

ДЕЛА ДАВНО МИНУВШИХ ДНЕЙ

A LOT OF WATER HAS FLOWED UNDER THE BRIDGE

Брянский Л.Н. (L. Bryanskiy), Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений

НА ЗАРЕ МЕТРОЛОГИИ

Многие профессии и научные дисциплины претендуют на «право первородства» и на право считаться (или хотя бы называться) самым-самым древним. Перечень получается обширным, не лишённым некоторого оттенка пикантности. Он является одним из источников более-менее остроумных анекдотов.

Я не буду его приводить, скажу только, что метрология (не по названию, которое появилось сравнительно недавно, а по содержанию) имеет все основания претендовать на место в этом списке.

Дело в том, что человечество стало заниматься вопросами, которые мы сегодня относим к задачам законодательной и прикладной метрологии, очень давно. Эти вопросы стали и актуальными еще тогда, когда начали формироваться первые цивилизации, первые государства, когда стала развиваться торговля, когда появилась необходимость выполнять достаточно большие коллективные работы (строительство ирригационных и оборонительных сооружений, дорог, храмов и других культовых сооружений), вооружать однотипным оружием большие армии. Иными словами, тогда, когда появилось потребность в согласованных действиях людей, нередко удаленных друг от друга. Немаловажной, пожалуй, жизненно необходимой, для любого государства была потребность определять размеры даней и налогов и контролировать их поступление в казну.

Для этого потребовались узаконенные методы измерений и общеегосударственные меры, в первую очередь длины, объема и веса (массы). Потребовались и структуры, следящие за правильностью применения этих мер, за отсутствием всякого рода злоупотреблений (которые отнюдь не являются «изобретением» нашего беспокойного времени).

Наука прошлых и тысячелетий не знала разделения на узкие специальности. Не являлась исключением и метрология. Она развивалась в тесном единении с астрономией, арифметикой, геометрией и другими подразделениями древней науки.

Ученые прошлого были естествоиспытателями широкого профиля. Мало того, обычно они одновременно были путешественниками, историками, писателями, поэтами, политическими деятелями и даже спортсменами. Были среди них и жрецы.

Наука прошлого, как правило, была описательной, она проходила период накопления фактов. Но во все времена,

начиная с глубокой древности, были люди, понимающие важность обеспечения единства измерений, стремящиеся привести в науку меру и число, и которые могли с полным правом за столетие и тысячелетие до Д.И. Менделеева сказать, что наука начинается тогда, когда начинают измерять. Именно эти люди, вольно или невольно, заложили фундамент современной метрологии.

К сожалению, мы более-менее полно знаем лишь историю стран Средиземноморья, Европы и Малой Азии и гораздо хуже историю Китая, Индии, Малайзии, государств (империй) Центральной Америки. Поэтому да простят меня мудрецы и ученые этих регионов и стран за то, что я не смогу воздать должное их достижениям.

Исключение — недавно появившиеся сведения о массовых экспедициях китайского флота, обошедшего весь земной шар.

Попробую (со сделанными оговорками) воссоздать нечто вроде пантеона родоначальников метрологии. Слово пантеон (от греческого pan — все и theos — бог) здесь вполне уместно, так как многие реально существовавшие мудрецы древности позднее воспринимались как боги. Итак, начнем.

БОГИ, МУДРЕЦЫ И ЖРЕЦЫ

Я не буду говорить здесь о заветах Библии употреблять только верные меры. О них говорилось неоднократно. Речь пойдет о конкретных людях. Первым упомянут Имхотеп, верховный советник (премьер-министр) фараона Джосера, — архитектор, строитель, врач и государственный деятель. Джосер (2780-2760 гг. до нашей эры) — основатель III династии египетских фараонов, был, без сомнения, незаурядной личностью. Он впервые объединил в единое государство Верхний и Нижний Египет со столицей в Мемфисе. Надо думать, что Джосер умел окружить себя талантливыми помощниками, первым из которых был Имхотеп. Он руководил строительством первой большой пирамиды, так называемой «ступенчатой пирамиды Джосера», заупокойного храма Джосера в Саккаре, своей собственной гробницы и многих других сооружений. Еще больше он прославился как врач. Его слава была настолько велика и нетленна, что в VII веке до нашей эры, через две тысячи лет после смерти, он был включен как бог-целитель в число мемфисских божеств. При правлении фараонов греческой династии Птолемея Имхотеп был отождествлен с греческим богом врачевания Асклепием. В III веке до нашей эры культ Ас-

клепия проник в Рим, где он стал именоваться Эскулапом. Что же позволяет считать Имхотепа одним из предтеч законодательной метрологии? Объединение двух царств потребовало от него введения единых мер во всем Египте. Строительство пирамид и храмов, блоки для которых добывались в отдаленных каменоломнях, обрабатывались до окончательных размеров, а затем доставлялись к месту строительства, точное сборки, требовало достаточно высокой культуры линейных измерений. Специальность врача — такой же культуры взвешивания при составлении лекарств (старинные рецепты содержали зачастую десятки составляющих).

Дальнейшие успехи метрологии связаны во многом с развитием астрономии. Ведение календарей, задачи мореплавания требовали выполнения точных измерений положения Солнца, Луны, планет и звезд, т.е. разработки, по современной терминологии, методик выполнения измерений. Надо сказать, что в древности люди чаще, чем теперь, обращали свои взоры на звездное небо. Оно было и часами, и календарями, и компасом. И какой-нибудь пастух тысячелетия назад знал созвездия гораздо лучше, чем современный горожанин со средним (и даже высшим) образованием. Большую роль в развитии астрономии и, как следствие, метрологии сыграли знаменитый греческий ученый Пифагор Самосский (570-500 гг. до нашей эры) и созданная им школа пифагорейцев. Пифагор был уникальной личностью: выдающийся математик, олимпийский чемпион в кулачном бою, — он был посвящен египетскими жрецами в свои тайные (эзотерические) обряды и получил доступ к хранимой ими скрытой от непосвященных информации. В мою задачу не входит обсуждение вопроса о происхождении этой информации, хотя эта проблема сама по себе чрезвычайно интересна. Существенно, что пифагорейцы считали Землю шаром. Шарами они считали и все остальные планеты. Более того, они считали, что Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца, предвосхитив почти на два тысячелетия учение Коперника.

С конца IV — первой половины III вв. до н.э. до нас дошли сведения об Аристархе Самосском, выдающемся астрономе и метрологе. Он разделял учение пифагорейцев, что Земля вместе с планетами вращается вокруг Солнца, и, опираясь на это учение, поставил перед собой дерзкую задачу: определить, во сколько раз Солнце дальше от Земли, чем Луна, (Луну в те времена считали самостоя-

тельной планетой, а позднее, при Птолеме, планетой считали и само Солнце). Он нашел гениально простой способ решения этой задачи. В момент, когда Солнце освещает ровно половину диска луны, угол γ равен 90 градусам. Остается определить (измерить) угол β между направлениями на центры Луны и Солнца. Чем ближе этот угол к 90 градусам, тем дальше Солнце от Земли по сравнению с Луной. По измерениям Аристарха получилось, что Солнце, по крайней мере, в 19 раз дальше от Земли, чем Луна. На самом деле это соотношение близко к 400, но не следует уменьшать вклад Аристарха в наше представление об истинной картине мира. Его результат, по словам Лапласа, «отодвинул границы Вселенной далеко за те пределы, которые приписывались ей в те времена». Аристарх Самосский сделал и еще один шаг к истине: заметив, движение Земли не влияет заметно на видимые положения звезд, он, опять-таки по словам Лапласа, «удалил их от нас несравненно дальше от Солнца, так что, по видимому, он лучше всех в древности представлял себе величину Вселенной». Заметим, что идея Аристарха Самосского выразить расстояние до Солнца не в стадиях, а в расстояниях от Земли до Луны оказалась очень рациональной и жизненной. И сегодня ученые часто расстояния между объектами солнечной системы выражают не в километрах, а в астрономических единицах (а.е.) — расстояниях от Земли до Солнца.

Теперь настало время познакомиться с Эратосфеном Киренским (276-194 г. до н.э.), хранителем знаменитой Александрийской библиотеки, другом Архимеда (287-212 г. до н.э.). Говоря современным языком, Эратосфен разработал методику выполнения измерения (МВИ) длины земного меридиана (и, следовательно, диаметра и радиуса Земли) и выполнил эти измерения. Он знал, что в Сиене (нынешний Асуан) в день летнего солнцестояния (22 июня) Солнце освещает дно глубоких колодцев, т.е. практически находится в зените. Если в этот же день определить высоту полуденного Солнца в Александрии, можно вычислить, какую часть земного меридиана составляет его дуга между Александрией и Сиеной, а измерив это расстояние в общепринятых мерах, найти длину меридиана, диаметр и радиус Земли.

Для измерения высоты Солнца Эратосфен использовался скафисом — усовершенствованными солнечными часами.

Здесь самое время назвать несколько имен, связанных с историей этого замечательного прибора.

Упоминание о солнечных часах имеется уже в Библии (Исайя, 38). Распространено мнение, что они проникли в Европу (в Грецию) из Вавилонии. Конкретней их изобретатель неизвестен. Это общая судьба многих великих изобретателей, достаточно упомянуть коле-

со. Однако история сохранила для нас имена людей, которые совершенствовали их конструкцию. По преданию, первым ученым, построившим солнечные часы в Греции, был Анаксимандр Милетский (610-546 г. до н.э.), ученик Фалеса, автор сочинения «О природе». Его учеником и продолжателем был Анаксимен (585-525 г. до н.э.). Он первым указал на различие между планетами и неподвижными звездами и выдвинул гипотезу, объясняющую затмения Солнца и Луны и фазы Луны. А скафис сконструировал в IV веке до нашей эры вавилонский жрец, историк и астроном Бероз. Скафис — это солнечные часы с горизонтальным указателем и циферблатом в виде четверти внутренней поверхности шара. Применение скафиса сделало шкалу более линейной, позволило повысить точность измерений времени и определять высоту Солнца над горизонтом. Эратосфен нашел, что в Александрии Солнце от зенита 1/50 долю окружности (на $7^{\circ}12'$). Расстояние между Александрией и Сиеной проводники караванов верблюдов оценивали приблизительно в 5000 стадий. Отсюда полная длина меридиана получалась равной 250000 стадий.



Скафис

Вопрос в том, какой размер стадия принимал Эратосфен в своих расчетах. Лаплас полагал, что он использовал стадий, равный 300 локтям элфантинского ниломера, т.е. около 162 м. Тогда длина меридиана получается равной 40500 км, а радиус Земли — 6450 км, значение, очень близкое к современной оценке — 6371 км (в популярной литературе можно встретить и другие сведения).

Казалось бы, метод Эратосфена очень прост. Но напомним, что он должен был быть уверен, во-первых, в том, что Земля — шар, и, во-вторых, в том, что солнце настолько отдалено от Земли, что его лучи можно считать параллельными, иначе его МВИ не работает. В этом случае угол α уже не равен углу β .

Итак, Эратосфен получил почти неправдоподобно точный результат. Отклонение от современных данных всего 1,1%. Но дело в том, что он не должен был его получить. Расчеты Эратосфена верны, если Сиена находится точно на северном тропике (тропике Рака) и на одном меридиане с Александрией. Взглянем на карту. Оказывается, Сиена находится севернее тропика примерно на 60 км и восточнее меридиана

Александрии почти на 300 км. Знал ли об этом Эратосфен? О смещении на север о тропика — возможно. О разности долгот — вряд ли: еще 200 лет назад измерение долготы было трудной и не очень точной операцией. Не совсем надежна и оценка расстояния до Сиены. Эти обстоятельства позволили Лапласу предположить, сто произошла взаимная компенсация ошибок, либо «Эратосфен только воспроизвел более древнее, тщательное измерение Земли, истоки которого были утеряны». Вернемся к карте.

Поставим ножку циркуля в точку Александрии и проведем дугу от точки Сиены до пересечения с меридианом Александрии. Мы увидим, что одновременно эта дуга пересечет и тропик, разница не превышает нескольких км. Получается, что расстояние 5000 стадий до реальной Сиены практически равно расстоянию до воображаемой Сиены, находящейся на пересечении северного тропика и меридиана Александрии. Похоже, что действительно произошла компенсация погрешностей, и это позволило Эратосфену получить точный результат.

Чтобы оценить, насколько Эратосфен опередил свое время, приведем короткую справку: следующее по времени измерение размеров Земли было выполнено Ал-Фархани в Багдаде при калифе Ал-Мамуне в IX веке уже нашей эры, через 1100 лет после Эратосфена. Результат Ал-Фархани — 20400 арабских миль — 40253 км, что еще ближе к современному значению — 40075 км.

Вернемся еще раз к солнечным часам. Существенный вклад в совершенствование и самих часов, и методов их использования внес китайский астроном Цзу Чунчи (около 460 г. н.э.), который с их помощью определил длительность тропического года более точно, чем греческие и арабские астрономы, и нашел его равным 365,24282 суток. Разница с современным значением — 365,2422 суток всего $6 \cdot 10^{-3}$. Поразительная точность наблюдений, если вспомнить, что в 460 г. еще не было никаких оптических инструментов. ☑

Some professions and sciences were born centuries ago and nowadays can be easily called the most ancient. Metrology has a full right to be considered one of them. Humanity was interested in the questions connected with legal and applied metrology long time ago when the first civilizations and states started to develop. Even at that time those questions were rather timely. Metrology development was very tightly connected with astronomy, arithmetic, geometry and other units of ancient science. The following article is very rich in the examples of ancient achievements and discovery and the role of metrology is very clearly reflected in all of them.