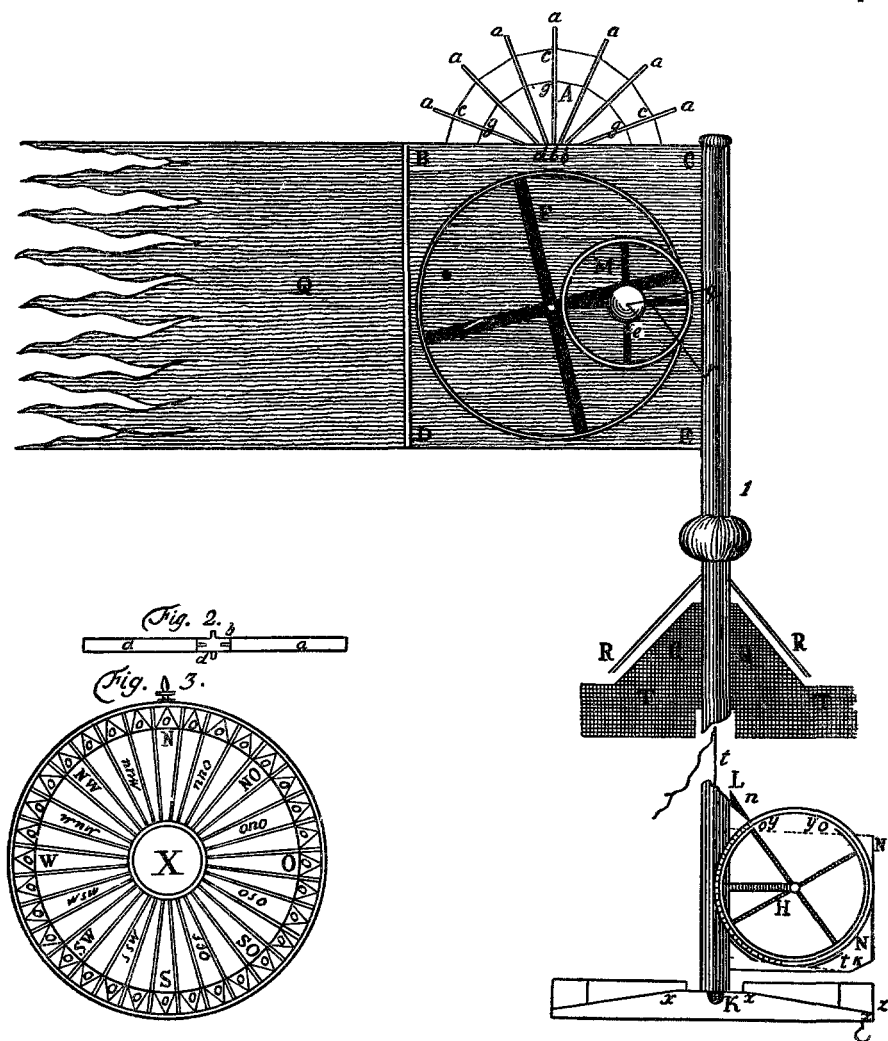


Рис. 1. Анеморумбометр (чертеж М. В. Ломоносова).

и в первом случае, несколькими им же самим изобретенными автоматическими устройствами. В письме к проживавшему в то время в Берлине Леонарду Эйлеру от 12 февраля 1754 г. Ломоносов писал: «...сооружаю плотину, мельницу и лесопилку, над которой возвышается самопишущая метеорологическая обсерватория, описание которой будущим летом с божией помощью я опубликую» (т. X, стр. 502).

Эти строки показывают, что построенные им самопишущие приборы были новинкой и должны были представлять, по его мнению, интерес для широкого круга зарубежных исследователей.

Вероятно, за неимением времени Ломоносов так и не опубликовал никаких сведений о созданной им самопишущей обсерватории и инструментах, зато в «Ежемесячных сочинениях Академии наук» он напечатал результаты своих метеорологических наблюдений за время с 1751 по 1755 гг., «чтоб в других местах Российской империи такие же наблюдения чинили».

Закладывая основы научной метеорологии, Ломоносов прекрасно понимал, что вариации погоды столь велики, а местные условия до такой степени влияют на ее характер, что даже несколько десятков наилучшим образом оборудованных обсерваторий с наилучшими наблюдателями будут бессильны перед решением такой сложной задачи, как предсказание погоды. Для действенного изучения погоды необходимо было чрезвычайно большое число хорошо оснащенных приборами наблюдательных пунктов, и в 1759 г. на страницах «Рассуждения о большей точности морского пути» Ломоносов выдвинул смелый план: «... в различных частях земного шара в разных областях» построить «самопишущие метеорологические обсерватории, расположение и устройство которых со многими новыми инструментами уже давно мною обдумано...» (т. IV, стр. 293). Таким образом, великий русский ученый на двадцать с лишним лет опередил идею Лавуазье и Борда и на двенадцать лет предложение немецкого метеоролога Ламберта об организации международной службы погоды, и, по-видимому, первый среди ученых мира выступил зачинателем комплексной автоматизации измерений в области метеорологии.

М. В. Ломоносову принадлежит еще одна важная заслуга в истории метеорологии: он первый выдвинул идею о необходимости систематического изучения верхних слоев атмосферы. В целях практического осуществления этой идеи Ломоносов в 1754 г. разработал конструкцию и изготовил небольшой летающий аппарат, названный им «аэродромической машиной». Этот аппарат с помощью крыльев, движимых в горизонтальной плоскости силой пружины, должен был поднимать в верхние слои атмосферы для производства измерений небольшие, специально приспособленные для этого самопишущие метеорологические приборы. Таким образом, Ломоносов задолго до Пауктона (1768), Лонуа и Бьенвеню построил первый миниатюрный геликоптер и в то же время сделал первый шаг к созданию аэрологических методов. Пятьюдесятью годами позже (в 1804 г.) русский ученый, академик Захаров, впервые поднялся в воздух на свободном аэростате, чтобы произвести аэрологические наблюдения и тем самым осуществить замечательную идею Ломоносова.

Говоря о работах Ломоносова в области автоматизации измерений, нельзя не остановиться на изобретенном им чрезвычайно простом по устройству и оригинальному по замыслу приборе, предназначенном «... определять самое большее действие электрической громовой силы, не употребляя зрения и трубок, ... и на местах разных и весьма отдаленных» (т. III, стр. 121).

Этот прибор изображен на рис. 2: *ab* — тонкая пружина из проволоки, *c* — легкий металлический кружок, *d* — проволока с пружинками. В сочинении «Слово о явлениях воздушных» Ломоносов следующим образом описал принцип работы изобретенного им прибора: «Вшед электрическая сила в металлическую трубку, отбивающею силою погонит кружок из полости, и чем будет сильнее, тем больше прямой проволоочки выйдет из полости(*) — И. Л.). По окончании оного действия проволочке прямой нельзя будет назад всунуться, затем что пружинки и зубцы не допустят.

*) Получив одноименный электрический заряд, витки пружины друг от друга отталкиваются, увлекая за собой металлический кружок *c*, припаянный к стержню.

После в способное время по сему увидеть можно будет, как велика была самая большая громовая сила» (т. III, стр. 121).

Говоря языком нашего времени, это был максимальный электростатический вольтметр, в котором Ломоносов, вероятно, впервые в практике приборостроения, использовал пружину для создания противодействующего момента.

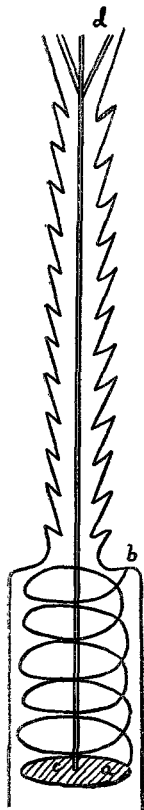


Рис. 2. Рисунок предложенного М. В. Ломоносовым «инструмента, которым можно определить самое большое действие электрической громовой силы»

Большое место в творчестве Ломоносова занимают работы, посвященные изысканию научных методов мореплавания и изобретению новых навигационных приборов. И это вполне закономерно. Природный помор, он отлично знал трудности современного ему кораблевождения, обусловленные недостаточной изученностью морей и океанов, изменчивостью природных условий, примитивностью и неточностью применявшихся навигационных инструментов, и в заботе о процветании российского мореходства считал своей первостепенной обязанностью ученого и патриота отечества «новыми полезными изобретениями безопасность мореплавания умножить».

По далеко не полным данным, Ломоносов усовершенствовал и изобрел в разное время более двадцати навигационных приборов, в том числе секстант с искусственным горизонтом, «жест морской, — инструмент, служащий к точному определению времени на море», самопишущий компас, дромометр, клизомер, циматометр, салометр и др. Устройство и принцип действия этих приборов описаны ученым в известном его труде «Рассуждение о большей точности морского пути». Внимательное изучение этого труда и всей гаммы созданных Ломоносовым навигационных приборов показывает, что и здесь он стремился достигнуть максимальной автоматизации измерений всех важнейших параметров кораблевождения. В осуществлении этой смелой и вместе с тем при низком уровне техники в середине XVIII в. сложной задачи ученому не были страшны ни трудности, ни возможности ошибок и горьких разочарований. «Делом сим, — писал Ломоносов во вступлении к «Рассуждению», — последовал я рудоискателям, которые иногда безо всякой вероятности сладкою надеждою питаются и не всегда же тщетно. Таким образом, отложив всякое сумнительство, все, что для сей материи размышлял, изобрел, произвел, предлагаю» (т. IV, стр. 126).

Из изобретенного Ломоносовым комплекса навигационных приборов несомненный интерес представляет группа приборов, предназначенных для счисления пути корабля в пасмурную погоду, когда астрономическая ориентировка невозможна. Так, например, «чтобы все погрешности, которые от оплошности правящего бывают, знать корабельщику», ученый предложил «особливый компас самопишущий». Как видно из рис. 3, изобретенный Ломоносовым компас позволял при помощи карандаша, прикрепленного к катушке, и часового механизма, передвигавшего бумажную ленту, автоматически вычерчивать на ней все отклонения корабля от заданного румба. Во избежание производства сложных вычислений при определении отклонений судна от курса, Ломоносов предложил применять следующий, придуманный им остроумный способ весового интегрирования: разрезать по вычерченной карандашом кривой бумажную ленту (при условии одинаковой ее плотности) на

две полосы и взвесить их поочередно. Разница полос в весе покажет на преобладание отклонений корабля от курса в ту или другую сторону.

Таким образом, изобретенный Ломоносовым двести лет назад самопишущий компас был ни чем иным, как самопишущим курсоуказателем. Такого рода приборы имеют, как известно, широкое применение в современ-

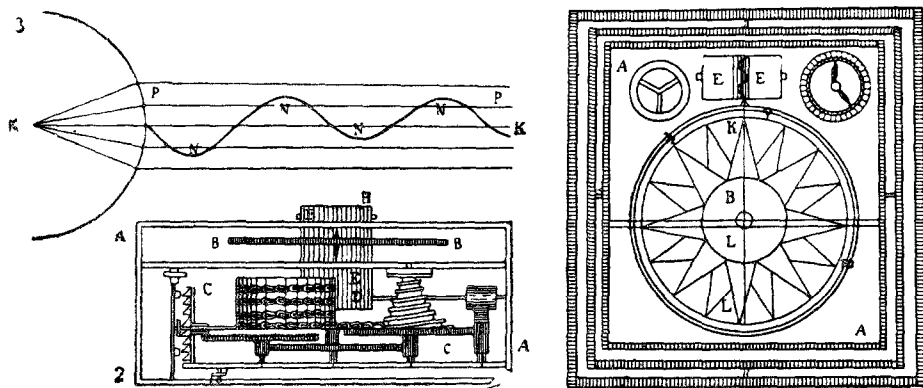


Рис. 3. Чертеж изобретенного М. В. Ломоносовым самопишущего компаса (первого в мире курсографа).

ном кораблевождении. Принцип устройства прибора Ломоносова фактически живет во всех курсографах нашего времени.

Для определения точного положения корабля на море Ломоносов считал необходимым также учитывать действие бокового ветра на корпус судна и с этой целью изобрел специальный прибор — клизеометр (рис. 4),

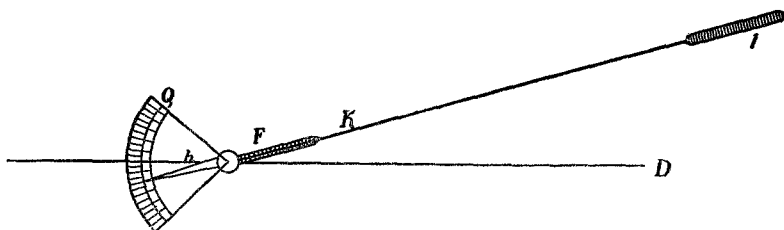


Рис. 4. Чертеж изобретенного М. В. Ломоносовым «клизеометра» — прибора для определения сноса корабля под влиянием ветра (дрейфа).

т. е. измеритель отклонения (греч.). В первом варианте этот прибор состоял из квадранта Q , указателя h со спицей F , линия k длиной в 40 сажень и палки l , предназначенной для опускания в воду. При движении судна линия должна была поворачивать указатель на соответствующий угол сноса корабля. Позднее ученый решил усовершенствовать клизеометр и предложил «часы пружинные простые к сему присовокупить, как у ... компаса» (т. IV, стр. 153). Применяв в своем клизеометре самопишущий механизм, Ломоносов тем самым создал дрейфграф, позволявший четко фиксировать на бумажной ленте отклонения корабля от курса под влиянием ветра.

Итак, при помощи самопишущего компаса и дрейфграфа можно было нанести на карту направление, в котором плыл корабль. Однако длячисления пути корабля необходимо было еще знать его скорость. Во времена Ломоносова эта техника была предельно примитивна: пользовались пеньковыми тросами-лаглинями с дощечкой на конце и с узлами, наложенными на равных расстояниях на всем протяжении линия. Чтобы избавиться от

этого старинного и мешкотного способа нахождения хода корабля, ученый придумал оригинальную «машину», названную им дромометром (рис. 5). Вертушка дромометра *A* устанавливалась в днище корабля, под килем, и в процессе движения судна под воздействием воды непрерывно вращалась; ее вращение посредством ремня передавалось системе зубчатых колес,

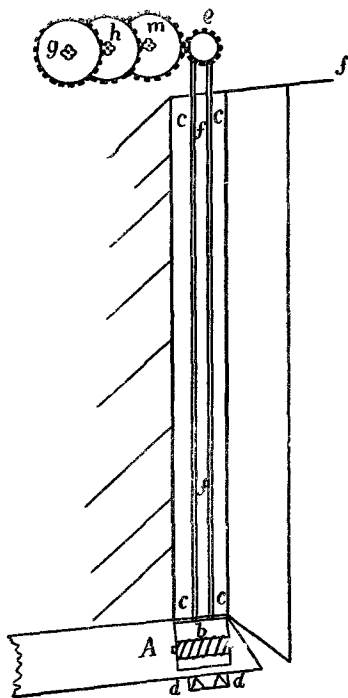


Рис. 5. Чертеж изобретенного М. В. Ломоносовым «дромометра» — первого в мире донного лага вертушечного типа.

на осях которых находились стрелки, отмечавшие на циферблатах в милях и даже десятиях долей мили пройденный путь.

Из приведенного рисунка дромометра и описания принципа его работы видно, что Ломоносову удалось создать донный механический лаг вертушечного типа, автоматически измерявший пройденное кораблем расстояние. Такие лаги получили широкое распространение в XIX веке, да и современный лаг Черникеева основан на том же принципе, что и «машина» Ломоносова.

В стремлении повысить точность отсчета пройденного кораблем расстояния Ломоносов решил даже учитывать поправку на волнение моря, заставляющее корпус судна перемещаться не по прямой, а по волнистой линии. Изобретенный ученым для этой цели прибор — циматометр (очевидно, от слова — *хумс* — волна) изображен на рис. 6. Доска *BB* устанавливается в вертикальной плоскости, параллельной килю. Поэтому при килевой качке груз *A* будет поворачиваться вокруг оси *c*. При подъеме правого края доски штанга *cA*, на которой висит груз, останется в вертикальном положении, но при этом повернет зубчатку *c* на угол, равный наклону киля. И, наоборот, при подъеме левого края доски *BB* груз *A* будет ударять по стержню *i*, вставленному в доску *gg*; после

каждого такого удара находящаяся внизу шестеренка *M* будет поворачиваться на один зубец. Таким образом, в циматометре Ломоносову удалось осуществить чрезвычайно интересную в конструктивном отношении идею — один и тот же маятник позволял автоматически фиксировать на циферблате сумму всех углов диферента на килевой качке, а на счетчике число всех колебаний корабля, приведших к этой сумме. Разделив первое число на второе, штурман мог вычислить средний угловой размах килевой качки на том или ином переходе и внести соответствующую поправку на пройденное кораблем расстояние.

Однако практика показала, что поправки на килевую качку ничтожно малы по сравнению с погрешностями, которые делаются при счислении пути по ряду других причин, к сожалению, иногда неизбежных. Поэтому, надо полагать, циматометр не получил в дальнейшем применения для тех целей, которые имел в виду его автор. Заложенная в конструкцию этого прибора идея не потеряла своего значения по сей день. Достаточно сказать, что применяемые в современном кораблевождении примитивные продольные кренометры счетчиками не обладают. Наконец, идею циматометра можно было бы, вероятно, и сейчас с успехом применить для суждения о среднем угле крена кораблей на бортовой качке, поставив соответственно прибор в плоскости, перпендикулярной к килю.

Так, обогащая автоматами арсенал навигационной⁷ техники, Ломоносов закладывал основы научного мореплавания и комплексной автоматизации основных параметров кораблевождения.

Естественно, что, работая над решением проблемы автоматизации измерений в различных областях науки и практики, Ломоносов не мог не заняться усовершенствованием существовавших в его время и изобретением новых конструкций часов, которые, по выражению Маркса, были «первым автоматом, созданным для практических целей; на них развивалась вся теория о производстве равномерных движений».

И здесь, как и в других областях своего творчества, Ломоносов оставил глубокий след. В 1759 году он разработал проект морских часов — хронометр (рис. 7). Чтобы уменьшить влияние пружины на ход часов и достигнуть большей точности их показаний (упругость пружины по мере ее раскручивания падает), ученый предусмотрел в своем хронометре, наряду с улиткообразным устройством барабана (на который наматывается цепь, передающая движение механизму), вместо одной четыре пружины. Каждая из них, по замыслу автора часов, должна была заводиться в разное время суток (через шесть часов), таким образом, уравнивалась упругость системы пружин, приводивших в движение хронометр.

Весьма интересна также идея Ломоносова, относящаяся к усовершенствованию широко применявшихся в XVIII в. в морском ведомстве песочных часов. Для того чтобы при помощи таких часов можно было более точно «чинить астрономические наблюдения на корабельном меридиане» и «выводить долготу места», он предложил находящийся в них обычный песок заменить мелкой серебряной дробью и даже детально разработал технологию производства последней.

Ломоносов никогда не довольствовался разработанными им проектами приборов, конструкциями изобретенных и изготовленных инструментов и измерительных устройств и неустанно продолжал работать над их усовершенствованием. Об этом свидетельствуют дошедшие до нас «Химические и оптические записки» ученого. В них содержится большой перечень

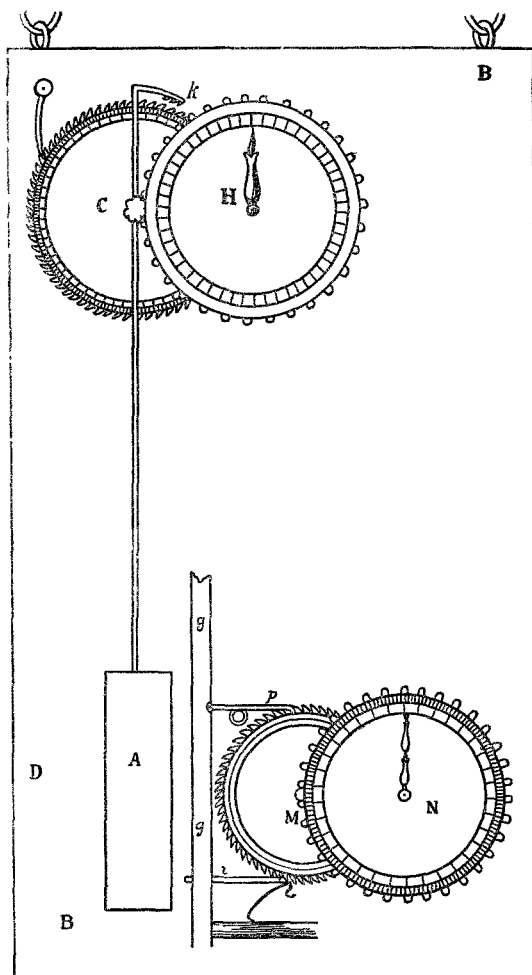


Рис. 6. Чертеж изобретенного М. В. Ломоносовым «циматометра» — прибора, учитывающего движение корабля под влиянием килевой качки.

конструкторских и технологических усовершенствований, которые Ломоносов ввел и наметил ввести в изобретенные и изготовленные им ранее приборы и инструменты: зеркальные телескопы, морской барометр, микроскопы, термометры, морской хронометр и др.

Принципиальное значение в творчестве Ломоносова как приборостроителя имеет тот факт, что, в отличие от большинства современников, он вел

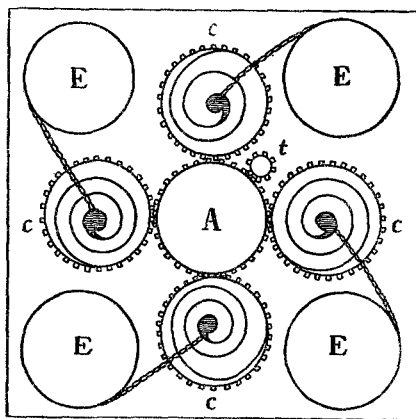


Рис. 7. Принципиальная схема устройства изобретенного М. В. Ломоносовым морского хронометра.

проектирование и изготовление своих новых приборов в прочной основе глубоких и строгих расчетов, многочисленных экспериментов и всесторонних исследований. Благодаря этому многие ломоносовские приборы не только прочно вошли в общественную практику еще при жизни их создателя, но перешагнули свое время и не потеряли значение и в наши дни *).

Условия работы Ломоносова не могли не сказаться на его творчестве. Он был ограничен Петербургской Академией наук в средствах на экспериментирование; не имея помощников и почти всегда одновременно работая над созданием нескольких приборов, чтобы дать современной ему науке и технике как можно больше новых средств измерений, Ломоносов зачастую не успевал довести

до желаемой степени совершенства все свои творения. Поэтому некоторые из его проектов остались конструктивно недоработанными и не были реализованы. Но таких недоработок было все же мало. Подавляющее большинство изобретенных Ломоносовым измерительных устройств, пройдя сложный путь от инженерных расчетов до опытных образцов и выдержав испытание временем, впоследствии стало «университетом» русских приборостроителей. На трудах Ломоносова развивались и ныне продолжают развиваться лучшие творческие традиции отечественного приборостроения — глубокая органическая связь науки и практики, неустанное новаторство, непримиримость с косностью и рутинной. Мы вправе сделать заключение, что он положил начало научному конструированию и технологии изготовления измерительных приборов и автоматических устройств в России, и, несомненно, может быть назван одним из зачинателей автоматизации измерительной техники, получившей столь бурное развитие в наше время.

*) См. А. А. Елисеев и И. Г. Литинецкий, «М. В. Ломоносов — первый русский физик», М.—Л., Физматгиз, 1961.