

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

В.Н. Пигуныров

ИСТОРИЯ ЧАСОВ

с древнейших времен
до наших дней



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва

1982

П и п у н ы р о в В. Н. История часов с древнейших времен до наших дней. М.: Наука, 1982.

На большом фактическом материале рассматривается история часов и проблемы измерения времени от древности до наших дней. В книге три части: «История часов Древнего мира и Средних веков», «Развитие классической колебательной хронометрии» и «История электрохронометрии, кварцевых и атомных часов».

Эта работа — итог многолетних исследований автора. Она предназначена прежде всего для специалистов часового дела и историков науки, а также для читателей, интересующихся историей развития часов и часового производства.

Ил. 303. Табл. 2. Библ. 396 назв,

Ответственный редактор
кандидат физико-математических и философских наук
Л.Е.МАНСТРОВ

ОТ АВТОРА

История часов — неотъемлемая часть истории культуры, тесно связанная с прогрессом науки и техники. Исторически совершенствование методов и средств измерения времени происходило не само по себе, а под влиянием требований к точности, измерения времени на том или ином уровне развития культуры и цивилизации. По мере повышения уровня их развития возрастали требования к точности измерения, а вместе с тем — и к совершенству техники измерения времени. В связи с этим все большее значение приобретало использование достижений науки и техники; без этого дальнейшее совершенствование методов и средств измерения времени становилось невозможным. На этой основе был развит научный подход к совершенствованию техники измерения времени с ориентацией на известный уровень повышения точности измерения. История часов ставит своей задачей проследить с указанной точки зрения весь исторический путь развития методов и средств измерения времени от самых ранних солнечных часов до современных атомных часов.

Только на такой широкой основе можно получить ответ на вопросы: как и почему проблема измерения времени стала сложной теоретической и практической проблемой современности; как и почему была достигнута высокая точность измерения времени, необходимая для современного и будущего развития науки и техники; как и почему возникла и развивалась потребность в точных измерителях времени в различных отраслях народного хозяйства и т. д.

В истории невозможно указать эпоху или страну, где бы люди не обладали теми или иными способами измерять время. По наличию знаний и умений измерять и экономить время можно безошибочно судить об общем культурном уровне того или иного народа или исторической эпохи.

Однако настоящую цену времени знает только человек XX в., уже вовлеченный в водоворот сложной хозяйственной жизни, когда «механический» ритм возобладал над ритмом «природным». Это было следствием проникновения машинной техники в быт. Вместе с вызревaniem условий для развития машинной техники и проникновением ее в быт совершался переход от крайне экстенсивного использования времени, характерного для древнего мира и средних веков, к интенсивному его использованию.

В развитом обществе к измерению, учету и экономии времени стала сводиться любая экономия. Люди стремятся беречь минуты и секунды. Маленькие секундные стрелки наших часов делят сутки на 86 400 частей. Нередко интервалы времени измеряются тысячными долями секунды. Всеобщее распространение получили сначала карманные, а затем и наручные часы, что стало возможным в связи с массовым их производством на машинной основе, с широким применением средств автоматизации и взаимозаменяемых деталей и узлов.

Современные успехи в теории и практике получения равномерных движений для измерения времени настолько велики, что стало возможным, применяя современные высокоточные часы, изучать даже неравномерность вращения Земли. Более того, проблема определения времени превратилась в изучение неравномерности ее вращения. Открылась необходимость и возможность применять современные средства хронометрии для целей космонавтики, аэронавигации, а также во всех сферах научных исследований, где требуются самые точные измерения времени. Нет такой области техники, где бы для точных измерений не применялись часы. Приборы времени широко используются для управления автоматами и автоматическими линиями, средствами транспорта и технологическими процессами. Созданы системы единого времени, в которых наряду с вторичными часами функционируют различные исполнительные часовые механизмы, управляющие по заданной программе работой приборов и аппаратов от единого источника точного времени — первичных часов.

Типаж современных бытовых часов весьма разнообразен и богат, что соответствует различным целям их применения в нашем индустриальном обществе с развитыми культурными потребностями людей. Сюда входят часы, годные к ношению (карманные и наручные, мужские и женские), стационарные часы (настольные, напольные, настенные). Особый класс составляют часы специального назначения — для врачей, подводного спорта, для людей, работающих в условиях повышенных магнитных полей. Проявляется большой интерес к наручным часам, снабженным календарем, хронографом, звуковым сигналом и т. д. Входят в быт электронные кварцевые наручные часы.

Успехами в технике измерения времени и в массовом производстве часов был вызван естественный и разумный интерес к истории часов как одной из ветвей истории культуры, плодотворно разрабатывавшейся в XIX—XX вв.

В странах с развитой часовой промышленностью (Швейцария, Франция, Германия, Англия, США) со второй половины XIX в. до наших дней издано большое количество фундаментальных работ как по механике часов, так и по их истории. Немало работ выпущено также по истории часовой промышленности. Особенно привлекают внимание богато иллюстрированные издания, посвященные развитию внешнего художественного оформления часов.

Крупная часовая промышленность в нашей стране возникла в середине 30-х годов XX в. Было издано и несколько небольших книг по истории часов, однако книги эти нельзя причислить к научной литературе. С развитием часовой промышленности интерес к изданию книг по часам увеличился. Такого рода литература требовалась теперь для подготовки рабочих и инженерно-технических кадров для часовой промышленности. В научном отношении среди этих книг выделяется фундаментальный трехтомный труд «Механика часового механизма» (1931—1937).

Увлечение автора настоящей книги теорией и устройством часов, а также их историей началось со знакомства с монографией Р. Гоулда «Хронометр, его история и совершенствование», изданной в 1923 г. в Лондоне. Эта книга и теперь может считаться образцом научного подхода к разработке истории часов.

В 1947 г. автор стал сотрудником Научно-исследовательского института часовой промышленности. Вскоре началась работа над книгой по истории часов и часовой промышленности, занявшая почти два десятилетия. Сведения пришлось собирать на английском, немецком, французском и итальянском языках.

Удалось накопить и систематизировать большой фактический материал. Однако из-за ограниченности объема настоящей книги пришлось отказаться от использования значительной части материала, относящегося к развитию часовой промышленности Швейцарии, Англии, Франции, Германии и США, и полностью отказаться от сведений, относящихся к эволюции стилей внешнего оформления часов. По истории русских часов в книге приводятся лишь наиболее важные данные; с историей часов в России желающие могут подробно ознакомиться в нашей книге «Развитие хронометрии в России» [19]

¹ Здесь и далее в квадратных скобках приводятся ссылки на литературу, помещенную в конце книги. Первая цифра — номер книги или статьи, вторая и следующие — страница.

ПЕРИОДИЗАЦИЯ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЧАСОВ

«Начало научного мышления, извлекшего человека из животного состояния, связано с измерением времени» — отмечал историк античной техники Г. Дильс [63, 137]. Астрономия была первой наукой о времени, она зародилась еще в доисторический период развития культуры [3, 500].

Немыми памятниками, свидетельствующими о наличии практического интереса к астрономическим знаниям у людей позднекаменного и начала бронзового века (XX в. до н. э.), являются мегалитические, или крупнокаменные, постройки, ориентированные по Солнцу и Луне. Некоторые из них позволяли с удивительной точностью вести календарный счет дням, отмечать наступление начала времен года и предсказывать наступление солнечных и лунных затмений. Такие каменные календари были установлены во многих частях света — на равнинах Франции, Англии, в Перу и т. д. Среди них наибольшей известностью пользуется мегалитическое сооружение, расположенное на равнине в 13 км от г. Солсбери (Англия). Оно известно под названием Стоунхендж (Stonehenge — висячие камни) и было возведено на рубеже каменного и бронзового веков (XIX—XVI вв. до н. э.). Стоунхендж, имеющий такую древность, и сегодня продолжает будоражить мысль ученых, как одно из удивительных достижений техники и науки в эпоху первобытнообщинного строя.

Поскольку в Древнем мире и в Средние века наука о часах — гномоника — развивалась как неотъемлемая часть астрономии, то периодизация истории развития методов и средств измерения времени за этот период, охватывающий более трех тысяч лет, совпадает в основном с периодизацией истории астрономии. Соответственно можно выделить следующие этапы последовательного развития астрономии и гномоники, конструкций солнечных и водяных часов.

1. Древневосточный, охватывающий развитие последних в Древнем Вавилоне, в Древнем Египте, в Древнем Китае и в других странах Древнего Востока. Достижения в области древневавилонской и древнеегипетской гномоники были истоками последующего, более прогрессивного ее развития в Древней Греции.

2. Античный, охватывающий развитие часов не только в Древней Греции, но и в период эллинистической и александрийско-римской культуры.

3. Средневековый, когда развитие астрономии и гномоники происходило в средневековом Китае, в Византии, на мусульманском Востоке, в Индии и в средневековой Европе.

История часов Древнего мира и Средних веков излагается в первой части настоящей книги. Это история солнечных, водяных, песочных и «огневых» часов; заканчивается она историей ранних механических часов, снабженных регулятором фолио и шпиндельным ходом (до появления маятниковых и балансовых часов).

В Древнем мире и в Средние века при господстве аграрного строя и ремесленной техники не было нужды делить время на мелкие отрезки и точно их измерять, как теперь. Люди жили и определяли время по естественному движению Солнца, по длинным летним дням и коротким зимним, которые одинаково делились на 12 часов. Поэтому приходилось считать время по неравным часам, кроме дней равноденствия. С этим они мирились, поскольку хозяйственный уклад их жизни был приноровлен к естественному движению Солнца. Порядок и темп выполнения сельскохозяйственных работ регулировались медленно протекающими природными процессами, связанными с возделыванием растений, уходом за животными, с переработкой растительных и животных продуктов и т. д. Отсюда вытекало крайне экстенсивное использование времени.

В более точном измерении времени нуждалась астрономия, получившая развитие в городах, ставших культурными центрами. В то время она была единственной наукой, действительно нуждавшейся в усовершенствовании техники измерения времени, в наблюдении и изучении годового и суточного движения Солнца, изменения фаз Луны, положения звезд и т. д. Не с земного мира, а с небесных тел началось первое изучение материального мира в движении, а следовательно во времени.

Вместе с астрономией развивалась гномоника — наука о часах. (Гномон — указатель перемещения тени Солнца, по длине и направлению которой измерялось время.) Ясность неба в Вавилоне, Египте и Греции создавала благоприятные условия как для астрономических наблюдений, так и для использования гномонов и солнечных часов для измерения времени. Однако они были непригодны в пасмурную погоду и ночью. Поэтому наряду с солнечными получили распространение водяные часы, часто называвшиеся ночными. Применялись также песочные и огневые часы. В XIV—XVII вв. появились часы механические.

Кроме астрономии и гномоники, никакая другая наука того далекого времени не интересовалась проблемой времени и его измерением. В математике время даже не упоминалось. В физике, как всеобщей науке о природе, применение средств для измерения времени было весьма ограничено. Получили научную разработку геометрическая оптика и акустика по причине простоты эмпирических данных, составляющих основание этих наук, и возможности их математической обработки. Статичес-

кая часть механики — эта геометрия сил — была разработана Архимедом; она также не нуждалась в измерениях времени. Химия, минералогия и биология носили описательный характер. Отсутствие интереса к проблеме времени и его измерению было связано с господством теологического взгляда на мир. Последний рассматривался как целесообразно устроенный, пребывающий в евклидовом пространстве в состоянии покоя, т. е. в статике, а не в динамике.

Астрономия в Древнем мире и в Средние века использовалась для составления календаря, часто имевшего религиозный смысл. Гномоника служила также основой для конструирования солнечных и водяных часов, которые устанавливались в городах — на площадях, рынках, в храмах. Хронометрия Древнего мира и Средних веков не вышла в своем развитии из рамок создания несовершенных средств измерения времени, какими были солнечные, водяные, песочные и огневые часы.

Теоретические выводы древней и средневековой астрономии наибольшее практическое применение имели в теории солнечных часов. При кажущейся простоте измерения времени с помощью солнечных часов в ходе разработки теоретических ее основ возникали и решались математические задачи о трисекции угла, о конических сечениях, о стереографической проекции и т. д. [74, 84, 182, 208, 215].

Решение задач гномоники на мусульманском Востоке в конечном счете привело к обоснованию и применению для этой цели формул прямолинейной и сферической тригонометрии [85, 281]. Создание солнечных, водяных, песочных часов, а также водяных часов в комплексе с астрономическими приборами способствовало развитию точной механики. Последняя служила связующим звеном между приборостроением и опытной наукой.

К. Маркс в 1863 г. писал Ф. Энгельсу, что часы «по своему характеру базируются на сочетании полухудожественного ремесла с теорией в прямом смысле» [4, 263]. Эта характеристика справедлива не только в отношении часов, но и всех других научных и измерительных приборов (астролябии, армиллярной сферы и т. д.).

Развитие механических часов в XIV—XVII вв. рассматривается не только как переходный этап от немеханических часов к механическим, но и как неотъемлемая и существенная часть истории часов того времени, оказавшая наибольшее влияние на развитие как техники, так и философских взглядов. Появление механических часов в Западной Европе К. Маркс ставит в прямую связь с развитием науки и производства. «Часы порождены художественно-ремесленным производством вместе с ученостью, ознаменовавшей собой зарю буржуазного общества» [5, 418]. В другом месте он указывает, что «ремесленный период... оставил нам великие открытия: компас, порох, книгопечатание и автоматические часы» [1, 361].

Результаты изучения математики и механики в эпоху Воз-

рождения получили разностороннее применение сначала в Италии, а затем и в других странах Западной Европы при создании башенных часов в XIV—XV вв. Даже самые ранние башенные часы были с точки зрения механики весьма сложными, основанными на синтезе разнообразных механизмов, и у их создателей предполагали наличие обширных знаний и развитой художественно-ремесленной техники. Не случайно немецкие писатели XVI в. часовое ремесло, как указывает Маркс, называли «ученым (не цеховым) ремеслом» (4, 263].

Однако распространение ранних механических часов не могло вытеснить применение водяных, песочных, солнечных и огневых часов. Итальянец Даниель Барбаро, написавший в 1556 г. свои знаменитые комментарии к «Архитектуре» Витрувия, свидетельствует, что в его время применялись, кроме солнечных часов, «колесные часы, а также песочные; первые удивляют искусством и изобретательностью, а вторые — удобством и простотой; существуют и огневые часы, в которых за известный промежуток сгорает известная часть фитиля, существуют и водяные часы...» [6, 328].

XV—XVII века оказались временем наивысшего развития в Западной Европе гномоники, опирающейся не только на освоение учености классической древности и средних веков, но и на достижения новой гномоники. Ее выводы были использованы для создания солнечных часов, основанных на новых принципах.

Определяющее влияние на развитие новой гномоники оказали переход Западной Европы на новое исчисление времени по равноденственным часам и необходимость создания солнечных часов, приспособленных к этому новому исчислению времени. Большое распространение в это же время имели в быту и на кораблях песочные часы, которые стали использоваться для регулирования смены вахт. Начали создаваться сложного устройства водяные часы, часто с использованием средств механики, применявшихся тогда для устройства механических часов.

В XVII в. появляются карманные часы, но они оказались не настолько точными и надежными, чтобы их можно было применять для астрономических наблюдений. Поэтому астрономы продолжали пользоваться водяными и песочными часами. Даже Ньютон еще интересовался усовершенствованием водяных часов. Астроном Тихо Браге пользовался песочными или ртутными часами, поскольку обнаружил непригодность механических часов того времени для астрономических наблюдений. Галилей производил свои опыты над падением тел с помощью водяных часов.

Потребность в часах с более высокой точностью хода была вызвана развитием экспериментального естествознания со времени Галилео Галилея, необходимостью определять долготу местонахождения кораблей при плавании по Атлантическому и Индийскому океанам и бурным развитием торговли, особенно в XVII в. Назревшая потребность в часах с точным ходом была

решена путем изобретений маятника и системы баланс — Спираль, которые обладают собственным периодом колебания и применяются в качестве регулятора хода. Они заменили несовершенный регулятор фолио, основанный на силовом замыкании со шпindelным ходом путем передвижения вручную грузиков на концах коромысла. С этого времени стала развиваться классическая колебательная хронометрия. Началась новая история часов. Она излагается во второй части книги.

Изобретение Галилеем и Гюйгенсом маятниковых часов не только открыло новую эру в хронометрии, но имело далеко идущие последствия для развития новой механики, основанной на изучении динамических систем. Галилей обнаружил изохронное свойство колебаний маятника. Гюйгенс, обосновывая теорию колебания маятника, пришел к созданию динамики материальных точек твердого тела. Созданная трудами Ньютона классическая механика открыла блестящую перспективу для развития техники и хронометрии на новой основе.

Ньютон развил учение об абсолютном времени, бесконечно продолжающемся с неизменным постоянством. Ньютон представлял это движение по аналогии с идеальным часовым механизмом с вечным заводом, имеющим непрерывный и равномерный ход. Само собой разумеется, что такое движение возможно лишь при условии действия одинаковой и постоянной причины. Создание на подобной основе часов стало возможным только на высоком уровне развития науки и техники. Такими часами и являются современные атомные и молекулярные часы.

Ньютон писал, что «возможно, и не существует в природе совершенно равномерных движений, которые могли бы послужить для точного определения времени»¹. Но их можно технически воспроизвести, для чего, по мнению Н. И. Лобачевского, «мы должны устроить машину, дабы видеть равноту движения». Часы, по Лобачевскому, и являются таким прибором².

Теоретики и практики часового дела в XIX—XX вв. имели активную ориентацию на создание часов с вполне равномерным ходом. Эта задача решалась в ходе совершенствования маятниковых часов и балансовых часов со спиральной пружиной на основе освоения классической механики и физики и творческих поисков в этой области.

В развитии классической колебательной хронометрии можно выделить три этапа, характеризующие последовательный ход усовершенствований маятниковых часов и часов, основанных на применении системы баланс — спираль.

На первом этапе (конец XVII—XVIII в.) были созданы астрономические маятниковые часы с точностью хода 0,1 с, хронометр, пригодный для определения долготы на суше и на море, изобре-

¹ Ньютон И. Математические начала натуральной философии.—В кн.: Крылов А. Н. Собр. трудов. М., 1936, т. 17, с. 32.

² Лекции по механике Н. И. Лобачевского.—Изв. Самар. гос. ун-та, 1922 вып. 3, с. 21—24.

тен свободный анкерный ход для карманных часов. Этим заложена прочная основа для дальнейшего развития прецизионных часов на основе классической колебательной хронометрии.

На втором этапе (XIX в. — первые десятилетия XX в.) было достигнуто дальнейшее повышение точности хода маятниковых часов до 0,01 с благодаря применению хода «с постоянной силой» или свободного анкерного хода, инварного маятника, повышению изохронизирующего действия пружинного подвеса. Исключительное значение для повышения точности хода маятниковых часов имело применение для этого средств электротехники. Наивысшим достижением было создание в 1921 г. английским ученым Шортом электрических астрономических маятниковых часов с двумя маятниками: одним — свободным, другим — рабочим. Точность их хода 0,001 с.

Дальнейшее повышение точности хода балансовых часов со спиральной пружиной было достигнуто благодаря усовершенствованию и технологическому освоению изобретенного в XVIII в. свободного анкерного хода, который во второй половине XIX в. вошел во всеобщее применение в карманных часах, а в первые десятилетия XX в. — и в наручных. Немалое значение для этого имело применение материалов из ферроникелевых сплавов (инвара, элинвара, ниварокса и др.) для балансовых пружин, а также достигнутые успехи в разработке теории хода балансовых часов на основе теоретических и экспериментальных исследований;

На третьем этапе (после окончания второй мировой войны и до наших дней) развитие классической колебательной хронометрии доведено до наивысшего возможного уровня; по существу, были исчерпаны все ресурсы повышения точности и надежности хода маятниковых и балансовых часов на традиционно механической основе. Встал вопрос о применении в часах более добротных осцилляторов и новых средств техники. Были созданы конструкции наручных часов, пригодных для массового производства на основе взаимозаменяемости и всесторонней автоматизации.

Точность измерения секунды повышалась не постепенно, а ступенями, по мере того как появлялись требования к повышению точности со стороны мореходства, промышленности, науки и техники. «Что было бы, — отмечает К. Маркс, — без часов в эпоху, когда решающее значение имеет стоимость товаров, а потому и рабочее время, необходимое для их производства?» [5,418].

В условиях развивающегося капиталистического производства реальное значение времени и контроль за его использованием все более и более возрастают, в особенности в период развития позднекапиталистической экономики. Стало необходимым понижение средней нормы прибыли компенсировать повышением темпов производства и увеличением эксплуатации наемного труда путем введения скоростных машин и средств передвиже-

ния. Производство вследствие такой его интенсификации начинает страдать хроническим недостатком времени. По мере проникновения машинной техники во все сферы хозяйства эта болезнь делается болезнью и индустриального общества в целом.

XIX—XX века ознаменовались бурным развитием науки, что было бы невозможно без применения точных часов. В связи с этим во всех астрономических обсерваториях развилась служба точного времени, а с появлением радио — передача сигналов точного времени.

В настоящее время трудно переоценить значение для науки повышения точности определения времени, связанной с развитием техники измерения времени. Вместе с тем это всегда влечет за собой и развитие науки.

Измерение коротких интервалов времени приобрело, в частности, особое значение, когда было обнаружено существование элементарных частиц типа мезонов, гиперонов, нейтронов и антинуклонов. Время существования некоторых частиц чрезвычайно мало: оно не достигает даже микросекунды, и наблюдения над элементарными частицами стали возможны лишь благодаря тому, что научились производить физические измерения в очень коротких интервалах времени.

Повышение точности измерения времени на 2—3 порядка в связи с появившейся возможностью применения для этой цели электронной схемы в сочетании с новыми осцилляторами (кварц, камертон, атом, молекула) открыло невиданные возможности для новых открытий. Развитие научной мысли не только ставило перед хронометрией все новые и новые задачи, но рано или поздно открывало средства для решения этих задач. И это весьма характерно для взаимосвязи развития науки и хронометрии [18].

Новейшая и современная история часов изложена в третьей части книги. Наибольший прогресс в техническом воспроизводстве равномерных движений для целей измерения времени был достигнут только благодаря изобретению и совершенствованию кварцевых и атомных часов, когда наука перешла от изучения макромира к микромиру. Изобретение и совершенствование кварцевых часов в 20—30-х годах XX в. было вызвано развитием пьезотехники — новой области радиотехники, исследующей явления пьезоэлектричества и использование их для конструирования различной радиотехнической аппаратуры. С помощью кварцевых часов точность измерения секунды может быть доведена до $(3--4) \cdot 10^{-14}$. Точность эта такова, что дает возможность уловить ничтожно малые колебания при вращении Земли вокруг оси. Изобретение кварцевых часов открыло колоссальные возможности в развитии приборов времени с использованием средств электроники.

Усовершенствования в области радиочастотной спектроскопии и электроники позволили создать в 1955 г. атомные часы, основанные на использовании квантовомеханических осцилляторов —

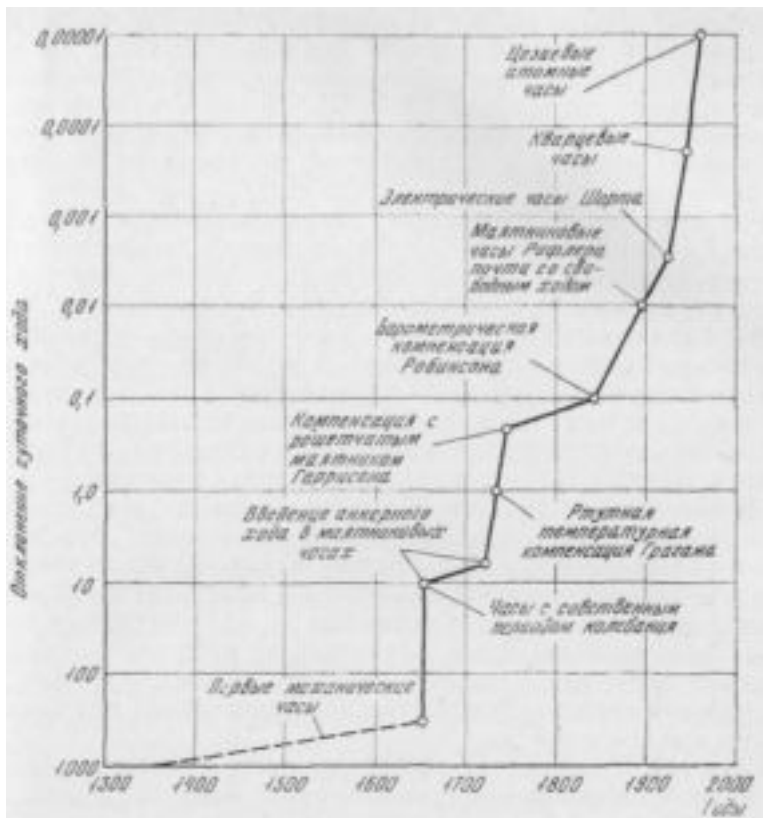


Рис. 1. Диаграмма роста точности приборов времени

молекул и атомов. С их появлением стало возможным осуществить окончательный переход от измерения времени на основе вращения Земли к измерению всех интервалов времени, включая продолжительность суток и года, в атомных единицах.

Современная наука и техника дают возможность измерять резонанс атома более точно, чем движение звезд и планет, и этот резонанс оказался более устойчивым, чем движение планет.

В настоящее время наилучшим эталоном времени признан водородный мазер, изготовленный в Швейцарии, с шириной спектра 1 Гц; его стабильность может быть доведена до 10^{-13} . Имеются и другие атомные эталоны единицы времени. В Англии с 1958 г. в качестве базы единицы времени принят цезиевый эталон с атомно-лучевой трубкой. Измерять время и частоту с помощью этих часов можно с точностью до $1 \cdot 10^{-11}$, в то время как астрономическими средствами (по разности между последовательными пересечениями звезд меридиана) с такой точностью время не может быть определено.

Атомные часы поистине являются детищем атомного века; они позволили повысить точность измерения секунды по меньшей мере на три порядка и произвели настоящую революцию в технике измерения времени [29, 172]. После этих изобретений хронометрия стала важным направлением современной научно-технической революции и адекватной по своим возможностям ее требованиям.

Развитие радиоэлектронных полупроводниковых приборов начиная с 50-х годов нашего столетия открыло новые значительные перспективы в отношении создания не только электромеханических, но и электронно-механических наручных часов. Так, в 1959 г. были созданы камертонные наручные часы с применением электронных схем на транзисторах, а в 1967 г. — наручные часы с кварцевым, осциллятором на интегральных схемах со стрелочной и цифровой индикацией. Точность хода новых наручных часов на несколько порядков выше, чем у обычных карманных часов. С каждым годом значение применения электроники в создании новейших приборов времени увеличивается, и в настоящее время точная механика и электроника уже вполне породнились в этой области между собой. Отсюда тесная связь электротехники и электроники с точной механикой в практике современной часовой промышленности. Специалист в области точной механики теперь не имеет права ограничивать себя только механическими решениями, а должен выбирать оптимальный для данных условий вариант, будь он только механическим или электрическим или тем и другим.

Уорд [43, 39] приводит диаграмму роста точности хода часов со времени появления механических часов до наших дней (рис. 1). По диаграмме можно судить о динамике повышения точности хода часов. Пока в качестве регулятора шпиндельного хода применяли фолию, повышение точности хода часов происходило крайне медленно. Только после изобретения маятниковых часов стал возможен ускоренный прогресс. Он особенно увеличился после изобретения электрических часов с двумя маятниками. Подлинная революция в этой области произошла после изобретения кварцевых и атомных часов. На диаграмме хорошо видны эти узловые моменты («скачки»).

Часть 1

ИСТОРИЯ ЧАСОВ ДРЕВНЕГО МИРА И СРЕДНИХ ВЕКОВ

Потребность в средствах измерения времени появилась еще в доисторический период развития культуры. Уже тогда люди стали воздвигать грандиозные сооружения — ориентиры, по которым можно было бы судить о последовательности времен года; с их сменой были связаны созревание плодов, злаковых культур, сезонные передвижения птиц. Часть сооружений подобного типа сохранилась, и мы можем судить, какой грандиозный труд затрачен на их создание.

Одним из таких грандиозных мегалитических сооружений является Стоунхендж, построенный на рубеже каменного и бронзового веков, примерно через тысячу лет после египетских пирамид. Создание его совпало по времени с расцветом минойской цивилизации. Никакое другое мегалитическое сооружение Европы не насчитывает столько шлифованных камней. Если смотреть на Стоунхендж с земли (рис. 2), нельзя заметить никакого порядка. Он внушителен только тогда, когда его обозреть в плане, сверху. Некогда камни-монолиты стояли в правильном порядке в виде сложной фигуры. Теперь уже этот порядок, во многом нарушен.

Главная ось Стоунхенджа, направленная вдоль аллеи, указывает на точку восхода Солнца в день летнего солнцестояния, когда восход можно было наблюдать над пяточным камнем. Основные и часто повторяющиеся ориентиры, наблюдаемые в Стоунхендже, были сознательно, точно и искусно направлены на Солнце и Луну. По этим ориентирам можно было фиксировать все важнейшие точки восходов и заходов Солнца и Луны в различных стадиях их видимого перемещения по небесной сфере.

В центре сооружения (рис. 3) имеется огромный круг диаметром 38 м, состоящий из 30 голубых камней-монолитов высотой 5 м, между которыми можно было видеть горизонт и с удивительной точностью вести календарный счет дням. Перемещая камешек-метку по кругу голубых камней каждое утро и каждый вечер, можно было получить $29\frac{1}{2}$ суток — число, близкое к лунному месяцу. Посредине круга лежал огромный плоский камень, служивший алтарем; в отдалении стояла заостренная кверху колонна-гномон, служившая для установления визуальной линии: от алтаря к восходящему Солнцу во время летнего солнцестояния.



Рис. 2. Развалины Стоунхенджа

Другой круг, расположенный концентрически с первым, состоял из 56 лунок. Это кольцо из ям. Диаметр кольца 87,8 м с промежутками между центрами лунок 4,8 м. Точное размещение 56 точек на такой окружности представляло собой немалое техническое достижение. Лунка служила для отсчета лет (по лунке на каждый год). Число 56—это наименьшее число лет, за которое Луна завершает цикл своего движения по небосводу; он служит для того, чтобы предсказывать все предельные положения Луны в данное время года, а также затмения Солнца и Луны. Число 56 оказалось одной из самых старых, самых загадочных тайн Стоунхенджа. Этот 56-летний интервал между восходами зимней Луны над камнем *D* сохранялся на протяжении многих столетий и состоял из трех циклов в $19+19+18$ солнечных лет. Точный интервал для восхода Луны над камнем *D* определялся жрецами Стоунхенджа в 18,81 солнечных лет. Он несколько отличается от метонового цикла, состоящего из полных 19 солнечных лет, по прошествии которого фазы Луны приходят на те же дни солнечного года. Хотя метонов цикл более удобен, но цикл в 18,81 был более точным, если учесть, что в среднем на 18-летний интервал приходились два 19-летних.

Камни *D* и *F* определяли предельные азимуты восходов Луны на протяжении лунного цикла, когда Луна доходила в свое прежнее положение по прошествии 18,81 солнечных лет. За этот период северная точка восхода Луны передвигается от *D* к пяточному камню, затем к точке *F*, а потом вернется к *D*. Таким образом, эта точка из-за отставания узлов лунной орбиты колеблется, как маятник, из стороны в сторону в пределах аллеи. Луна находится над камнями *D* и *F* каждые 37 или 38 лет; она возвращается в свое положение каждые 56 лет, или, говоря иначе, так Луна завершает цикл своего движения по небосводу.

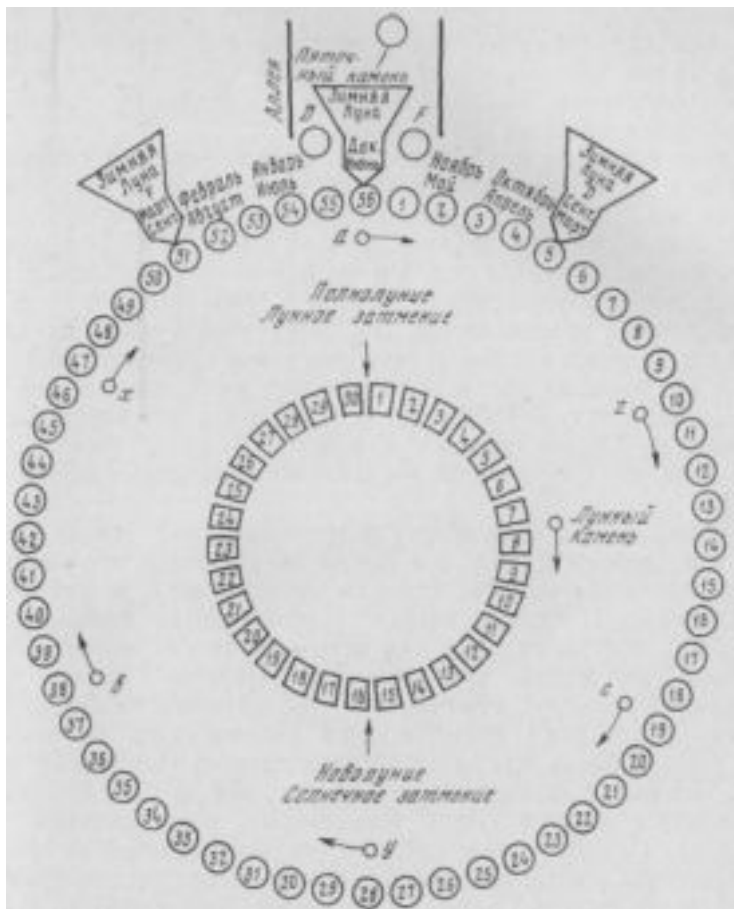


Рис. 3. Схема устройства Стоунхенджа

Установлено, что если взять три белых камешка *a*, *b*, *c* и положить их в лунки с номерами 56, 38, 19, а затем взять три черных камешка *x*, *y*, *z* и положить их в лунки с номерами 47, 28 и 10 и каждый год, скажем в день летнего и зимнего солнцестояния, перекладывать камешки-метки по кругу в соседние лунки, то эта простая операция позволила бы точно предсказывать все важные лунные события на протяжении многих сотен лет.

Стоунхендж мог служить надежным календарем для предсказания смены времен года в связи с потребностью регулирования сельскохозяйственных работ. По нему можно было также определять приближение солнечных и лунных затмений. В ранней истории человечества религия и религиозные обряды и календарь неотделимы друг от друга.

Предполагают, что Стоунхендж был не только обсерваторией и солнечным каменным календарем, но и служил местом для

проведения праздника по случаю наступления летнего солнцестояния. И еще даже теперь в день, когда Солнце оказывается точно над заостренной колонной, сюда по традиции стекаются любители посмотреть на это зрелище.

Об этом сооружении сохранилось немало легенд и сказаний, но только в XX в. проявился научный интерес к разгадке тайны Стоунхенджа. В 1901 г. выдающийся английский астроном Норман Локьер первый научно доказал идею об астрономической ориентации Стоунхенджа. Он провел расчет и показал, что постройка этого сооружения относится к 1880—1480 гг. до н. э.

Современный исследователь Дж. Хокинс на основе научных расчетов с использованием электронно-вычислительной машины получил для времени постройки Стоунхенджа близкую к результатам Локьера дату—1850 г. до н. э. В результате тщательных исследований Хокинс пришел к выводу: «Сейчас уже нельзя сомневаться, что Стоунхендж представляет собой обсерваторию» [98, 10].

Крупнокаменные постройки с астрономической целью создавались и в Древнем Египте, и в Вавилоне. Известно, что пирамиды были ориентированы по странам света, а вход в них имел направление на Полярную звезду. Многоэтажная Вавилонская башня была построена тоже для астрономических наблюдений.

Можно утверждать, что обелиски Древнего Египта, эти своеобразные гномоны, отмечавшие определенные периоды дня, служили указателями времени. Они воздвигались во многих частях мира. Вблизи Каира находится один из гигантских обелисков, который был воздвигнут за 3 тыс. лет до н. э. Его подобием является обелиск «Игла Клеопатры», ныне находящийся в Лондоне. Первоначально первый из этих обелисков стоял перед храмом Солнца; предполагают, что богослужение начиналось тогда, когда тень Солнца от обелиска падала против входа в храм.

Глава I

ЧАСЫ ДРЕВНЕГО ВОСТОКА

Солнечные и водяные часы Древнего Вавилона

Современные историки древнего мира утверждают, что третье тысячелетие до нашей эры было великой творческой эпохой в области материальной и духовной культуры на берегах Тигра и Евфрата [88,25].

Астрономия и астрономические наблюдения достигли весьма высокого уровня развития. Была установлена связь гелиакических восходов звезд с полевыми работами. Особенно существен-

но, что время летнего солнцестояния связывалось с гелиакическим восхождением наиболее яркой звезды — Сириуса.

Исследования Нейгебауэра и Мартини показали, что ориентировка древневавилонских храмов производилась по большому кругу небесной сферы, который около 3 тыс. лет до н. э. проходил через Полюс мира. Это расположение храмов можно проследить примерно до 2880 г. до н. э. Храмы, построенные в четвертом тысячелетии, такой ориентировки не имеют [54, 6—7]. Бесспорно, это было сделано в итоге использования результатов, полученных благодаря астрономическим наблюдениям, на основе которых уже в третьем тысячелетии до н. э. в Древнем Вавилоне развивалась звездная астрономия [74, 111]

Говоря об астрономических достижениях древних вавилонян, еще-недавно упускали из виду их большие успехи в области математики. После открытий, сделанных немецким историком математики О. Нейгебауэром и французским ассириологом Ф. Тюрро-Данженом, есть все основания утверждать, что достижения древних вавилонян в области математики были столь же велики, как и в области астрономии. Благодаря этому древние вавилоняне могли заложить основу для развития научной астрономии, создать фактическую основу для последующих обобщений в астрономии. Вавилоняне при астрономических наблюдениях не могли, разумеется, обходиться без применения тех или иных инструментов. Известно например, применение ими меридианного инструмента, которой был использован во времена древнеегипетского царя Тукултиноста I (1260—1232 до н. э.) при перестройке дворца. В то время были также хорошо знакомы с солнечными и водяными часами [159, 75].

Геродот рассказывает, что греки заимствовали гномон из Вавилона [59, 112]. Достоверность этого сообщения теперь находит подтверждение в древневавилонском тексте «Mul Apin». Наиболее ранние сохранившиеся копии этого текста относятся примерно к 700 г. до н. э., но они, несомненно, основаны на более старом материале и содержат сводку астрономических знаний того времени. Там имеется таблица с данными о правильном использовании гномона. Витрувий свидетельствует, что тип полусферических солнечных часов, циферблат которых изготовлен в виде полости, вогнутой наподобие чаши, был также заимствован древними греками у вавилонян. Как показал бельгийский историк Франц Кюмон, заимствования древними греками у вавилонян счета и меры, в основе которых лежали числа 12 и 60, а также солнечных часов и основных астрономических понятий восходят ко времени установления торговых сношений между азиатским Востоком и ионийскими городами [118].

Полусферические солнечные часы (рис. 4) были инструментом, весьма нужным древневавилонским астрономам. Они приспособили их для определения не только дневного, но и ночного времени. Последовательное восхождение двенадцати созвездий (знаков зодиака) каждую ночь на расстоянии одного часа один

от другого отмечало ночные часы. Зная восхождение каждого из этих созвездий, можно было судить о том, какой час ночи.

Как показал П. Таннери [94, 86—90], халдейские астрономы сделали все необходимое для того, чтобы солнечные часы полусферического типа были пригодны для астрономических наблюдений. У них был устроен из металлических проволок, образующих сетку, шар такого размера, что он мог легко скользить по циферблату, образованному наподобие чаши. Этот шар был опоясан большим кругом, изображающим эклиптику; на круге были изображены знаки зодиака с соблюдением их угловых расстояний. Зная, в каком знаке зодиака находится Солнце, легко было определить соответствующее Солнцу место на проволочной сфере. Таким образом халдейские астрономы определяли угловые расстояния небесных светил, а также положение их на небесном своде.

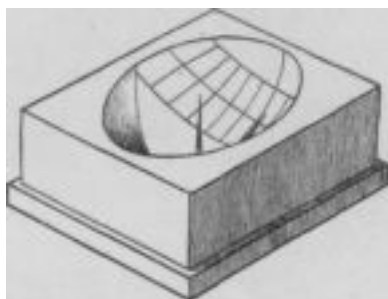


Рис. 4. Древневавилонские полусферические солнечные часы

Шар с меридианами и параллелями, с начерченными на них делениями давал возможность заметить разницу между солнечным и звездным временем и сравнить дневное движение Солнца с ночным движением звезд эклиптики или тех же звезд, которые ночью проходили тот же путь, который накануне был пройден Солнцем. Это сравнение, осуществленное с помощью водяных часов (клепсидры), позволило установить угловое положение Солнца по отношению к звездам. Переноса эти положения на эклиптику, выяснили, что движение Солнца по эклиптике неравномерно. У халдеев существовали уже соответствующие таблицы сравнения солнечного и звездного времени, подтверждавшие эту неравномерность движения Солнца по эклиптике.

Развитие солярной и звездной астрономии в Древнем Вавилоне послужило основой для зарождения и последующего развития гномоники. Древневавилонских и древнеегипетских астрономов надо считать отцами астрономии и гномоники.

В Древнем Вавилоне водяные часы применялись, по-видимому, с незапамятных времен. Свидетельство о существовании там водяных часов содержится в манускрипте, опубликованном Нейгенбауэром. Во всяком случае, уже при Ассурбанипале (640 г. до н. э.) вавилоняне пользовались водяными часами. Это были сосуды цилиндрической формы, из которых медленно вытекала вода. Цилиндры наполнялись водой на восходе Солнца. Когда опустошался цилиндр, глашатай предупреждал об этом; задень это случалось 5—6 раз [30, 1235].

¹ Mathematische Keilschrift-Texte. Berlin, 1935, v. 1.

Солнечные, звездные и водяные часы Древнего Египта

Древние египтяне обнаружили выдающиеся способности в астрономии; об этом говорят не только их календари, таблицы восхождения и кульминации звезд, но и замечательные инструменты, которые они применяли для астрономических наблюдений: солнечные часы, инструмент для определения азимута звезд, состоявший из вертикального отвеса и вилкообразного жезла, и др. Образцы таких инструментов сохранились в каирском и берлинском музеях, а точные копии их имеются во многих египтологических и астрономических коллекциях.

Кроме солнечных и звездных часов, основанных на данных наблюдений за движениями небесных тел, в Древнем Египте были распространены еще и водяные часы.

Самое раннее известие, дошедшее до нас, относительно существования *солнечных часов* в Древнем Египте датируется временем царствования фараона Тутмоса III (1521—1473 гг. до н. э.). Этот царь совершил несколько десятков походов как в Азию, так и в Нубию. В описании одной битвы в ущелье Манедо, которую он вел во время своего первого похода в Азию, имеется упоминание, что армия выступила в полдень, когда тень солнца «повертывается» [102, 15]. Определить этот критический момент можно было только по солнечным часам, которые Тутмос III мог иметь при себе.

Если самое первое упоминание о древнеегипетских солнечных часах пока связано с именем Тутмоса III, то, как справедливо указывает египтолог Д. Г. Брестед [113], это не значит, что до него в Древнем Египте не было солнечных часов.

На гробнице Сети I (ок. 1300 г. до н. э.) имеется изображение простых солнечных часов с описанием способа пользования ими. Еще одни солнечные часы известны от времени царствования фараона Мернепта (1258—1239 гг. до н. э.), которые были найдены в Палестине (рис. 5); часовые линии, расходящиеся от центра, нанесены на плоскости; по ним определяли время, как и на современных солнечных часах, по направлению тени. С подобным устройством циферблата солнечные часы могли быть и вертикальными, и горизонтальными. По древнеегипетским солнечным часам такого типа более или менее правильно определяли часы дня лишь во время весеннего и осеннего равноденствия; в остальное время они показывали часы дня весьма приблизительно, но такие часы с равными делениями циферблата были полезны для астрономов [ИЗ].

В настоящее время известно несколько образцов египетских солнечных часов, хранящихся в различных музеях мира; все они были приспособлены к измерению времени не по направлению, а по длине тени, отбрасываемой гномоном. На рис. 6 представлена репродукция солнечных часов. До второй мировой войны их оригинал находился в Новом музее в Берлине.

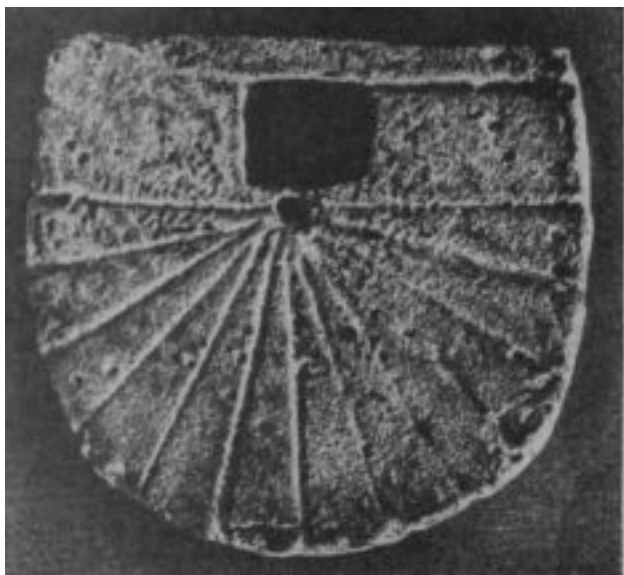


Рис. 5. Египетские солнечные часы XIII в. до н. э.

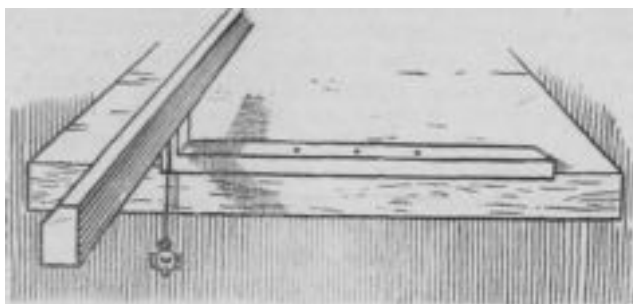


Рис. 6. Египетские солнечные часы VIII—VII вв. до н. э.

Эти часы, изготовленные из зеленого сланца, представляют собой стержень прямоугольной формы с поперечиной на конце. На стержне нанесены точки-выемки, отмечающие часы дня. Прибор должен помещаться так, чтобы основание было направлено с востока на запад, а тень от вертикальной поперечины падала на основание, на котором нанесена шкала «часов». Время от восхода Солнца до высокостояния (полдень) было разделено приблизительно на шесть частей. На рассвете тень от вертикальной поперечины падала по направлению к западу и отмечала при восходе Солнца первый час на самом дальнем конце осно-

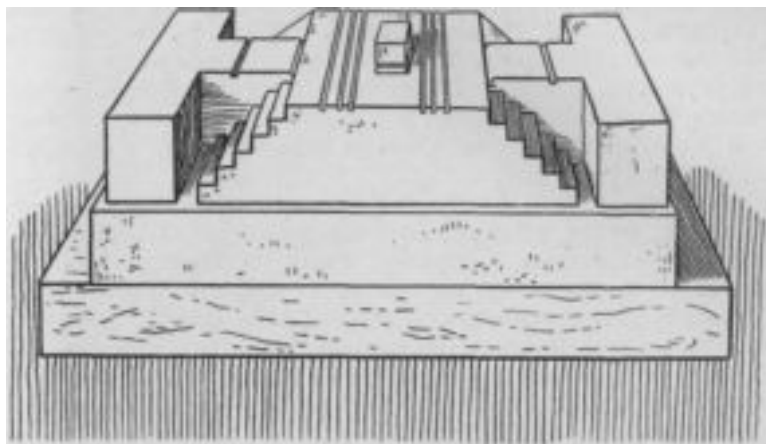


Рис. 7. Ступенчатые солнечные часы

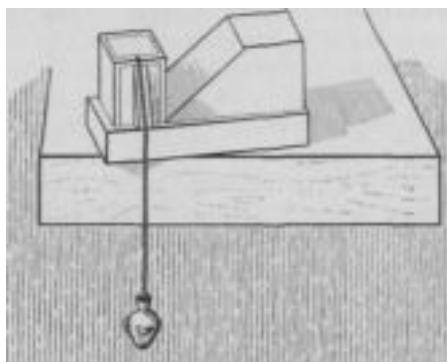


Рис. 8. Египетские солнечные часы александрийского римского периода

вания. По мере того как Солнце восходило на восточном небе, тень постепенно укорачивалась до тех пор, пока в полдень не пропадала. Затем прибор поворачивался в обратном направлении. Тогда отметка тенью последующих часов происходила начиная от дальнего конца по направлению к вертикальной поперечине, так что 7-й час отмечался на самом дальнем конце, а последний, 12-й — у самой поперечины.

На одном конце прибора имелся свинцовый отвес, с помощью которого производилось выравнивание основания по направлению к горизонту.

Другой формой древнеегипетских солнечных часов были ступенчатые, или лестничного типа солнечные часы (рис. 7). Борхгардт, первый описавший их, указывает, что устанавливались они для наблюдения за тенью Солнца в направлении восток — запад. Свет падал на малого размера лестничнообразные ступени, которые служили также и гномонами.

Ступени расположены по шесть с каждой стороны. При восходе Солнца тень от восточного блока падает точно на передний край верхней ступени. При восхождении Солнца по небосводу тень постепенно опускается со ступени на ступень вниз, достигая нижней ступени в полдень. После полудня тень перемещается с восточного блока на западный и с нижней ступени поднимается вверх и к моменту захода Солнца оказывается на верхней шестой ступени [31, 7].

Археологами недавно найден и поздний тип египетских солнечных часов, более усовершенствованный (рис. 8). Они относятся уже, по-видимому, к периоду Римской империи и состоят из маленького клина с прямоугольным блоком. При пользовании прибор устанавливается так, что тень блока падает на прямоугольную поверхность, имеющую уклон; на нем нанесены деления для определения времени по длине тени. Деления предусмотрены для каждого месяца года, причем одно деление может служить для двух равноотстоящих от равноденствия месяцев.

На древних солнечных часах деления наносили исходя из практического опыта, потом стали наносить на основе теоретического расчета, правда неверного, как было установлено исследователями. Египтянам было известно, что тень, отбрасываемая гномоном, различна в зависимости от времени года, но так как разница практически была не слишком велика, то она не учитывалась.

Последовательность, существующая в смене гелиакических восходов звезд в течение года (от одного восхода Сириуса до другого), привела египтян к *измерению времени при помощи звезд* (или группы близлежащих звезд). По египетскому календарю месяцы были разделены на декады; на декады же были разбиты и службы часов-звезд, выполнявших функции измерения времени. Ими могла служить любая последовательность звезд или созвездий, восходы которых наступают с десятидневными интервалами. Такие часы-звезды теперь известны под названием «деканов»; они принадлежат полосе неба, расположенной примерно параллельно эклиптике, к югу от нее. Отвечающие деканам десятидневные интервалы заполняют весь год. Соответственно тому как год делился на 36 декад, нужно было иметь 36 деканов, которым в египетских звездных часах соответствовали 36 колонок, разбитых, в свою очередь, каждая по 12 строк по числу часов ночи, определяемых по восходу 12 деканов в каждую ночь. Пользующийся этими данными мог знать час ночи по восходу декана, записанного в соответствующей декаде месяца.

В эллинистическую эпоху были установлены твердые соотношения между египетскими деканами и вавилонским зодиаком: каждый декан составлял 10° эклиптики.

Сириус и Орион принадлежали к ведущим членам, созвездий — деканов. Положение пояса деканов по отношению к экли-

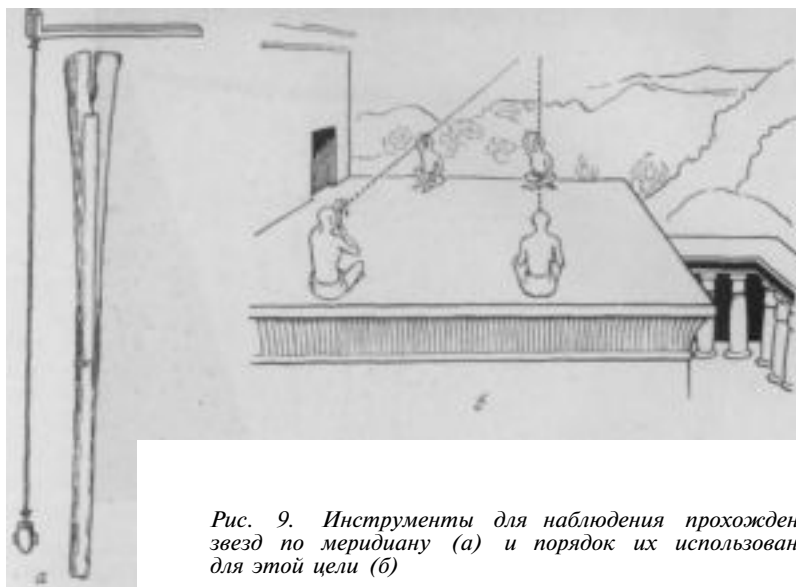


Рис. 9. Инструменты для наблюдения прохождения звезд по меридиану (а) и порядок их использования для этой цели (б)

птике и экватору, а также к Сириусу и Ориону было вполне определенным.

Расчет ночных часов по деканам в Египте ко времени Нового царства утратил свое значение. Для этой цели восход звезд был заменен моментом их кульминации. Ночное время египтяне стали определять наблюдая за прохождением звезд через меридиан. Для того чтобы использовать ночное небо в качестве звездных часов, нужно было прежде всего составить звездную карту. В гробницах Рамзеса VI, Рамзеса VII и Рамзеса IX в Бибангель-Моллюке и были найдены такие карты с таблицами. В таблицах для начала ночи и для каждого из ее 12 часов указывались определенная звезда и место, где она будет видна: «над левым ухом», «над правым ухом», «над левым плечом», «над правым плечом» [74, 99].

Для фиксирования положения звезд при наблюдениях пользовались визиральной доской и отвесом (рис. 9). Для выполнения наблюдений нужны были два человека. Наблюдатель садился лицом к северу и держал перед собой дощечку и отвес. Напротив наблюдателя садился его помощник, который также держал отвес. Воображаемая линия от глаза наблюдателя к Полярной звезде должна была проходить через расщеп визиральной дощечки и оба отвеса [74, 99]. Время прохождения звезды через плоскость, определяемую этой воображаемой линией и отвесами, являлось моментом прохождения ею меридиана местности, на основании чего и составлялись звездные карты, образцы которых нам известны.



Рис. 10. Египетские водяные часы в виде конусообразной алебастровой чаши

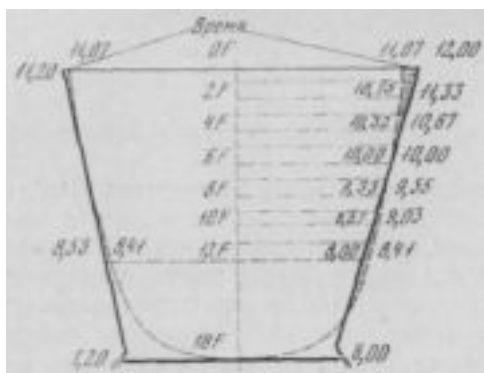


Рис. 11. Основные расчетные размеры сосуда для конструирования водяных часов конусообразной формы

Современные исследования Нейгебауэра подтвердили существование в Древнем Египте этих звездных часов [74, 94].

В Древнем Египте *водяные часы* применялись задолго до нашей эры. Одни такие часы были найдены в Карнаке, они относятся к Среднему царству. Ученые считают возможным датировать их царствованием Аменхотепа III (1415—1380 гг. до н. э.). Они состояли из алебастровой чаши с маленьким отверстием в дне (рис. 10), через которое вода могла вытекать.

Водяные часы применялись для измерения времени в закрытых помещениях, чаще всего в храмах при совершении богослужения, когда требовалось строго учитывать время. Каждый час дня был посвящен одному божеству, и каждому посвящалась особая молитва. Водяные часы употреблялись и как дополнительный прибор при ночных астрономических наблюдениях.

Поэтому они назывались также «ночными часами» и были рассчитаны только на 12 ночных часов.

Водяные часы были двух видов — наполняющимися и вытекающими. Судя по описанию Гераподлония (кн. 1, гл. XVI) и по образцам, сохранившимся от александрийско-римской эпохи, наполняющиеся водяные часы состояли из двух сосудов: первый сосуд был установлен на некотором возвышении вместе с сидящей фигурой бога Тота — бога науки, письменности и счета (он изображен в виде павиана); второй сосуд расположен под первым сосудом, из которого по трубке, установленной под фигурой бога, вытекала вода и наполняла второй сосуд. На стенках второго сосуда были нанесены деления; в зависимости от того, до какого уровня они наполнялись водой, и определялось время. Вытекающие часы представляли собой каменный сосуд в форме усеченного конуса, в дне которого имелось маленькое отверстие, из которого капля за каплей вытекала вода. Конусообразная форма сосуда обеспечивала равномерность вытекания воды. При такой форме сосуда уровень воды при ее истечении падает почти равномерно и постепенно, что компенсируется, соответствующим уменьшением площади поперечного сечения в нижней части сосуда. Это давало возможность наносить на внутренней поверхности клепсидры деления на равном расстоянии друг от друга. Нанесение этих делений, однако, усложнялось необходимостью учитывать изменяющуюся длительность самого часа как единицы измерения времени — коротких летних часов и более длинных зимних. Учитывая это, деления делались на внутренней стороне клепсидры в виде небольших точек-выемок, расположенных в 12 столбцах, из которых каждый предназначен одному месяцу. На каждом из этих 12 столбцов, в свою очередь, наносились другие 12 точек, соответствующие часам ночи, причем точки, отмечающие часы ночи, располагались не на одном уровне. Таким образом учитывалось колебание продолжительности ночи в различные времена года.

В Оксиринском папирусе, датированном 200—300 гг. н. э., дается расчет для устройства вытекающей клепсидры. Из него следует, что сосуд должен иметь такие размеры: верхний диаметр — 24 пальца (F —палец—18,75 мм), нижний—12 пальцев, высота сосуда—18 пальцев. Это дает усеченный конус, у которого диаметр основания относится к высоте, как 1:3, т. е. с углом при основании $71^{\circ}34''$ (рис. 11).

Мы не знаем, каким образом египтяне нашли эту форму для сосуда, которая действительно дает возможность вытекать воде с достаточно равномерным понижением уровня. Однако факт этот должен быть отмечен. Такой сосуд не давал все же полной равномерности понижения уровня воды, некоторая ошибка здесь была. Значительно точнее был бы конус с отношением диаметра основания к высоте, как 2:9, т. е. с углом в 77° , но и

не вполне точная клепсидра могла удовлетворять тем требованиям, которые ей предъявлялись египтянами. Более точным был бы сосуд в форме параболоида.

Солнечные и водяные часы в древних Иудее, Китае, Индии, Перу и Родезии

В Библии, в книге пророка Исайи, рассказывается, как цари Ахаз, когда ему была предсказана скорая смерть, вымолил у бога отсрочку и будто бы «бог отвел часовую тень на десять степеней, на которые она передвинулась по солнечным часам».

Ахаз, иудейский царь (734—728 гг. до н. з.), теснимый идумеями и филистимлянами и в то же время царями израильским и дамасским, призвал на помощь ассирийского царя Тиглас-Палласара, которому передал все сокровища храма и царского двора. Тиглас-Палласар справился с врагами Ахаза, но принудил его признать свое верховенство, оплатить дань и ввести в Иерусалиме поклонение ассирийским языческим божествам.

По мнению большинства историков, тот же Ахаз заимствовал из Ассирии и свои солнечные часы. Но какая была форма у часов, упоминаемых в Библии, неизвестно. На слово «степени», приводимое в 8-м стихе 36-й главы книги пророка Исайи, учеными сделан ряд комментариев. Одни считают, что столб, установленный вне царского дворца, посылая тень на проходную ступенчатую террасу, по которой, двигаясь, она показывала время. У. М. Бозенкует считает, что эти часы имели такую же форму, какая была принята в Вавилоне, в связи с исправлением календаря в 747 г. до н. э., за 19 лет до вступления Ахаза на царство. Они представляли собой гномон, который находился в комнате без потолка, куда и проникали лучи света; тень от гномона двигалась по ступеням, служившим для отсчета времени. Такие комнаты в обсерваториях Востока имелись до середины XVIII в. У. М. Бозенкует допускает возможность использования этого гномона для научных целей.

Более правдоподобным и обоснованным является, однако, предположение, и на этом сходятся многие исследователи, что часы Ахаза представляли собой обычный гномон, вокруг которого была устроена терраса, спускающаяся ступенями. По количеству покрытых тенью ступеней судили о времени дня.

Астрономия Китая берет начало в глубокой древности. Для выполнения астрономических наблюдений китайские ученые изобретали различные приборы и инструменты [144, 302—312, 316—329]. В VII в. до н. э. в Китае научились определять времена года с помощью гномона («тугуя»). По длине его тени в полдень установили даты летнего и зимнего солнцестояния, весеннего и осеннего равноденствия. В книге установлений династии Чжоу в разделе «Као Чунджи» говорится именно о «прямом шесте, который был поставлен, чтобы следить за его

тенью», и об использовании этих наблюдений для определения времени зимнего и летнего солнцестояния и удаленности Солнца от Земли.

В другом китайском источнике сказано: «По наблюдению за солнечной тенью в период зимнего и летнего солнцестояния можно определить эклиптику. По наблюдениям солнечной тени в период осеннего и весеннего равноденствия можно определить экватор. Зная эклиптику и экватор, можно вычислить высоту северного полюса» [91, 46].

В VIII—III вв. до н. э. в астрономии Китая были достигнуты весьма значительные успехи. К этому периоду относится составление сводного звездного каталога («Гань Ши син цзин»). В каталоге указано расположение! по эклиптике 120 неподвижных звезд и расстояние в градусах от Северного полюса.

На рис. 12 показан древнекитайский гномон. При раскопках в районе Цзыюнь провинции Гуйчжоу были обнаружены нефритовые солнечные часы (рис. 13). Судя по иероглифам, они относятся к периоду, предшествовавшему династии Хань (III в. до н. э.). Эти часы представляли собой каменный диск, установленный в плоскости, параллельной экватору. В центре диска, перпендикулярно к нему, укреплялся гномон (бронзовый стержень), параллельный оси мира. На верхней и нижней частях диска были нанесены деления и подписаны названия двенадцати китайских двояных часов соответственно «таблице циклических часов». В момент прохождения Солнца через меридиан тень от стержня падала точно ☉ северном направлении, и часы указывали полдень. При этом после дня весеннего равноденствия наблюдения за тенью проводились по верхней части диска, а после дня осеннего равноденствия — по нижней.

Некоторые китайские источники свидетельствуют, что водяные часы в Китае были известны уже во времена Хуан-ди (2696—2597 гг. до н. э.). Другие источники относят появление этих часов к эпохе царствования Яо (2337 г. до н. э.), что вряд ли соответствует действительности. В книге «Чжоули», более древней, чем «Хан», трактующей об обычаях и церемониях, говорится: «Нужно очень внимательно отмечать полные обороты планеты Юпитера и устанавливать, чтобы время ночи делилось на промежутки и чтобы об этих отмеченных промежутках люди предупреждали ударами в деревянные планки и что имеются водяные часы, которые измеряют время этих промежутков» [35, 22].

Дошедшие до нас источники подтверждают, в частности, существование в Древнем Китае особого четырехугольной формы бассейна, в который равномерно поступала вода из подвешенной над ним вазы. Уровень воды в бассейне, т. е. время, измеряли по делениям, нанесенным на стенке бассейна.

Китайские авторы XI в. до н. э. упоминают о водяных часах, из которых вода постепенно вытекала через клюв птицы и па-

Рис. 12 |

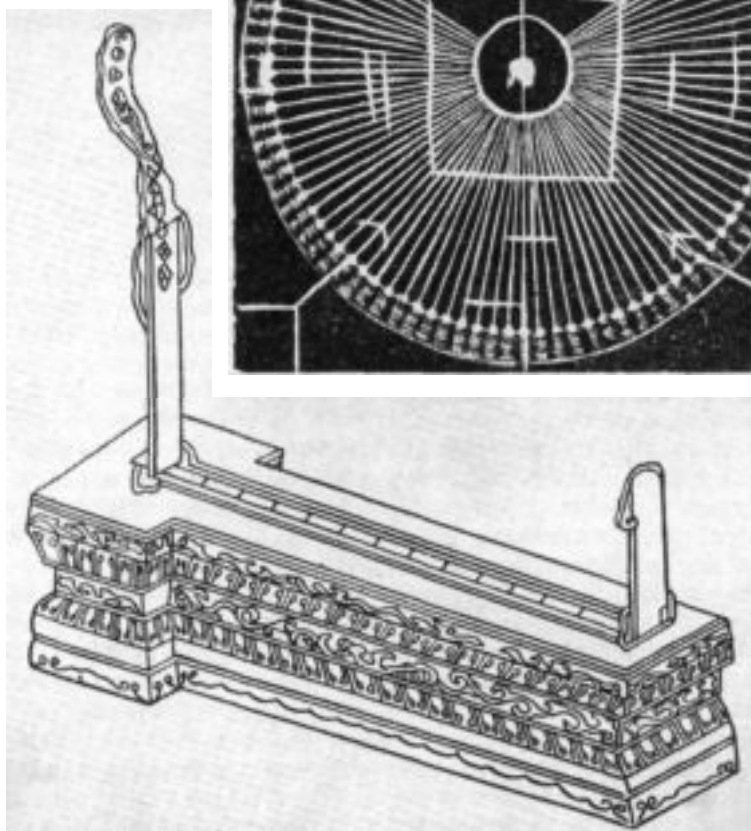


Рис. 12. Древнекитайский гномон

Рис. 13. Древнекитайские нефритовые солнечные часы

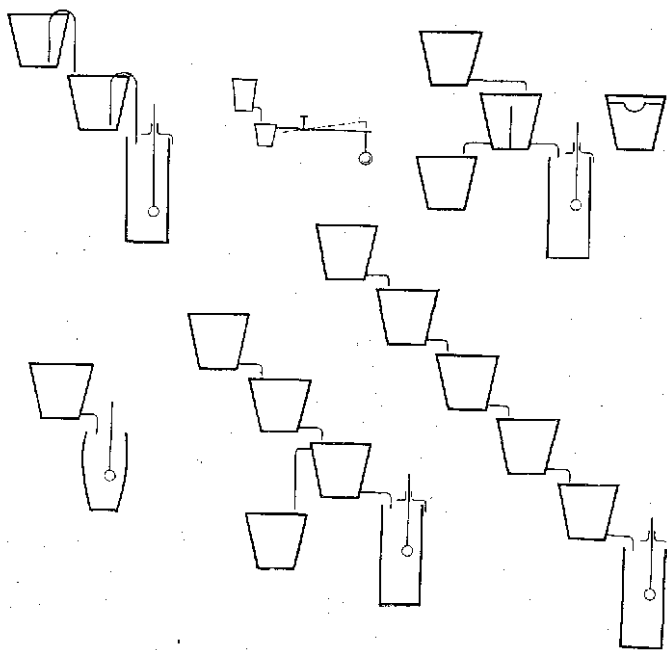


Рис. 14. Схемы устройства древнекитайских водяных часов

дала в' сосуд-водоприемник, поставленный на весы. Один фунт воды составлял одну «ке» (100 минут в переводе на наше исчисление времени).

Наибольшее распространение в Китае получили водяные часы из нескольких сосудов, наполненных водой и расположенных один выше другого. У каждого сосуда сбоку проделывалось отверстие, через которое вода постепенно (с заданной скоростью) переливалась в нижестоящий сосуд. Вода из всей системы сосудов собиралась в последнем, самом нижнем, где имела градуированная шкала, показывающая уровень воды, т. е. время суток.

Самые ранние часы такого устройства имели только два медных сосуда и созданы были около 1100 г. до н. э. Чтобы зимой вода не замерзала, она подогревалась (рядом находилась печь).

Примерно около 700 г. до н. э. входят в употребление часы с тремя, четырьмя и более медными сосудами, расположенными, один над другим (рис. 14).

Уже в древности гномоны получили широкое распространение. Мы видим их не только в старинных культурных очагах Средиземноморья, но и около тропиков. Плутарх отмечает, что «гномоны Сиены оказались лишенными тени к летнему солнцестоянию, потому что Сиена расположена на широте $24^{\circ}6'$ —

немного к северу от тропика Рака. Солнце в это время находится над головой и не может давать тени». В полдень там можно видеть Солнце, находясь на две глубокое колодца; другими словами, Солнце тогда стоит в зените, следовательно, его высота 90° . В Александрии по наблюдениям тени вертикального шеста или гномона Солнце оказывалось в то же самое время удаленным от зенита на $7^\circ 12'$.

Астрономы и географы древнего мира старательно отмечали все, что было примечательного в отношении показания гномона. Так, Страбон сообщает о стране, где «гномон установлен перпендикулярна к плоской поверхности; тень, которая отбрасывается им в полдень, падает сначала к одной, а затем к другой стороне. Это, однако, имеет место только в тропиках, а у нас тень всегда падает к северу» [92, 17].

О весьма большом распространении солнечных часов в Древней Индии и вообще в странах буддизма свидетельствуют «Законы буддийского духовенства». Там содержится предписание, обязывающее кандидатов на священство знать к уметь разделять на части день по длине тени Солнца, определять смену времени года и т. д. Умение обращаться с солнечными часами считалось столь же нужным, как и знание учения Будды.

В Индии водяные часы изготовлялись в виде кораблика, который пускали в сосуд, наполненный водой. Кораблик имел пробоину, через которую постепенно входила вода; мало-помалу он начинал погружаться и наконец опускался на дно. Время, необходимое на погружение, и составляло единицу измерения времени [72, 217].

Народы Древней Мексики и Перу до завоевания их испанцами уже были знакомы с устройством и применением гномона. Прескотт в своем труде «История завоевания Мексики» [148, 58—59] сообщает о памятнике материальной культуры из драгоценного камня, найденном в 1790 г. на центральной площади мексиканской столицы. Было установлено, что он мог использоваться как календарь, который был высечен на камне, так и в качестве вертикальных солнечных часов.

Прескотт установил, что перуанцы имели замечательной работы колонны, служившие в качестве солнечных часов. С их помощью они научились определять также время равноденствий и солнцестояний. Перуанцы говорили, что, когда от полуденных лучей Солнца тень падает от колонны и становится видимой, в это время «бог в полном блеске садится на колонну». Известно, что перуанцы обоготворяли Солнце [149, 61].

Завоеватели испанцы варварски уничтожили памятники древней культуры; в их числе были уничтожены и колонны, которые-испанцы принимали за идолов.

В Родезии в 1892 г. археологами найден огромного размера гномон, установленный за тысячу лет до нашей эры.

В странах Древнего Востока — в Древнем Египте, в Древнем Вавилоне и в Древней Индии — астрономы были в то же

время жрецами; их занятия астрономией были связаны с религией. Приемы счета времени, открытые с помощью наблюдения за движением небесных светил, были использованы для установления в храмах твердого порядка богослужения. Но это не мешало передовым умам сосредоточивать внимание и на чисто астрономических вопросах, на изобретении и усовершенствовании необходимых для астрономических занятий средств измерения времени. Этот прогресс знаний в области астрономии и измерения времени в странах Древнего Востока продолжался до тех пор, пока не была установлена твердая календарная система. Жрецы перестают быть астрономами и в угоду религии начинают отдавать предпочтение 'астрологии. Древневосточная наука оказывается в тисках традиции либо застывает в рутине. Так было в Древнем Вавилоне, в Египте и у других древневосточных народов. Только в Древнем Китае астрономы были не жрецами, а профессиональными деятелями в этой области, что положительным образом влияло на развитие астрономии.

Распространенное мнение, будто наука Древнего Востока сводилась только к чисто эмпирическому накоплению фактов, нельзя считать достоверным. Известно, что египтяне и вавилоняне передали грекам ряд важных математических положений и астрономические знания, касавшиеся видимого движения и пути Солнца, распределения созвездий, объяснения затмений Луны и Солнца, деление года на 12 месяцев, суток на 12х2 часов, круга на 360°, связи климата с более или менее косым падением солнечных лучей, установления понятий о небесном экваторе, меридиане, эклиптике, применению гномона, солнечных И водяных часов для измерения времени и т. д. После этого не требуется каких-либо других доказательств о том, что имела глубокая преемственность в развитии античной астрономии (и гномоники) с астрономией Древнего Востока. Синтез знаний в этих областях—астрономии и гномонике—был достигнут в эпоху эллинизма. По справедливому мнению О. Нейгебауэра, «в плавильном горне эллинизма развилась та форма науки, которая позднее распространилась повсеместно от Индии до Западной Европы и господствовала вплоть до создания современной науки во времена Ньютона» [74, 17]. Значительную роль в обогащении науки положительными знаниями, в сохранении преемственности в их развитии, в распространении, а также в становлении доньютоновской науки на основе положительных знаний сыграли астрономия и гномоника вместе с математикой.

Глава II

АНТИЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ И ВОДЯНЫЕ ЧАСЫ

Солнечные и водяные часы Древней Греции

Работы, посвященные истории античных часов, обычно начинают с цитат из труда древнеримского архитектора Витрувия «Архитектура». В IX главе этого труда перечисляется тридцать различных типов солнечных часов, бывших в употреблении во время Витрувия (I в. н. э.) и унаследованных от античного мира; заодно здесь приводятся имена многих изобретателей часов. Витрувий, опираясь на труды древнегреческих астрономов и математиков, дал наиболее полную из дошедших до нас сводку достижений античной гномоники как науки, развивавшейся вместе с астрономией, математикой, архитектурой и механикой. Труд Витрувия является основным источником для истории античных часов, поскольку здесь наряду с солнечными часами приводится также описание и важнейших водяных часов.

В течение последних 150 лет археологами и любителями древности среди руин древних зданий найдено немало образцов солнечных и водяных часов, которые могут служить прекрасной иллюстрацией к описаниям часов в «Архитектуре» Витрувия. Правда, многое из того, что описано у Витрувия, еще не найдено, однако выявлено и то, что у него даже не упоминается.

Пользуясь письменными источниками и данными археологии, можно, как это делает О. Райе [156], классифицировать античные солнечные часы на три вида: сферические, конические и плоские. У Райе виды солнечных часов расположены в той исторической последовательности, в какой они действительно появились и развивались. Путь развития античных солнечных часов шел от обыкновенного гномона к устройству полусферических солнечных часов и к их разновидности — к часам с коническим циферблатом, а затем к плоским часам, от наиболее простых солнечных часов к часам все более сложного устройства.

В античных часах хорошо прослеживается остроумие и гибкость технической мысли в развитии измерителей времени от простого устройства к сложному.

По словам Геродота, греки заимствовали у вавилонян солнечные и водяные часы: «...с полушарием, с гномоном и с двенадцатью частями дня древние греки познакомились у вавилонян» [59, 112]. О верности его сообщения свидетельствует, в частности, то, что иудеи познакомились с солнечными часами из того же источника во время царствования Ахаза,

Это свидетельство Геродота не противоречит утверждению Витрувия, что солнечные часы были введены в Греции халдеями Берозом (жрец бога Ваала у ассирийцев-вавилонян). Остается, однако, неясным, когда жил Бероз. Некоторые историки время его жизни относят к X и даже к XI в. до н. э. Если это правильно, то Бероза нужно считать первым человеком, указавшим грекам на возможность использования солнечных часов для определения времени. Другие утверждают, что он жил в III или II в. до н. э. Если это верно, то нет основания приписывать Берозу введение солнечных часов в Греции. Противоречивые данные о времени жизни Бероза могут быть объяснены тем, что одно и то же имя носили различные люди, жившие в разные исторические эпохи.

Однако как бы ни определялось время жизни Бероза, несомненно одно: солнечные часы в Древней Греции были известны уже в VI столетии до н. э.

В 547 г. до н. э. Анаксимандр Милетский установил в Спарте гномон для определения солнцестояния и равноденствия. Анаксимандр был учеником известного философа Фалеса, который много путешествовал по Египту. Не лишено основания предположение, что Фалес во время одной из поездок мог ознакомиться с искусством создания солнечных часов (а это искусство в царствование Ахаза дошло уже до Иерусалима) и передать его своим ученикам.

О Фалесе-астрономе известно мало, однако как философ, математик и астроном он был причислен к семи мудрецам древности. Евдем, ученик Аристотеля, написавший историю греческой астрономии и математики, утверждает, что свои астрономические познания Фалес приобрел в Египте. Основным подтверждением его познаний служит знаменитое предсказание им полного солнечного затмения, которое произошло 28 мая 585 г. до н. э. Диоген Лаэртский приписывает Фалесу сочинение в двести стихов «О равноденствиях и солнцестояниях», а Феофраст утверждает, что Фалес оставил лишь одно сочинение — астрономическое руководство для моряков.

Об Анаксимандре сведений сохранилось немногим более. По свидетельству Диогена Лаэртского, он изобрел гномон и konstruировал horoskopual. Последнее обычно переводят как солнечные часы. Диоген Лаэртский свидетельствует, что Анаксимандр имел дело с konstruированием не только гномона, но и солнечных часов.

Параллельное употребление Диогеном Лаэртским слов «гномон» и «солнечные часы» у многих современных исследователей вызывает недоумение; по их мнению, эти слова означают одно и то же, а обозначение различными словами одного и того же могло произойти из-за того, что Диоген Лаэртский собирал сведения из разных источников. В одном могли содержаться сведения о гномоне, а в другом — о horoskopual — часовых линиях, начерченных на плоской поверхности, отмечающих часы

по тени, отбрасываемой гномоном [173, 51—52]; согласиться с такой интерпретацией слова *horoskopual* нельзя. Большой знаток древнегреческой философии С. Н. Трубецкой определенно считал, что Анаксимандр «изобрел также полос (*polos*) —солнечные часы». Эти часы, пишет Трубецкой, отличались от позднейших: «Вместо плоской доски они представляли собой вогнутую поверхность полушария и служили не только для определения времени дня, но и самих дней года. По свидетельству Геродота, однако, и гномон, и полос были заимствованы от вавилонян и были известны грекам, помимо Анаксимандра. Важно было бы решить вопрос о достоверности другого свидетельства, которое мы находим у Диогена Лаэртского,— о том, будто Анаксимандр построил первую астрономическую сферу» [95, 75]. Надо полагать, эта астрономическая сфера — тот же полос, но снабженный металлической проволочной сеткой («арахной») с меридианами и параллелями и с кругом, изображающим эклиптику со знаками зодиака.

Говоря об истоках развития древнегреческой гномоники, французский историк науки Поль Таннери отмечает: «...гномон был известен в Греции до Анаксимандра. Я не сомневаюсь, что Фалес был знаком с его применением, равно как и с употреблением клепсидры, а применялись эти инструменты как раз к определению солнцестояний и равноденствий; и Фалес не придумал этого применения, а научился ему» [94, 74].

Сохранились сведения, что Меток в 443 г. до н. э. установил гномон в Афинах и с его помощью во время солнцестояний наблюдал длину тени и определил наклон эклиптики к экватору.

Определение времени по тени, отбрасываемой шестом, или по длине тени человека широко практиковалось в быту. Длину тени человека измеряли ступнями ног. Так, в комедии Аристофана «Женщины в народном собрании» действующие лица определяют время по длине тени, отбрасываемой человеческим телом (например, обедать садятся, когда длина тени равняется десяти ступням). То же самое описывает греческий писатель Менандр, живший в IV в. до н. э. Комический поэт Бетон (III в. до н. э.) свидетельствует, что в его времена солнечные часы стали неотъемлемой частью быта Древней Греции.

Солнечные часы с циферблатом полусферической формы. В «Архитектуре» Витрувия находим сообщение, что Бероз положил начало введению в Древней Греции солнечных часов особой формы — *polos*, получивших затем широкое распространение. Витрувий пишет: «Полукружие, выдолбленное в призме и срезанное по высоте полюса, изобретено, говорят, халдеем Берозом; чашу, или полушария изобрел Аристарх Самосский, и он же диск на плоскости; «паука» — астроном Евдокс, а иные говорят — Аполлоний...» [11, 185].

В сообщении Витрувия можно считать совершенно бесспорным, что эти часы особой формы, изобретенные якобы Берозом, затем были усовершенствованы трудами астрономов Древней

Греции, такими, как Евдокс из Книдоса, Аристарх из Самоса, Аполлоний из Перга, и другими учеными древности, в том числе Архимедом.

Практический опыт создания солнечных часов показал, что эклиптику правильнее всего можно передать теневым рисунком не на плоской поверхности, а на вогнутой сфере, если ее воспроизвести на циферблате часов наподобие небесного полушария. Оказалось, что на неподвижной сфере солнечных часов легче всего воспроизвести изменение видимого движения Солнца по небосводу или подвижной небесной сферы. Этим было вызвано появление солнечных часов типа polos, имеющих полусферическое устройство циферблата, т. е. часов совершенно иного устройства, чем гномон.

Различают два типа полусферических часов: одни — с устройством циферблата типа гемисферы (hemispherium), другие — типа гемицикла (hemicyclium).

Гемисфера считается более ранней формой солнечных часов. Она унаследована из Древнего Вавилона и показана на рис. 4. Такие часы своей основой имели обработанный четырехугольный камень, в верхней части которого имелось полушарие для устройства циферблата; в середине полушария укреплялся гномон различной величины и в разных положениях — в зависимости от высоты полюса в данном месте. Гномой имел направление к наивысшему положению Солнца. По мере того как Солнце продвигалось по небосводу, кончик тени описывал дугу в направлении, обратном видимому движению Солнца. Хотя дуги, описываемые концом тени, оставались неодинаковыми, их длина изменялась соответственно изменению высоты Солнца над горизонтом. Поскольку линии, образованные «следом» тени, делились на 12 частей, то они показывали неравные часы, изменяющиеся от одного солнцестояния до другого. На циферблате наносилось одиннадцать часовых линий и три концентрических круга, которые дают положение Солнца при обоих солнцестояниях и равноденствиях.

Изобретение такой простейшей формы солнечных часов Витрувий приписывает знаменитому астроному Аристарху Самосскому. Аристарх впервые точно обосновал теорию, которая лежит в основе этих солнечных часов. Образцы таких часов в неповрежденном виде не дошли до нашего времени.

Сетка этих часов, по замечанию Дильса, чрезвычайно похожа на паутину. «На этой сетке легко можно разобрать 6 + 5 часовых линий и 3 концентрических круга, которые дают положение Солнца при обоих солнцестояниях (вверху и внизу) и равноденствиях (середина)» [63, 147]. Изобретение солнечных часов типа гемицикла (у Витрувия «hemicyclium escavatum» — «выдолбленный полукругом») приписывается Берозу. Полукруг был *выдолблен в виде полости* в прямоугольном мраморном блоке на стороне, обращенной к югу. Сверху передняя часть была срезана под углом, параллельным плоскости эква-

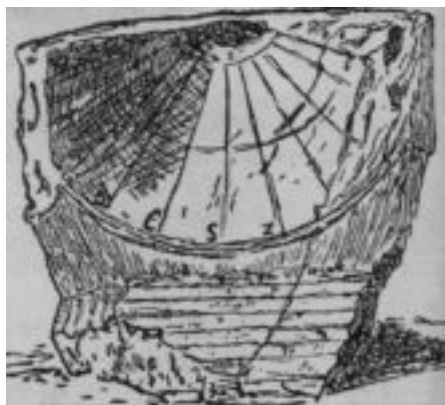
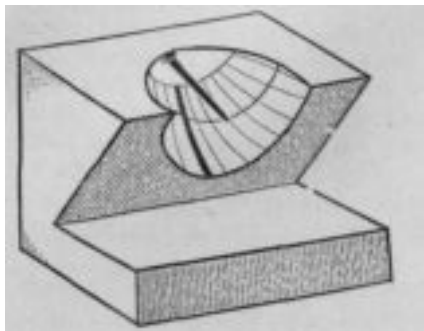


Рис. 15. Полусферические солнечные часы типа гемцикла

Рис. 16. Солнечные часы типа гемцикла, найденные у подножия обелиска «Игла Клеопатры» в Каире

тора (рис. 15). Таким образом, бесполезная часть гемисферы была удалена. Уклон циферблата соответствовал широте места, применительно к которому он был сделан. На циферблате имелось 11 часовых линий, которые подразделяли дневное время на 12 частей (часов). Эти часовые линии обычно пересекались тремя концентрическими кругами, которые отмечали время равноденствий, летнее и зимнее солнцестояние. Указатель часов был горизонтальным и бросал тень на поверхность циферблата, кончин которой описывал разные по длине кривые в зависимости от времени года из-за более вертикального или более наклонного положения Солнца, чем обуславливалось укорочение тени зимой и ее удлинение — летом. В летнее солнцестояние кончик тени описывает наибольшую длину дуги 21 июня, когда Солнце занимает наивысшее положение, и наименьшую — 21 декабря, когда оно находится в нижнем положении. Две линии, начерченные поперек часовых линий, представляют траекторию кончика тени на 21 июня и на 21 декабря, а третья — на период времени между 21 марта и 21 сентября.

На рис. 16 изображен циферблат без гномона, найденный Скоттом Тукером в 1852 г. в Каире у подножия обелиска «Игла Клеопатры» (теперь он находится в Британском музее). Для указания часов были использованы вместо чисел греческие буквы.

В некоторых образцах циферблата часов типа гемцикла полушарие вогнуто столь незначительно, что М. Делаंबर в своей «Истории астрономии древнего мира» даже отказывается относить их к этому типу.

В Древней Греции солнечные часы позволяли не только измерять время, но и были на службе астрономии. С их помощью изучалось движение Солнца по эклиптике и чисто механически определялся градус, на котором каждый день находится Солнце, а также время восхождения, захода и кульминации той или иной звезды на той или иной точке эклиптики. Это давало возможность заменять определение времени по наблюдению точки эклиптики наблюдением звезды, которая восходит, заходит или кульминирует в этой точке эклиптики. На этих часах «пусть наблюдаются,— пишет Поль Таннери,— два момента, время которых желают определить, т. е. те звезды зодиака, которые находятся на горизонте на востоке и западе или (проще) в плоскости меридиана; можно привести в то же положение звезду, изображенную на сфере инструмента (циферблата.— В. П.) тогда градус, на котором находится Солнце, играет как раз ту же роль, что и тень оконечности указателя днем, и его положение относительно часовых линий, нанесенных на *polos*, дает искомый час.

Для применения подобного приема на практике, очевидно, необходимо, чтобы небесная сфера была сделана из твердой сетки, через которую глаз мог бы, видеть положение градуса, занимаемого Солнцем. Подобную сетку греки называли «паутиной», и от нее получили свое название сферические часы Евдокса; впоследствии, после Гиппарха, подвижная сфера и неподвижное полушарие были заменены плоскими частями, представлявшими их стереографическую проекцию. Таким образом, получилась плоскошарная астролябия, служившая все для той же цели — для определения часов ночью, но название «паутины» осталось за подвижной частью и перешло от греков к арабам» [94, 88].

Генетическая связь, устанавливаемая П. Таннери между применением полоса для астрономической цели и позднейшим использованием для этой же цели стереографической проекции, с исторической точки зрения имеет большое научное значение. Здесь нашло свое конкретное выражение существование в древности неразрывной связи между измерением времени и измерением для этой цели угловых движений Солнца и звезд. Непосредственное их измерение было заменено стереографической проекцией — нанесением сферы на карту кругами на круги. Эта проекция имела два замечательных свойства: 1) все круги сферы в проекции стали кругами же, а не эллипсами и 2) все углы между пересекающимися на сфере кругами и в проекции сохраняют свою величину.

В то время, когда астрономия разрабатывалась Гиппархом (О в. до н. э.), а позже Птолемеем, еще не существовало сферической тригонометрии, поэтому они вынуждены были решать задачи, имевшие отношение к сферическим треугольникам, методом стереографической проекции. Это, в частности, можно увидеть в птолемеевой «*Planisphaerium*»: у него плоская про-

екция сферы как бы сохраняет подобие самой сферы, отсюда и название — планисфера.

Принцип стереографической проекции, как убедимся ниже, был использован для устройства так называемых апохорических, или зодиакальных, водяных часов и астролябии [63].

Астролябия давала возможность определять широту и долготу светил посредством вращения сети кругов над диском, изображающим плоскость экватора, на которую проектировалась небесная сфера со стороны южного полюса.

Гиппарх уже пользовался астролябией, но его астролябия была, вероятно, простым кольцом с градуированными делениями и алидадой. Птолемей также пользовался астролябией особого устройства. Поэтому и название и идея астролябии — греческого происхождения. Однако астролябии Гиппарха и Птолемея были намного проще арабских. Эти последние позволяют не только наблюдать высоты светил, но и дают решения многих практических вопросов астрономии (возможность определять время днем и ночью, находить направление на Мекку, определять высоту и дистанцию недоступного предмета и т. д.). Правда, честь геометрического решения основных астрономических задач с помощью планисферы принадлежит Гиппарху и Птолемею.

Водяные часы (клепсидры) греки, по-видимому, заимствовали у египтян. Клепсидры были различного назначения: для домашнего употребления, для счета времени при измерении пульса, в суде и т. д.

Самое раннее упоминание о клепсидре, сохранившееся в греческой литературе, связано с применением ее философом Эмпедоклом (490—430 гг. до н. э.). Он с ее помощью производил физические наблюдения и опыты, имея целью доказать вечность или материальность воздуха, проверить аргументы за и против реальности или нереальности «пустого пространства».

Клепсидра представляла собой закрытый сосуд, нижнее дно которого имело ряд маленьких отверстий. Если закрыть верхнее отверстие пальцем и погрузить клепсидру в воду, она не будет наполняться, пока не будет отнят палец; после этого вода устремится в отверстие и на поверхности сосуда появятся пузырьки; наличие этих пузырьков свидетельствует о материальности воздуха.

По мнению известного историка Георга Сартона, этих опытов вполне достаточно для того, чтобы признать научные заслуги Эмпедокла и чтобы он мог занять почетное место в истории науки [159, 247].

Нельзя думать, что клепсидра в Греции стала известна только со времени Эмпедокла; она в том или ином виде могла использоваться и до него.

Первоначальную форму клепсидры можно себе представить по описанию Аристотеля, который при помощи этого прибора

объясняет некоторые явления, вызываемые давлением воздуха. Это был глиняный шар с трубкой сверху и несколькими маленькими дырочками снизу (наподобие сита). Когда шар наполнялся водой, верхнее отверстие закупоривалось пробкой, чтобы вода не испарялась; клепсидра устанавливалась так, что вода понемногу просачивалась через «сито». Время измерялось от одного наполнения шара до другого.

В Древней Греции клепсидры были уже в V в. до н. э.: ими, например, пользовались при судебных разбирательствах — определялось время, назначенное для произнесения речей: когда предметом разбирательства было не очень важное дело, воды наливалось немного, если же решалась судьба человека, вода наливалась до краев. Если речь прерывалась (при чтении документов или опросе свидетелей), дырочки в клепсидре затыкались до тех пор, пока оратор не начинал говорить снова. Для двух ораторов наливалось одинаковое количество воды — они могли говорить одинаковое время; но двойное количество воды, налитое сразу, вытекало быстрее.

Об использовании клепсидр для установления продолжительности речи оратора в суде говорится в некоторых комедиях Аристофана, написанных за четыре века до н. э. В одной из комедий в качестве оратора упоминается Демосфен. Он обвиняет сторожа в «краже» воды, налитой в клепсидру. Когда в Другом случае была прервана его речь, он потребовал остановить воду, подчеркнув таким образом, что он ценит каждый отведенный ему миг.

Употреблялись клепсидры и в войсках, где по ним производили смены караулов. Ночь распадалась на четыре смены, каждая по три «часа». Приспосабливали клепсидру к изменчивому ночному часу, покрывая ее изнутри большим или меньшим слоем воска, что изменяло вытекание жидкости [161].

Водяные часы — будильник Платона. Греческий философ Платон описывает устройство часов, состоящих из двух конусов, входивших один в другой. При их помощи поддерживался приблизительно постоянный уровень воды в сосуде и тем самым обеспечивалось постоянство скорости ее вытекания.

Платон для созыва по утрам своих товарищей и учеников в Академию на беседы и занятия устроил своеобразный будиль-



Рис. 17. Водяные часы-будильник Платона

ник (рис. 17), который описан Г. Дильсом в книге «Античная техника» [63].

Будильник Платона состоит из клепсидры *C* и двух камер *F* и *K*. Клепсидра *C* вмещает воды на шесть часов. Она закрывается крышкой *A*. В верхней части клепсидры имеется вкладыш *B* с ситом для задержки земляных примесей, попадающих вместе с водой. Вода из клепсидры *C* по узкой трубке *E* капает в камеру *F*, где ко дну камеры приделана сообщающаяся трубка *Я*. По достижении уровня трубки вода по ней вытекает в камеру *K*, откуда воздух вытесняется и через клапан устремляется в трубку *L* и по телу флейтиста *M* поднимается до флейты *N*, которая начинает звучать от действия силы воздуха. Нам неизвестно, как производилось регулирование будильника, чтобы он будил на рассвете и зимой и летом. По-видимому, в резервуар с сифоном *F—F* наливали разное количество воды: больше — летом, меньше — зимой. Этот прибор, справедливо замечает Дильс, представляет собой не только первый известный будильник, во в нем, насколько нам известно, был впервые в гидравлике применен принцип реле, которым в 1500 г. Леонардо да Винчи воспользовался для создания своего будильника, ничего не подозревая об изобретении Платона.

Для техники изготовления водяных часов открывается совершенно иной путь развития, как только она вступает в контакт с наукой. В 130 г. до н. э. Ктезибием были созданы водяные часы, что находилось в теснейшей связи с достижениями александрийской школы механики и науки.

Часы александрийско-римской эпохи

После Аристотеля, в эллинистический период развития культуры, были достигнуты значительные успехи в различных областях науки. Астрономия знает имена Эратосфена, Гиппарха, Птолемея, которые внесли неоценимый вклад в астрономическую науку.

Архимед (278—212 гг. до н. э.) разработал теоретические основания для расчета механизмов.

Преемники Архимеда Ктезибий и Герон, жившие во II в. до н. э., в разработке вопросов механики дополняли друг друга. Их открытия относятся к тем разделам механики, которые основаны на гидравлике и давлении воздуха, открытом Героном. Ктезибий изобрел гидравлический орган — систему дудок, куда воздух нагнетался посредством воды, которая, падая, создает большую тягу; приходя в движение, воздух производит звуки. Упомянем также об изобретении Ктезибием сифона, основанного на принципе сообщающихся сосудов. Основываясь на научных достижениях своего времени, Ктезибий создал автоматически действующие водяные часы, которые либо визуально, ли-

бо посредством подачи сигналов могли непрерывно показывать Время суток («временные» часы).

Младший современник Архимеда Аполлоний Пергейский исследовал гиперболу, параболу и эллипс, полученные им посредством сечения конуса.

Учение о конических сечениях лежало в основе устройства так называемых полусферических конических часов, получивших развитие в эпоху эллинизма.

Развитие гномоники не соответствовало, однако, потребностям науки в измерении времени. Из наук той эпохи только астрономия нуждалась в точном измерении времени, и она уже способствовала развитию гномоники. В связи с общим подъемом культуры возникала также потребность в установлении часов общественного пользования.

Солнечные часы с коническим циферблатом. Кроме полусферических солнечных часов двух типов, в античном мире имели применение часы с коническим циферблатом. Конический циферблат по существу является модификацией полусферических циферблатов солнечных часов. На поверхности конуса легче было выполнить все то, что требовалось для устройства циферблата полусферической формы. Античные ремесленники предпочитали не вытесывать шара из камня, а придавать часам Бероза (hemicyclium) коническую форму. Таким образом создавался конусный тип часов, и особенно успешно, когда был достигнут необходимый для этого уровень развития математики. Теория конических сечений Аполлония служила подготовкой того условия, без которого создание конических циферблатов солнечных часов было затруднительно. Только на основе практического использования этой теории возможно было изобретение часов конусного типа. Витрувий упоминает в связи с этим множество имен изобретателей, в их числе Дионисидора из Мило.

Согласно Витрувию, солнечные часы этого типа состоят из вогнутого сегмента округленного конуса. Ось вогнутой поверхности лежит параллельно оси Земли. Направление конуса совпадает с направлением горизонтального гномона. Все части конуса, выступающие над плоскостью гномона, должны быть удалены. Циферблат наносился на главной стороне часов, обращенной к югу. Устройство циферблата аналогично полусферическим часам Бероза, или часам типа гемицикла. Он расположен перпендикулярно оси конуса, следовательно, параллельно экватору. Каждая дуга, пересекаемая тенью, делилась на двенадцать равных частей, и через них проводились часовые линии. Таким образом обозначались «временные» часы, т. е. часы, изменяющиеся по временам года.

О существовании солнечных часов с устройством циферблата конической формы не было известно до тех пор, пока М. Ренан, возглавлявший археологическую экспедицию, снаряженную в Финикию Наполеоном III в 1860 г. [51, 200], не нашел среди развалин древнего финикийского города Умм-эль-Аваמיד

обломка мрамора, на который обратил внимание профессор Вупке, сразу опознавший в нем конический циферблат. На вогнутой части обломка были видны три часовые линии, нижняя плоскость имела наклон, соответствовавший широте данной местности. На этом финикийском фрагменте сохранилась часть надписи: «...твой слуга Абдосир, сын Е...». Это, должно быть, обращение к божеству, а фрагмент, по-видимому, был частью стены храма. Абдосир — имя, часто встречающееся в финикийских надписях. На основе изучения фрагмента полковник Лоссадат воспроизвел полную модель солнечных часов с коническим циферблатом, которая находится теперь в Лувре [128, 37]. На рис. 18 представлены солнечные часы с циферблатом конической формы, найденные в Греции; сейчас они находятся в Лувре.

Образцы часов с коническим циферблатом найдены археологами во многих местах, что свидетельствует о их распространении, особенно в александрийско-римское время.

В том же Лувре находятся и другие часы с коническим циферблатом, изготовленным из серовато-белого куска мрамора. Он был найден в 1837 г. французским ученым Райе во время раскопок в городе Гераклея у Латмоса в Карий¹.

Надпись, высеченная на южной стороне часов, называет творцом этих часов Фемистогора, сына Мениско из Александрии, а устройтелем их — Аполлония, сына Аполлодота. Эти часы были приспособлены к высоте полюса малоазиатского города, а не Александрии. Часы были воздвигнуты в честь царя Птолемея, вероятно Филадельфа (283—247 гг. до н. э.), покровителя астрономии и науки.

Циферблат часов был устроен, как обычно, на продолжении полуденной линии. Справа и слева от нее проведены часовые линии, сходящиеся к гномону. Они пересекаются семью кривыми — дугами. Профессор Райе предполагает, что часовые линии и семь дуг, их пересекающие, соответствуют тому, что на полусферических часах носит название «арахны» (паук) и что этот циферблат относится к классу, который Витрувий назвал «конарахна» (conarachna) — «конус с паутиной». Предполагают, что изобретателем этого циферблата был Аполлоний из Перги, разработавший теорию конических сечений. Как показал Делаамбр, вычисления, нужные для создания таких часов, представляли собой серьезную математическую проблему, которая могла привлечь внимание великого уроженца Перги [26, 374].

Южная сторона часов 5 (рис. 19) расположена по вертикальной линии под углом в 38°. (Гераклея лежит на широте в 37°30'). К этим часам присоединены другие часы *N* в форме чаши, обращенные к северу и имеющие другое устройство. На

¹ Кария — страна в северо-западной части Малой Азии. Карийцы находились в постоянных сношениях с греками и были сильно эллинизированы.

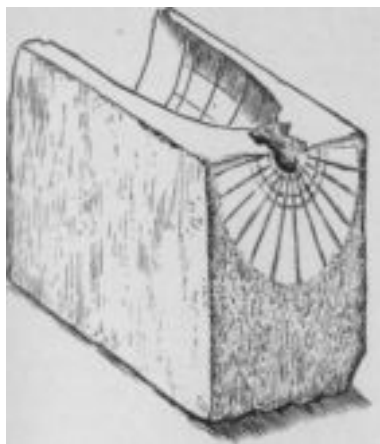


Рис. 18. Конические солнечные часы

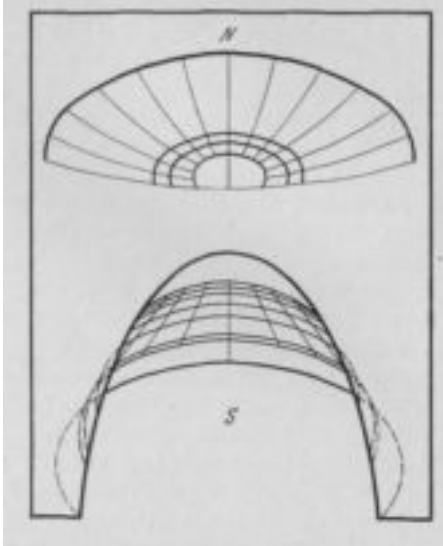


Рис. 19. Схема устройства часов Аполлония

Рис. 20. Часы Аполлония из Гераклеи с коническим циферблатом (вид сбоку)

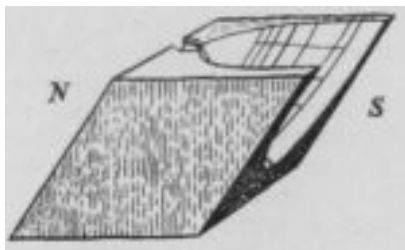
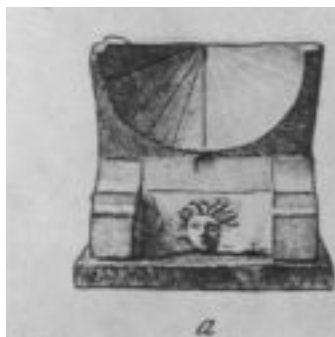


Рис. 21. Часы типа конарахна (а) и конические часы из Помпеи (б)



их циферблате только две дуги, которые также пересекают одиннадцать часовых линий (верх рис. 20).

По этим вторым часам определяли время летом, с марта по сентябрь. А их циферблат можно датировать III в. до н. э. Подобное соединение часов двух систем в античных образцах часов встречается довольно часто [63, 155—157].

Профессор Райе в 1875 г. упоминал о существовании еще двух солнечных часов с коническим циферблатом: одни — в Афинском музее, другие — в развалинах Акрополя. Первые из них имеют орнамент из львиных лап.

В Неаполитанском музее хранятся пять образцов таких часов из Помпеи. Они были найдены в 1842 г. при раскопках развалин дома за храмом Fortuna Augusta. В 1854 г. в Помпеях был найден почти целиком сохранившийся экземпляр часов типа конарахна (рис. 21). Часы стояли на крыше фригидария (отделение римской бани) в стабианских термах, которые, как все бани вообще, должны были иметь такой инструмент для измерения и регулирования времени купания. Надпись между львиными лапами гласит «Мара Атиний, сын Мара, квестор, по постановлению совета, распорядился устроить из [поступивших] штрафных денег» (рис. 21, б). Кроме часовых линий, на вогаутой поверхности конуса нанесены линии экватора, зимнего и летнего солнцестояния. На этом экземпляре часов сохранился на своем прежнем месте языковидный гномон [63, 154].

Плоские (горизонтальные и вертикальные) солнечные часы. Плоские циферблаты на первый взгляд кажутся самыми простыми, хотя на самом деле это не так. Как конические циферблаты явились усовершенствованием полусферических, так и плоские циферблаты являются шагом вперед по сравнению с коническими. Полусферическими и коническими солнечными часами можно было пользоваться только наблюдая их с близкого расстояния, а вертикальные циферблаты позволяли видеть часы на расстоянии.

Вертикальные солнечные часы сохранились на стене восьмиугольной Башни ветров, построенной из отесанного камня в Афинах в I в. до н. э. астрономом Андроникусом из Сирии (рис. 22). По этим часам афиняне могли определять время дня. На них, кроме того, имелся флюгер. Под крышей имелся фриз с лепными изображениями летящих фигур, символизирующих восемь ветров. Ниже фриза на стенках выгравированы восемь циферблатов, и, по утверждению историка астрономии Делабра, часовые линии, линии разных времен года, солнцестояний и равноденствий нанесены на циферблатах очень точно. Внутри башни помещались водяные часы сложного устройства. Время создания этих часов установить не удалось. Витрувий, описывая эту башню, не упоминает римские цифры, нанесенные у основания линии; видимо, они появились уже в современную эпоху [40, 21].

Известны вертикальные солнечные часы с циферблатом, заключенным в полукруг, на котором имелось десять часовых линий (рис. 23); в нижних углах полукруга помещены фигуры двух птиц. Часовые линии были пронумерованы греческими литерами. Часы такого устройства видел доктор Кларк на стене церкви, одного монастыря, когда он, путешествуя по Греции, посетил Орхомены и развалины города Беотии. Церковь стояла



Рис. 22. Башня ветров с изображением на ней вертикальных солнечных часов

на месте храма Грации, где в языческие времена происходили музыкальные и драматические состязания. Она была построена в IX в. н. э. из обломков храма, а в 1889 г. разрушена землетрясением.

Вертикальные солнечные часы того же типа (но они имели не 10, а 12 часовых линий) были открыты в Геркулануме. Следовательно, такой тип часов имел уже распространение в александрийско-римские времена [128, 41].

В древнем мире были также весьма распространены горизонтальные солнечные часы, у которых часовые линии обычно вписывались в круг или в четырехугольник (рис. 24). Эти часовые линии высекались на каменной плите, утвержденной на подставке; к плите подходили, как к столу. Здесь горизонтальные часовые линии для летнего и зимнего солнцестояния образуют гиперболы, вершины которых лежат на меридиане, тогда как экватор представляет собой прямую линию, идущую по-

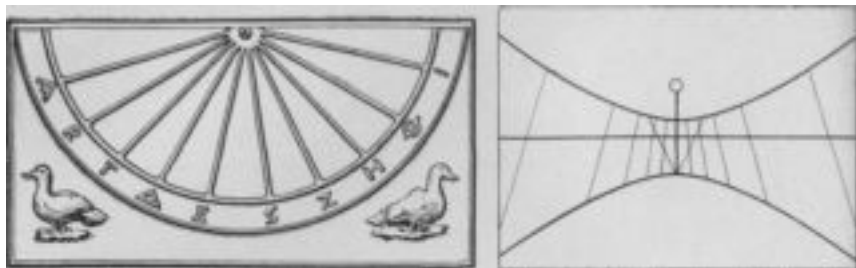


Рис. 23. Орхоменские солнечные часы на стене храма

Рис. 24. Схема часов типа пеликан из Делоса

середине между ними; одиннадцать часовых линий идут к востоку и западу, сходясь все больше по направлению к югу. В правильности такого расположения часовых линий на плоскости можно убедиться, если в течение одного дня каждого месяца ежечасно отмечать путь солнечной тени. Соединив между собой найденные таким образом точки, мы получим прямую для дней равноденствий, а для времени солнцестояний — гиперболу, сильно изогнутую к меридиану. Часы такого устройства греки называли «часами пеликан» из-за сходства на них рисунка часовых линий с формой античного двойного топора.

Так возникла естественная схема расположения линии, вычислить и построить которую было делом специалистов-математиков [63, 158]. Согласно Витрувию, первым изобретателем таких часов был Патрокл; он же и дал математическую теорию их устройства.

Самые древние часы пеликан были найдены на Делосе; они имели широкое распространение в римские времена, а затем были в употреблении и на мусульманском Востоке.

Солнечные часы в Древнем Риме. Культура Древнего Рима, средства и способы измерения времени оставались до соприкосновения римлян с греческой культурой на довольно низком уровне. До сих пор в источниках нет никаких указаний на наличие там каких-либо средств измерения времени.

Древнеримский календарь, заимствованный у этрусков, сначала состоял только из 10 месяцев, или из 304 дней. По преданию, Нума Помпилий ввел новый календарь, основанный на астрономических данных. Он состоял из 12 месяцев, или из 355 дней. Но поскольку он далеко не совпадал с истинным годом, то к основному делению года на 355 дней были введены коррективы. В их основе лежал четырехлетний цикл с добавочным 13-месячным годом каждый второй год. Этот основной цикл для большего уравнивания с естественным временем дополнялся, кроме того, 24-летним циклом [82, 17]. Календарем ведали жрецы (понтифики). Когда сын вольноотпущенника Гней Фла-

вий был выбран курульным эдилом, он в 312 г. до н. э. выставил календарь на главной площади для всеобщего обозрения и раскрыл народу хитрые приемы, при помощи которых понтифики меняли праздничные дни к невыгоде плебеев [77, 101].;

Кроме счета дней и праздников по календарю, в Древнем Риме существовало деление самого дня на весьма крупные отрезки. Римский писатель I в. н. э. Гай Плиний Старший отмечает, что в двенадцати медных таблицах, в которых было выражено законодательство по гражданскому и уголовному праву Древнего Рима, отмечалось только время восхода и захода Солнца. Источники упоминают, что в 449 г. до н. э. консулами Горацием и Валерием десять прежде составленных таблиц были дополнены двумя законами, ограждающими права плебеев. Двенадцать медных таблиц были выставлены на главной площади для всеобщего обозрения. К указаниям времени восхода и захода Солнца, содержавшимся в этих таблицах, был вскоре добавлен полдень, который стал объявляться служителем консула.

До половины III -столетия до н. э. вся римская жизнь сосредоточивалась в Италии. Первая Пуническая война, длившаяся с 264 по 241 г., закончилась завоеванием и присоединением к Риму трех островов — Сицилии, Корсики и Сардинии.

С этого времени культура Древнего Рима стала формироваться под значительным влиянием искусства, науки и техники, развивавшихся в древнегреческих городах и особенно в западной части эллинского мира. Западное эллинство не оказало сколько-нибудь заметного воздействия на северо-восточную часть эллинского мира, но оказало значительное влияние на формирование римской культуры. Греческая культура стала проникать в Рим уже в III в. до н. э. Включение в состав римского союза греческих городов Италии, а после завоевания Сиракуз — и некоторых городов Сицилии, создание в Сицилии первой римской провинции — все это усилило греческое культурное влияние [88, 210]. Именно в западном эллинизме с его рационализмом и практицизмом, импонировавшим Риму, следует усмотреть истоки развития науки, техники, инженерного дела, зодчества и градостроительства в Риме. Первые часы в Рим попали также из городов западной части эллинского мира.

Самые первые солнечные часы в Риме были установлены Папирием Курзором в 292 г. до н. э. на колонне храма Квиринал. Они показывали, впрочем, не римское время, а время того места в Греции, откуда эти часы были вывезены [76, 90].

Другие солнечные часы типа гемиикла, по свидетельству римского писателя I в. до н. э. Марка Теренция Варрона, попали в руки римлян как добыча при взятии Валерием Мессалом города Катаны в Сицилии (263 г. до н. э.). Часы были поставлены в Риме на колонне Ростра. Хотя они неверно определяли время, поскольку не были приспособлены к широте Рима (город Катаны лежит на северо-западе от Рима), тем не менее

римляне употребляли их в течение 99 лет, пока цензор Квинтий Марцин Филипп в 164 г. до н. э. не поставил возле них другие, более точные солнечные часы.

Третьи часы несколько позже были установлены в форуме на базилике Эмилия. Их циферблат был начерчен не на сферической, а, на плоской поверхности [53, 65].

Солнечные часы в Древнем Риме вскоре становятся неотъемлемой частью быта и начинают устанавливаться в общественных местах.

На рис. 25 показана старинная серебряная ваза из Порто Анзио, установленная на постаменте, на которой изображены солнечные часы; раб и рабыня смотрят на часы, чтобы узнать время. Это сцена из древнеримского быта [121, 88].

В сохранившемся отрывке комедии Плавта (середина III в. до н. э. — ок. 184 г.) поэт заставляет одного кутилу произнести следующие слова: «Боги проклинают человека, который первым додумался, как различать время, они проклинают также того, кто ставил в этом месте солнечные часы, чтобы так мерзко разрезать и рассекать мои дни на мелкие куски. Когда я был мальчиком, мой желудок был солнечными часами, самыми верными, правильными и точными из всех; они говорили — наступило время обедать, когда я должен был есть; но в наши дни, если даже я этого хочу, я не могу себе этого позволить, пока Солнце этого не позволит. Город так полон этими проклятыми циферблатами, а большая часть его обитателей, изможденные голодом, пресмыкаются на улицах» [128, 9].

В царствование Августа был установлен обелиск Сезостриса в 34 м высотой. Он был перевезен из Египта и по указанию императора установлен на Марсовом поле (руководил этой операцией математик Факундус Новус). Он стоял в центре специальной панели, на которой был расчерчен циферблат; часовые линии были выложены из бронзовых металлических частей. По словам Плиния Старшего, обелиск служил для определения времени года и долготы дня. Он простоял несколько веков, но в эпоху упадка Древнего Рима был сброшен и на долгое время забыт; в 1463 г. н. э. он вместе с металлическими частями циферблата был найден, но только в 1792 г. вновь установлен на площади Монтечitorio в Риме, где стоит и поныне [128, 37—38] (рис.26).

Витрувий, живший значительно позже Плавта, перечисляет около тридцати различных видов солнечных часов, которые были распространены в его время. О них он говорит как о давно известных и ничего нового уже не прибавляет.

В александрийско-римские времена солнечные часы получили большое распространение; крупные чиновники состязались с учеными в том, чтобы ставить во всех городах (даже мелких) солнечные часы для общественного пользования и охотно снабжали ими храмы, цирки и бани.



Рис. 25. Солнечные часы, изображенные на серебряной вазе из Порто Анзио

Рис. 26. Обелиск Сезостриса в Риме

Рис. 27. Часы типа пеликан из Висбадена



В 1867 г. были найдены солнечные часы (рис. 27) среди развалин римских бань около горячего, еще и поныне используемого источника в древнем Aque Mattiacae (нынешний Висбаден). Это были горизонтальные часы типа пеликан, устроенные для широты Висбадена (50°), с циферблатом весьма грубой работы. Дуги (линии) на циферблате, отмечающие оба солнцестояния, оказались весьма неточными. По этим часам, как и по часам в помпейских банях, регулировался вход в бани публики [128, 45].

Солнечные часы, особенно типа пеликан (рис. 28), были распространены по всей обширной Римской империи. Следы их существования находят также в Италии, Франции, Германии, Испании и Дании. Виллы частных лиц не только в Риме, но и в провинции имели солнечные часы, служащие одновременно и украшением.

При раскопках на территории виллы Сципио в 1769 г. были обнаружены два циферблата удивительных солнечных часов (рис. 29). Один циферблат был размещен над другим. Верхний имеет вертикальное расположение. На сегменте пологого цилиндра выгравированы часовые линии, которые пересекаются дугами овальной формы. Нижний циферблат имеет полусферическую форму и поддерживается с обеих сторон летящими фигурами, которые, вероятно, изображали «летающие часы» [128, 36].

Солнечные часы, найденные в Патерно, являются часами полусферического типа. Сегмент полого шара с начерченными на нем часовыми линиями поддерживается фигурой античного героя Атласа (рис. 30). Часы были найдены около 1790 г., а потом увезены в Англию [128, 36].

Согласно Витрувию, римляне в разработку гномоники нового внесли мало. Они пользовались в основном тем, что восприняли у греков. Большинство солнечных часов Рима и других мест были сделаны греческими мастерами.

Солнечные часы делились на часы общественного пользования (ставились на площадях) и индивидуальные, переносные, которые можно было брать с собой в дорогу.

Довольно известны портативные солнечные часы, выполненные в форме свиного окорока (рис. 31). Они были найдены при раскопках Геркуланума в 1754 г. и переданы Неаполитанскому музею. Часы изготовлены из бронзы. На их плоской стороне имеется шесть вертикальных линий, под которыми выгравированы сокращенные названия месяцев: зимние месяцы — под короткими линиями, летние — под длинными. Вертикальные линии пересекают горизонтальные линии, деля их на шесть секций, соответствующих шести часам от восхода Солнца до полудня и от полудня до его захода. Выступ слева, возможно, был длиннее, располагался перед часовыми линиями таким образом, что его тень ложилась на пространство соответствующего месяца, и показывал часы, когда прибор подвешивался за



Рис. 28. Римские солнечные часы типа пеликан

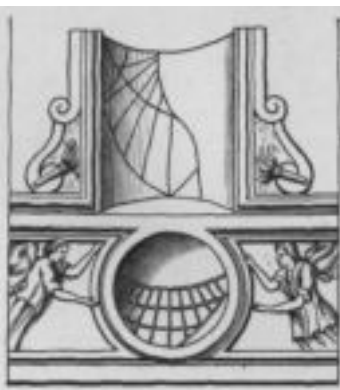


Рис. 29. Солнечные часы, найденные на территории виллы Сципио



Рис. 30. Римские солнечные часы из Патерно



Рис. 31. Портативные солнечные часы из Геркуланума в виде свиного окорока

кольцо и поворачивался к Солнцу. Эти часы, вероятно, были изготовлены после 63 г. к. э. [63, 167].

Приборами этого вида можно было пользоваться только на одной широте, и о том, что римляне более позднего времени знали об этом недостатке, свидетельствуют другие часы, построенные по тому же принципу и найденные в конце XIX в. в Акви-

лее. Они представляют собой бронзовый диск диаметром 3,75 см и толщиной 0,78 см. Циферблаты имеются на обеих сторонах диска. Один циферблат с буквой О — для Рима, другой с буквой Л — для Равенны. Линии, разделяющие графы месяцев, расходятся радиусами от вершины, около которой установлен гномон. Часовые линии были выложены серебром, но их на экспонате недостает; нет и, гномона. Часовые линии, по-видимому, были нанесены так же, как и в часах в форме окорока [63, 164].

В то время были и сложные солнечные часы, которые могли учитывать разницу времени в зависимости от местонахождения главнейших городов того времени — Александрии, Родоса, Афин, Рима, Массалии, Византии. Там имелись ученые, которые могли выверять часы. По главным городам определялось время в провинции. Тогда также были в употреблении универсальные солнечные часы, устроенные для всех широт [63, 164].

Из универсальных часов римской эпохи до нас дошли два экземпляра. Один из них найден в Риме и относится к 250—300 гг. н. э. (рис. 32). Квадрант часов мог быть ориентирован в плоскости, параллельной плоскости видимого движения Солнца, т. е. соответственно наклону Солнца в эклиптике по отношению к экватору в данное время года и в любом месте. На обратной стороне круглого диска — циферблата — обозначены 16 провинций (среди них город Анкона, где, очевидно, часы были изготовлены) с указанием их географических широт. На циферблате сверху (на вертикальном меридиане) находится колышек С, предназначенный для гномона. В середине круга на сквозном шипе устроена треугольная линейка *б* и на ее изогнутой гипотенузе сделано шесть засечек (часовые метки). Три диаметра, расходящиеся направо и налево, представляют: средний — равноденствие, крайние — оба солнцестояния (21 декабря и 21 июля). Угол по обе стороны равноденственной линии равен или должен равняться 24° (древние вычисляли эклиптику равной $23^\circ 42'$ круглым счетом) [63, 166]. По свидетельству Дильса, двойное деление на левой стороне диска до сих пор еще недостаточно выявлено.

Другим таким же типом солнечных часов, но более сложного устройства являются дорожные часы из Cret-Chatelardi (Луара) (рис. 33). Они дошли до нас не вполне сохранившимися. Поэтому в их устройстве многое остается неясным. Их циферблат — бронзовый диск — по краю разделен на четыре квадранта, один из которых делится еще на три сектора по 30° каждый. На центральном секторе нанесены деления через каждые 10° , поскольку часы предназначены для применения в широтах 30, 40, 50 и 60° . На рис. 33, *а* можно видеть линию равноденствия, проведенную через центр диска. По обе стороны от нее отмечено склонение Солнца от экватора к северу или к югу при совпадении с каждым знаком зодиака; внешние знаки отмечены буквами VIII *K.IVL*, XIII *K.IAN* т. е. восьмой день до

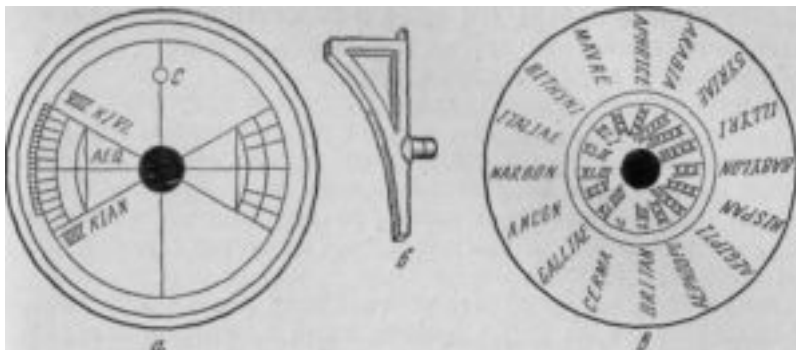


Рис. 32. Дорожные универсальные солнечные часы из Рима

а — лицевая сторона, б — линейка, в — обратная сторона

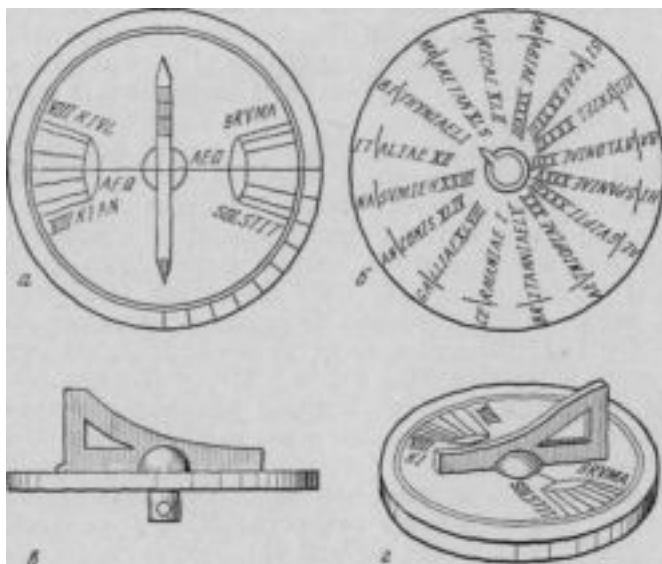


Рис. 33. Дорожные универсальные солнечные часы из Cret-Chatelardi

а — лицевая сторона, б — обратная сторона, в — линейка; г — общий вид

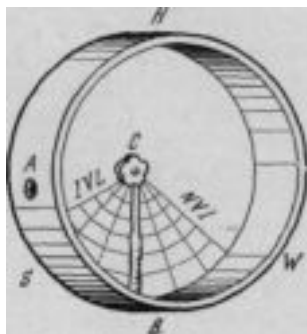


Рис. 34. Дорожные часы из Форбаха

первого июля и января (24 июля и 25 декабря). От линии равноденствия проведена другая линия под прямым углом к ней (от центра к периферической части).

Выступающий прямоугольный гномон и треугольная линейка с пятью линиями, проведенными на изогнутой стороне, стоят под прямым углом к диску. Оба они насажены «а толстый штифт (рис. 33, а и в). Часовые линии не пронумерованы.

Для пользования этим прибором необходимо прежде всего установить линейку с выступом против широты места, а гномон — соответственно времени года.

Когда все на циферблате установлено, как должно быть, часы подвешивали на шнур, привязанный к петле, и поворачивали, пока тень гномона не падала на часовой круг. Число часовых линий, не находящихся в тени, показывало число часов до и после полудня (до 6 часов). Плоскость горизонтально расположенного диска была ориентирована с севера на юг, так что прибором можно было пользоваться и как компасом. Для пользования часами ранним утром или поздно вечером требовалось изменить расположение всех элементов. На обратной стороне циферблата (рис. 33, б) перечислены шестнадцать пунктов с указанием широт.

Дорожные часы из Форбаха (рис. 34) хотя и не могут быть причислены к универсальным солнечным часам, но как часы специального назначения заслуживают упоминания.

Семь радиусов на круглом бронзовом диске (диаметр 52 мм), вставленном в металлическое кольцо, определяют по порядку положение Солнца от июля (*СW*) до января (*СS*) и обратно опять до летнего солнцестояния. Поскольку названия обоих месяцев *IAN* и *IVL* написаны, то нетрудно определить остальные промежуточные месяцы. Под углом в 90° от *Я* имелось конусообразное отверстие *A*, через которое попадал солнечный луч, если плоскость отвесно висящего диска совместить с направлением луча. Маленькое солнечное пятно перемещалось по внутреннему краю в порядке месяцев. Эти часы можно было подвешивать, для чего через отверстие *H* пропусклась нитка.

Отметчик *C* показывает шестой час, считая от полудня, т. е. восход и заход Солнца. Сохранилась бронзовая линейка, которая могла вращаться вокруг центра *C*. Это нужно было для того, чтобы, когда солнечное пятно установится на определенном месте, перехватить его на боковую плоскость линейки. Тогда с помощью нанесенных на диск часовых линий можно определить время, помня, что *C* указывает восход и заход Солнца, а положение диска — полдень.

Посредством этих часов определялась высота Солнца и полюса. Допустим, что сейчас полдень и время близко к летнему солнцестоянию, тогда луч попадает через отверстие *A* на внутренний край кольца возле 5. Угол *CAS* показывает высоту Солнца в градусах. Так как Солнце в знаке Рака имеет северное склонение от экватора — $23,5^\circ$ (или круглым числом, как

считали древние, 24°), то $\angle CAS = 24^\circ = 90^\circ - \varphi$ (высота полюса). При равноденствиях Солнце находится в точке B , $\angle p = 90^\circ - \angle ZCB$, а в конце декабря оно в точке W и $\angle p = 90^\circ - (\angle ZCA \text{ №} + 24^\circ)$. Отсюда вычисляется высота полюса.

Водяные часы Ктезибия. Чтобы превратить клепсидру в постоянно действующие часы, нужно было сделать так, чтобы вода вытекала непрерывно и притом равномерно; затем нужно, чтобы клепсидра показывала различные по продолжительности летние и зимние часы. Для обеспечения постоянства давления воды в клепсидре ее нужно было заполнять только до определенного уровня. Из клепсидры вода непрерывной струей вытекала в другой сосуд. По количеству воды в нем и определялось время. В клепсидру подавалась только очищенная вода. В нижнем резервуаре имелся поплавков, который имел связь с устройством, показывающим время.

Согласно Витрувию, в первых, наиболее ранних часах Ктезибия поплавков был соединен стержнем с зубчатой рейкой, которая кинематически была связана с шестерней цилиндра: при этом цилиндр мог поворачиваться и передавать силу, необходимую для действия прибора, подающего сигналы в конце каждого часа. В первых часах Ктезибия еще не было циферблата, Фигуры, показывающие время, были, очевидно, механическими, а труба звучала от действия воздуха, как и в часах Платона.

Характеризуя творческие искания Ктезибия по созданию водяных часов, А. Г. Драхман отмечает: «Мне кажется, что историю изобретения первых водяных часов можно представить себе следующим образом. Сначала Ктезибий изобрел клепсидру с постоянным вытеканием воды и заставил ее работать иначе; затем он добавил фигуру для показания времени, после чего попытался сделать так, чтобы часы показывали местное время (сначала регулированием вытекания воды), и, когда он понял, что клапан не может работать самостоятельно, он изобрел универсальный циферблат, но тогда ему нужно было отказаться от клапана» [119, 25].

>

Водяные часы Ктезибия, на которых уже применен универсальный циферблат со шкалой, нанесенной на верхней колонне, изображены на рис. 35. Поплавков с указателем мог двигаться вдоль вертикальной шкалы, которая была приспособлена учитывать и показывать различные по продолжительности или неравные зимние и летние часы. Колонна с циферблатом была установлена на пустотелом пьедестале, скрывавшем механизм. Кривые часовые линии, начерченные на колонне для всех 24 часов, были рассчитаны так, чтобы равномерное поднятие поплавка согласовалось с неравными дневными и ночными часами в различные времена года. Для того чтобы учесть эти вариации в часах, Ктезибий проводил часовые линии по спирали вокруг колонны — цилиндрического циферблата. Последний слегка поворачивался каждый день, причем так, чтобы в зимние месяцы указатель временно двигался над той частью цифербла-

та, где линии дневных часов были ближе друг к другу, линии ночных часов — дальше друг от друга, а в летнее время — наоборот. У подножия колонны находились два херувимчика. Левый постоянно плакал, слезы текли из его глаз и, капая в водоем, постепенно заполняли цилиндр, скрытый в пьедестале. Чтобы предохранить от износа отверстия для глаз плачущего херувимчика, они были «оправлены» драгоценными камнями.

Поршень в цилиндре поддерживал другого херувимчика. По мере того как вода постепенно заполняла цилиндр, этот херувимчик медленно приподнимался, и жезл, который он держал в руке, указывал время на циферблате. Когда наступал 24-й час, сифон приходил в действие, что быстро опорожняло цилиндр, позволяя указателю времени опуститься. Вода из сифона лилась на большое водяное колесо, которое при помощи системы шестерен слегка поворачивало колонну, чтобы привести линии часов в должное положение для измерения временных интервалов следующего дня.

В свои часы Ктезибий ввел принцип сифона, применил шестеренную передачу и шкив. Кроме того, он первый использовал «опорные детали» из драгоценных камней (в отверстиях глаз плачущего херувимчика).

По мнению Дильса, «для гномоники инженерное искусство Ктезибия, с его гениальностью и многосторонностью, сохранило свой авторитет вплоть до византийских времен. Он установил тип античных водяных часов исходя из принципа клепсидры, но, научно развив его, он создал часовой механизм большой точности, которым можно было пользоваться для астрономических наблюдений» [63, 176].

О водяных часах Архимеда. Карре де Во был первым автором, указавшим в 1891 г. на существование арабской рукописи, содержащей описание водяных часов, приписываемых Архимеду. Видеман и Гаузер опубликовали немецкий перевод этой рукописи под названием «Часы Архимеда и два других устройства» («Uhr des Archimedes und zwei andere Verrichtungen») [178, 163—202]. Для этого перевода они воспользовались двумя рукописями — из Парижа и Лондона.

Водяные часы, описанные в этих рукописях, имеют весьма сложное устройство со многими автоматическими приборами и с боем. Их высота около 4 м, они богато украшены. С помощью системы гидравлических колес, приводимых в действие от поплавка, поднимающегося при регулярном притоке воды, ворона каждый час выбрасывала из клюва шарик, звонко падавший в металлический таз. В верхней части часов имелись подвижные фигуры: человеческое лицо, цвет глаз которого ежечасно менялся; двенадцать пленников в цепях и палач с мечом для обезглавливания их по одному; двенадцать дверей, которые по истечении часа открывались и через них проезжали вооруженные всадники на лошадях.

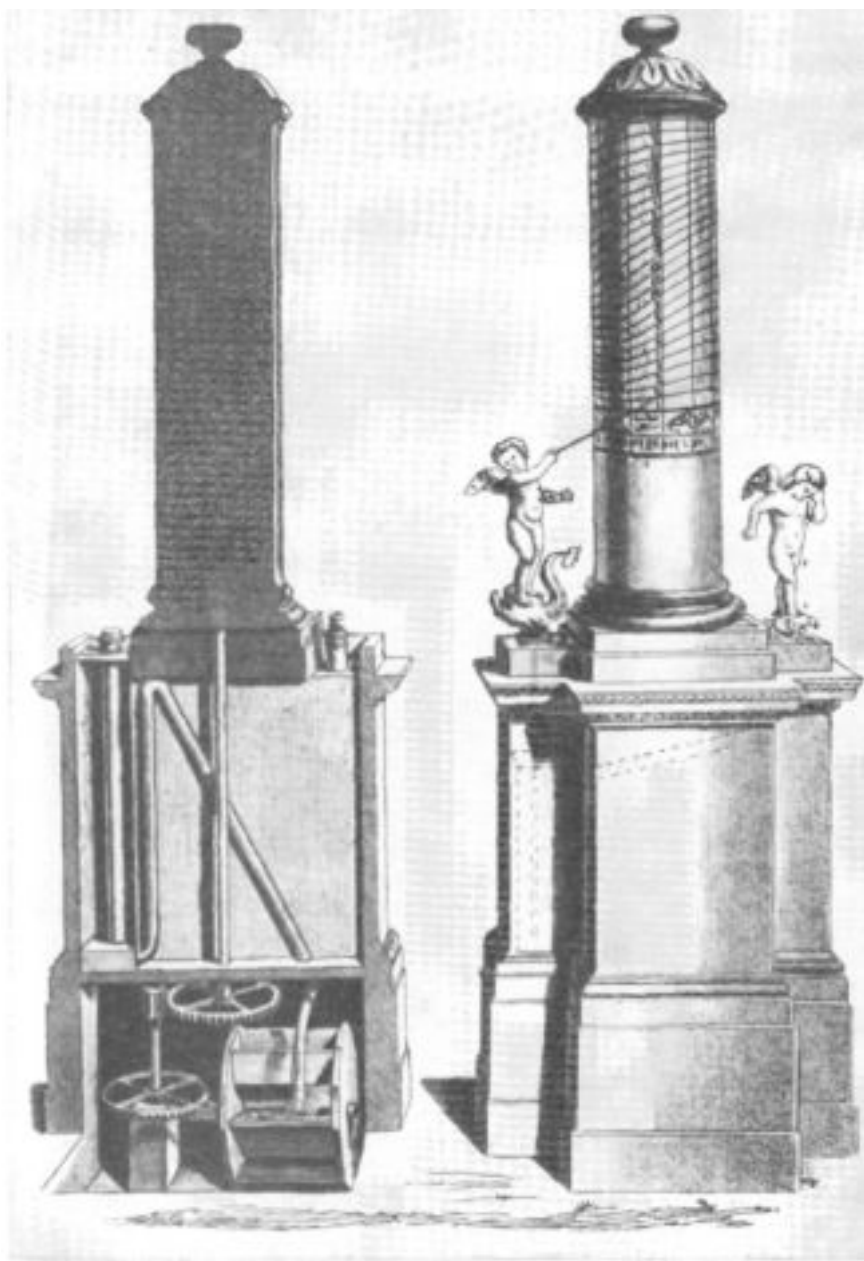


Рис. 35. Водяные часы Ктезибия с передвижной стрелкой

По середине часов, между двумя горными склонами, находилось дерево. После окончания каждого часа из нор выползали две змеи. При появлении змей птицы начинали тревожно чиркать. Когда кончалась первая половина дня и наступал полдень, у подножия часов играл флейтист.

Все эти фигуры водяных часов приводились в действие в заданное время и последовательно с помощью поплавков, системы колес и опрокидывающихся сосудов. Большой поплавок, помещенный в верхнем сосуде, приводил в движение все фигуры верхней части часов, подобно тому как это имело место в часах Ктезибия. Средняя часть часов приводилась в действие опрокидывающимся сосудом. Вода из клепсидры попадала в сосуд, сбалансированный так, что он ежечасно опрокидывался и опорожнялся в воронку, что и приводило в движение змею и птиц. Нижняя часть водяных часов содержала сосуд с сифоном, который, опорожняясь через каждые 6 часов, приводил в действие флейтиста. Эти часы могли показывать «местное» время, или время, изменяющееся в зависимости от времени года.

Следует отметить: в греческой и латинской литературе нет свидетельств, что Архимед когда-либо занимался конструированием водяных часов. Есть лишь свидетельство Карпоса, цитированное Папюсом, что Архимед написал труд из области техники: он относится к созданию им планетария, воспроизводившего строение небесной сферы. Поэтому имеется основание усомниться в принадлежности упомянутой выше рукописи действительно Архимеду. Именем Архимеда часто злоупотребляли: ему могли приписать любой технический труд более позднего времени.

Тщательный сравнительный анализ устройства часов, приписываемых Архимеду, проведенный А. Г. Драхманом, привел к выводу, что, «кроме названия, ничто не показывает, что эти часы имеют отношение к Архимеду» [119, 36—41]. Драхман считает, что они являются произведением какого-то исламского изобретателя, соединившего детали из разных источников, одна из которых несомненно взята у Филона, другая, по-видимому, — у Герона.

В рассматриваемый нами период были изготовлены и карманные водяные часы, пользуясь которыми Герофил (III в. до н. э.), один из замечательнейших врачей того времени, измерял пульс больных лихорадкой. В научных открытиях астронома Гиппарха большую роль сыграло изобретение плоскошарной астролябии, значительно облегчившей наблюдение за звездами и определение ночных часов.

Часы были важнейшим прибором, созданным и получившим широкое практическое применение в античном обществе. Они сыграли огромную роль и в античной механике. Часы дополнялись разнообразными фигурами, производившими то или иное действие и вызывая восхищение зрителей. Тогда в большом почете было изготовление автоматов-дикувинок: летающий дере-

вянный голубь Архистоса Тарейского; орел, о котором писал Павзаний; улитка Димитрия Фалерского; человек Птолемея Филадельфа и т. д.

Таким образом, автоматы и часы как бы дополняли друг друга.

Водяные часы после Ктезибия. В отличие от вавилонской астрономии, основанной на арифметических исчислениях, греческая астрономия с самого начала носила геометрический и механический характер. Об этом свидетельствует круговая орбита Анаксимандра, концентрическая сфера Евдокса, экцентрики и эпициклы Аполлония и Птолемея. Неотъемлемой частью греческой астрономии были механические аналогии.

Примерно в III в. до н. э. начинается новый период развития греческой астрономии. Гиппархом и другими учеными были сделаны точные наблюдения над положением небесных тел и произведены сравнения этих данных с данными ранних вавилонских и греческих наблюдений. Теории Аполлония и Птолемея имели в виду дать точное исчисление положения планет посредством эпициклов и эксцентрических кругов.

Гномоника, как основа для конструирования солнечных и водяных часов, всегда находилась в связи с развитием астрономии. Особенно явственно видно влияние достижений астрономии эллинистического периода на создание астрономических водяных часов весьма сложного устройства. Они были основаны на использовании стереографической проекции, как и при создании астролябии. Их описание содержится в IX книге «Архитектуры» Витрувия, а реконструкция часов была выполнена уже в наше время Ремом.

Разобраться в устройстве этих сложных часов стало возможным после того, как были найдены обломки их циферблата в Зальцбурге. По заднему кружку с изображением созвездий Рем установил сходство описанных Витрувием часов, показывающих восход, с зальцбургскими, после чего уже было нетрудно реконструировать весь механизм.

Эти часы, получившие название апохорических, дают блестящее решение проблемы создания равномерного движения, показывающего неравные часы. В них сочетается глубина знаний их конструктора с простотой устройства. Звезды движутся с постоянной скоростью, то же делает и диск. Солнце же своим движением вызывает увеличение или уменьшение продолжительности дня в течение года. Передвигая Солнце по маленькому небу, воспроизводимому в этих часах, можно было получить часы дня, изменяющегося из месяца в месяц по своей продолжительности.

«Мы не знаем,— пишет Драхман,— кто изобрел эти часы, но мы знаем имя человека, который мог их сделать,— Гиппарха. Он знал, как использовать аналемму, он изучал проекцию звездных карт, интересовался длиной года, временем восхода и заката Солнца и другими вопросами, связанными с устройством не-

бесного механизма. Нет точных доказательств, что он изобрел эти часы, но это очень вероятно» [119, 26].

Зальцбургские астрономические часы. Во время земляных работ около Зальцбурга в 1897 г. был найден фрагмент бронзового диска, украшенного гравюрами; считают, что это часть астрономических водяных часов римских времен. Этот в высшей степени интересный экспонат, хранящийся в Каролино-Августиновском музее в Зальцбурге, имеет форму сектора, оба радиуса которого равны 42 см, а хорда—50 см; его толщина 3 мм, вес 5,5 кг (рис. 36). В центральной точке диска и у середины одного из радиусов есть следы двух отверстий диаметром около 35 мм, а по внешнему краю, угловая длина которого соответствует 85°, можно различить следы 45 маленьких отверстий. На поверхности выгравировано несколько знаков, изображающих созвездия Андромеды, Персея и Возничего, а около края — знаки Рыбы, Овена, Тельца, Близнецов; звезд нет. На обороте — названия знаков зодиака и соответствующие месяцы, написанные по краям по латыни. Можно предположить, что диск должен был иметь диаметр около 1,20 м, а на внешней полосе, которой теперь нет, были нанесены дни (даты). По форме букв и по исполнению гравюр предполагают, что этот предмет относится ко времени между I в. до н. э. и III в. н. э.

Обломок диска стал предметом исследований—в итоге было установлено, что он выполнен в точном соответствии с астрономическими клепсидами, описание которых содержится в труде Витрувия «Архитектура» (кн. IX). Основываясь на этом описании и на гравюрах, обнаруженных на зальцбургском обломке, удалось восстановить конструкцию и механизм древних часов (рис. 38).

В резервуары *a* и *b*, соединенные трубкой *c*, вода поступает по каплям; поплавков поднимается. Веревочка, одним концом соединенная с поплавком, а другим — с мешочком с песком, навита вокруг оси *e* так, чтобы сообщать ей вращательное движение, скорость которого зависит от количества воды, за день проходящей через резервуар *a*.

На конце оси *e* установлен диск *f*, служащий циферблатом, а за ним — круглый экран *g*, имеющий часовые деления.

Предмет, найденный в Зальцбурге (на рис. 38, *a* изображен штрихами), должен быть частью диска *k*, представляющего небесную сферу; он соединялся с диском *f* и описывал вместе с ним оборот в один звездный день (около 23 ч 56 мин вокруг земного полюса *h*). Точка *i* представляет собой полюс эклиптики, вокруг которого Солнце описывает видимый оборот в один тропический год, а расстояние от точки *i* до земного полюса *h* рассчитано по высоте полюса над горизонтом места.

Чтобы воспроизвести видимое дневное и годичное движение Солнца, в одном из отверстий, сделанных на дуге круга обломка, соответствующей эклиптике, помещали золоченый шарик. А так как весь круг имел 182 отверстия, нужно было переме-

щать шарик каждые два или три дня на одно отверстие назад. Благодаря этому временной интервал между двумя последовательными кульминациями оказывался продленным почти на 4 минуты, что давало дневному обороту его нормальную величину— 24 часа. В момент летнего солнцестояния шарик находился в точке l , тогда дневной путь совершался по самой маленькой из концентрических окружностей экрана g , соответствующего тропику Рака; при зимнем солнцестоянии он находился в точке m и описывал свой дневной путь по самой большой из концентрических окружностей экрана g .

На рис. 37, а, представляющем стереографическую проекцию небесной сферы, окружность n изображает дневное движение Солнца при пересечении им экватора (моменты равноденствий), в то время как четыре другие концентрические окружности, обозначенные пунктиром, соответствуют дневному движению Солнца, когда оно пересекает восемь других знаков зодиака.

При равноденствиях золоченый шарик помещался в одну из двух точек пересечения эклиптики с экватором. 12 положений Солнца на эклиптике при прохождении им 12 знаков зодиака изображены 12 точками пересечения эклиптики с радиусами, идущими из полюса h и отстоящими друг от друга на 30° .

Экран g состоял из двух металлических окружностей, диаметры которых соответствуют положениям золоченого шарика, когда он находится в точках l и m в моменты двух солнцестояний. Эти окружности были соединены серией металлических треугольников (см. рис. 38, б), из которых один n пересекал весь экран, представляя собой горизонт Зальцбурга. В то время как 22 других соответствовали: одни — часам дня, другие — часам ночи. Протяженность этих линий получена с учетом широты места, для которого данные часы были предназначены, и с учетом продолжительности светлого дня в моменты прохождения Солнцем 12 знаков зодиака. При условии, что движение оборота диска соответствовало бы точно звездному дню, создавалась возможность наблюдать по этим часам все часы дня и ночи, время восхода, захода и кульминации Солнца и созвездий, так же как и положение Солнца в зодиаке.

Принимая во внимание весьма значительные размеры, которые должен был иметь этот инструмент, можно предположить, что он был предназначен для общественного пользования и установлен на одной из площадей Зальцбурга. Насколько нам известно, описанный обломок представляет собой единственную деталь античных часов подобного рода. Тем более досадно, что последующие раскопки, произведенные в Зальцбурге, не дали результатов.

Водяные часы Древнего Рима. Первые водяные часы в Риме устроил Сципион Назика в 159 г. до н. э. Помпеи имел водяные часы, которые славилась богатым украшением из золота и драгоценных камней.



Рис. 36 Обломок зальцбургских астрономических водяных часов, найденных в 1897 г.

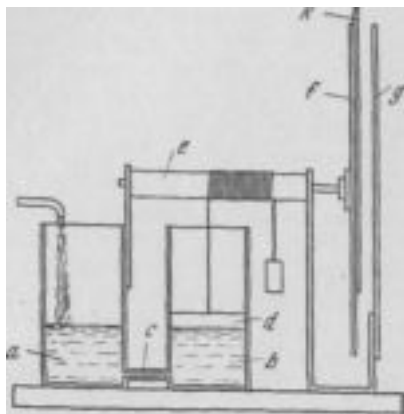


Рис. 37. Модель зальцбургских водяных астрономических часов

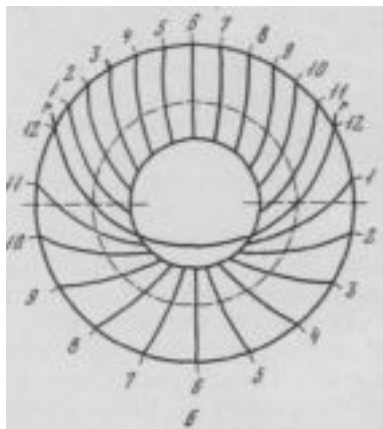
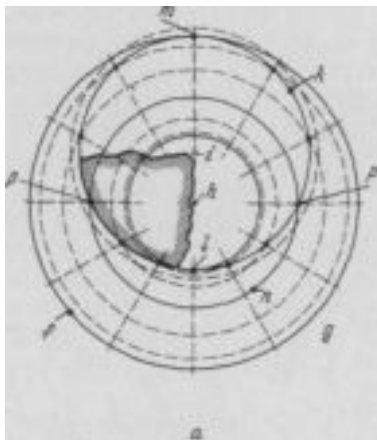


Рис. 38. Стереографическая проекция небесной сферы на циферблате зальцбургских астрономических часов

a — циферблат часов; *б* — цифровые деления

Одни из таких водяных часов — часы со стрелкой и циферблатом описывает Витрувий (рис. 39). В сосуд *ABCD* из резервуара поступает вода, регулируемая по временам года. В сосуде находится поплавок *E*, с которым соединена штанга *EF*, имеющая зубцы в верхней части. Эти зубцы приводят в движение зубчатое колесо *G*, к которому присоединена стрелка *H*. Штанга за каждый час поднимается на один зубец и поворачи-

васт зубчатое колесо и стрелку на одно деление. За день, от восхода Солнца и до захода, стрелка проходит весь циферблат от I до XII. В случае необходимости стрелку можно было установить на ночь.

В Риме часы были очень распространены; на пиру Трималхиона, описываемом римским писателем I в. н. э. Петронием (время правления Нерона), говорят о них, как о чем-то обыкновенном. Трималхион советует своим приближенным поставить после его смерти «в середине (погребальной урны. — *В. П.*) — часы, так чтобы каждый, кто пожелает узнать, который час, волей-неволей прочел мое имя» [49, 281].

Для измерения равных отрезков времени применяли обыкновенную клепсидру (например, в суде, в лагере). По количеству воды, вытекшей из клепсидры, определяли одинаковые промежутки времени. Так, Плиний Старший говорит о 16 (по другому источнику — о 24) клепсидах, из которых вода вытекала в продолжение пяти часов. Чтобы избавить себя от труда смотреть на солнечные часы, водяные или песочные, богатые римляне возлагали эти обязанности на особого служителя, провозглашавшего во всеуслышание: «Теперь такой-то час!».

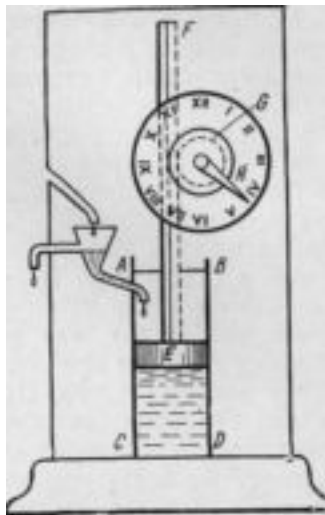


Рис. 39. Римские водяные часы

Глава III

ЧАСЫ СРЕДНИХ ВЕКОВ

Развитие солнечных и водяных часов в ранней средневековой Европе

Античное наследство — юлианский календарь, солнечные и водяные часы — перешло к европейцам. В ранний период средневековья в Западной Европе не знали других часов, кроме солнечных и водяных; притом вторые были менее распространены, чем первые. Примерно в XIII в. появляются песочные часы, которые (начиная с XIV столетия и позже) в странах Западной Европы получают значительное распространение, иногда взамен водяных часов.

Поэтому ранний период средневековья не только ничего нового не принес Западной Европе, но даже многое из наследия прошлого было потеряно. По справедливому утверждению И. А. Гейберга, «Запад получил только тощее научное наследие римлян, да и распоряжался им лишь в той мере, в какой позволяло ему варварство и церковь» [58, 104].

Но даже в эпоху упадка Римской империи имелись отдельные попытки возродить интерес к западно-римской культуре. Такова была в Италии эпоха царствования Теодориха—короля остготов (493—526). Последний в какой-то мере был знаком с римской наукой и культурой. Он приближал к себе просвещенных людей, таких, как философ Боэций, историк сенатор Кассиодор и др. При нем сохранилось и искусство создания солнечных и водяных часов. По просьбе бургундского короля Гундигальда Теодорих посылает ему водяные и солнечные часы. По этому поводу Теодорих писал: «Часто малыми вещами можно достигнуть большего, чем значительными богатствами. Бургундский государь настоятельно просил нас прислать орологии (часы.— *В. П.*), размеряемые течением водяной струи, а также другие, отсчитывающие время под светом Солнца. Он просил одновременно прислать мастеров этого дела». Чтобы установить добрососедские отношения, Теодорих посылает Гундигальду в качестве подарка солнечные и водяные часы, а также часовщиков, т. е. все то, что тот просил у него. Вместе с этими подарками было ему послано письмо, написанное рукой секретаря Теодориха Кассиодора, где содержались следующие рассуждения и пожелания: «Смутно проходит,— писалось там,— круговорот жизни, если неизвестно точное средство ее расчленения. Человеку свойственно искать для своего быта верного и твердого указателя». И далее: «Владейте же в вашей собственной отчизне тем, чем вы некогда владели в городе Рима. Да научится, под вашим управлением, Бургундия всматриваться в тончайшие явления, (деликатнейшие) предметы, хвалить изобретательность древних. Пусть в делах своих разграничивает она участки дня, полагая им точные границы» [64, 66].

Не следует думать, что в самой Италии во время Теодориха часы и искусство создания солнечных и водяных часов были широко распространены. Нет, часы тогда еще не стали предметом быта, о них писали и говорили как о редкости, вызывавшей любопытство и удивление. Этого не избежал и сам Кассиодор, хотя он был высокообразованным человеком. Для него часы являлись предметом высшего искусства.

Правда, и, с точки зрения Кассиодора, философская подготовка не всегда необходима для часовщика. Искусство это «грубым способом осуществляют и невежды», однако имеется огромная разница между ремесленниками и теми, кто свое искусство основывает на науке, кто входит в него «через четверо дверей математики». Кассиодор хочет сказать, что подлинный часовщик опирается на знания арифметики, геометрии, астро-

номии и механики. Эти мысли он высказывает в письме к Боэцию, когда от имени Теодориха направляет в 507 г. тому заказ на изготовление солнечных и водяных часов. Он высказывает твердое убеждение, что научная и философская подготовка Боэция дает ему все возможности для успешного выполнения заказа, и без меры расточает похвалы знаниям и таланту Боэция. Кассиодор ставит перед ним две следующие задачи.

«Первые часы вы сделайте так, чтобы палочка—указатель дневного времени — показывала часы [отбрасываемой ею] малой тенью. Таким образом, неподвижный и малый радиус, намечая путь, который пробегает чудесное величие Солнца, воспроизводит его течение, само не зная движения. Если бы светила почувствовали это, они исполнились бы зависти и изменили свой путь, не желая терпеть такого посмеяния. В чем же чудо самих дневных часов, движимых светом, если их показывает тень...?» [115, 27].

«Второй орологий,— пишет далее Кассиодор,—должен указывать часы без помощи солнечных лучей, деля на части ночь. Он ничем не обязан светилам, выражая расчет неба течением вод. В их движении показывает он обороты неба. Так труд мудрых стремится познать силу природы. Механизм стремится ее воспроизвести — из противоположных стихий... Механик — товарищ природы, разгадывающий скрытое, в явном открывающий новую сторону, играющий чудесами...» [64, 65].

В конце жизни Кассиодор, спасаясь от бурь и ненастий своего времени, ушел в монастырь, где организовал переписку монахами старинных рукописей, сохранившихся от античных времен. Работа велась по часам и требовала применения подходящих средств измерения времени.

«Допустимо ли [в ваших занятиях],— писал Кассиодор,—презреть мерило часов? Я приспособил для вас, вы знаете, два орология. Один, где указателем является солнечный свет. Другой—водяной. Здесь часы отмечены и днем, и ночью. Ведь и днем иногда нет солнечного света, и то, о чем умолчал его пламень, чудесно являет вода. И то, что разделено в природе, гармонически сочетает людское искусство, побуждая к размеренному труду его воинов» [66, 20].

Кассиодор упоминает об изготовленных им солнечных часах для монастыря в Лангедоке.

Монастырь Кассиодора не походил на бедные монастыри бенедиктинцев. Это был благоустроенный монастырь, где имелись сады, водопровод, бани, рыбные садки, солнечные и водяные часы. Особое же его украшение составляла богатая библиотека.

С середины VI столетия просвещение стало клониться к упадку даже в самой Италии. Робертсон правильно отмечает, что «в Западной Европе к концу VI столетия едва ли разрабатывалась какая-либо другая литература, кроме церковной»

Солнечные и водяные часы нужны были для регулирования церковных служб и занятий в монастырях. Несмотря на это, в конце VI в. они имелись, по-видимому, только в некоторых крупных церквях и монастырях; подавляющее большинство церквей и монастырей, особенно в ранней средневековой Галлии, были лишены их. Во всяком случае, писатель VI в. епископ Григорий Турский (ок. 540—594 гг.) в своей «*Liber de cur sibus ecclesiasticis*» рекомендует определять время для ночных молитв в монастырях не по приборам времени, а по звездам. Имея в виду поставить астрономию на службу духовенству, Григорий Турский перечисляет, в какое время появляется та или иная звезда и как по звездам определять время; при этом он даже не упоминает о часах, как будто их и не было.

Но само по себе стремление Григория Турского поставить астрономию на службу духовенству достойно того, чтобы его отметить. Оно явилось некоторой вехой на том пути превращения светских наук в отрасли богословия, на котором позже подвизались Беда Достопочтенный, Алкуин, Рабан Мавр и наконец Герберт.

Еще более непонятно отсутствие упоминания о часах у другого писателя, который жил и писал позже Григория Турского,—у Исихора, епископа Севильского (занимал кафедру с 595 до 636 г.), усердного собирателя технических и культурных редкостей своего времени. В его «Этимологиях» нет даже намека на существование часов, хотя мы и находим здесь определение слова *hora*. В главах, посвященных астрономии и времени, имеются рассуждения о движении и действии Солнца, о дне, ночи, часах и моментах, об инструментах и утвари — домашней и садовой, об убранстве стен, о разных видах ремесел, но нигде Исихор Севильский не произносит слова «солнечный» или «орologio».

Но не только Григорий Турский и Исихор Севильский молчат о существовании часов в Галлии и Испании в VI—VII вв. Молчит об этом и археология континентальной заальпийской Европы. Солнечные часы от раннего средневековья дошли до нас только из Ирландии и Англии, а не из Галлии и Испании.

В то время, когда на континенте Западной Европы происходили вторжения варваров (так римляне называли германские племена) и варварство почти смело последние остатки античной культуры, в Ирландии, а потом и в Англии в тиши монастырей нашла убежище античная наука. Но ее стали приспособлять для нужд церкви.

«С солнечными часами,—правильно отмечает Ф. Даннеман,—познакомился германский культурный мир также лишь благодаря древним. Впервые это имело место в Англии и Ирландии в VII столетии» [13,314], Монастыри Ирландии были населены весьма густо: так, в Бангоре близ Честера насчитывалось до двух тысяч монахов. Монахи занимались изучением латин-

ского и греческого языков, астрономией, переписыванием книг не только духовного, но и светского содержания. Особенное развитие получила у них архитектура, в том числе установка солнечных часов.

Ирландия наиболее богата древними солнечными часами. Они встречаются на кладбищах в виде каменных глыб различных размеров, с циферблатами в виде полукружий, исчерченных часовыми линиями. Лишь на некоторых из них, притом более поздних, видим мы привычные нам деления на 12 часовых линий.

Христианство в Англии получило распространение среди англосаксов в начале VII в., позже, чем в Ирландии, куда оно пришло из Галлии еще в начале III в. Кельтская церковь в Британии и Ирландии имела большое сходство с первобытной христианской церковью. Обращение англосаксов в христианство в конце VI — начале VII в. происходило по инициативе папы Григория Великого. Когда английская церковь получила свое иерархическое устройство по образцу католической церкви, это явилось причиной неравной борьбы между новой церковью, основанной Римом, и старой британской церковью. Эта борьба кончилась подчинением последней римско-католической церкви. Воинствующая католическая церковь в Англии начала учреждать школы и монастыри, чтобы вырвать из рук приверженцев старой британской церкви последнее оружие своих противников — научное образование. Монастыри стали центрами учености и образованности в Англии. «Некоторые монастыри, — пишет А. Мортон, — особенно монастыри Нортумбрии, показывали образцы учености. Именно в одном из таких монастырей в Джорроу жил и работал Беда, самый образованный человек Европы своего времени, первый и один из крупнейших историков Англии» [73, 46].

Беда Достопочтенный (673—735) — один из виднейших ученых раннего средневековья. Сочинения его касались всех областей тогдашнего знания, в них не обойдены и вопросы космологии и астрономии, содержится описание устройства астролэбии и солнечных часов («делать солнечные часы из металла и дерева с шестью сторонами, каждая с гномоном» [108, 392]).

Беде Достопочтенному было где и у кого учиться искусству создания солнечных часов. Это искусство находилось на достаточно высокой ступени развития уже у ученых британских монахов.

В Англии от англосаксонских времен сохранилось большое количество солнечных часов. В качестве примера можно привести часы над дверью древней церкви Бишонстона (графство Суссекс), которые отнесены к VII в. (рис. 40). Тяжелая каменная доска, заканчивающаяся закруглением, несет в верхней части циферблат в виде полуокружности, разбитой на 12 делений 13-ю радиусами, из коих пять, соответствующие каноническим



Рис. 40. Солнечные часы над дверью древней церкви Бишонстона



Рис. 41. Солнечные часы на Киркдельской церкви

часам (*matutina*, *tertia*, *sexta*, *попа*, *vesper*) ¹ длиннее других и закачиваются крестами. Он украшен сверху меандром и имеет надпись: EADRIC [169, 149]. Еще с большей вероятностью относят к VII в. каменный обелиск с солнечными часами, найденный в Бьюкестле (Кемберленд), покрытый руническими надписями и своеобразными изваяниями. Из них усматривается, что обелиск воздвигнут сыном короля Нортумбрии, Освином-Эльфредом, умершим в 664 г. [104, 149].

Трое часов находятся в графстве Хемпшир, создание которых приписывается инициативе епископа Вильфрида (70-е годы VII в.). Число делений на циферблате этих часов неодинаково: на одних—12, на других—4, на третьих—8.

В большинстве случаев англосаксонские солнечные часы чрезвычайно просты по устройству; весьма типичными в этом отношении являются солнечные часы на Киркдельской церкви в Йоркшире от 1060 г. (рис. 41). Они состоят из каменной пластины, прикрепленной к южной стене. На пластине нанесено несколько часовых линий: горизонтальная — для восхода и захода Солнца, вертикальная — для полдня и две промежуточные (приблизительно под углом в 45°). В точке пересечения часовых линий имеется отверстие, в которое вставлялся гномон, но ни одного такого гномона до нас не дошло; в некоторых отверстиях сохранились лишь обломки железа. Предполагается, что стержень выступал горизонтально и от него отбрасывалась тень на стену. Горизонтальный стержень показывал восход, полдень и заход Солнца правильно. Однако остальные часовые линии под углом в 45° не давали равномерного деления дня на равные части, так как утренние и вечерние периоды были длиннее, чем примыкающие к полудню, в зависимости от времен года. В то время не стремились к более точному определению времени, требовалось лишь ориентировочное разделение дня на части. Искусство создания солнечных часов, воспринятое от древних, развивалось в Англии в англосаксонскую эпоху весьма успешно, и почва для этого была подготовлена учеными монахами. Дальше это искусство развивалось благодаря связям с Римом [69, 281].

В самой Италии, а тем более в резиденции папы римского традиция определять время с помощью солнечных и водяных часов не могла быть утрачена, как в Галлии и Испании. И действительно, папа римский Сабиниан вскоре после своего вступления на престол в 604 г., после смерти Григория Великого, признал неправильным отсутствие часов в церквях и предписал «установить в церквях солнечные и водяные часы, чтобы можно было различать часы дня» [33, 60]. Сабиниан занимал папский престол в течение двух лет; за такое короткое время он едва ли

¹ Эти термины — названия канонических часов, бывших в употреблении в церковном обиходе в средние века; они обозначали: *matutina* — ранние утренние часы, *tertia* — часы до полдня, *sexta* — полдень, середина дня, *попа* — середина послеобеденного времени, *vesper* — вечер.

мог добиться заметного успеха в этом отношении, особенно за пределами Италии. Предписания папы Сабиниана могли бы надолго остаться на бумаге, если бы ирландские и английские монахи своими миссионерскими трудами не способствовали их осуществлению в Галлии. «Когда,— отмечает профессор О. А. Добиаш-Рождественская,— в конце VII и начале VIII в. Галлия наполнилась ирландскими и англосаксонскими миссионерами, принесшими на материк астрономические и хронологические трактаты Беды, распространившие по всем ими основанными и подпадавшими под их влияние обителям его пасхалию, его строение и точные мысли о времени — вместе с возвышенными мечтами «о временах и летах»,— только с этой поры сдвинулась с мертвой точки и орологическая культура Галлии. Только в эту пору на стенах и во дворах монастырей, соборов, а также дворцов, начинают появляться солнечные кадраны (циферблаты.— В. П.), предшественники «Больших орологиев» классического средневековья и крестные отцы его площадей и улиц.

Начавши энергично развиваться в Каролингскую эпоху, обычай церковного звона размерял, в согласии с этими часами, быт обителей и храмов, стал, наконец, регулятором жизни населения» [64, 70].

Не следует думать, что солнечные часы появились на Западе по мановению волшебного жезла с приходом ирландских и английских миссионеров. Для успеха этого дела нужно было еще Каролингское возрождение, кипучая деятельность Карла Великого и его сподвижников в области просвещения и по созданию школ. Выдающимся сподвижником Карла Великого был опять же выходец из Англии Алкуин, ученик Экберта, который, в свою очередь, был учеником Беды Достопочтенного.

Факты говорят, что даже после Каролингского возрождения оставалось много монастырей и церквей, где не имелось часов, а время определялось по звездам и чтению псалтыря. Папа Сильверст II еще в X в. должен был заниматься делом, которое было начато папой Сабинианом. И все-таки даже в XI в. во многих церквях имелись только крайне примитивные солнечные часы с грубо начерченными часовыми линиями на циферблате. Возможно, эти линии определяли не час дня, а время начала церковной службы, которое в разных местах определялось по-разному и во многом зависело от священника. Этим и объясняется большое разнообразие расположения часовых линий и расстояний между ними на различных солнечных часах. Но в то же время не лишено основания, что при крупных дворах феодалов, кафедральных соборах и в крупных монастырях могли устанавливаться более или менее сложные солнечные часы. Могли там иметься и ремесленники, умевшие их устанавливать.

Солнечные часы в эпоху средневековья делались различных форм, видов и размеров. Когда они изготовлялись сложной формы и из дорогого материала, то предназначались в качестве подарка для князей и монархов. Солнечные часы устанавлива-

лись в монастырях, на кафедральных соборах, на публичных зданиях, в замках и дворцах, на углах улиц и на площадях. Одни устанавливались на колоннах, другие прикреплялись к стенам зданий [33, 38].

Однако нет никаких оснований предполагать, что в этот период существовала и развивалась гномоника как наука о солнечных и водяных часах.

Развитие гномоники, солнечных и водяных часов в Византии, на мусульманском Востоке, в средневековой Индии и Китае

Гномоника в Византии. Византийская культура сыграла огромную роль в жизни средневекового мира благодаря высокому уровню своего развития, сохранению и передаче античных традиций. В течение средних веков Византия была для Европы таким же культурным центром, как Рим и Афины для древнего мира.

В эллинизированных областях Востока сохранилась античная традиция создания монументальных и сложных водяных часов. До нас дошли благодаря писателю Прокопию, жившему на границе античности и византийской эпохи, известия о создании неизвестным мастером в сирийском городе Газе монументальных водяных «геракловых» часов приблизительно около того времени, когда Боэций по поручению короля Теодориха изготовил двое часов с украшениями. Пользуясь описанием Прокопия и другими источниками, немецкий ученый Дильс произвел реконструкцию «геракловых» водяных часов и описал их в своей монографии «О замечательных часах в Газе, описанных Прокопием» (*Über die von Prokop beschriebene Kunstuhr von Gaza*) (1917). В Газе эти часы, по всей вероятности, были установлены на оживленной рыночной площади. Если судить по их внешнему виду, они представляли собой сложное сооружение (рис 42).

Часы находились в глубине помещения, ограниченного колоннами с мраморными барельефами, с насаженными на колонны остриями, чтобы не могли пробраться любопытные (рис. 42, а).

Дневные и ночные часы ежечасно отмечались путем автоматического открывания специальных дверей, находившихся в помещении и расположенных в два ряда по 12 в каждом. Первый ряд последовательно час за часом отмечал ночные часы. Каждый час открывалась одна дверца, в ней появлялся светильник, и так от 1-й до 12-й. Второй ряд отмечал дневные часы. Над каждой открывавшейся дверцей взлетал устремляющийся вперед орел.

По карнизу мимо дверей проходил бог Солнца Гелиос, который по истечении определенного часа останавливался перед со-

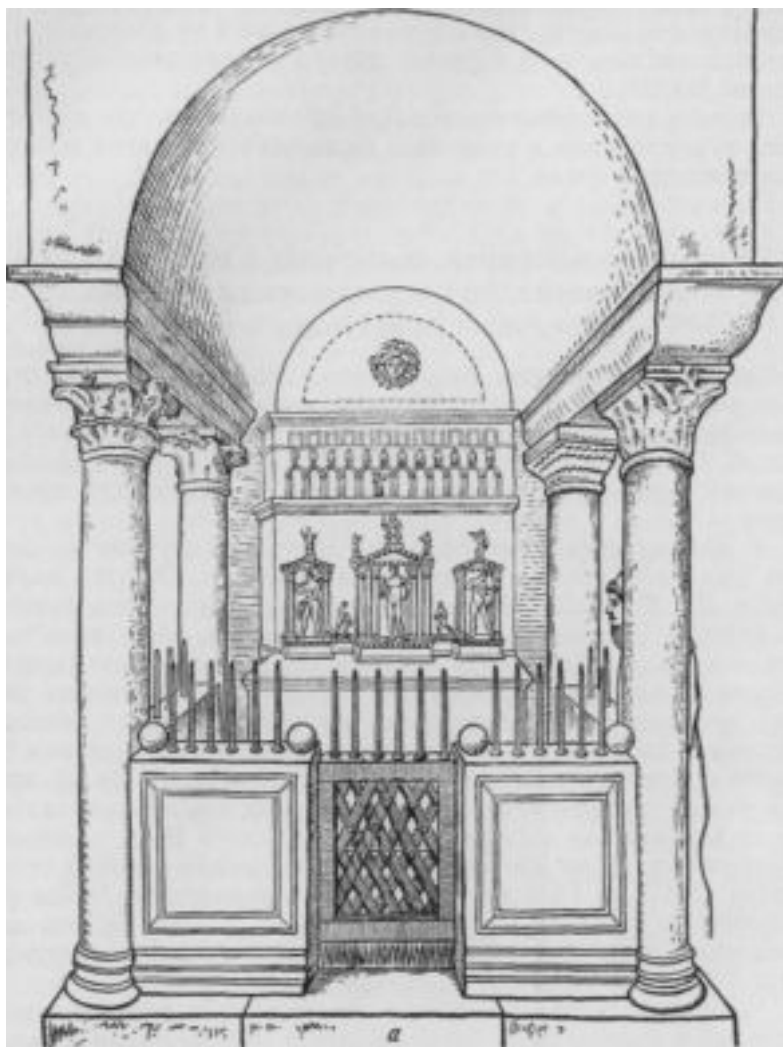
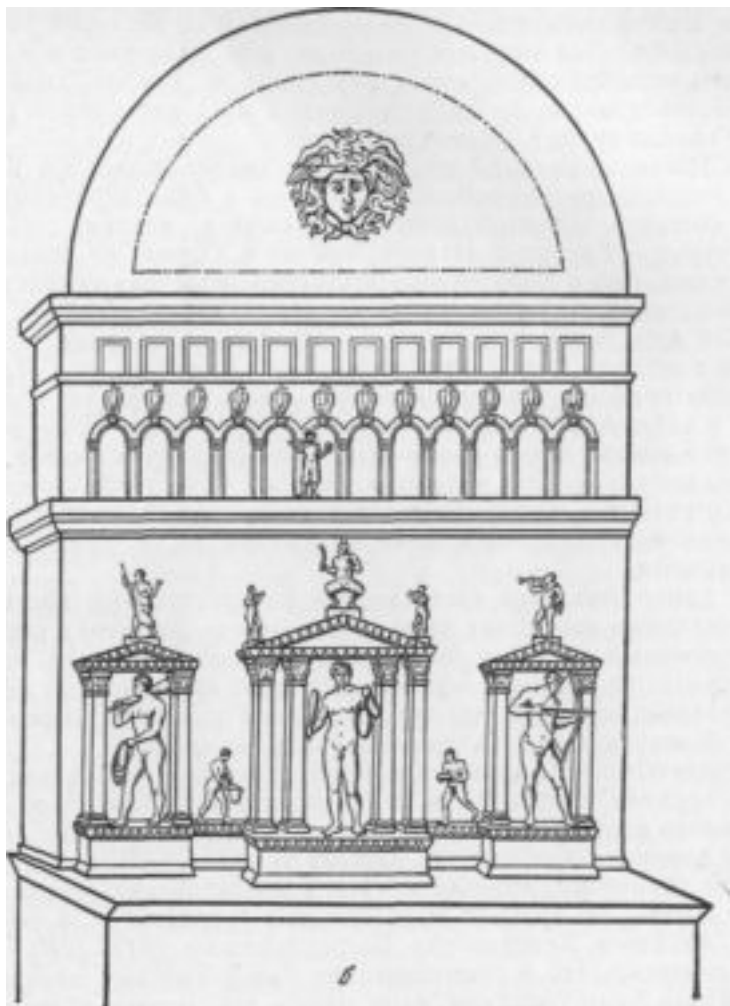


Рис. 42. Часы в Газе

а — помещение, где расположены часы; *б* — общий вид часов

ответствующей дверцей и указывал на нее. Из дверцы выходил Геракл и «совершал» один из своих подвигов. Орел, парящий над дверцей, украшал голову героя победным венком. Геракл кланялся зрителям и уходил с венком на голове в свою камеру. Геракл последовательно совершал все свои двенадцать подвигов. Человек, знавший эти подвиги, мог сразу определить, который час.



Часы из Газы не только показывали время, но и отмечали часы боем. Только число ударов было не от 1 до 12, а от 1 до 6 до полудня и от 1 до 6 после полудня, так как счет времени производился по солнечным часам. На коньке крыши часов была укреплена голова Горгоны, вращавшей глазами при каждом бое часов. Бой осуществлялся так: механизм боя был связан с фигурой Геракла. Палицей, которую античный герой держал в правой руке, он ударял по медному звонковому листу (гонгу), который на весу держал в левой руке.

Часы из Газы имели, кроме того, много других автоматически движущихся фигур. Так, например, была представлена фигура Пана — древнегреческого бога лесов, который при звуке

гонга настораживался, как будто слышал голос своей возлюбленной Эхо. Пан окружен сатирами; они издеваются над несчастным любовником, строя ему гримасы. Трубач Диомед по истечении дневных часов и свершении всех двенадцати подвигов Геракла трубит (возвещает) зорю.

В Восточно-Римской империи как непосредственной преемнице александрийско-римской культуры и благодаря тому, что в ее состав входили области, отличавшиеся издавна высокой культурой,— Греция и Италия, Египет к Сирия, не только сохранялось, но и развивалось искусство создания солнечных и водяных часов, основанных на достижениях античной гномоники. Об этом свидетельствуют и «геракловы» водяные часы из Газы, и водяные часы, приписываемые Архимеду, по образцу которых арабские мастера и ученые стали создавать водяные часы у себя. Арабы учились у византийцев также конструированию и изготовлению различных видов солнечных часов. Восточно-мусульманская гномоника потому и достигла потом высокого развития, что основывалась на использовании достижений античной гномоники, которая арабам была передана византийцами.

В самой Византии были весьма распространены настенные вертикальные солнечные часы. Они имелись на стенах церквей, общественных зданий и были примерно такого же типа, как на стенах Башни ветров в Афинах и на стене византийской церкви, построенной на месте языческого храма Грация. На циферблате для обозначения часов впервые появляются числа.

Свидетельства о наличии в Константинополе часов как прибора времени идут с VI в., но, к сожалению, без какого-либо пояснения их устройства. На основании эпиграммы, относящейся ко времени царствования Юстина II (565—578), византиевед Рейске заключает, что уже в VI в. у византийских греков были часы с боем, по крайней мере большие городские [123, 63].

В «Уставе» Константина Багрянородного (911—959) находим свидетельство о существовании часов, которые находились в портике Хрисотриклино, из-за чего и сам портик часто назывался «часами». Устройство этих дворцовых часов также нам неизвестно.

У Константина Багрянородного имеется упоминание и о переносных «походных» (серебряных и медных) часах наряду с большими церковными и домашними часами, установленными на стене или на башне. Вероятно, «походные» часы были не водяными, а механическими.

Достоверно известно, что в Византии уже существовала профессия часовщика. В «Уставе» Константина Багрянородного упоминается об этой профессии. Наряду с часовщиками здесь говорится о «заравах». Рейске высказывает предположение, что в их обязанности входило отбивать на бие часы, соответствующие времени церковных служб и молитв. В этом предположении Рейске, как справедливо отмечает Д. Ф. Беляев, «нет ничего

невероятного, но только, по мнению этого автора, во дворце отбивание часов необходимо было не столько для молитв и церковных собраний, сколько, может быть, для обозначения времени собраний воинов, открытия и закрытия дворца, смены стражи и других действий, совершающихся регулярно в известные часы» [50, 162—163].

Дворец византийских императоров жил своей сложной, размеренной по дням и часам жизнью. Великолепные процессии, торжественные приемы, пышные празднества чередовались там постоянно.

Астролябия, изобретенная астрономом Гиппархом (150 г. до н. э.), продолжала совершенствоваться в Византии. Византийские ученые писали трактаты по астролябии. Один такой трактат был написан ученым Филопоном (Иоанн Грамматик) в 625 г. и дошел до наших дней. Примерно в это же время сириец Севера Себохта¹ написал трактат на ту же тему, что и Филопон. При этом он использовал греческие источники. Перс ал Фазар (умер ок. 777 г.)—один из первых среди мусульманских ученых—также написал трактат по астролябии [143, 48].

Развитие военной техники, создание астролябии и часов в Византии способствовали развитию механического искусства, которое было доведено до большого совершенства в IX в. выдающимся византийским ученым Львом Философом. Исследования последнего касались главным образом математики, практической механики и прикладного естествознания. Льву философу приписывается использование механики, в частности, для устройства весьма сложных автоматически действующих фигур и подъемных механизмов для дворца Маганавр, где император принимал иностранных послов.

Дворец был украшен золотыми птицами, сидящими на золотом дереве вокруг трона Соломона, на котором восседал царь. Золотые птицы могли щебетать подобно живым птицам. По обеим сторонам трона на ступеньках были помещены фигуры различных животных, которые могли подниматься и становиться на лапы; имелись здесь также фигуры львов, которые «рычали так же громко, как цари пустыни», и т. д.

Хотя завоевание Константинополя турками положило конец византийской культуре, но богатства древнегреческой мысли, собранные и обогащенные византийцами, сохранили Европе источники, из которых она долго черпала познание античного мира.

Индийская и мусульманская астрономия и гномоника. Вертикальный и горизонтальный гномон как угломерный инструмент ввиду разнообразных его применений в астрономии стал моделирующей системой в средневековой индийско-мусульманской математике. Эта система выполнила такую же роль, какая

¹ Севера Себохта — сирийский ученый, бывший епископ в монастыре Кеннепре (верхнее течение Евфрата).

потом выпадет на долю маятника как моделирующей системы в механике и математике XVIII в. В связи с теорией гномона стала тщательно разрабатываться тригонометрия сначала у индусов, а потом и у мусульман. В течение долгого времени тригонометрия оставалась прикладной частью гномоники. По существу гномоника является теорией гномона — одного из самых ранних астрономических инструментов, а затем и солнечных часов, имевших самое широкое распространение в быту и в науке вплоть до XVIII в. С астрономии и гномоники начинается история науки вообще и развитие теории астрономических инструментов и теории часов — в частности. Она является самым ранним образцом теории самого раннего прибора. В XVIII - начале XIX в. гномоника преподавалась в учебных заведениях Германии, Италии и России. Перестали ею интересоваться лишь после того, как солнечные часы были вытеснены механическими часами. Однако изучение астрономии в учебных заведениях чаще теперь начинается с практических занятий с гномоном. Поэтому нельзя не интересоваться историей развития гномоники как одной из самых ранних наук вообще.

Индийская астрономия была вызвана к жизни в силу необходимости определять и исчислять время. Страбон рассказывает, что астрономия была любимым занятием брахманов.

Индийская астрономия получила толчок к дальнейшему развитию и совершенствованию тогда, когда индийским астрономам удалось ознакомиться и освоить достижения эллинской астрономии. Отсюда же заимствованы и 12 созвездий зодиака. В результате была создана греко-индийская астрономия и гномоника, изложенная в трактате «Сурья-сиддхант» («Наука Солнца»), появившегося около 400 г. н. э. Последующая астрономическая литература с V в. продолжает научные традиции «Сурья-сиддханты». Об этом свидетельствуют труды таких выдающихся индийских астрономов, как Ариабхата (V в.) и Вараха-Микиры (VI в.). Их сочинения были переведены на арабский язык; они и до сих пор ревностно изучаются особой школой индийских астрономов, несмотря на то что в университетах преподается совершенно другая, современная европейская астрономия,

Ариабхата предлагает решение задач по гномонике, пользуясь теоремой Пифагора и пропорциональностью сторон в двух подобных треугольниках: «1) Прибавь квадрат высоты гномона к квадрату ее тени. Квадратный корень из этой суммы есть радиус небесного круга; 2) умножь высоту гномона на расстояние между гномоном и источником света и раздели на разность между высотой гномона и высотой источника света. Частное будет длиной тени, измеренной от основания гномона» [57,141].

Ариабхата знает не только подобие треугольников и пропорциональность сторон в подобных треугольниках, но и применяет их для решения задач гномоники: «Расстояние между кон-

цами двух теней умножь на длину тени, раздели на разность между длинами двух теней; это дает расстояние от основания высоты светила до конца тени. Этот результат, умноженный на высоту гномона и деленный на длину тени, дает высоту источника света» [57, 141].

В VIII—XI вв. индусы становятся учителями арабов. В 772 г. в Багдад ко двору калифа аль-Мансура прибыл один индийский астроном и принес с собой астрономические таблицы браминов, взятые, по всей вероятности, из «Брама-сфута-сиддханта» Брахмагупты. Эти таблицы, содержавшие важную индийскую таблицу синусов, были вскоре по приказанию калифа переведены «а арабский язык и приобрели там большую популярность под названием «сиддхант».

Сочинение «Брама-сфута-сиддханта» («Пересмотр системы Брамы») было написано Брахмагуптой в 628 г. В этом по существу астрономическом сочинении лишь главы XII и XVIII (были посвящены математике. В разделе «Измерение с помощью гаомона» Брахмагупта выдвигает в гномонике следующие задачи: 1) зная высоту источника света, высоту гномона и расстояние между их основаниями, найти длину тени, отбрасываемой гномоном; 2) найти высоту источника света, зная длину тени, отбрасываемой гномоном в двух различных положениях [57, 144].

Должно было после Брахмагупты пройти полстолетия, чтобы в XII в. появился математик и астроном Бхаскара Акария. В 1150 г. он написал сочинение «Сиддханта-сиромани» («Венец астрономической системы»), одна из глав которого посвящена употреблению гномона. Две наиболее важные главы «Сиддханта-сиромани», относящиеся к математике, называются «Лиловати» («Красота», или «Благородная наука»). Здесь также имеется упоминание о маленьком цилиндрическом сосуде, который был положен в сосуд, наполненный водой. Вода, постепенно лроникая в маленькое просверленное отверстие в нижней части цилиндра, заставляла его в конце концов погрузиться. Таким сосудом индусы пользовались для измерения времени. Гиппарх и Птолемей за меру угла принимали хорду; индийские математики впервые ввели в употребление половину хорды—синус— и вычислили для нее таблицы. Кроме линий синуса, индийские ученые пользовались линией косинуса и линией синуса-верзуса, т. е. разностью между радиусом и линией косинуса. Они установили зависимость между синусом и косинусом взаимно дополнительных углов: $\sin A = \cos(90 - A)$, а также одно из основных тригонометрических уравнений: $\sin^2 A + \cos^2 A = 1$.

Путь, который привел индусов в тригонометрии к подобным выводам, связан с гномоникой и составлением астрономических таблиц. Благодаря этому развивалась техника составления таблиц тригонометрических величин.

Гиппарх ввел только одну тригонометрическую величину — хорду дуги — и дал в качестве тригонометрического пособия таб-

лицу хорд. Она содержала величины хорд, соответствующих углам в круге в частях радиуса, но их было трудно вычислять. Исходной точкой для Гиппарха служили хорды в 120, 90, 42, 60 и 36°. Птолемей с достаточной точностью определил хорды всех углов, последовательно возрастающих на полградуса.

В средневековой Индии стали прибегать к другим тригонометрическим величинам. Индусы содействовали значительному прогрессу гониометрии — важнейшей части тригонометрии, оперируя с синусом и с синусом-верзусом ($1 - \cos \alpha$).

Индийские таблицы синусов заменили греческие хорды. Тригонометрические величины использовались индусами чаще всего при решении изолированных задач.

В трактате «Сурья-сиддханта», как и в других «сиддхантах», гномон и его тень фигурируют во многих тригонометрических задачах. Таким образом формулируются правила гномоники для определения теней по высоте Солнца и обратное правило — определение высоты Солнца по тени гномона и т. д. Постепенно увеличивалось количество введенных в рассмотрение зависимостей между тригонометрическими величинами ввиду потребности нахождения высоты и азимута Солнца, в зависимости от которых в течение каждого дня определялось время и изменения соответствия между ночными и дневными часами. Для нахождения по тем или иным данным высоты Солнца, продолжительности дня и ночи в «Правилах», данных в «Сурья-сиддханте» и других «сиддхантах», перечисляется последовательность арифметических действий над синусами, синусами-верзусами и радиусом. В индийских «правилах» неявно содержатся даже некоторые теоремы сферической тригонометрии, чаще всего в связи с решением задач сферической астрономии и гномоники.

В трактате «Сурья-сиддханта» можно найти, хотя и в словесном выражении, теорему косинусов сферической тригонометрии, использованную для определения высоты Солнца, или в переводе на современный математический язык

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \alpha \cos t,$$

где t — часовой угол, который можно определить, если известны склонение Солнца δ , географическая широта места φ и высота Солнца h в данный момент. К этой же формуле в конечном счете сводится и правило Вараха-Михиры для определения высоты Солнца, приводимое в его «Панча-сиддхантике» [85, 197].

Созидательная работа индусов в области гномоники приходится на период с III по XII в. н. э. В отличие от греков индийские ученые не проявляли острого интереса к логическим построениям и концентрировали свое особое внимание в астрономии и математике на вычислениях.

Зарождение и развитие тригонометрии показывает, что математика не вышла из мозга гениев, как Минерва из головы Зевса, а создавалась и разрабатывалась в зависимости от практических потребностей определения времени и составления аст-

рономических таблиц. Задолго до разработки обобщающей теории тригонометрии был создан механизм вычислений. Когда же появилась теория, то разработка ее пошла независимым путем, подчиняясь своей собственной логике развития.

На мусульманском Востоке плоская тригонометрия была развита слабее сферической, ввиду того что для решения задач сферической астрономии и гномоники требовалась разработка методов решения сферических треугольников для нахождения соотношения между тригонометрическими функциями его сторон и углов.

«Важное место в математике стран ислама,— отмечает А. П. Юшкевич,— занимала тригонометрия. Она служила звеном, непосредственно соединявшим математику с ведущей естественной наукой того времени — астрономией, с календарем и гномоникой, наукой о солнечных часах, широко распространенных в мусульманских городах, где небо редко и недолго бывает покрыто облаками» [100, 281].

К начальному этапу развития тригонометрии на мусульманском Востоке и ее приложений к астрономии и к гномонике — к усвоению греческой и индийской научной традиции в этой области — относятся перевод и комментирование «Альмагеста» Птолемея и индийских «сиддханта».

Заменяя хорды Птолемея синусами и опираясь на вычислительные приемы «Альмагеста» и правила индийской гномоники, ученым стран ислама удалось ввести в математику остальные тригонометрические функции (тангенс, котангенс, секанс и косеканс). Они нашли решение всех случаев плоских и сферических треугольников и составили многочисленные тригонометрические таблицы с высокой степенью точности, которые были использованы для определения горизонтальных координат — азимута A и высоты h светила, полуденной высоты Солнца и высоты светила в меридиане $Я$, часового угла t и «расстояния восхода», т. е. дуги горизонта между точкой востока и точкой восхода светила, и т. д. Благодаря применению тригонометрии к решению задач гномоники она из искусства превращается в подлинную науку.

Выдающееся значение в разработке гномоники в связи с тригонометрией имели на мусульманском Востоке труды следующих ученых: ал-Хорезми (780—ок. 850), Хабаша ал-Хасиба (ок. 770—ок. 870), Сабита ибн Корра (836—901), ал-Баттани (ок. 850—929), Абу-Али ал Хасана (умер в 1262 г.).

Ал-Хорезми первый в мусульманском мире продолжил индийские научные традиции и изложил элементы тригонометрии. Он ввел в употребление синус и понятие тени как тригонометрической линии, связанной с гномоникой. Ал-Хорезми рассматривает две практически не связанные друг с другом тригонометрические линии: в круге (синус, синус-верзус) в соответствии с традицией «Альмагеста» и в прямоугольном треугольнике (тангенс, котангенс) согласно правилам индийской гномоники.

Вопросами гномоники прилежно занимался также современник ал-Хорезми Хабаши ал-Хасиб. О нем известно, что он в большей мере стал прибегать к тригонометрии для решения задач гномоники.

Для определения отношения длины тени B к высоте гномона l в зависимости от высоты Солнца ah ал-Хабаш составил таблицу значения длины тени для $h = 1, 2, 3^\circ$ и т. д. с точностью до 1 с, пользуясь фактически тригонометрическим соотношением $b = lctgh$.

Для горизонтального гномона, перпендикулярного к вертикальной стене, ал-Хабаш составил таблицу «обращенных теней», т. е. тангенсов: $b = ltgh$.

Однако применение тригонометрии у ал-Хабаша сводилось в основном к решению отдельных практических задач. Более высокий уровень использования тригонометрии был достигнут уже только в следующем поколении после ал-Хорезми и ал-Хабаша. Это поколение дало таких выдающихся астрономов и математиков, как Сабит ибн Корра и ал-Баттани. Они стали разрабатывать гномонику, используя формулы, выражающие соотношения между тригонометрическими функциями сторон и углов произвольного сферического треугольника, а также алгебраические методы преобразования тригонометрических уравнений и величин. Они умело пользовались теоремой синусов и косинусов для сферического треугольника.

Сабит ибн Корра в 1-й главе «Книги о солнечных часах» решает задачу на определение азимута Солнца A по его склонению b , высоте h и его часовому углу t , сводящаяся к теории синусов, что может быть записано в виде $\sin A / \sin b = \sin t / \cos h$. В книге «О часовом инструменте, называемом солнечными часами» он дал два решения задачи об определении высоты Солнца над горизонтом h по широте местности ϕ , склонению Солнца b , по его часовому углу t и часового угла t по h , что приводит в конечном счете к известной уже нам сферической теореме косинусов.

Сабит в «Книге о солнечных часах» называет линию синуса «синусом линии косинуса», «синусом дополнения», линию синуса-верзуса — «обращенным синусом», линию тангенса он просто называет «тенью», линию котангенса — «тенью дополнения». Этим подчеркивается непосредственная связь в развитии тригонометрии с гномоникой.

Ал-Баттани значительно содействовал применению тригонометрии в гномонике. На нем сказались особенно сильное индийское влияние при вычислении горизонтальных координат Солнца — часового угла t , азимута A , а также на определение высоты Солнца h , т. е. величин, близко связанных с гномоникой.

Расчеты, связанные с гномоном и его тенью, привели ал-Баттани к применению котангенсов. Если ϕ обозначает угол высоты Солнца, h — высоту гномона, a — длину его горизонтальной тени (рис. 43, a), то из прямоугольного треугольника получаем!

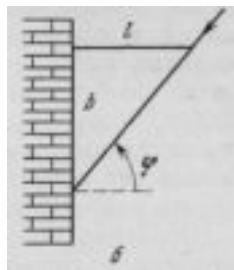
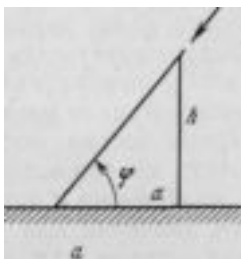
$a = h \cos \varphi / \sin \varphi$. Ал-Баттани дает φ значения 1, 2, 3°, принимает $h = 12$ и составляет таблицу для вычисления a [141, 313]; он не только знает формулы для сферических треугольников, приведенные в «Альмагесте», но еще присоединяет важнейшую для косоугольных треугольников формулу

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A,$$

благодаря которой в дальнейшем устранялась необходимость разделения упомянутых треугольников для их решения на прямоугольные и косоугольные.

Рис. 43. Вспомогательный треугольник

a — для вычисления котангенсов по углу высоты Солнца, высоте гномона и длине горизонтальной тени вертикального гномона; b — для вычисления тангенсов при решении вопросов гномоники



Для решения некоторых вопросов гномоники, например для нахождения угла высоты Солнца φ из отношения длины тени b к длине стержня l , горизонтально укрепленного на стене AB , ал-Баттани прибегал к функции тангенса. Введение в математику тангенса как тригонометрической функции выпало, однако, на долю Абу-л-Вафа.

Абу-л-Вафа определяет все шесть тригонометрических функций единообразно в круге, не порывая до конца с гномоникой. Для определения «теней» как тригонометрических линий он пользуется вертикальными и горизонтальными гномонами. В отличие от своих предшественников он делит тени не на 12 «пальцев», а на 60 частей, связывая это с величиной радиуса круга, принятой в александрийской математике.

Для определения длины тени, отбрасываемой вертикальным гномоном на вертикальную плоскость (рис. 43,6), Абу-л-Вафа прибег к формуле ал-Баттани $l = b \sin \varphi / \cos \varphi$. Длину l он принял равной 60; таким образом были составлены таблицы тангенсов.

В трудах Абу-л-Вафа тангенс фигурирует под названием *umbra* (тень), котангенс — *umbra recta* (дополнение дуги), секанс он называл *diameter umbrae*.

Продолжатель птолемеевой традиции, Ибн Юнис, как и ал-Баттани, отдает дань правилам гномоники. Хотя он уже близко подошел к определению «теней» как линий в круге, однако еще не рассматривал «тень», подобно синусу, как функцию для нахождения любых астрономических величин: он избегал пользой ваться тангенсами для их нахождения.

Подобно ал-Баттани, Ибн Юнис построил таблицу котангенсов, пользуясь формулой $l = b \sin \varphi / \cos \varphi$, но вместо значения

$\varphi=12$, употребленного ранее, положил $\varphi=60$, вычислив таким образом котангенсы с той же единицей, с которой были вычислены синусы. Он вводил иногда в формулы вместо частного $\sin\varphi/\cos\alpha$ для краткости выражения слово «тень», но никогда не применял своих таблиц теней для вычисления различных углов высоты Солнца.

Ибн Юнис кратко определяет цели и задачи мусульманской астрономии: «Изучение небесных тел... позволяет узнать часы молитвы, время восхода зари, когда собирающийся поститься должен воздерживаться от пищи и питья, конец вечерних сумерек, предел обетов и религиозных обязательств, время затмений, о которых нужно знать заранее, чтобы подготовиться к молитве, которую следует совершать в таких случаях. Это изучение необходимо, чтобы поворачиваться во время молитвы к Каббе, чтобы определить начало месяца, чтобы знать некоторые сомнительные дни, время посева, роста деревьев, сбора плодов, положение одного места по отношению к другому и чтобы находить направление, не сбиваясь с пути» [67, 106].

Особенно большое значение для развития «арабской» астрономии и гномоники имели труды ал-Бируни. Академик И. Ю. Крачковский так оценивает роль и значение его трудов в развитии мировой науки: «Чем глубже проникает наука, чем больше сочинений ал-Бируни открывалось, тем величественней становилась его фигура в наши дни. Сартон мог назвать всю половину XI в. в развитии мировой науки эпохой ал-Бируни по крупнейшему ее представителю» [67, 244].

Ал-Бируни первому удалось определить только в круге все шесть тригонометрических функций, отделив, наконец, тени от гномона, но и он не уберется от влияния традиционной связи тригонометрии с гномоникой при определении тригонометрических линий для дуги круга.

Труды ал-Бируни по сферической астрономии и гномонике и подробные описания астрономических инструментов послужили важным источником для развития гномоники и практической астрономии в XIII в. В этом столетии жил и работал марокканский астроном Абу-Али ал-Хасан ал-Марракуши (умер в 1262 г.). Его основное сочинение — «Объединение начал и целей относительно науки о времени». В первой части своего труда он характеризует те элементы наук, на которых основывается астрономия — космография, хронология, гномоника; вторая часть посвящена преимущественно конструированию астрономических инструментов и работе с ними. Гномоника здесь изложена с исчерпывающей полнотой, возможной для того времени, и отличается новизной в теоретическом отношении. Насколько нам известно, Абу-Али ал-Хасан первый развил теорию и практику создания солнечных часов, приспособленных к измерению равных часов, не зависящих от времени года. В практической части гномоники излагаются правила для построения циферблатов солнечных часов на плоских, конических, цилиндрических, вог-

нутых и выпуклых поверхностях. Имеется даже описание солнечных часов подковообразной формы. Гномоника Абу-Али ал-Хасана впоследствии была хорошо известна в Западной Европе.

Подводя итоги достижениям в применении тригонометрии в гномонике, важно отметить, что математики и астрономы средневекового Востока фактически пользовались уже правилами для нахождения угла по трем сторонам или стороны по двум другим и углу между ними, сводящимися к соотношению $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$. Хотя эта формула не была еще оформлена в общем виде, но ее применение встречается и в индийской гномонике, и у Сабита ибн Корры при определении высоты Солнца по его склонению, часовому углу и широте местности.

Астрономам средневекового Востока были также известны определение по солнечным часам равных (постоянных) по длительности часов и теория устройства таких часов.

Простейшие из солнечных часов такого типа — экваториальные. У них гномон направлен к полюсу мира, а циферблат перпендикулярен к нему. Более распространены горизонтальные солнечные часы. Гномон у них направлен по оси мира, а циферблат строится по формуле $\tan t = \sin \phi \tan \alpha$, где t — угол между меридианом и направлением тени, соответствующим часовому углу Солнца. Кроме горизонтальных, известны вертикальные солнечные часы. Современная теория устройства экваториальных, горизонтальных и вертикальных часов дана в книге В. В. Витковского [56].

Солнечные и водяные часы мусульманского Востока. Античная традиция создания солнечных часов, идущая, по-видимому, из Византии, продолжалась на мусульманском Востоке. Там, как и в античном мире, были довольно широко распространены полусферические солнечные часы и горизонтальные солнечные часы типа пеликан, описание которых дано в первой главе.

Большое распространение на мусульманском Востоке имели солнечные часы с двойным циферблатом. Первый циферблат, как и в античных часах типа пеликан, служил для определения времени по высоте Солнца и имел вид ласточкина хвоста. Второй циферблат служил для определения направления к Мекке и вместе с первым, по существу, выполнял роль солнечного компаса. Такие часы снабжались специальными шкалами, показывающими направление Мекки от различных городов.

Одни такие часы XIV столетия из Алеппы (Сирия) можно видеть на рис. 44. При пользовании ими нужно было устанавливать их вдоль меридиана, а затем повернуть циферблат так, чтобы можно было определить направление к Мекке от того или иного города, обозначенного на шкале.

После взятия турками Константинополя на всех мечетях, в которые были превращены многие православные церкви, были установлены солнечные часы. Солнечные часы на мечетях Со-

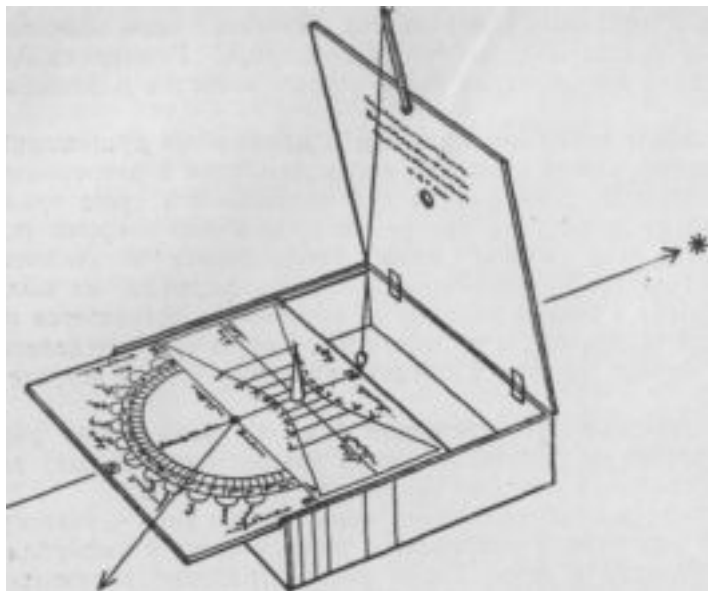


Рис. 44. Солнечные часы из Алеппы с двойным циферблатом

фия, Мухаммед, Сулейман и других не имели на себе никаких надписей, кроме имени изготовителя и размеченных на них часовых линий, отмечавших ход тени Солнца. На некоторых солнечных часах наносилась также линия, показывающая направление к Мекке, куда обращались лицом молящиеся.

Во всех новых мечетях, которые воздвигались турками, неизменно устанавливались и солнечные часы. Поэтому возраст здания соответствует возрасту часов, установленных на нем.

В VI в. арабы приходят в соприкосновение с персами и византийцами и перенимают у них искусство создания водяных часов. Скоро арабы стали сами создавать водяные часы, снабженные различного рода механическими устройствами. Уже в начале IX в. Гарун-ал-Рашид смог послать в качестве подарка Карлу Великому художественно выполненные водяные часы, созданные руками арабских мастеров. На рис. 45 представлена сцена передачи этих часов Карлу Великому в 807 г. Это изображение было найдено Планшоном и опубликовано в его труде по истории часов [35].

Эгингард, историограф Карла Великого, об этих часах писал следующее: «Абдалла, посол персидского короля, и два иерусалимских монаха с поручением от патриарха Фомы предстали перед императором. Оба монаха, Георг и Феликс, поднесли Карлу несколько подарков от персидского короля и, между прочим, позолоченные часы, изготовленные удивительно искусно. Особый водяной механизм указывал часы, означавшиеся

еще боем от падения определенного числа шариков в медный таз. В полдень 12 рыцарей выезжали из стольких же дверей, закрывавшихся за ними. Еще много удивительного было в этих часах, но было бы чересчур долго все рассказывать. Император перенес их в свой дворец в Ахен» [83, 515].

Джавахарлал Неру указывает, что «в Дамаске были знаменитые башенные часы, а также в Багдаде во времена Гарун-ал-Рашида» [75, 275]. Неру не ссылается на источник, поэтому трудно судить о достоверности его сообщения. Но одно бесспорно, что на мусульманском Востоке были достигнуты большие успехи в создании водяных часов. Уже при Гарун-ал-Рашиде они там широко использовались не только в астрономических обсерваториях для астрономических наблюдений, но и в быту.

Водяные часы у арабов имели уже весьма сложное автоматическое устройство. Кроме времени, они показывали праздничные дни по календарю, положение Солнца в зодиаке и положение других небесных светил.

В качестве примера можно привести знаменитые часы «Менганах», изготовленные в 1358 г. одним факиром. По описанию Бартера, в этих часах на часовой коробке было прикреплено дерево; на нем гнездо и сидящая в нем птица с двумя птенцами. Ствол обвивала змея. На террасе часов находилось девять ворот. По мере вращения зубчатых колес ворота открывались, из них вылетали два орла; змея жалила одного из птенцов, самка издавала писк. Из ворот выходила молодая невольница, держа в правой руке книжку, на которой значился данный час. Левая рука принимала такое положение, как будто приветствовала калифа.

Сохранились данные о двенадцати монументальных водяных часах, которые были созданы до 1250 г., причем большинство из них изготовлено мусульманскими механиками. Описание этих часов сохранилось в арабских трактатах, составленных Газари и Ридваном в начале XIII в. Механические движения осущест-



Рис. 45. Водяные часы Гарун-ал-Рашида

влялись там с помощью гирь, подвешенных на веревке, перекинутой через шкив или блок A (рис. 46), и с помощью падающих цилиндров; контроль за их движениями надежно обеспечивался поплавками, имевшимися на водоемах, которые были наполняющимися или опорожняющимися, что регулировалось особыми устройствами. Шестеренная передача в этих водяных часах не применялась, следовательно, как справедливо отмечает Дж. Бернал, «им не доставало точности и силы передачи колесного механизма» [9, 187].

Остановимся на двух характерных видах водяных часов. Одни были установлены во время правления Султана Саладина (1146—1163) на большой мечети в Дамаске. Их изобретателем был Ридван, известный своими трактатами о часах. Дамасские часы состояли (рис. 46) из большой арки, в которую были вделаны двенадцать сводчатых окон (арок), т. е. столько, сколько было тогда в сутках часов. Живописный вид дополняли два сокола B , B из литой латуни, расположенные возле первого и последнего окошечка. Каждый час они, переходя последовательно от одной арки к другой, роняли в бассейн столько шаров, сколько прошло часов. Можно было различать и часы ночи, так как за ночь источник света перемещался от первой к последней арке (D , E). Резкость свечения застекленных арок увеличивалась благодаря освещению их красным светом.

Механизм часов не содержал в себе зубчатой передачи. Движение от поплавков C передавалось посредством шнуров и бечевки, пропускаемых вокруг различных роликов и шкивов. На своих концах бечевки несли противовесы, гири.

Весьма характерны также водяные часы, изготовленные Газари (рис. 47). Высота их фасада около 4 м, верх заканчивается аркой; у свода арок движущаяся лента поддерживала двенадцать знаков зодиака. Под ними находились изображения Солнца и Луны; их восход и заход соответствовал времени года и происходил соответственно знакам зодиака. Еще ниже было два ряда окошек, в каждом по 12 (T_1 и T_2). Окошко верхнего ряда могло открываться, и вслед за этим появлялась фигура; в нижнем ряду окошки могли изменять свой цвет. Указатель D в форме полумесяца двигался вдоль направляющей и проходил перед нижним рядом окошек. В конце каждого часа птицы V_1 и V_2 , расположенные в нишах, наклоняли голову и бросали шарики в бронзовые сосуды B_1 , B_2 . В шестой, девятый и двенадцатый часы трубачи M_3 и M_4 трубили в трубы, барабанщики M_1 , M_2 били в барабаны, цимбалист M_5 ударял по цимбалам. В ночь, в начале первого часа, появлялся едва заметный свет в одном из двенадцати шаров SS . Интенсивность освещения увеличивалась, шар становился как бы светящимся. Это последовательно происходило с каждым из шаров.

Большой интерес представляют ртутные часы (рис. 48), приведенные в «Книге астрономических знаний» («Libros del Saber

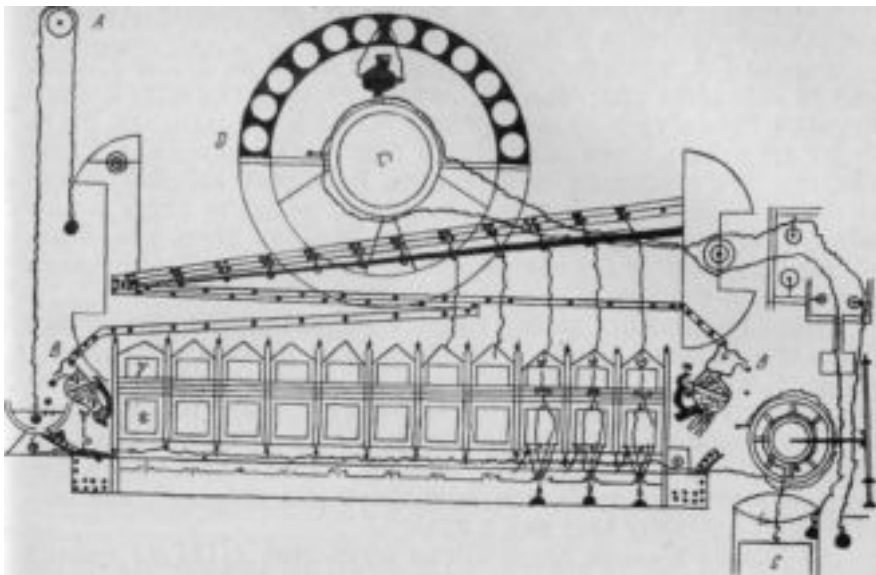


Рис. 46. Дамасские водяные башенные часы, изготовленные арабским ученым Ридваном

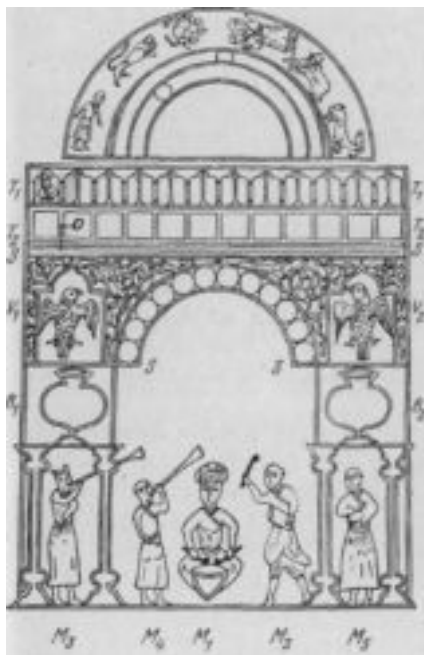


Рис. 47. Водяные часы Газари

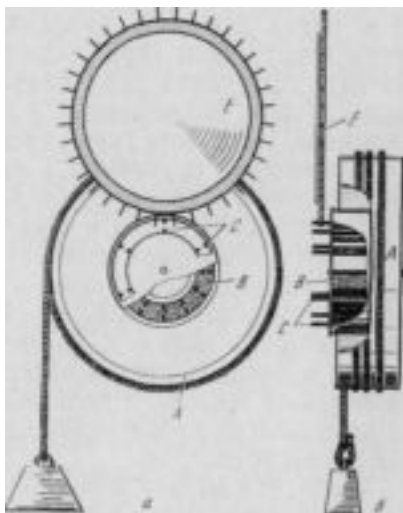


Рис. 48. Арабские водяные часы, описанные в книге Альфонса X Кастильского

a — общий вид, *б* — вид сбоку
A — барабан, приводимый во вращение тяжестью (гирей); *B* — ртутный приемник (вместилище), разделенный перегородками с просверленными отверстиями; *C* — штифты, вращающие циферблат; *E* — циферблат

Astronomie»), составленной по арабским источникам группой ученых для Альфонса X Кастильского.

Барабан *A*, вращаясь, поднимает ртуть *B* до тех пор, пока она не сделается противовесом движущей силе тяжести; с этого времени гиря будет падать медленно, по мере того как ртуть будет проникать через отверстия в простенках, задерживающих вместе с тем свободное ее истечение. Вращение барабана было почти равномерным и зависело только от вязкости ртути и размеров отверстий. Просачивающаяся в барабан ртуть непрерывно регулировала вращение барабана, пока веревка, обмотанная вокруг него, полностью не разматывалась.

Описание водяных часов Газари и Ридвана живо напоминает приведенные выше описания часов из Газы и часов, подаренных Карлу Великому Гарун-ал-Рашидом. Во всех этих водяных часах истекшее время отмечалось падением соответствующего количества медных шариков. Одновременно с этим сигналом открывалось одно из двенадцати окошек, из него появлялась фигура, которая автоматически выполняла ряд действий, соответствующих каждому часу дня и ночи.

Ал-Хазини в своей книге «Весы мудрости» (1121 г.) описал часы, основанные на принципе взвешивания. К одному из двух плеч рычага был присоединен резервуар с водой, из которого вода вытекала через малое отверстие, так что он опорожнялся за 24 ч. Когда резервуар наполнялся, вода удерживалась в равновесии посредством гирь, подвешенных к другому плечу рычага. По мере вытекания воды плечо с резервуаром поднималось все выше, а гири, подвешенные к противоположному плечу, опускались вниз. По высоте гирь определяли время [164].

Применение солнечных и водяных часов и астрономических инструментов в обсерваториях средневекового Востока. Успехи в развитии астрономии в странах средневекового Востока были достигнуты благодаря применению математики, точной механики и успешному проведению астрономических наблюдений. При сыне Гаруна-ал-Рашида, ал-Мамуне, уже были основаны две обсерватории: одна — в Багдаде, другая — около Дамаска. Создание в Багдаде первой обсерватории Мамун начал с установки большой железной колонны — гномона. С помощью гномона он предполагал производить наблюдения для нахождения истинной длины года.

Узнав, что высота железной колонны подвержена изменениям в связи с понижением температуры от дня к ночи, Мамун занялся установлением величины этого изменения, после чего стало возможным использовать колонну для точных наблюдений. По их результатам стали разрабатываться астрономические таблицы, каталоги звезд и т. д. Потребностями этих исследований было вызвано развитие не только математики, но и точной механики.

Освоенное у византийцев искусство изготовления угломерных инструментов (и астролэбий), различных видов водяных и

солнечных часов и других приборов было доведено мусульманскими учеными и мастерами до большого совершенства.

Для проведения астрономических наблюдений требовались разнообразные инструменты. Так, ал-Баттани в Ракке, где он основал обсерваторию, пользовался следующими инструментами: астролэбией, когда можно было обходиться без особо точных измерений; гномоном, когда нужно было производить особо тщательные наблюдения: циферблат делился на 12 частей, но мог иметь и более мелкие деления; горизонтальными и вертикальными солнечными часами; армиллярной сферой; параллактическими линейками; стенными квадрантами, у которых радиус был немного менее одного метра; таблицами, показывающими величину тригонометрических функций, и т. д. [160, 96].

Астрономические наблюдения в Ракке ал-Баттани проводил в 882—910 гг. Он считал, что точность измерений с помощью гномона и квадрантов достигается по мере увеличения их размеров.

Особой известностью и славой на средневековом Востоке по справедливости пользовалась Марагинская обсерватория, созданная Насир-ад-Дином ат-Туси в 1259 г. По оснащенности астрономическими инструментами ей в то время не было равной. В Марагинской обсерватории имелись не только солнечные и водяные часы, небесные глобусы, армиллярные сферы, но и квадранты различных систем и назначений (стенные, вращающиеся и т. д.), инструменты для наблюдения затмений, моментов равноденствия, наклона эклиптики, синус-инструменты.

Самаркандская обсерватория была основана в 1425 г. выдающимся астрономом Улугбеком (1393—1449), внуком Тимура, и была оснащена по образцу Марагинской обсерватории. На этих обсерваториях имелось большое разнообразие астрономических инструментов, предназначенных для специальных целей.

Улугбек вместе со своими учениками и сподвижниками проводил астрономические наблюдения, по результатам которых были составлены каталоги координат 1018 звезд и много других таблиц, вытеснивших таблицы Птолемея. Труды Улугбека явились вершиной в развитии восточной мусульманской астрономии.

Улугбек большое внимание уделял также гномонике, что было традиционно для мусульманской астрономии. В Самаркандской обсерватории для астрономических наблюдений пользовались большого размера секстантом и водяными часами. Время по водяным часам определяли по времени погружения наполненного водой сосуда на дно резервуара с водой.

Применение в обсерваториях различных по назначению инструментов становится отличительной чертой, характеризующей все последующее развитие мусульманской наблюдательной астрономии. Еще в XVI в. продолжали пользоваться многими видами инструментов Марагинской обсерватории. Об этом, например, можно судить по оснащенности инструментами обсерватории в Истамбуле (XVI в.). Мы находим там армиллярные сфе-



Рис. 49. Экваториальные солнечные часы Савай-Джай Сингха

ры, стенные квадранты, азимутальные квадранты, параллактические линейки, инструменты для определения моментов равноденствий, наклона эклиптики и т. д. [160, 111]. Но эта обсерватория отказалась от применения водяных и солнечных часов, так как здесь уже пользовались механическими и песочными часами.

После разгрома Самаркандской обсерватории и падения Константинополя астрономические исследования на Ближнем и Среднем Востоке надолго замирают. И только в XVII и XVIII вв. на основе симбиоза индийской астрономии, нашедшей свое выражение в «Сурья-сиддханте», и астрономического наследия Маррагинской и Самаркандской обсерваторий в Индии возрождается интерес к астрономическим исследованиям. Это подтверждается двумя индийскими манускриптами, так называемыми «шах-джаканскими» астрономическими таблицами, составленными Абу Мулла-Фаридом Деклеве — придворным астрономом индийского шаха Джаконе (1628—1698), и «Новыми мухаммедшахскими таблицами», составленными магараджей Савай-Джай Сингхом (1686 — 1743).

Савай-Джай Сингх создал свою первую обсерваторию в Дели около 1724 г. (рис. 49). В течение семи лет он проводил там астрономические наблюдения и по их результатам составил аст-

рономические таблицы. После успешного завершения этих работ он в 1734 г. основал в Джайпуре обсерваторию еще большего размера, чем в Дели. Затем он создал небольшие обсерватории в Уджане, Бенаресе и Муттре [166]. На них были установлены гигантского размера экваториальные солнечные часы, представлявшие собой целые архитектурные сооружения из камня. Все они подобны часам, которые были созданы в Дели — первой обсерватории Сингха. Отличались они лишь размерами. Савай-Джай Сингх считал механические часы менее пригодными для астрономических наблюдений, чем созданные им экваториальные солнечные часы. Пользуясь последними, можно, по его мнению, делать отсчеты времени с большей точностью, чем по механическим часам.

Гномон этих часов представлял собой архитектурное сооружение в виде прямоугольного треугольника с вертикальным катетом 27 м. Гипотенуза длиной 45,1 м направлена к оси мира. По обеим сторонам гномона расположены западный и восточный квадранты (четверть круга). До полудня тень падает на западный, а после полудня — на восточный квадрант. Плоскость квадранта параллельна плоскости экватора, а гномон перпендикулярен плоскости квадранта и установлен, как нам уже известно, параллельно оси мира. При всяком другом положении направление тени гномона будет зависеть не только от часового угла Солнца, но и от его склонения: при том же часовом угле, но при другом склонении Солнце имеет и другой азимут. Линии на квадранте этих часов, соответствующие равным промежуткам времени, образуют между собой равные углы и, следовательно, показывают равные по своей длительности часы.

В гигантских экваториальных солнечных часах «Самрай», установленных в Джайпурской обсерватории, тень ежечасно проходит почти 4 м на соответствующем квадранте диаметром в 15 м, что можно наблюдать визуально. В 6 ч утра тень длиной в 15 м доходит до крайней точки в западном квадранте. По мере того как Солнце поднимается, тень на квадранте опускается, пока в полдень не исчезает. Солнце стоит теперь прямо на юге и в плоскости гномона. Но это только одно мгновение, после чего тень начинает подниматься в восточном квадранте, пока в 6 ч вечера весь квадрант не покроеется ею [ПО, 38].

Западнее экваториальных солнечных часов были установлены еще 12 других солнечных часов: они являлись уменьшенными копиями «Самрая», но с той разницей, что плоскости квадрантов у них были ориентированы по отношению к плоскости эклиптики. Каждый из них был расположен в своем знаке зодиака [166]. Савай-Джай Сингх, создавая обсерватории с исполинскими размерами основного инструмента, следовал традиции Самаркандской обсерватории. Известно, что секстант Улугбека имел радиус 40,2 м. Труды Марагинской и Самаркандской обсерваторий явились высшим достижением астрономии мусульманского Востока, а труды обсерватории Сингха — высшим достижением ин-

дийско-мусульманской астрономии и гномоники. Работа обсерватории Сингха показала, что на этом пути невозможен дальнейший прогресс. То же новое, что содержалось в трудах самого Сингха, выходило за пределы старой астрономии и оказалось своеобразным преломлением новой тенденции в развитии астрономии Западной Европы, а именно в трудах Н. Коперника и И. Кеплера.

В устройстве больших экваториальных солнечных часов также выражено новое направление в развитии гномоники, более характерное для Западной Европы, чем для восточных стран, не исключая Индии. Достоинством этих часов является то, что вследствие равномерного движения тени часовые деления получаются равными. Отпадает необходимость иметь циферблат в виде многих линий, из которых каждая была предназначена для определенного месяца, что затрудняло и изготовление и пользование часами. Имея экваториальные солнечные часы, можно было производить более точные отсчеты времени.

Усовершенствование применения средств точной механики для создания разнообразных приборов и инструментов на мусульманском Востоке было связано не столько с созданием водяных часов, сколько с изготовлением астрономических и весовых приборов.

Весьма была развита практика создания астролябий со сложными календарными и планетарными устройствами. Астролябии с присоединенными к ним механическими календарями теперь можно видеть во многих иностранных музеях. Такая астролябия, изготовленная Мухаммедом Абу Бахром в 1221 — 1222 гг., находится в Оксфордском научном музее. Примененная в ней зубчатая передача состояла из многих пар шестерен. Ал-Бируни описывает устройство изобретенного им механического календаря, который представлял собой также «приставку к астролябии». Ее устройство описано в работе [86].

Известный историк техники Д. Прайс находит, что «часы», подаренные султаном Саладином германскому императору Фридриху II Гогенштауфену, в действительности были астролябией со многими механическими приставками для воспроизведения движения небесных тел и календаря.

Ал-Хазини в своей книге «Весы мудрости» описал созданные им в 1121 — 1122 гг. гидростатические весы, которые в то время считались чудом точной механики.

Солнечные, водяные и огневые часы средневекового Китая. Гномоника продолжала развиваться наряду с астрономией и совершенствованием календарной системы. Были найдены более совершенные способы определения времени.

Лю Чжо, живший в годы правления императора Ян-ди (начало правления 605 г.), доказал наличие расхождения между временем, определявшимся до него с помощью гномона («ту-гуй»), и установленным им фактическим отношением длины тени на земле к пути перемещения Солнца по эклиптике. Для дока-

зательства выдвинутых им теоретических положений он предлагал измерить длину земного меридиана. Это было сделано, однако, не при его жизни, а только через столетие в эпоху династии Тан (618—907 гг.) буддийским монахом астрономом И. Си-нем. Он блестяще подтвердил теоретические положения Лю Чжо, которые остаются верными и сегодня [144, 302—303].

Особенно значительные успехи в создании астрономических приборов со сложным механическим устройством, приводимым в действие водой, были достигнуты именно в эту эпоху. Эти приборы служили также и целям определения времени.

В «Астрономических записях» («Тяньвэнь цзи») «Истории династии Цзинь» содержится самое раннее свидетельство о том, что Чжан Хэн (78—139 гг. н. э.) для приведения в движение астрономических приборов и прибора времени использовал вес воды. Он же создал и установил наряду с армиллярной сферой небесный глобус, также приводившийся в действие водой. Движение звезд на небесном глобусе соответствовало движению звезд на небе, наблюдаемому в обсерватории. Это достигалось, надо полагать, благодаря использованию системы зубчатых колес и кулачков.

После Чжан Хэна продолжали создавать армиллярные сферы и глобусы, приводимые в действие водой. Их создателями были Ван Фань (около 260 г. н. э.), Ге Хэн (династия У в эпоху троецарствия), Лу Цзи (династия Цзинь) и Цзе Лоцзи (династия Сун, 436 г. н. э.). После 650 г. н. э. к астрономическим приборам стали присоединять довольно сложное устройство для измерения и показа времени.

Профессор Лю Сяньчжоу считает, что на «развитие часового механизма оказало значительное влияние изобретение и усовершенствование китайского адометра», поскольку «устройство этого прибора полностью совпадало с конструкцией системы передачи усилия и механизма счета времени в часах» [71, 109].

В 721 г. н. э. астроном И. Хонг изготовил водяные часы очень сложного устройства из латуни; они даже привлекли внимание императора Сюань-цзуна. Часы показывали относительную длину дня и ночи, высоты полюсов и звезд, видимых и невидимых на горизонте. Два штифта указывали дневные и ночные часы — «ке» (китайский час «ке» равен двум нашим).

Когда штифт был на «ке», выскакивала маленькая деревянная статуэтка; она ударяла один раз в барабан и исчезала. Когда штифт был на чаше, появлялась другая статуэтка, ударяла по колоколу и исчезала.

В «Астрономических записях» «Новой истории династии Тан» (725 г.) содержится упоминание о создании комплекса из армиллярной сферы, глобуса и устройств для показания времени. Приборы приводились в действие водой. За сутки небесный глобус делал один оборот. На каждом из двух зубчатых колец, окружавших небесный глобус, находилось по небольшому шарiku: один изображал Солнце, второй — Луну. Кольца вращались от

двух разных зубчатых передач. Когда небесный глобус совершал полный оборот в западном направлении, Солнце передвигалось на восток на один градус, а Луна — на $13\frac{7}{19}$ градуса в том же направлении. После того как небесный глобус совершал около 29 оборотов, Солнце и Луна встречались. За 365 оборотов небесного глобуса Солнце совершало один полный оборот.

Крышка деревянного ящика служила полом. Одна половина небесного глобуса находилась ниже уровня пола, другая же возвышалась над ним. На крышке ящика стояли две деревянные фигуры. Одна фигура каждые четверть часа автоматически ударяла по барабану, находившемуся перед ней. Другая фигура через каждый час ударяла висевший против нее колокол. На небесном глобусе были установлены зубчатые передачи и кулачки, и часть усилия передавалась на деревянные фигуры для указания времени. Зубчатая передача должна была быть очень сложной, чтобы небесный глобус мог совершать полный оборот за сутки, а Луна и Солнце могли вращаться значительно медленнее и чтобы можно было координировать их движения.

В 979 г. Чжан Сысюань сконструировал водяные часы с боем, представлявшие собой уже сложный механизм. Для размещения прибора пришлось соорудить многоэтажную башню. В конструкцию прибора входило двенадцать фигур богов, каждый из которых отмечал определенный сдвоенный китайский час «ке» и появлялся в нужный момент, неся дощечку с указанием времени, и ударял в колокол или в барабан.

Около 990 г. Чжан-си-Хьун создал часы, в которых было также двенадцать статуэток для двенадцати часов. Барабан был помещен между двумя колоколами, из которых один — маленький, другой — большой, и, так же как в часах И. Хонга, статуэтки исчезали, как только производили удар то для «ке», то для часа.

Особо выдающимся сооружением и весьма характерным для средневекового Китая были башенные астрономические часы, воздвигнутые в эпоху династии Сун (960—1279) в 1088 г. астрономами Су Суном и Хань Кунлянем. Они построили модель небесной сферы («тяньхэн»), движение которой соответствовало движению видимой небесной сферы. Она представляла собой весьма сложную конструкцию, состоящую из армиллярной сферы, небесного глобуса и механического приспособления для измерения времени. Основой этого комплекса была трехэтажная башня высотой 9 м (рис. 50). Движущаяся армиллярная сфера была установлена на помосте и увенчивала собой строение. С ее помощью определяли координаты и азимуты небесных светил: Солнца, Луны, пяти планет и звезд. В среднем этаже помещался небесный глобус, на поверхности которого были нанесены звезды, Млечный Путь, эклиптика и экватор. Этажи пятиярусной «часовой башни» имели форму пагод. Внутри самой башни находилось большое водяное колесо, по окружности которого имелось 36 ковшей 1 (рис- 51); в каждый из них по очереди вли-

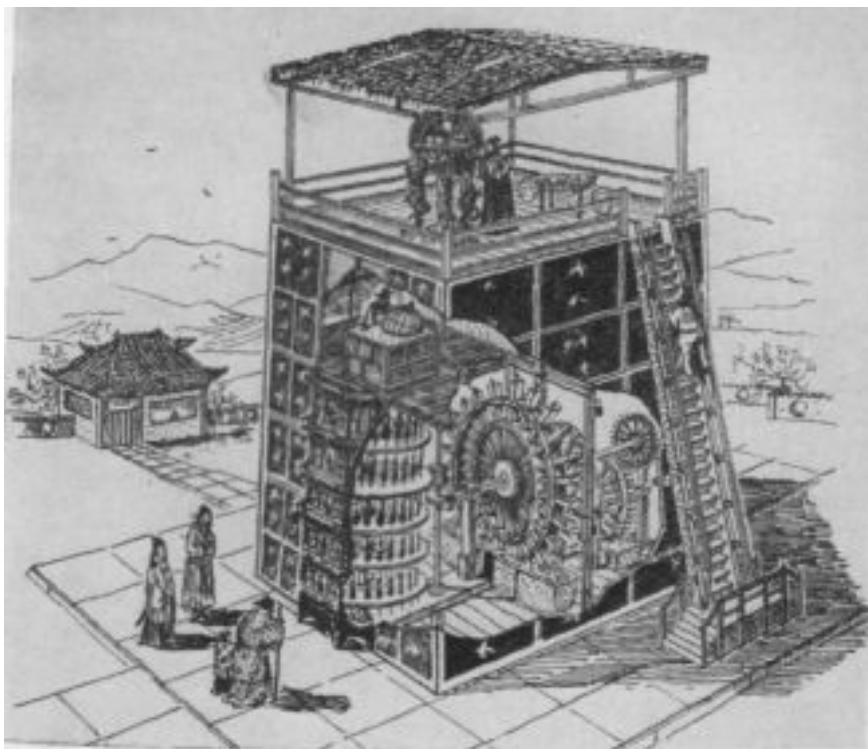


Рис. 50. Китайские астрономические водяные башенные часы, действующие вместе с армиллярной сферой и небесным глобусом

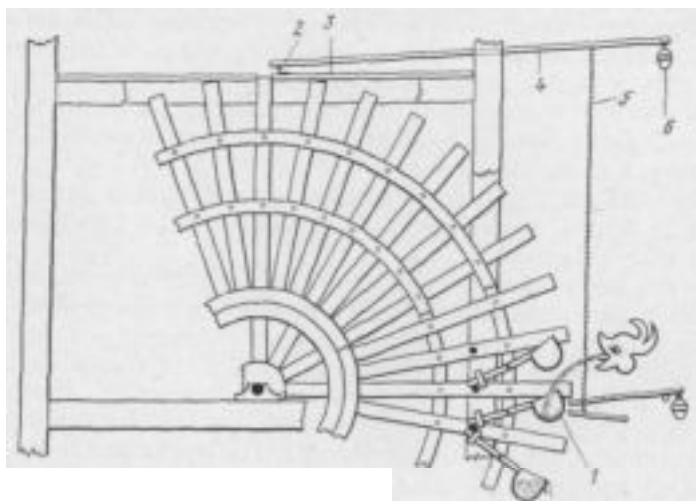


Рис. 51 Спускное устройство (небесный рычаг включения) для регулирования хода водяного колеса

валась вода из резервуара с постоянным уровнем. Полный цикл наполнения ковшей составлял 9 ч; за это время расходовалось около полутонны воды. Движение колеса регулировалось посредством спускового механизма, называвшегося «небесным рычагом включения», или особого спускового устройства весового типа (2—6). Он предотвращал падение ковша до заполнения его водой. После взвешивания каждого наполненного ковша в соответствующем порядке колесо могло сделать движение вперед на один шаг под действием силы веса наполненных ковшей.

Центральное спусковое колесо поворачивается на один шаг после наполнения водой каждого из 36 ковшей, его движение прерывается только на время наполнения ковша. Таким образом, вращение колеса носит равномерно-прерывистый характер, а его ход регулируется спусковым устройством весового типа, состоящим из верхнего рычага с грузом на конце и нижнего рычага типа безмен, которые вместе образуют кинематическую цепь. В этой цепи связь между верхним и нижним рычагами осуществляется через штифт ковша, а переход колеса в новое положение по окончании наполнения и взвешивания ковша регулируется контрольным устройством в форме вилки. На рис. 52 изображены отдельно контрольное устройство, ковш и штифт и последовательное движение ходового колеса в пять этапов.

I. Храповой механизм предотвращает обратный отход колеса. Груз на конце верхнего рычага не может поднять верхний уравновешенный рычаг. Ковш находится в процессе наполнения водой.

II. Ковш наполнен, нижний рычаг-безмен занял наклонное положение, храповой механизм (верхняя блокировка) продвигается над следующим штифтом ковша.

III. Верхний стопор приподнялся, открыв проход и обеспечив проходжение ковшовому штифту; следующий ковш (еще пустой) подошел и встал на место; приводится в действие расцепляющий (trip) рычаг, оттягивая вниз цепь.

IV. Верхний стопор снова зацепляет штифт ковша; нижний рычаг-безмен опускается довольно далеко; расцепляющий рычаг возвращается в прежнее положение.

V. Нижний рычаг-безмен возвращается в горизонтальное положение, и другой ковш начинает наполняться; в это время колесо находится в покое.

Отсчет и показание времени соответствующим механическим прибором и регулирование хода небесного глобуса и армиллярной сферы было кинематически связано с движением водяного колеса при помощи сложного механизма, состоящего из зубчатых колес и трибов, а также кулачков и толкателей. Кинематическая схема взаимодействия отдельных частей этого механического комплекса приведена на рис. 53. На конце водяного колеса имела зубчатка 1, предназначенная для передачи усилия на шестерню 2 вертикального вала (он назывался «небесным столбом») и приведения этого вала во вращение. На валу име-

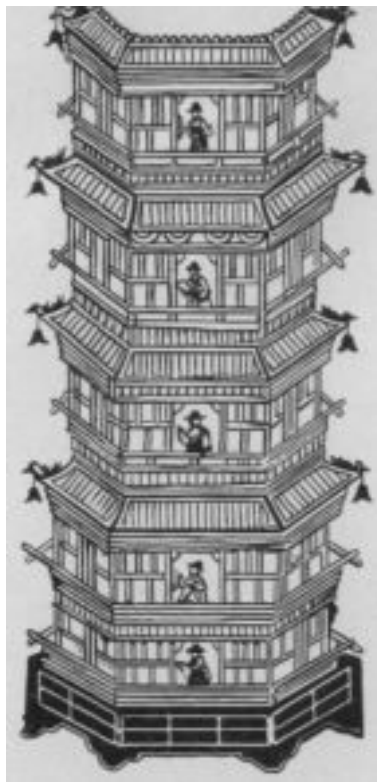


Рис. 54. Механический прибор для отсчета и показа времени с помощью деревянных фигур

рамой» находилось еще другое зубчатое колесо, тоже имевшее 600 зубцов. Остальные шесть колес можно разделить на два вида, каждый из которых выполнял функции измерения времени.

Колеса первого вида были снабжены определенным количеством толкателей. Через каждый час или четверть часа толкатели при помощи рычага или шнуров приводили в действие указатель времени в виде деревянной фигуры. Колеса второго типа имели определенное количество «хранителей времени» в виде деревянных фигур с дощечкой с обозначением соответствующего часа и четверти часа согласно китайскому счету времени. В определенный момент времени эти фигуры появлялись в одном из этажей пагоды и указывали время.

На первом этаже пагоды три дверцы. Из левой по истечении каждых двух часов появлялась фигура в красном одеянии и звонила в колокол; вторая фигура, одетая в зеленое, появлялась из средней дверцы через каждые четверть часа и ударяла в

лось еще два зубчатых колеса 3, 5. Одно из них — «среднее колесо» 3 с 600 зубцами, другое — «верхнее колесо» 5 приводило в движение армиллярную сферу 7; 4, 8, 9, 10 — зубчатая передача для вращения небесного глобуса 6.

Армиллярная сфера могла создавать полную иллюзию звездного неба в течение каждой единицы времени: восход, движение и заход светил. Показание этого прибора, как и небесного глобуса, совпадало с реальным движением небесных светил.

Внешний вид механического прибора отсчета показан на рис. 54. В середине башни проходил вертикальный вал, верхний конец которого удерживался горизонтальной рамой («небесной рамой»), а нижний конец был установлен в подпятнике; на валу было смонтировано восемь колес. Имелось «небесное колесо» с 600 зубцами, либо входившими непосредственно в зацепление с зубьями экватора глобуса, либо приводившими в движение небесный глобус посредством конической шестерни. Под «небесной

бубен. Третья фигура в фиолетовом показывалась в правой дверце и била в колокол через каждые полчаса.

На втором этаже пагоды фигура показывалась в дверцах каждый час, а на третьем — через каждые четверть часа. На четвертом и пятом этажах были размещены еще две фигуры, которые показывали время восхода и захода Солнца, время года и соотношение дневных и ночных часов для данного сезона года.

Таким образом, механизм указывал больше моментов времени, чем даже современные часы.

Если принять во внимание наличие в астрономических ба-шенных часах Су Суна только устройства, предназначенного для выполнения функции измерения времени, то и тогда эти часы можно было бы считать сложной конструкцией. Весьма замечателен в их устройстве спусковой механизм, регулирующий ход водяного колеса; он является одним из недостающих звеньев в развитии часов при переходе от водяных часов к механическим, получившим развитие в Западной Европе в XIV—XV вв. [145].

В средневековом Китае создавались также часы, независимые от астрономического прибора. В 1279 г. Го Шоуцзин построил так называемую ламповую клепсидру, которая была потом помещена во дворец Дамин. «На приборе было установлено двенадцать фигур. Каждая фигура появлялась в соответствующий момент в одной из четырех дверей, неся деревянную дощечку с обозначением сдвоенного часа. У дверей стояла другая фигура и указывала пальцем на цифру, соответствующую четверти двойного часа. В четырех нижних углах находились четыре фигуры, которые держали колокол, барабан, гонг и цимбалы. В первую четверть бил колокол, во вторую — барабан, в третью—гонг, в четвертую звучали цимбалы» [70, 115].

Простейшие приспособления автоматически показывали состояние прибора во время работы, а фигуры животных также автоматически двигались, указывая таким образом время.

Император Шунь-ди, правивший с 1333 по 1368 г., имел в своем дворце большой шкаф, над которым помещалась ниша, носившая название ниши «трех мудрецов». В средней части шкафа находилась фигура молодой девушки, держащей иглу, предназначенную для указания часа дня и ночи, а также «ке». Когда игла попадала на соответствующий час, вырывался столб воды. По обеим сторонам прибора находились два ангела; один из них держал в руке колокольчик, а другой — медную чашу. Когда наступала ночь, фигуры отбивали ночные часы сообразно времени, указываемому иглой. По обеим сторонам прибора несколько статуэток, изображавших львов и орлов, приходили в движение; на восточной и западной сторонах шкафа был виден путь Солнца и Луны в зодиаке.

Существовали в Китае и часы с песочным двигателем. В отличие от песочных часов, применявшихся на Западе, китайские часы представляли собой сложное механическое устройство, основанное на использовании зубчатой передачи, и, следовательно,

могли показывать время непрерывно и автоматически. Часы с песочным двигателем были созданы на принципе действия водяных часов («капельницы») с той, однако, разницей, что вместо воды, замерзавшей на морозе, для приведения в действие зубчатой передачи было использовано истечение песка. Часы такого устройства (рис. 55) под названием «пятиколесная песочная клепсидра» были созданы Чжан Сиюанем в эпоху династии Мин (около 1360 г.).

Песок поступал через воронку 3. Первое колесо 4, на котором имелось 16 ковшей 5, приводило в движение второе колесо 7 с 33 зубцами, второе — колесо 8 с 36 зубцами. Шестерня, установленная на конце вала колеса 9, приводила в движение центральное колесо 10, вращавшееся горизонтально. Горизонтальный указатель /, смонтированный на верхнем конце вертикального вала центрального колеса 11, проходил через середину циферблата 2. На нем были написаны названия двенадцати китайских двояных часов, которые, в свою очередь, делились на 100 четвертей. По обе стороны циферблата находились две фигуры в желтых одеждах, причем одна из них была в барабан, а другая — в гонг.

Видимо, движение первого колеса управлялось «небесным рычагом включения», который нам известен по астрономическим башенным часам Су Суна.

В позднейшей конструкции песочной клепсидры вместо пяти колес было применено шесть, каждая с 36 зубцами, а отверстие для истечения песка было несколько увеличено, чтобы обеспечить более свободное его истечение.

Наиболее часто в исторической литературе упоминаются независимые от комплекса астрономических приборов общественные водяные часы Китая, сохранившиеся до наших дней в Кантоне (рис. 56). Они состоят из четырех латунных сосудов диаметром 33, 23, 22, 21 дюймов, расположенных один над другим. На дне каждого из трех сосудов проделаны отверстия так, чтобы вода, наполнявшая верхний сосуд, перетекала через всю систему в нижний. Положение поплавка в нижнем сосуде служило показателем времени.

Бронзовый человек держал стержень, крепившийся на прилавке, свободно скользящем у него в руках вверх—вниз по мере изменения уровня воды в нижнем водосборном сосуде. Отметки на стержне, этом своеобразном циферблате, обозначали китайские часы «ке» — 6 дневных и 6 ночных. При начале каждого нового «ке» сторож вывешивал щиток с названием наступающего часа; число истекших часов днем показывалось ударами колокола, а ночью — гонга. Эти водяные часы были весьма совершенны.

В то время как солнечные, водяные и песочные часы употреблялись астрономами главным образом для определения дневных часов, огневые часы использовались для измерения ночного времени. Огонь как средство измерения времени особенно широко применялся в Китае.

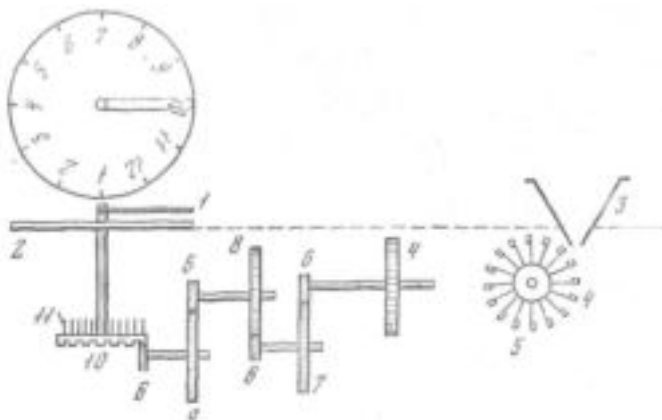


Рис. 55. Схема устройства часового механизма с песочным двигателем Чжан Сиюаня



Рис. 56. Водяные часы в Кантоне, сохранившиеся до наших дней

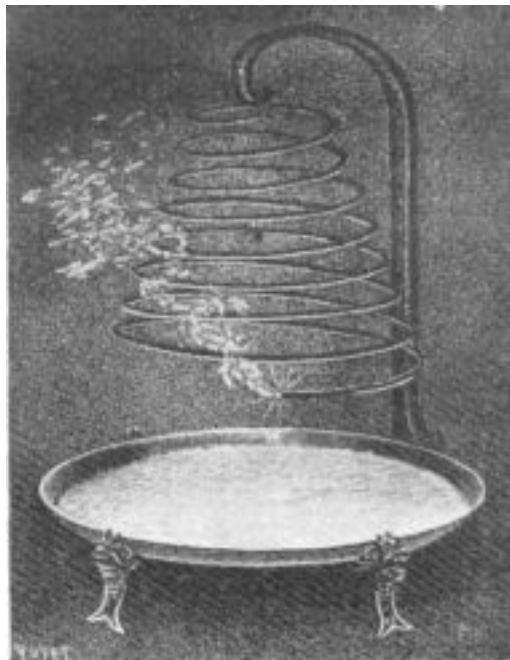
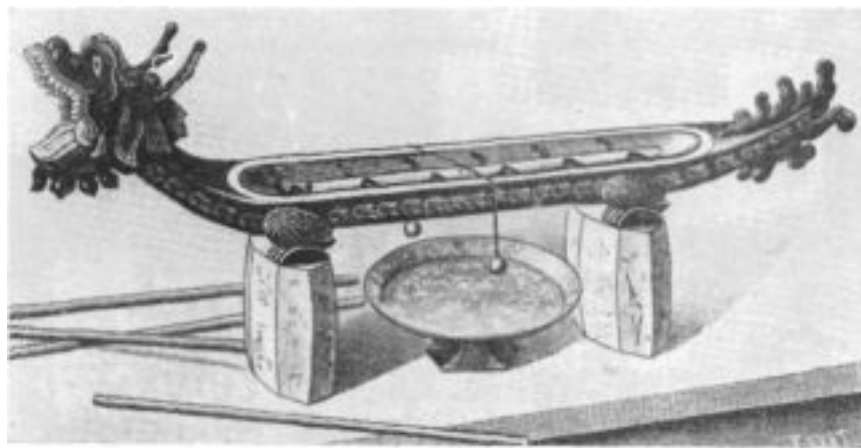


Рис. 57. Китайские огневые часы

Рис. 58. Китайские огневые часы-будильник



Из специального дерева путем его растирания и толчения изготовлялось нечто вроде теста, из которого затем делали палочки и шнуры различных форм. Для знатных особ палочки изготовлялись из редких сортов дерева. В этом случае они не превышали длины среднего пальца, а когда делались из более простых сортов, достигали 2—3 м, а толщиной были с гусиное перо. Их жгли перед храмами (пагодами) и пользовались для перенесения огня из одного места в другое. Часто эти палочки верти-

кально вставлялись в металлические вазы, наполненные золой: это позволяло следить за их сгоранием. Поскольку при сгорании (а точнее, тлении) палочки не давали света, они служили только для определения времени внутри помещения, наполняя при этом его благоуханием.

Когда палочки или шнурки имели значительную длину, их свертывали в кольца, образуя таким образом спиральную и коническую фигуру, расширяющуюся с каждым оборотом и достигающую иногда двух-трех пядей в диаметре (рис. 57), подвешивали над особым сосудом и зажигали с нижнего конца. Отметки, сделанные на палочках или на спирали, служили указанием пяти частей ночи.

Такой способ измерения времени был достаточно точен. Одновременно эти спирали и палочки могли служить будильником. Когда хозяин хотел проснуться ночью в определенный час, он подвешивал маленькую металлическую гирьку точно в то место спирали или палочки, куда огонь должен подойти в указанный час. В нужный момент нитка сгорала — гирька с шумом падала в медную чашку (рис. 58).

Гномоника, солнечные, водяные, песочные и огневые часы в классическое и позднее средневековье Западной Европы

Развитие гномоники, установки гномонов и стационарных солнечных часов. Герберт (папа Сильверст II) в X в. одним из первых в Западной Европе стал проявлять интерес к гномонике. Он был основательно знаком с трудами Боэция по астрономии и геометрии, где имелись описания солнечных и водяных часов. Он, кроме того, познакомил современников с устройством и применением астролябии и написал трактат по геометрии, в котором давал правила для устройства солнечных часов. Значение трудов Герберта было по достоинству оценено позже, когда в Западной Европе стала развиваться научная мысль.

Арабская наука и культура начали проникать в Западную Европу из Сицилии и Испании. Их распространению особенно способствовал Фридрих II Гогенштауфен (1215—1250). Один из современников называет его «мудрейшим из людей, сведущим в науках, знающим разные науки, опытным мастером во всех механических искусствах». Центром культурной жизни того времени была столица Сицилии Палермо. Распространению арабской науки способствовали также студенты, учившиеся в университетах Кордовы, Толедо, Севильи и Гренады. Когда наука у арабов в начале XIII в. стала испытывать застой, Европа уже была знакома с медициной, математикой и астрономией.

Арабская астрономия и гномоника стали известны Западной Европе в XII в. после перевода на латинский язык астрономи-

ческих таблиц и трактатов арабских ученых [143, 51—54]. «Мамуновские» астрономические таблицы очень рано попали на Запад благодаря переводу на латинский язык трактата Альфергани. В XII в. он был дважды переведен на латинский язык, а в XIII в.—и на все европейские. «Сабиев Зидж» ал-Баттани, трактующий все вопросы астрономии и гномоники, был переведен в 1140 г. Платоном из Тиволи.

Важную роль посредника между Востоком и Западом, кроме этих переводов, сыграли «Толедские таблицы», отредактированные ал-Зеркали в XI в. Они были переведены на латинский язык Герардом Кремонтским в XII в. В Западной Европе этот перевод был распространен более чем в пятидесяти экземплярах. Особенное значение «Толедские таблицы» имели потому, что послужили основой для разработки в XIII в. так называемых «Альфонсовых астрономических таблиц».

Альфонс X Кастильский, подражая примеру арабских властителей, созвал к своему двору мавританских, иудейских и христианских астрономов и с их помощью создал названные астрономические таблицы. В то же время были переведены многочисленные сочинения арабских ученых, которые удалось использовать для создания под руководством того же Альфонса Кастильского книги под названием «*Libros del saber astronomie*». Этот труд имел большое значение для ознакомления Запада с арабской гномоникой; там приведено описание устройства не только астрономических инструментов, но и основных типов солнечных и водяных часов. «Альфонсовы таблицы» стали основой астрономической науки Запада; после этого непосредственное воздействие арабов на развитие астрономии и гномоники Западной Европы прекратилось. Начиная с XIII в. центры развития арабской учености на Иберийском полуострове вошли в орбиту влияния Западной Европы. В 1236 г. пала Кордова, а в 1248 г. — Севилья. В середине XIII в. у арабов в Европе оставалась только Гренада.

Альфонс Кастильский был младшим современником, англичанина Сакробоско (Джон Голливуд, умер в 1256 г.). Последний являлся автором «Трактата о планетном круге», где собраны все геометрические сведения, необходимые для изучения астрономии, Труд Сакробоско долгое время был руководством для преподавания астрономии в университетах.

В XIV в. ввиду враждебного отношения римской церкви к светской науке, прогресс научной мысли стал невозможен без преодоления власти церкви над умами. Со временем это было подготовлено развитием в итальянских городах (Пиза, Флоренция, Венеция и Генуя) хозяйственной жизни на капиталистической основе. Здесь раньше, чем в остальной Европе, появляется богатая городская буржуазия, а вместе с тем стала складываться буржуазная идеология.

Усилению интереса к античной древности и ее науке способствовали греческие ученые, прибывшие в Италию в 1453 г. после падения Константинополя. Они познакомили Европу с многочис-

ленными научными греческими рукописями, в том числе с трудами Архимеда, неизвестными до того европейцам или известными только по переводу с арабских рукописей. Таким образом, через византийцев греческая наука в еще большей мере входит в научный оборот Европы, в том числе — в Германии и Англии.

Знакомство с трудами греческих ученых как в подлинниках, так и в переводах на латинский язык способствовало возбуждению в Европе интереса к науке, и в частности к гномонике, что было вызвано переходом в конце XIV в. на новый счет времени, основанный на равных ночных и дневных часах. Возникла потребность приспособить устройство солнечных часов к этому счету времени. Развитию гномоники в этом направлении способствовал перевод на латинский язык руководства по гномонике Абуль Хасана. Последний был, как мы помним, пионером в разработке теории и практики создания солнечных часов, ориентированных на измерение равных часов. Работы этого арабского ученого XIII в. были хорошо известны в Западной Европе.

Развитие гномоники в Западной Европе в XV—XVI вв. и в последующее время продолжало находиться в тесной связи с астрономией: центром ее развития в XV в. становится Германия. Она дала первого выдающегося астронома Георга Пурбаха (1423—1462). Он известен как автор сочинения «Теоретика планет» («*Theoricae novial planetarum*»), составившего продолжение сферы Сакробоско. «Теоретика планет» Пурбаха стала применяться в качестве руководства в университетском преподавании вместо долго употреблявшегося руководства Сакробоско. Пурбах начал складывать фундамент новой гномоники и тригонометрии. После его смерти работа была завершена его учеником Региомонтаном (Иоганн Мюллер, 1436—1476). Региомонтан создал гномонику, основанную на использовании выводов тригонометрии, разработкой которой он усиленно занимался.

Изучая труды ал-Баттани, Региомонтан натолкнулся на решение одной задачи, относящейся к вычислению азимута Солнца по его склонению, по высоте полюса, иначе говоря, к вычислению угла по трем сторонам сферического треугольника. Ал-Баттани воспользовался для этого теоремой косинусов, которая внешне у него имела несколько иное выражение, чем теперь.

Теоремой косинусов, как известно, пользовались многие арабские ученые, но они не придавали ей того значения, какого она заслуживала. Только Региомонтан через четыре столетия смог по достоинству оценить эту теорему, которую он назвал «теоремой Альбатегния» (латинизированное ал-Баттани) и в словесном виде придал ей современное выражение:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$$

Региомонтана можно считать основоположником современной тригонометрии. Сочинение его «Пять книг о треугольниках всех видов» («*De Iruangulis oranirnodis libri quinque*»), напеча-

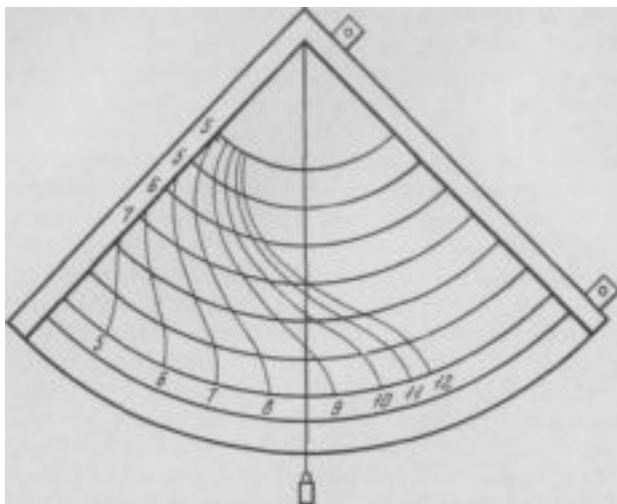


Рис. 59. Солнечные часы типа квадранта Региомонтана

тайное после смерти автора в 1553 г., является наиболее полным трактатом по плоской и сферической тригонометрии.

Воспользовавшись «теоремой Альбатегния», Региомонтан создал солнечные часы универсального типа («солнечный квадрант», рис. 59). Посредством этого квадранта, пользуясь свойством равенства часовых углов при равных высотах Солнца, определяется высота Солнца, соответствующая тому или иному времени.

Дуги больших кругов, перпендикулярные к эклиптике и делящие на части Зодиак, разделены на часы по изменению высоты Солнца. Порядок размещения этих дуг произволен: так, можно дугу Козерога наложить на дугу Рака, но у всех у них один и тот же центр. Дуги имеют неравную длину для зимы и лета, поскольку суточные параллели с удалением от экватора все более и более наклоняются к горизонту, вследствие чего нарушается равенство дней и ночей. Если через все точки различных дуг, соответствующих одному и тому же часу, провести кривую (часовую линию), то она своей формой будет напоминать латинское S [27, 333].

Региомонтан совместно с Беренгардом Вальтером организовал в Нюрнберге изготовление астрономических инструментов, в том числе солнечных часов. Благодаря их усилиям изготовление солнечных часов превратилось в специальную отрасль промышленности Нюрнберга. Это один из ранних примеров плодотворного сочетания промышленной практики с достижениями науки, в данном случае — с достижениями гномоники.

По справедливому мнению П. Таннери, «важное значение трудов Пурбаха и Региомонтана заставляет квалифицировать

их как действительно гениальных ученых, достойных предшественников Тихо Браге и Кеплера» [93, 23].

Под влиянием Региомонтана развил свою деятельность по конструированию и созданию астрономических приборов и солнечных часов и чешский ученый Мартин Былица. Он родился в 1434 г., а в 1459 г. стал магистром. В 1463 г. в Падуе он познакомился с Региомонтаном. Региомонтан и Былица были в числе первых ученых, приглашенных в университет.

Былица был менее эрудированный ученый, чем Региомонтан, но он сумел разработать и осуществить многие из научных идей Региомонтана. Последний в 1471 г. был вынужден уехать из Братиславы обратно в Нюрнберг.

Былица вместе с механиком Иоганном Дорном, доминиканским монахом из Вены, изготовил таркветум, квадрант, астролябию, «жезл Якоби», а кроме того, — свыше пятидесяти солнечных кольцевых часов. Позднее, уже без помощи Дорна, он изготовил большую астролябию, большой латунный глобус и несколько настенных (вертикальных) солнечных часов [168, 10].

После смерти Региомонтана в Нюрнберге работала целая плеяда ученых, и в первой половине XVI в. немецкие ученые стали занимать первое место среди астрономов и гномоников.

Скальтетус (Бартоломей Шульц) в предисловии к своей работе «*Gnomonika de Solaris*» (1572) дает очерк истории гномоники. Здесь отмечается, что работы по гномонике Региомонтана были продолжены профессором Венского университета Иоганном Стабиусом (из Баварии). По свидетельству историка математики Монтюкла, Стабиус явился «одним из первых творцов новой гномоники» вместе с Андреем Стибориусом — другим профессором того же университета. С конца XV в. Венский университет достиг значительных успехов в преподавании математических наук и поддерживал живой контакт с нюрнбергским ученым Иоганном Вернером. Иоганн Стабиус (умер в 1522 г.) — автор звездной карты, исполненной Дюрером. Он также составил руководство по изготовлению сферических, вогнутых, колоколообразных, пирамидальных, кольцевых и других форм солнечных часов.

Работы Стабиуса, Стибориуса и Вернера по гномонике не появились в печати. Под непосредственным влиянием этих венских и нюрнбергских ученых создавались труды по гномонике швейцарца Себастиана Мюнстера (1489—1522) — гебраиста и космографа, Петра Апиана — математика Карла V и профессора в Инголыптате, Геммы Фрезиуса, Георга Горт Мана, Андрея Шонера из Нюрнберга и т. д. В их работах имеются ссылки на работу Стабиуса «*De solares horologis orontius (Oronce fine)*».

Петр Апиан в своей «Книге инструментов» (Ингольштат, 1533) приводит описание универсального квадранта, но с другим расположением Зодиака, чем у Региомонтана. Андрей Шон'ер в 1562 г. в Нюрнберге издает трактат «Солнечные часы», где также содержится описание универсального квадранта, но способ

конструирования, предлагаемый им, мало удобен. Все эти квадраты имели равные часовые линии.

«Благодаря этим и другим ученым наука гномоники,— пишет Скальтетус,— в течение века была доведена до большого совершенства».

Альбрехт Дюрер (1471—1528), отдавая дань времени, тоже уделял внимание гномонике, о чем свидетельствует третья книга его сочинения по геометрии. Там автор говорит о линиях, которые могут быть проведены на поверхностях некоторых тел — • колонн, пирамид, и о построении солнечных часов. На гравюре «Меланхолия» Дюрер изобразил солнечные, песочные часы и колокол («металла звон»), возвещающий о конце дня. В этой гравюре нашло выражение сильное, но мрачное и причудливое воображение художника.

В XVI в. можно отметить плодотворное влияние друг на друга итальянских и немецких ученых-гномоников. Наука и искусство Германии первой половины XVI в. стимул к развитию получили из Италии. «Комментарии» Барбаро к IX главе «Архитектуры» Витрувия — любопытный образец обратного влияния немецкой гномоники на итальянскую. Барбаро взял немало у Альбрехта Дюрера, у нюрнбергского математика Вернера, а также из труда по гномонике Себастьяна Мюнстера, впервые напечатанного в 1531 г. Первое издание «Комментариев» Барбаро появилось в 1576 г.

Особый интерес представляет способ конструирования солнечных часов, найденный Ригодом и известный под названием «Аналемма». Солнечные часы, основанные на этом принципе, являются по существу азимутальными. Так как азимут Солнца различен в различные дни года для одного и того же часа, то нельзя употреблять теневую линию в качестве указателя часов. Но это становится возможным, если гномон изо дня в день переставлять, пользуясь уравнением

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin \tau}{\sin \varphi \cos \tau - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta},$$

где A — азимут, определяемый по данному уравнению из астрономического треугольника; τ — угол между меридианом и направлением тени. —

Это уравнение применительно к азимутальным часам выводится так, чтобы часовые пункты были распределены на одном эллипсе и гномон передвигался по малой оси, лежащей на полуденной линии.

Теория устройства и применения этих часов была дана Вальзардом в его «Трактате о производстве, внешнем виде, конструкции и применении аналемматических солнечных часов» (Париж, 1644). Менее детально теорию этих часов дает Самуил Фостер в трактате «Эллиптическая и азимутальная хорологиография» (Лондон, 1654).

Азимутальные часы соединяют с горизонтальными полярными часами; эти двоянные часы можно устанавливать по полуденной линии без помощи магнитной стрелки и вообще без знания местного меридиана. Зависимость изменения часового угла от изменения азимута Солнца для каждого отдельного часа определяется дифференциальным отношением dt/dA ; только при $t = 0$ они становятся равными друг другу.

Наилучшей разновидностью азимутальных часов являются магнитные солнечные часы. Их устанавливают на горизонтальном основании так, чтобы тень гномона падала на полуденную линию часов, с которой совмещалась магнитная стрелка и показывала правильное время, так как гномон, дающий тень, передвигался по оси, лежащей на полуденной линии [121, 131—134].

С XVI в. в Западной Европе начинается увлечение гномоникой и установкой солнечных часов в зданиях общественного значения, в кафедральных соборах и т. д. От этого периода сохранилось несколько солнечных часов (в церквях, на общественных зданиях, в музеях).

До сих пор показывают относящиеся к этому периоду солнечные часы с двухсторонним циферблатом в церквях Нормандии, на которых часы обозначены арабскими цифрами. Испанский живописец XVI в. Мартин Галлиндер с увлечением занимался гномоникой. Он создал солнечные часы для картезианского монастыря. Он был монахом этого монастыря (умер в 1627 г.). Известный часовщик XVI столетия Турриани сделал и установил солнечные часы в личном парке Карла V в монастыре св. Юста, куда в конце бурной жизни император удалился вместе со своим часовщиком.

В Шотландии (вскоре после 1500 г.) солнечные часы были установлены во вновь созданном королевском колледже; к 1505 г. относятся данные об установке солнечных часов в самой Англии. Развитию в Англии интереса к гномонике и к созданию солнечных часов способствовали появившиеся здесь немецкие математики, прежде всего Николай Кратшер из Баварии, которого в Англии называли «изобретателем королевских часов». Его деятельность в Англии началась в 1517 г. в царствование Генриха VIII. Рукописная работа Кратшера («De Horologius») сохранилась до нашего времени в одной из библиотек Англии. В ней указывается, что существует несколько направлений в искусстве создания солнечных часов и делается ссылка на старинную книгу, находящуюся в картезианском монастыре, откуда сам автор почерпнул немало знаний по гномонике.

Первая печатная книга по гномонике была опубликована в Лондоне в 1593 г. под названием: «Горолографика, искусство черчения и как обучаться совершенному способу изготовления циферблатов [часов] на любой плоскости... как на них наносить 12 знаков, изображающих неравные часы...».

В течение XVI столетия и позже в Англии стали также изготавливать солнечные часы, которые уже не только прикреплялись

к зданиям или строениям, а могли устанавливаться отдельно. Их конструкция была весьма разнообразна, часто она отражала возврат к ранним античным типам часов. В камнях выдалбливали полости и наносили часовые линии, на которые и падала тень от гномона. Циферблаты с полостями, высеченными в камне, стали так варьировать по форме, что в результате появились циферблаты, неизвестные древней гномонике: полусферические, в форме сердца, цилиндрические, прямоугольные, с косым наклоном, которые образовывались в камнях, имеющих горизонтальные, вертикальные плоскости и т. д., что разнообразило формы солнечных часов. Создавая комбинации полостей, высеченных в камнях, с различными плоскостями, стремились так усовершенствовать солнечные часы, чтобы они были не только хорошим инструментом для измерения времени, но и предметом украшения. Кроме того, они вызывали широкий интерес к изучению гномоники. Устанавливая их во дворцах, садах, на площадях и скверах, стремились вписывать их в местную архитектуру. Появление этих монументальных солнечных часов было обусловлено культурой Ренессанса.

На рис. 60 можно видеть солнечные часы, созданные Николаем Кратшером для университетского парка в Оксфорде, вероятно между 1520—1530 гг.

В эпоху Возрождения и позже вошло в обычай устанавливать на стенах кафедральных соборов и других публичных зданий вертикальные солнечные часы с наклонным центральным стержнем (гномоном). В 1582 г. они были установлены в портале Шартрского кафедрального собора (Франция). Циферблат этих часов начерчен на полукруглой каменной плите, удерживаемой ангелом, полным величия и достоинства византийских фигур (рис. 61).

Не менее величественна фигура юноши, держащего полукруглую каменную плиту с начерченным на ней циферблатом вертикальных солнечных часов, которые находятся в портале Страсбургского собора (рис. 62).

Циферблаты солнечных часов полукруглой формы с часовыми линиями, расходящимися в виде лучей от центрального гномона, весьма типичны для средних веков; надо полагать, что эта традиция идет из Византии. Весьма интересным свидетельством влияния Византии на устройство солнечных часов являются часы с циферблатом полукруглой формы, установленные в 1607 г. на церковном дворе Бьюкастле в Кумберланде, недалеко от шотландской границы. Этот циферблат напоминает описанные нами орхаменские и геркуланумские циферблаты. На рис. 63 можно видеть эту величественную колонну 4,42 м высотой, над которой раньше возвышался крест высотой 76,2 см. Стороны колонн покрыты скульптурными изображениями и орнаментом, изобличающими их родство с византийским искусством [128, 50—51].

С начала XVI в. и позднее солнечные часы, устанавливаемые на общественных зданиях, **на кафедральных соборах, были уже**

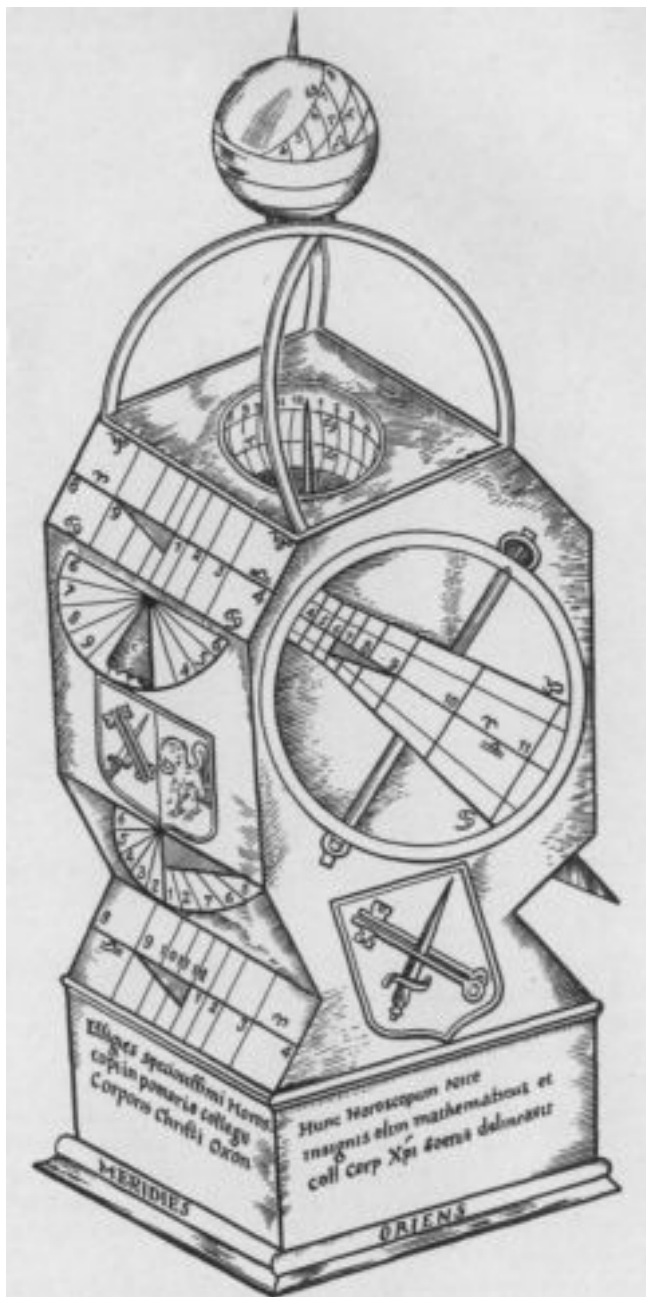


*Рис. 60. Солнечные часы, устроенные Кратшерот
в одном из парков Лондона*

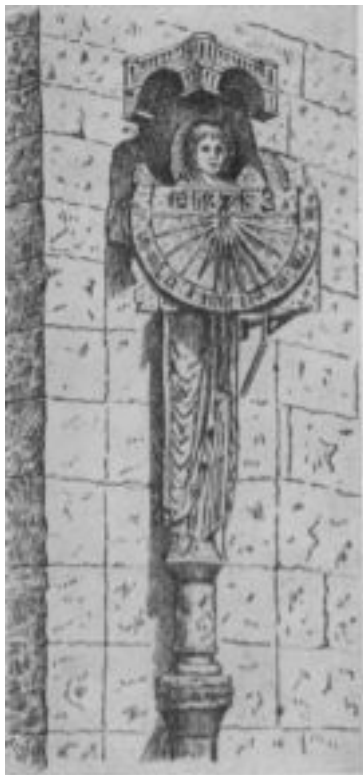


Рис. 61. Солнечные часы на кафедральном соборе в Шартре



Рис. 62. Солнечные часы, между двумя колоннами в Страсбургском соборе

приспособлены к учету равных часов при помощи гномона, поставленного параллельно земной оси. Одни из таких часов, установленные на стене общественного здания и относящиеся к 1695 г., показаны на рис. 64.

Солнечные часы были распространены не только в Западной Европе, но и в России; их устанавливали на домах, в монастырских дворах, на дорогах. Так, например, сохранились солнечные часы в Москве на здании Историко-архивного института (улица 25 Октября), во дворе бывшего Новодевичьего монастыря, в музее-усадьбе Коломенском, в пригородах Ленинграда, на старой дороге из Ленинграда в Москву и т. д.

В XVI—XVIII столетиях и позже в Италии и в других странах Западной Европы занимались устройством в кафедральных соборах гномона для показания полуденной линии. В соборе одного монастыря такой гномон был установлен даже в 1829 г. Описание его сохранилось.



*Рис. 63. Колонна солнечных часов на церковном дворе
Бьюкастле*



Рис. 64. Образец вертикальных солнечных часов XVII в. (Франция)

В верхней части одного из незастекленных окон монастыря, примерно в 2—3 м над полом, был установлен кусок камня, в котором имелось круглое отверстие диаметром приблизительно в 2,5 см с тонкими краями. Когда наступал полдень, свет Солнца проникал через это отверстие и оставлял за собой яркое круглое пятно либо на полу (в середине лета), либо на противоположной стене, когда Солнце низко (во время зимнего солнцестояния). Наблюдая время первого соприкосновения круглого пятна света с меридианной линией, а также время последнего касания и взяв среднее, можно определить время полудня с точностью до одной секунды.

Самый большой гномон, который можно видеть и теперь, был установлен на куполе Флорентийского собора в 1467 г. Павлом Тосканским. Отверстие было сделано на высоте 90 м над основанием собора. В 1502 г. был установлен гномон на южной стене церкви св. Лаврентия в Нюрнберге Иоганном Стабиусом, причем помогал советами Иоганн Вернер, с которым Стабиус поддерживал дружескую и научную переписку. 19-метровый гномон устроил в 1636 г. Гассенди в марсельской церкви. Игнатий Данти сделал гномон высотой 25 м в Болонье в церкви св. Петрония. В 1653 г. эта церковь была перестроена Джиованни Франческо Кассини. Бианчини построил в домовый церкви в Риме два прекрасных гномона в 21 и 25 м. Сулли и Лемонье в Париже устроили гномон в 26 м в церкви св. Сульпиция. В 1786 г. астрономами Цезарем и Рожжио гномон был установлен в соборе Милана.

В старинных обсерваториях гномоны еще встречаются, но в новое время ими уже не стали пользоваться, поскольку они не обеспечивают той точности определения времени полудня, какая достигается при помощи других инструментов.

Портативные (переносные) солнечные часы. Нет сомнения, что стационарные, неподвижно установленные солнечные часы были созданы на несколько веков раньше, чем портативные, пригодные для переноски. Создание последнего типа часов представляло большие технические трудности, чем создание простых солнечных часов; их маленький размер требовал определенной аккуратности в разметке и в выполнении самой конструкции, а портативность приводила к проблемам, которые не возникали со стационарными часами, твердо закрепленными по отношению к меридиану и к горизонтальной плоскости.

Самыми ранними типами портативных солнечных часов являются «высотные», т. е. такие часы, которые определяли время не по направлению тени, а по ее длине, или, что то же самое, по изменению высот Солнца. В этом случае не требовалось определять направление меридиана, а стало быть, и ориентировки прибора до его применения. Портативные солнечные часы, ориентированные на определение времени не по длине тени, а по изменению направления тени, получили распространение в Западной Европе только после того, как она перешла на исчисление времени по равноденственным часам и вошел во всеобщее употребление компас.

Наиболее ранние известные нам часы с компасом относятся к 1451 г.; они хранятся в музее Фердинанда в Инсбруке (рис.65). Они интересны особенно тем, что являются первыми из дошедших до нас часами, в которых гномон поставлен параллельно земной оси, хотя есть сведения, что такие же часы изготовлялись уже и в более ранние времена арабами и египтянами. При этой конструкции часовой циферблат пригоден для определения равновеликих часов во все времена года. Большинство позднейших солнечных часов с компасом имели гномон, установленный таким образом, чтобы они были либо «универсальными», т. е. ре-



Рис. 65. Солнечные часы с компасом из музея в Инсбруке

гулируемыми для отсчетов в любой широте, либо обладали регулировочным механизмом для использования в разных местах одной и той же страны.

Приблизительно с 1500 г. в Европе пробудился интерес к созданию солнечных часов, которые могли бы показывать равные по длительности часы. В тот период механические часы (настольные и карманные) стоили еще дорого и не могли получить широкого применения. Поэтому из всех приборов для измерения времени солнечные часы были наиболее доступны. Много изобретательности было проявлено в изготовлении переносных солнечных часов, т. е. таких, которые человек мог легко сложить и перенести. Сравнительно сложные устройства включали шестеренки, при помощи которых время могло быть отсчитано на отдельных циферблатах в часах и в минутах. Понятие о том, насколько были разнообразны формы переносных солнечных часов, можно получить, ознакомившись с разнообразными и многочисленными музейными коллекциями, но даже музеи не включают всего разнообразия типов солнечных часов, бытовавших в Западной Европе.

В течение XVII—XVIII вв. солнечные часы продолжали еще применяться, но, поскольку механические карманные и домашние часы стали более многочисленными и удешевились, применение солнечных часов начало понемногу падать, и к настоящему времени они почти вышли из употребления.

Солнечные часы показывали истинное солнечное время; для того чтобы получить среднее солнечное время из этих показаний, следует провести «уравнение» времени. До появления часов с маятником такое «уравнение» представляло чисто академический интерес, так как механические часы того времени не были достаточно точны, чтобы делать различие между истинным и средним солнечным временем. Между 1665 и 1670 гг., однако, Фламстедом была разработана таблица для «уравнения» времени, которой потом, особенно в XVIII в., стали широко пользоваться для перевода истинного солнечного в среднее солнечное и обратно. Многие солнечные и механические часы снабжались подобными таблицами. Были также созданы солнечные часы для определения среднего солнечного времени. Так, солнечные часы профессора Кука, усовершенствованные в 1925 г., при правильной установке показывают среднее солнечное время при помощи двух стрелок, перемещающихся по обычному часовому циферблату.

Точность солнечных часов ограничена тем, что тень не бывает резко очерчена. Соответственно этому на стационарных или переносных солнечных часах с компасом, правильно ориентированных, время может быть отсчитано с точностью приблизительно в 1 мин. В переносных «высотных» солнечных часах эта точность достигается только около 6 ч утра и 6 ч вечера; около полудня высота Солнца меняется чрезвычайно медленно, точность будет значительно меньше.

Кроме солнечных часов, годных для определения времени в светлые часы дня, в Европе был известен прибор для определения ночных часов — ноктурнал (nocturnal), изобретенный в 1520 г. и применявшийся в навигационной практике до 1700 г. (рис. 66). Если смотреть на север, то звезды кажутся совершающими за одни звездные сутки полный оборот вокруг Полярной звезды. Любая данная звезда (например, звезда из ручки Большой Медведицы) может считаться часовой стрелкой, показывающей звездное время, как и на циферблате с 24-часовыми делениями.

Во время наблюдения прибор-ноктурнал держат в руке, но так, чтобы центр его находился на прямой, соединяющей глаз *E* с Полярной звездой *P*. Длинная ручка *CA*, имеющая точку опоры в центре *C*, поворачивается вручную до тех пор, пока не установится параллельно с «ручкой» Большой Медведицы. Звездное время отсчитывается по шкале, смонтированной на приборе.

Пользуясь заранее составленной таблицей, шкалу поворачивают до правильного положения, отвечающего данному времени года, месяцу и дню. Звездное время превращается в солнечное и может быть определено с точностью до 15 мин¹. При помощи ноктурнала полдень и полночь с приблизительной точностью

¹ Звезды также могут дать среднее солнечное время на воображаемой средней солнечной шкале, если циферблат медленно вращать в направлении перемещения звезд в течение года.

могут быть зафиксированы. Ширина места находится по результатам определения полудня.

Ноктурналы могли быть по устройству весьма сложными; в навигационной практике ими перестали пользоваться после распространения карманных часов.

«*Высотные*» *портативные солнечные часы*. Портативные солнечные часы, измеряющие время по изменению длины тени, находим уже в древнем мире. Такими часами были солнечные египетские часы (см. рис. 5—7), римские часы, выполненные в виде свиного окорока (см. рис. 32). Известно применение часов такого типа и в Индии. Паломники, приходявшие с далекого севера в священный город Бенарес, несли с собой солнечные часы-посохи (рис. 67).

Тень, отбрасываемая вершиной стерженька (гномона), показывает на размеченных гранях посоха число получасов, прошедших с восхода Солнца и после полудня. Сечение посохов восьмигранное: разметки на четырех гранях служат для определения времени в четырех соответствующих месяцах (индийские месяцы идут с половины нашего месяца до половины следующего); другие четыре грани размечены для остальных восьми месяцев; каждой грани соответствуют два равноудаленных от солнцестояния месяца.

Подобные посохи очень древнего происхождения. Когда паломник хотел узнать, который час, он отвесно подвешивал посох на шнурке, втыкал в него стерженек (гномон) и над часовыми линиями данного месяца по концу его тени отсчитывал время. В остальное время стерженек был спрятан в специально высверленном отверстии.

В Западной Европе «высотные» портативные солнечные часы имели цилиндрическую форму, поскольку их проще было изготовить. До нас дошли экземпляры таких часов, относящиеся к XIII в. Часовые линии проведены по вертикали вдоль цилиндра, а гномон расположен горизонтально над циферблатом. Эти цилиндрические часы назывались также «колоннами», «столбами» или «пастушечьими часами». Они представляли собой небольшие цилиндры из дерева или слоновой кости, заканчивавшиеся фигурной крышкой, на которой был шарнирно укреплен гномон. Когда часами пользовались, гномон поворачивали и устанавливали против деления соответствующего месяца, цилиндр ставили вертикально, кончик гномона должен был быть направлен на Солнце; падая на изогнутые часовые линии, тень показывала время. На рис. 68 даны часы этого вида, употреблявшиеся в XVI—XVII вв. во всех странах Европы. Часами такого же типа, но более простого оформления еще в конце XIX в. пользовались пастухи в Пиринеях.

На принципе устройства цилиндрических часов в 1665 г. были созданы ночные часы из бронзы (рис. 69), обратная сторона которых напоминает «окороковый» циферблат Геркуланума; от древних часов он отличается лишь тем, что гномон шарнирно

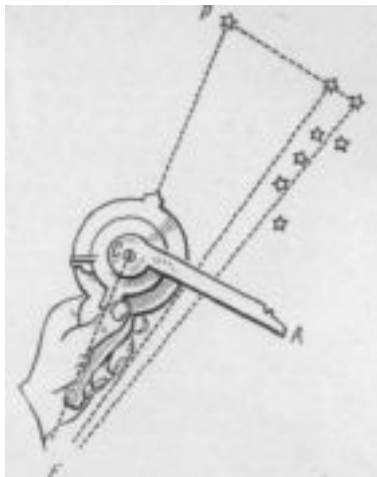


Рис. 66. Ноктдрнал для определения ночных часов

Рис. 67. Солнечные часы-посох для паломников

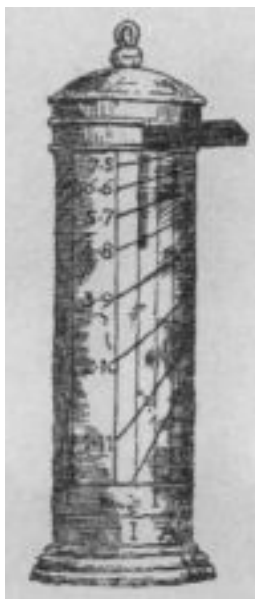
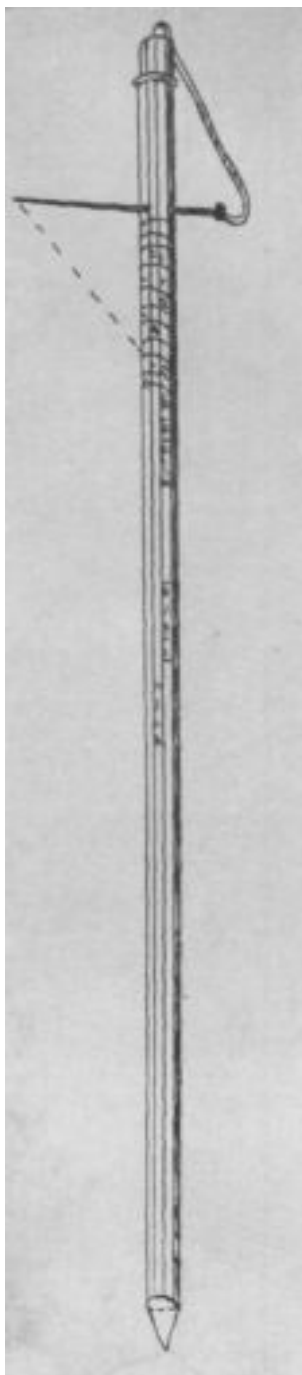


Рис. 68. Портативные цилиндрические солнечные часы

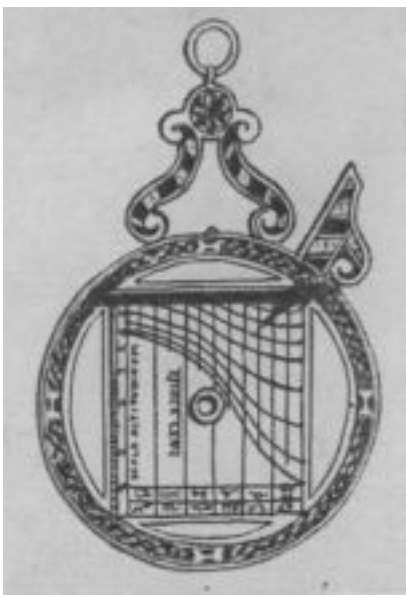


Рис. 69. Обратная сторона немецких ночных солнечных часов

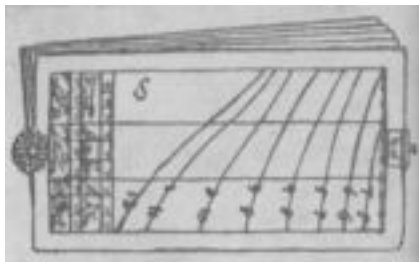


Рис. 70. Немецкие солнечные часы в виде обложки блокнота

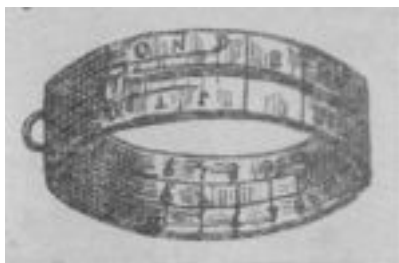


Рис. 71. Английские портативные солнечные часы в форме кольца

укреплен в скользящей детали, что позволяет устанавливать его против нужного месяца. В римских часах эта подгонка выполнялась путем изгибания проволочного гномона.

В XVII в. нередко изготовлялись часы в виде блокнотов (рис. 70). Циферблат был выгравирован на их золоченых бронзовых обложках. При определении времени гномон перемещался до тех пор, пока его кончик не устанавливался над соответствующей вертикальной часовой линией, затем его поворачивали так, чтобы он оказался против Солнца. Время в этом случае узнавалось по положению тени кончика стержня (гномона).

На рис. 71 показаны часы, имеющие форму кольца; небольшое отверстие, сделанное в определенной точке кольца, пропускает лучи Солнца, которые падают на часовую шкалу, нанесенную на внутренней поверхности кольца. Кольцевые солнечные часы широко использовались в Германии в XVII—XVIII вв. В них отверстие просверливалось в отдельной детали, которая передвигалась по канавке вокруг кольца, так что ее можно было установить в месте, нужном для определения времени года. Оно указывалось буквами на внешней стороне кольца. Следующим усовершенствованием было введение «секундного» отверстия и «секундных» делений, при этом одна половина кольца использо-

валась для лета, другая—для зимы. В Британском музее хранятся двое таких часов; они имеют вид обычных колец, которые носят на пальце. Одно — английской работы из бронзы с тремя постоянными отверстиями — изготовлено около 1400 г., другое — немецкой работы из золота — относится приблизительно к XVI в. Такие кольца очень редки, зато кольца диаметром от 3,7 до 6 см встречаются довольно часто.

В Лувре находится дивный портрет мюнхенского уроженца Николая Кратшера, в XVI столетии бывшего профессором астрономии и иных наук в Оксфорде, написанный Гольбейном. Кратшер изображен в черном одеянии, в черной шапочке с разрезным околышем; он сидит, окруженный приборами и чертежами, и держит в руке маленькие, кубической формы солнечные часы.

С XVI в. в Западной Европе стали входить в моду переносного типа солнечные часы. Наибольшее распространение они получают в Англии и Германии. Были часы, которые ставились на стол, были такие, что носились на цепочке.

В XVI—XVII вв. можно было встретить немало солнечных часов портативного типа, представлявших собой драгоценные изделия, изготовленные из слоновой кости, украшенные драгоценными камнями. Мода на такие часы сохранялась до середины XVIII в.

Механические наручные часы тогда были редки из-за их исключительно высокой цены, ненадежности и малой точности хода; их заменяли карманные солнечные часы. Введя их в обиход, человек как бы ухитрился «положить Солнце в свой карман».

Солнечные часы универсального типа были ориентированы на определение времени по направлению тени. Перед их использованием по назначению требовалось устанавливать их в плоскости меридиана. До появления компаса выполнять это требование было делом не легким. Поэтому образцы таких часов встречаются весьма редко. Известны лишь одни римские часы, относящиеся к 250—300 гг. до н. э. (т. е. до появления компаса) (см. рис. 33 и 34).

Солнечные часы, устроенные на этом же принципе, в Западной Европе встречаются довольно часто. Так, известны солнечные часы с пятью шкалами; они опирались на шарнирную ножку, стоящую на удлиненном основании. Их можно было установить в нужное положение, не пользуясь компасом. Они показывали один и тот же час.

На рис. 72 изображены солнечные часы немецкого изготовления, датированные 1713 г. и находящиеся теперь в Британском музее: часовые линии нанесены на окружности и продолжены так, что включают как вечерние, так и утренние часы. Ориентировка часов по отношению к времени года осуществляется путем смещения гномона. Часовой циферблат всегда остается в равноденственном положении, т. е. параллельным экватору. При пользовании циферблатом тень от самой крайней точки гномона всегда должна ложиться на центральную линию часового круга.



Николай Кратшер

Положение гномона должно меняться в соответствии с временем года, перемещением его вверх и вниз по плоской пластинке, на которой он закреплен. Все это делается в соответствии с календарем, выгравированным на пластинке. Чтобы можно было регулировать циферблат для показания вечерних и утренних часов, шкала с часовыми делениями и пластинка, на которой установлен гномон, были на цапфах и могли поворачиваться до другой части циферблата.

Более удобным является устройство для определения утренних и вечерних часов на солнечных часах из Аугсбурга, которое было изготовлено в 1720 г. Часовой циферблат снабжен там дву-



Рис. 72. Немецкие солнечные портативные часы 1713 г.



Рис. 73. Английские универсальные кольцевые солнечные часы 1620 г.

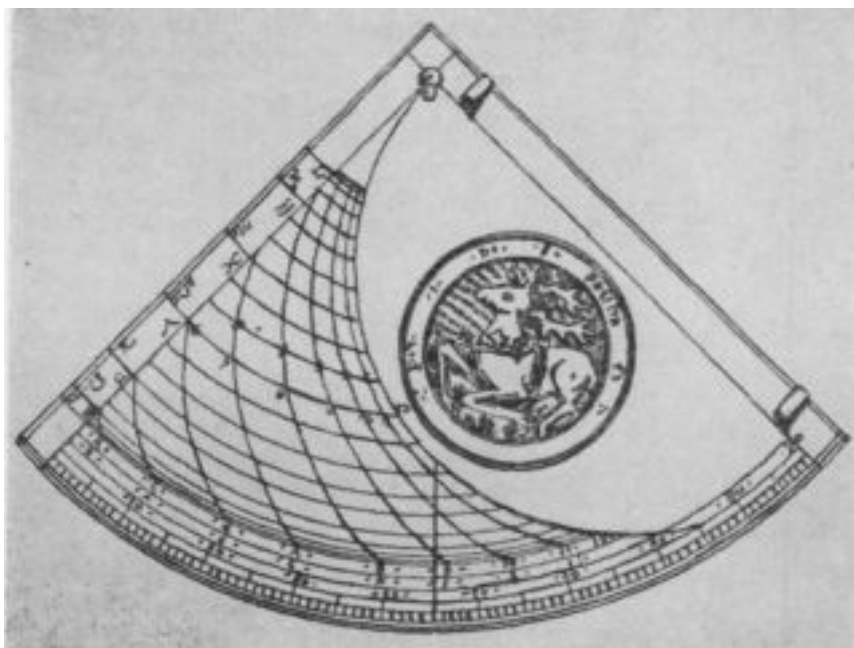


Рис. 74. Квадрант, изготовленный для Рихарда II

мя часовыми окружностями или, скорее, сегментами. Часовые окружности регулируются для определенной широты с помощью небольшого квадранта, находящегося между ними, так что они сами устанавливаются относительно плоскости экватора, а звездочка, выгравированная на подставке градуированного квадранта, указывает направление стран света. Под прямоугольной плитой основания находится вращающийся вечный календарь и список, в котором перечислены 40 городов с указанием их широты.

Описанные выше два вида немецких солнечных часов являются связующим звеном между римскими и современными солнечными часами. В Западной Европе они были менее распространены, чем универсальные кольцевые часы, которые представляли собой разновидность армиллярной сферы, имевшей большое распространение в XVI в.

На рис. 73 показаны солнечные часы, изготовленные в Лондоне около 1620 г. На этом циферблате солнечные лучи, проникая через специальное отверстие, падали на центральную линию часовой окружности и показывали время. Гномон представлял собой небольшое отверстие в скользящей бронзовой пластинке, передвигаемой в соответствии с временем года. Чтобы определить время, предполагали, что внешняя окружность являлась меридиональной окружностью, часовая окружность—экватором, а пластинка с прорезью, по которой скользит гномон,— полюсом. Эти универсальные кольцевые часы иногда снабжали маркшейдеровскими знаками и использовали в качестве нивелира, или уравнивателя, при съемке.

Применялись и другие виды циферблатов, где основные круги сферы спроектированы на плоскость, а не воспроизведены в виде металлических колец или ободов, как в часах, описанных выше. Английский квадрант, показанный на рис. 74,— один из первых образцов этого класса циферблатов. Он сделан из бронзы в 1399 г., сейчас находится в Британском музее. На нем и других циферблатах-квадрантах время показывает шарик, что движется вверх и вниз по отвесу, свисающему из центра квадранта. Шарик приспособляется в соответствии с определенным днем месяца (по календарю, размещенному по краю квадранта) и становится в точке, где имеет место пересечение линии дня с линией двенадцати часов; затем при помощи визира на квадрante измеряется высота Солнца, час показывается положением шарика на часовой линии. Есть много разновидностей этого квадранта, некоторыми из них пользовались до конца прошлого столетия даже в Англии.

Солнечные часы, по форме напоминающие древний корабль с башнями на каждом конце (рис. 75), возможно, изготовлены в Германии в конце XVI в. Время на них отмечается с помощью отвеса. Это часы универсальные, поскольку могут быть приспособлены для определения времени в любых широтах. Ползун на мачте, к которому прикреплен отвес, надо поднимать или опу-

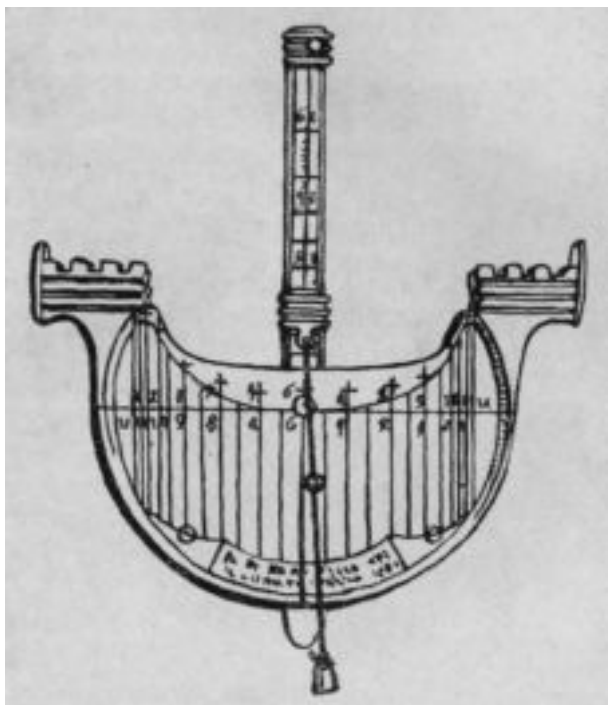


Рис. 75. Немецкие солнечные часы в виде корабля

екать в соответствии с широтой; наклон мачты устанавливается в соответствии с временами года по календарю, находящемуся на днище корабля, шарик соответствующим образом устанавливается на нити. После этого, если высота Солнца измеряется с помощью визира на башнях, шарик должен показывать время, так же как на циферблате. Такой циферблат обычно наносили на плоскую поверхность.

Обнаружено еще несколько разновидностей подобных циферблатов с различным устройством подвеса, визира и часовых линий, очень мало отличающихся от часов, описанных выше. Все детали часов располагались на плоскости и не имели выступающих частей.

Определяя время по часам, для которых высота Солнца над горизонтом была единственной базой отсчета, конечно, необходимо было знать, какой это час — до или после полудня, что создавало затруднения при определении времени в середине дня. Однако появление в XIII в. в Европе морского компаса позволило преодолеть эту трудность.

Солнечные часы с компасом. Значительное удобство в пользование солнечными часами внесло применение компаса. С кон-

ца XIII в. в Англии появляются солнечные компасные часы. Обычно они представляли собой небольшую круглую латунную коробочку с компасом, над которым находился горизонтальный солнечный циферблат. Гномон укреплялся так, чтобы крышка могла закрываться. На рис. 76 показаны часы, относящиеся к XVII в.

Миниатюрные часы такого типа иногда укреплялись на кольце; крышечка скрывала небольшой компас и циферблат с гномоном. Три или четыре образца таких часов имеются в Британском музее.

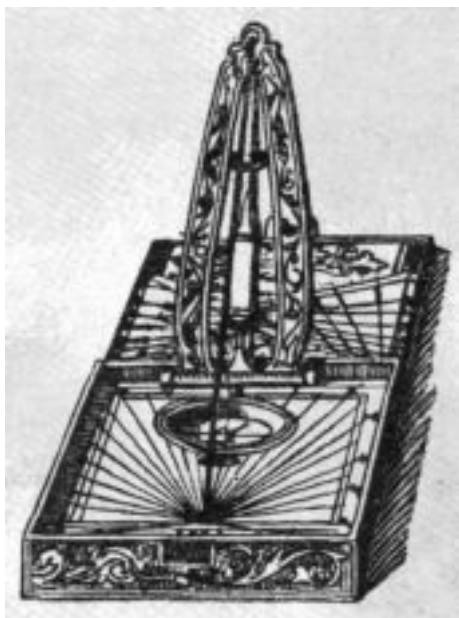
Английский король Карл I, приговоренный к смертной казни в 1649 г., перед тем как идти на плаху, снял с пальца перстень —



Рис. 76. Миниатюрные солнечные часы с компасом, укрепленные на кольце

Рис. 77. Нюрнбергские солнечные часы с компасом

Рис. 78. Створчатые немецкие солнечные часы с компасом



солнечные часы — и попросил передать их герцогу Йоркширскому.-

Большое количество разнообразных циферблатов с компасом изготовлялось в Германии. Один из них, сделанный Гербхартом из Нюрнберга, датирован 1561 г. и сделан из слоновой кости; функцию гномона здесь выполняло сплетение нитей. Этот тип часов использовался во многих странах, но особенно широкое применение он нашел в Германии. Циферблат из слоновой кости, изготовленный Гансом Трошелем около 1640 г. (рис. 77), относится к тому же типу; когда крышка его закрыта, он напоминает книгу размером 8х6,3 см.

Металлический складной циферблат (6,25X5 см), изготовленный, вероятно, Ульрихом Шпайном из Мюнхена, является разновидностью того же циферблата, столь популярного в конце XVI в. (рис. 78). Эти часы индивидуального пользования можно было сделать пригодными, для любой широты при помощи отвеса и градуированного квадранта на одной из сторон. Но большая часть такого типа часов годилась только для одной широты и не имела компаса.

В России в начале XVII в. в навигации применялись солнечные часы с компасом (они были найдены, например, на острове Фаддеевском). Эти часы состоят из корпуса и крышки. При открывании крышки гномон устанавливается в вертикальном положении (рис. 79). Между крышкой и корпусом натягивается нить. По тени, отбрасываемой нитью на сетку внутренней стороны, производится отсчет времени. Компас служил для ориентировки прибора при отсчетах времени, а также для обычной ориентировки по странам света. Нить представляет собой крученный, светлый, очень тонкий волос. Верхняя крышка изготовлена из бивня мамонта. На внутренней поверхности крышки изображен циферблат для отсчета времени по тени, отбрасываемой нитью [62, 54—62].

Во Франции циферблаты выпускались в большом разнообразии, а их качество, по крайней мере в XVIII в., было ниже разве только английских. На смену французским циферблатам из слоновой кости (конец XVII в.) пришли металлические циферблаты, например серебряные, покрытые эмалью. Циферблаты этого типа обычно хранили в футлярах из шагреновой или рыбьей кожи; гномон складывался с пластиной циферблата и помещался в корпусе [126, 185—189].

Красивый серебряный циферблат с компасом (рис. 80), бывший в обиходе в начале прошлого века, является тем типом, который изготовителями современных циферблатов признан наилучшим.

Две формы циферблатов были характерны для Италии: дисковые циферблаты из золоченой бронзы с итальянским отсчетом времени (отсчет вели от захода Солнца). Они изготовлялись в Риме в конце XVI в. Показанные на рис. 81 часы относятся к 1585 г. С каждой стороны диска имеется солнечный циферблат.

Компас укреплен так, что его можно поворачивать и использовать для любого из циферблатов. Некоторые образцы имеют несколько циферблатов для различных широт, нанесенных по обе стороны диска. Гномонами служат маленькие вертикальные булавки; расположение часовых линий значительно отличается от расположения линий на других подобных циферблатах. Циферблаты такого типа изготавливались из бронзы и дерева; до начала нашего века их помещали в плоские круглые коробки.

Еще один вид циферблатов, который также считают итальянским, имеет форму креста (рис. 82). Крест устанавливается под определенным углом соответственно широте в соответствии с делениями, расположенными в нижней части шкалы. Относительно стран света часы устанавливаются с помощью небольшого компаса, находящегося внутри часов. Тень от перекладины креста указывает час. Часы изготовлены в 1596 г. из бронзы и золота.

Водяные часы. В Западную Европу водяные часы проникали медленно. С VI в. (когда упоминаются такие часы, созданные Боэцием для короля Теодориха) до IX в. не сохранилось каких-либо записей или свидетельств об изготовлении их в последующее время. В IX в. упоминается о создании каких-то часов архидьяконом из Вероны Пацификусом. Современные историки считают, что эти часы были водяными и что Пацификус первым стал подражать искусству арабов. Папа Сильвестр II, по-видимому, занимался введением в монастыри водяных часов.

В 1142 г. король Сицилии Роджер II велел построить водяные часы в Палермо с латинской, греческой и арабской надписями. Описание этих часов не сохранилось. Греческие, латинские и арабские надписи не содержат сведений об устройстве часов, а только прославляют короля Роджера II, повелевшего их построить. В конце XII—XIII в. водяные часы проникли уже в большинство итальянских монастырей, появились они и во многих крупных городах Италии, Франции и Англии. На рис. 83 показаны монастырские часы, приводившиеся в действие силой тяжести воды. Они применялись в Западной Европе уже в XIII столетии до появления там механических часов, приводимых в действие грузом (гирей).

Весьма старинными водяными часами, но бывшими в употреблении еще в XVIII в. являлись часы, показанные на рис. 84. В резервуар *D* вливается вода сверху, а из него через нижнее отверстие *B* выливается в бассейн; по мере изменения уровня в нем поднимается поплавков *A* в виде колокола. Один конец шнура связан с этим поплавком, а другой — с противовесом *C*. Таким образом, поплавков через шнур приводит в движение ось со стрелкой. Для того чтобы движение поплавка происходило равномерно, вода не только вливалась в часы, но и выливалась из них через особое отверстие; разностью уровней и обуславливалась скорость подъема поплавка.

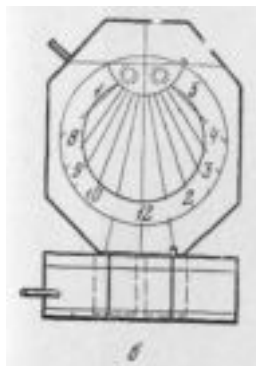


Рис. 79. Солнечные часы, найденные на острове Фаддеевском
 а — корпус с крышкой;
 б — циферблат



Рис. 80. Французские серебряные солнечные часы с компасом

Рис. 81. Итальянские дисковые солнечные часы с компасом

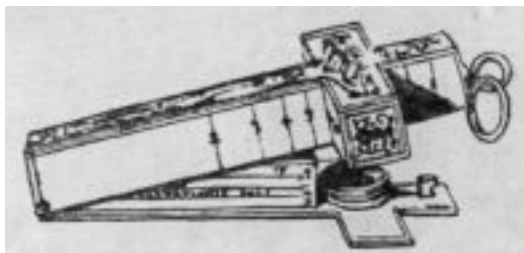


Рис. 82. Итальянские солнечные часы в форме креста с компасом

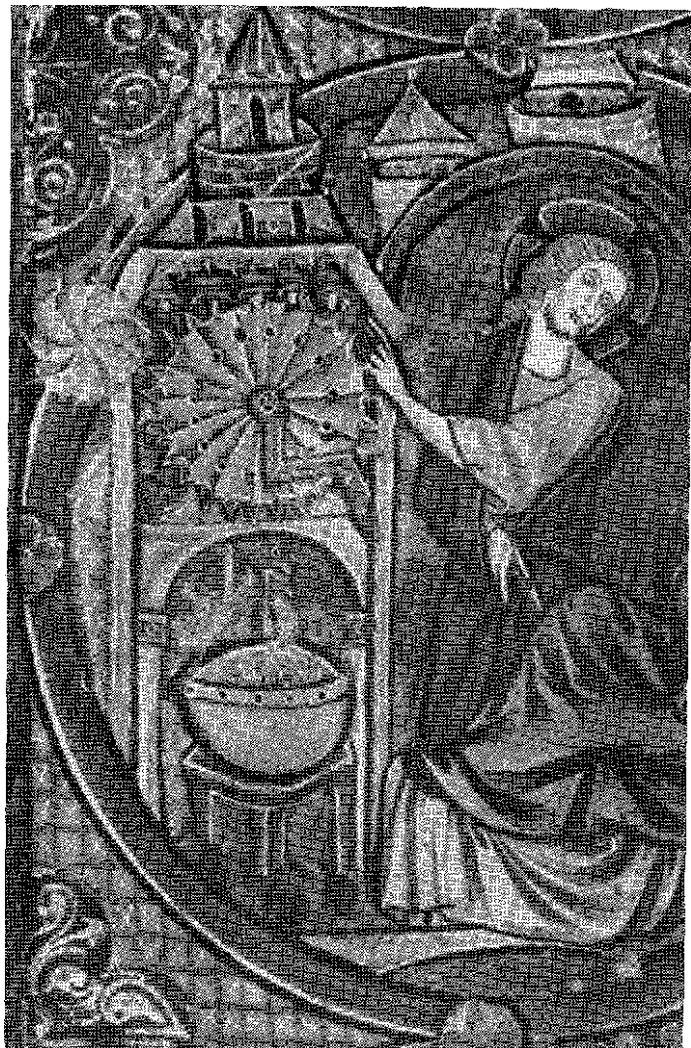


Рис. 83. Монастырские водяные часы XIII столетия

В средние века в Западной Европе имели распространение водяные часы особого устройства, описанные в трактате монаха Александра. Барабан, разделенный стенками на несколько радиальных продольных камер (рис. 85), вращался вокруг оси, на которой с обеих сторон были намотаны тонкие шнуры, свободными концами привязанные к вершине двух столбиков с циферблатами. Столбики и служили циферблатом. За 24 ч барабан опускается до самого низа. Завод часов осуществлялся путем

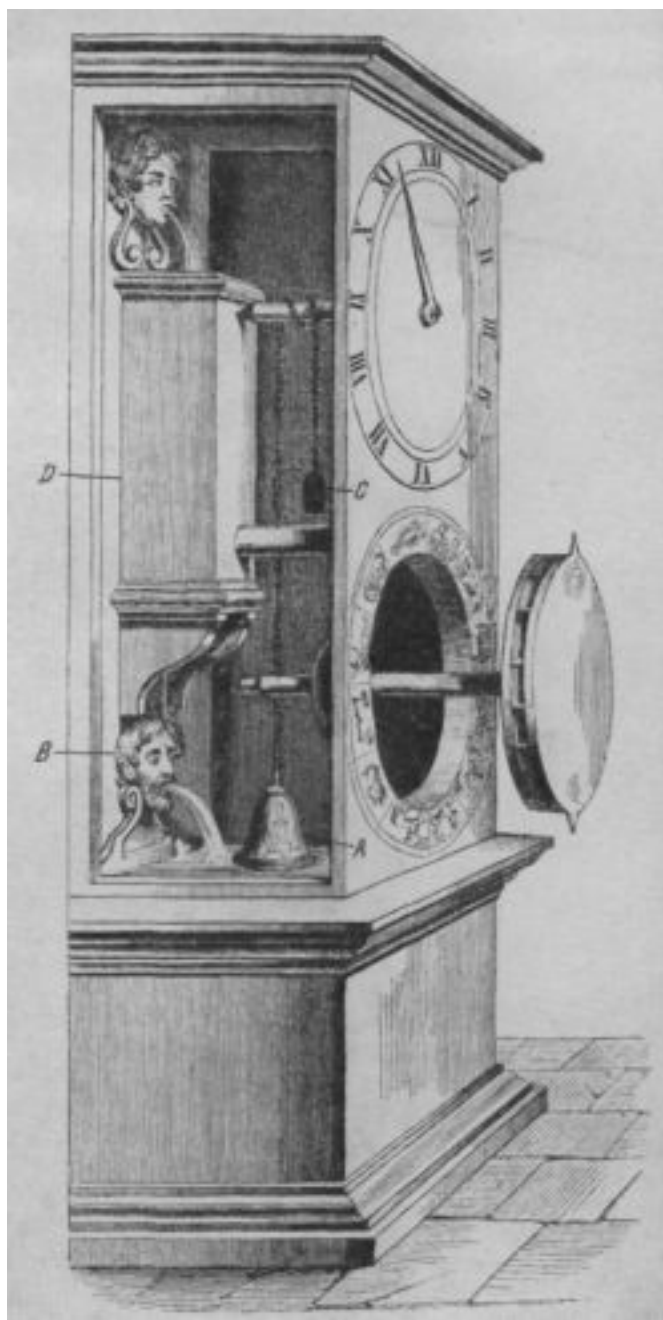


Рис. 84. Старинные водяные часы, бытовавшие до XVIII столетия

подъема оси барабана с помощью особой ручки до верха столбиков.

Устройство барабана показано на нижней схеме. Он разделен перегородками 1—5. Четвертая часть барабана заполнялась водой, которая через маленькие отверстия в перегородках постепенно переходила из одного отделения в другое, чем обуславливалось вращение барабана вокруг оси. Сила тяжести воды действовала постепенно, по мере того как опорожнялось одно отделение и наполнялось другое. Перемещение воды происходило справа налево. Вода, находящаяся в нижних отделениях (С, D, E), играла роль противовеса и не позволяла барабану быстро опускаться вниз под действием собственного веса.

Внутренняя часть барабана не имела сообщения с водяным пространством, но, когда происходил завод часов, она могла соединяться с ним посредством трубочек, из которых на рисунке показана одна (а). С помощью этих трубочек можно было регулировать ход часов. Конструирование подобных водяных часов было связано с затратой большого труда — вычислением толщины оси, емкости каждого отделения, размера отверстия, количества воды и т. д.

Делла Порта приводит описание и рисунок водяных часов, состоящих из стеклянного колокола и резервуара. Колокол помещен над резервуаром, наполненным доверху водой. Вода под действием воздуха, поступающего через отверстие, опускается. По уровню опускания воды и отметкам на стекле колокола и судили об истекшем времени.

В XVI столетии на площади св. Марка в Венеции были установлены водяные часы, которые ежедневно автоматически воспроизводили сцены появления волхвов, приветствовавших деву Марию, и появление мавров; ударами в колокол последние отмечали истекшие часы.

Нельзя не упомянуть о водяных часах XVII столетия из музея г. Клуни во Франции (рис. 86). Их высота 57 см. Вода вытекала небольшим фонтаном; по изменению его высоты судили об истекшем времени. Подобными часами пользовались в некоторых монастырях.

В 1615 г. француз де Кус сконструировал механические водяные часы (рис. 87), которые, по уверению изобретателя, были основаны на использовании принципа вечного двигателя. Под действием рычага открывался и закрывался клапан, регулировавший поступление воды для приведения в действие храпового колеса с собачкой, которое, в свою очередь, приводило в действие ось со стрелкой.

После появления маятниковых часов во Франции была сделана попытка, хотя и без достаточного успеха, регулировать ход маятниковых часов силой падения воды (рис. 88). Из трубы вытекает вода и наполняет до определенного постоянного уровня водоем; излишек воды вытекает через трубку. Из водоема вода попадает в особое устройство, регулирующее ход маятника. Оно состо-

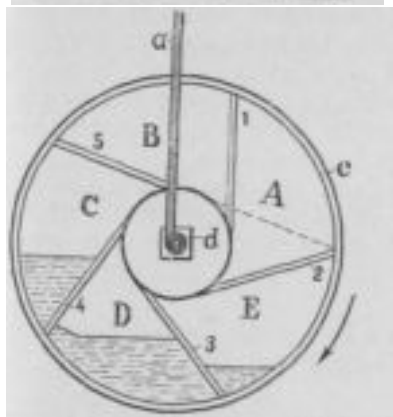
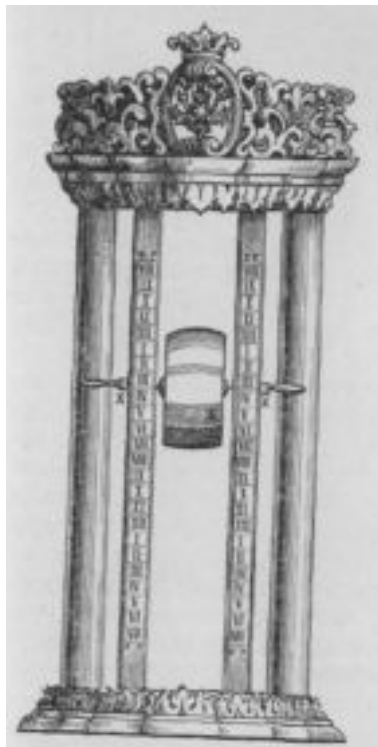


Рис. 85. Водяные часы с перемещающимся по шкале барабаном.

Рис. 86. Водяные часы из музея, г. Клуни (Франция)

Рис. 87. Водяные часы де Киса. 1615 г.

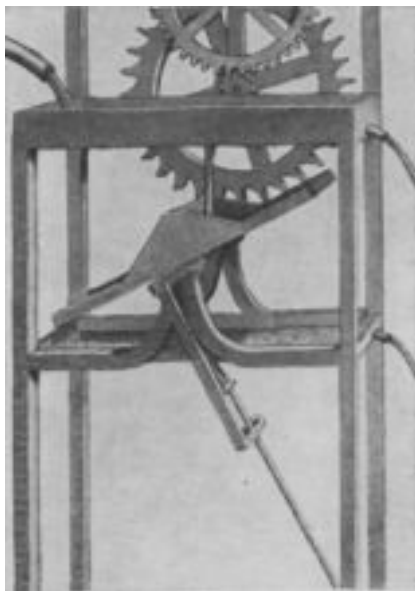


Рис. 88. Маятниковые часы, приводимые в действие водой

ит из двух половинок, разделенных перегородкой; колебание этих половинок то в одну, то в другую сторону вызывалось попеременным наполнением их струей воды, что и поддерживало маятник в состоянии колебания.

Водяные часы как дополнение к песочным и солнечным часам играли в Западной Европе значительную роль до конца XVI в. И даже после появления механических часов они продолжали использоваться вплоть до XVIII в., хотя их конструкция подвергалась изменению: в них стали широко применять зубчатую передачу, заимствованную из механических часов. И вообще конструкция водяных часов была значительно усовершенствована.

Песочные часы. В древности песочные часы наряду с водяными применялись только при астрономических наблюдениях. Известно, что Гиппарх использовал их во время своих наблюдений. Архимед уже упоминает о существовании песочных часов и дает их описание. Известный немецкий ученый XIX в. Винкельман описывает барельеф, на котором изображена свадьба Фетиды и Палея; на нем представлен Марфей с песочными часами в левой руке.

Песочные часы, однако, не могли быть приспособлены для измерения «неравных» зимних и летних часов, по которым жили люди древнего мира. Они не могли войти в быт и в средние века, пока Европа не перешла на исчисление времени по равноденственным часам.

Распространение песочных часов в Западной Европе относится к XIV—XIX вв., хотя имеются бесспорные свидетельства о появлении их уже в XIII в.

В развитии конструкции песочных часов в Западной Европе можно отметить три основных этапа.

На первом этапе песочные часы состояли из двух отдельных сосудов-«луковиц», которые разделялись металлической пластиной с маленькими отверстиями. Вместе с тем они были соединены посредством сургуча или накладки пластыря, т. е. составляли один комплект.

На втором этапе (после 1750 г.) песочные часы уже представ-



Рис. 89. Песочные часы обычного типа

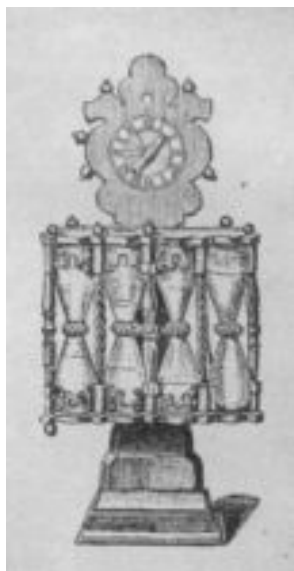


Рис. 90. Комплект из четырех песочных часов с циферблатом

ляли собой единое устройство, и оно оказалось вполне целесообразным. В одном из сосудов сохранилось отверстие, которое было закупорено пробкой.

На третьем этапе (с 1800 г.) в обиход вошли песочные часы, у которых отверстие было ликвидировано стеклодувом, так что они стали воздухонепроницаемыми [43, 147].

На рис. 89 дан стандартный тип песочных часов. Они состоят из двух расположенных один над другим стеклянных сосудов, соединенных между собой узким горлышком. Промежуток времени измеряется продолжительностью истечения тонкого песка из верхнего сосуда в нижний. После того как весь песок пересыплется в нижний сосуд, часы в случае необходимости нового замера переворачивают.

Уже в XIV столетии появляются песочные часы, снабженные четырьмя сосудами: первый сосуд опорожнялся в течение четверти часа, второй — в течение получаса, третий — в течение трех четвертей часа, а последний — в течение целого часа. Такие песочные часы снабжались циферблатом. На нем стрелка передвигалась служителем на час вперед, когда поворачивался последний сосуд, т. е. по истечении часа (рис. 90). По этим часам можно было знать не только когда истекал час, но и который час.

Песок для песочных часов готовился из мрамора путем дробления, размалывания и соответствующего просеивания. Это требовало большого умения и тщательности.

В Западной Европе эти примитивные измерители времени были в большом ходу еще в XVII столетии. Так, во французском журнале «*Mercur Galant*» за октябрь 1678 г. было напечатано, что «большинство кабинетов пользуются песочными часами». В Нюрнберге тогда существовал специальный цех часовых мастеров по изготовлению песочных часов. Интересно отметить, что иногда носили эти часы, прикрепляя их к колену,— так удовлетворялась потребность в переносных часах, поскольку механические часы (карманные) из-за своей дороговизны были мало доступны.

В судоходстве песочные часы применялись еще в XVIII — начале XIX в. Сохранившееся на флоте выражение «бить склянки» означало момент окончания песка в часах и переворачивания «склянок», что отмечалось боем колокола.

В средние века песочные часы красиво оформлялись, оправы часто делались из серебра и золота, украшались драгоценными камнями. Сосуды для песка часто изготавливались из горного хрусталя. Нередко часы украшались сценами на библейские темы.

В России песочные часы были давно известны. И. Е. Забелин в книге «Домашний быт русских цариц» приводит данные о том, что в числе вещей, конфискованных Иваном Грозным в Новгороде, в большом количестве встречаются песочные часы.

Сохранилась опись товаров, предъявленных неким Гаврилою Петровым в XVII в. на таможенной заставе. По этой описи устанавливается, что «на саях в 5 кульках да в мешке 7 пуд семени белого, в мешочке рассадного семени, в мешочке пуху гусяного. Он же явил по вязниковой выписи 3 пары pistols, 16 тростей, ларчик камней, 11 часов песошных» [96, 44—45].

В Морском уставе Петра I в главе 42 «О компасном мастере» имеется указание: «Ему же [компасному мастеру] делать песочные часы и смотреть, чтобы право (т. е. правильно.— В. П.) ходили и чтобы не было чего из припасов туне [зря] истрачено».

Применение песочных часов на парусных судах со времен Петра I в связи со значительным развитием мореплавания приобретает исключительно важное значение. Они нужны были на судах не только для того, чтобы отбивать «склянки», но и чтобы измерять скорость корабля посредством лага. Для нужд флота они изготавливались в мореходных мастерских. На русских кораблях песочные часы были в употреблении еще во второй половине XIX в., после чего вместо них были введены морские часы (баллансового типа).

Огневые часы. Нередко для определения времени применялась продолжительность сгорания восковых и других свечей. Ассер — биограф английского короля Альфреда Великого (871—901) — сообщает, что Альфред пользовался свечами для распределения дневной работы. Каждая свеча сгорала полностью за че-

тыре часа; ее помещали внутри фонаря, сделанного из дерева с оконцами из тонкого рога, чтобы защитить от сквозняков.

Людовик IX (1215—1270) также пользовался таким способом определения времени. «Каждый день, — говорит исповедник королевы Маргариты, — он изнывал в своей комнате и в это время была зажжена свеча определенной длины, достигавшей почти трех футов, и, пока она горела, он читал библию, а когда свеча подходила к концу, вызывался один из его священников».

Карл V также пользовался разменными свечами. Он имел в своей часовенке пылающую свечу, разделенную на двадцать четыре части, и были особо уполномоченные люди, которые приходили к нему и докладывали, до какого деления догорела свеча, в зависимости от чего он назначал, что нужно делать.

Путешественники рассказывают, что проводники по альпийским возвышенностям умудрялись использовать размеченную свечу в качестве будильника. Они вонзали булавку в свечу и прикрепляли к ней посредством нити железный предмет. Когда свеча сторала до этого места, железный предмет падал на пол и будил путников.

На рис. 91 показана лампа в виде проградуированного сосуда с маслом, которая также употреблялась для приблизительного измерения времени. Несколько таких примитивных приборов времени можно встретить в музеях Европы. Один из них в свое время входил в коллекцию музея Нюрнберга, а теперь находится в музее Вашингтона.

Солнечные, водяные, песочные и огневые часы были весьма ограничены в своем применении. Солнечные часы не могли использоваться в пасмурное время. «Показывают только светлые часы», — часто писалось на их циферблатах. Водяные часы тоже были ограничены в применении. При температуре ниже нуля вода замерзала. Поэтому вместо водяных часов астрономы применяли ртутные часы. В песочных часах, устроенных на принципе клепсидры (вытекание вместо воды песка), песок не мог непрерывно пересыпаться, их надо было периодически перевертывать. К тому же нельзя было быть уверенным, что истечение воды, ртути и песка совершается действительно равномерно. Примесь грязи в воде, ржавление труб, засорение отверстий, ошибки в разметке циферблата — все это серьезно отражалось



Рис. 91. Часы-светильник

на точности показаний. За всеми этими часами требовался непрерывный уход.

Все типы ранних часов не были универсальными. Эти естественные ограничения в измерении времени были сняты только тогда, когда появились совершенные по конструкции механические часы. С их появлением «производство равномерных движений» для измерения времени стало зависеть не от естественных ограничений, налагаемых природой, а только от искусства человека, от развития науки и техники.

В течение древней и средневековой истории были полностью исчерпаны все возможности для развития техники измерения времени на основе усовершенствования солнечных, водяных, песочных и огневых часов. Создание более прогрессивных конструкций часов на их основе уже было невозможно. Между появлением механических часов и развитием солнечных, водяных, песочных и огневых часов нельзя установить прямой преемственности. Появление механических часов знаменует такой скачок или революцию в технике измерения времени, которые могут показаться чудом, если не учитывать столь важный источник, как развитие точной механики в связи с созданием астрономических приборов и устройств — астролябии, армиллярные сферы, небесные глобусы, астрономические вычислительные приборы со сложной механикой и т. п. Не без основания поэтому историк техники Прайс мог заявить, пользуясь образным языком, что «механические часы являются не чем иным, как ангелом, упавшим из мира астрономии». I

Поэтому нужно считать неправильным довольно распространенное утверждение, будто механические часы могли появиться в результате естественной эволюции конструкции водяных часов. Сами по себе водяные часы не могли служить основой для появления механических часов. Наоборот, если иметь в виду развитие водяных часов в Западной Европе, то здесь значительный прогресс в их устройстве был достигнут не до появления механических часов, а после него. Только с этого времени для воспроизводства разнообразных механических движений стали в водяных часах широко пользоваться зубчатой передачей. На мусульманском Востоке тоже не имелось необходимых потенциальных возможностей для появления механических часов на основе развития водяных часов, хотя здесь это искусство было доведено до большого совершенства. Одним из неперенных условий для появления механических часов, хотя и не единственным, было применение зубчатой передачи, но там она применялась не столько в водяных часах, сколько в астрономических приборах.

Хотя в средневековом Китае имелось больше, чем где-либо, возможностей для появления механических часов на основе усовершенствования, конструкций водяных часов и применения для регулирования их хода таких спусковых устройств, как в башенных астрономических часах Су Суна, но и там их развитие не привело к созданию механических часов.

РАЗВИТИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ
В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ В XIV—XVIII ВВ.Появление и развитие
ранних механических часов

Среди западноевропейских историков часов стало обычным делать ссылку на механизм, приведенный в альбоме французского архитектора XIII в. Вилларда де Коннекура, и вести от него счет появления в Западной Европе первого спускового устройства для регулирования хода часов. Этот механизм, как полагают многие, не был предметом собственного изобретения Вилларда; скорее всего, он познакомился с ним и срисовал его во время своих путешествий.

Как видно из эскиза этого устройства (рис. 92), здесь в качестве движущей силы применена гиря, подвешенная на конце веревки, обмотанной вокруг оси колеса. Падение гири и относительно равномерное вращение вертикального стержня, на котором на подставке укреплен фигура ангела, регулировалось колебанием колеса взад и вперед. Период колебания колеса обусловливался многими факторами, включая момент инерции, трение в опорах, силы, действующие на веревку.

Снизу эскиза имелась надпись: «Как ангел своим пальцем покажет на Солнце» [131]. Это наводит на мысль, что фигура должна была делать один оборот за 24 ч.

Прав историк часов Ллойд, когда заявляет по поводу механизма, приведенного в альбоме Вилларда, что он «с трудом может быть назван часами» [139, 649]. Устройство его настолько примитивно, что невозможно допустить, чтобы он мог быть исходным пунктом дальнейшей естественной эволюции, приведшей в том же XIII в. или в начале XIV в. к появлению механических часов. Наоборот, этот механизм может служить доказательством слишком низкого уровня тогдашней техники измерения времени, и появление механических часов в Западной Европе в XIV в. обязано не внутренней эволюции техники, а заимствованию их извне. В отношении применения различных средств механики между механическими часами XIV в. и механизмом Вилларда существует огромная разница. Наличие в позднейших часах колесной передачи, приводимой в действие силой тяжести и регулируемой шпindelным ходом и балансиром фолио, имеющим форму коромысла весов с передвигными гирями на обоих плечах этого коромысла, уже характеризует значительный технический прогресс по сравнению с механизмом Вилларда. Однако «умножение» средств техники для производства равномерных движений происходило на той же принципиальной основе, на которой базировалось устройство механизма Вилларда.

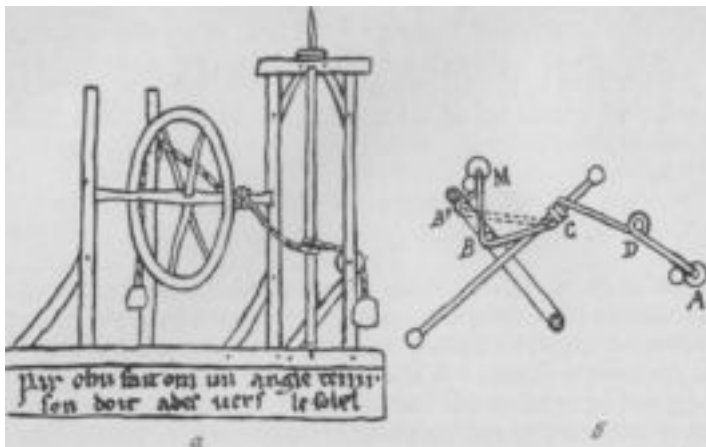


Рис. 92. Прimitивное спусковое устройство Вилларда де Коннекура

a — общий вид; *б* — спусковое устройство

«До XVII в., — по справедливому утверждению Ллойда, — ход часов регулировался колебанием тяжелых масс — либо колеса (как в устройстве Вилларда), либо колебаниями коромысла весов с грузами, подвешенными на его плечах. Хотя спусковое устройство было усовершенствовано, но период колебания регулятора фолио находился под влиянием разных непостоянств вращающего момента, приложенного к ходовому колесу. Следовательно, прерывистое действие периодически движущихся сил находилось в зависимости от действия факторов, которые сами по себе были подвержены непостоянствам» [139, 649—650].

Передача движения от колеса к колонке с помощью гирь *M*, *A* показана на рис. 92, *б* (*B*, *B'*, *C*, *D*).

Первое упоминание в письменных источниках о колесных часах в Западной Европе было сделано Данте Алигьери между 1313 и 1321 гг. В «Божественной комедии» («Рай», песнь X) Данте свидетельствует:

И как часы, которых бой знакомый
Нас будит в миг, как к утрени встает
Христа невеста звать нас в божьи дома,
Часы, где так устроен ход,
Что звук: день-день как звуки струн на лире.

В песне XXI «Рая» читаем:

И как в часах колеса с их прибором
Так движутся, что чуть ползет одно,
Другое же летит пред взором...

[61, 58, 134]

В обоих этих случаях речь несомненно идет о механических часах с боем. В песне XXI, может быть, даже содержится намек

на колебание регулятора фолио (foliot balance), которое на общем фоне действующих частей было более заметно. Имеются, однако, и другие толкования стихов, приведенных выше. Историки, более склонные к гиперкритике исторических свидетельств, считают, что в этих стихах речь идет всего-навсего о сложных водяных часах, а не о механических. Весьма осторожные в своих выводах Байли и Робертсон считают все же возможным утверждать, что у Данте идет речь не о музыкальных инструментах или о водяных часах, а именно о часах механических [157, 29—31].

Немало труда историки часов положили на поиски, расшифровку и истолкование источников, касающихся появления в Западной Европе самых ранних механических часов. Это изучение показало, что уже в конце XIII и в первые десятилетия XIV в. несомненно имелись какие-то часы с механическим устройством, но выявленные источники молчат о том, какое у них было спусковое устройство и регулятор хода, вследствие чего эти источники значительно теряют свою ценность. Ведь спор о часах, упоминаемых Данте, сразу бы умолк, если бы там содержалось весьма недвусмысленное указание на наличие у этих часов какого-то спускового устройства и регулятора хода. Но именно отсутствие этих данных вызывает бесконечные, не прекращающиеся до сих пор споры о том, какие именно часы были в конце XIII и в первые десятилетия XIV в., о которых имеется упоминание в ранних источниках, хотя бы, например, у Данте. Вследствие этого историки вынуждены были ограничиваться только гипотетическими предположениями.

Последуем за теми историками часов, которых большинство и которые полагают, что появление самых ранних механических часов в Западной Европе было результатом развития и усложнения механической части конструкции водяных часов.

«Проходили века,— пишет один из авторов,— и водяные часы становились более и более искусно разработанными и сложными. Не только двигалась стрелка над циферблатом, но и отмечались часы боем, петух кричал, лев рычал, раздавался барабанный бой, а маленькие фигуры совершали различные движения. Все это требовало тщательно разработанных механизмов — колесной передачи, рычагов и других механизмов, которые были в соединении с водяными часами» [33, 57].

В сложных водяных часах было известно уже применение циферблата, груза в качестве движущей силы, колесной передачи, механизма боя, марионеток, разыгрывающих различные сцены. Для создания механических часов недоставало только механического спускового устройства и регулятора хода. Появлению последнего предшествовали, по мнению историков, отрицающих существование разрыва или скачка в развитии водяных и механических часов, примитивные способы регулирования хода механических часов посредством естественного трения и сопротивления воздуха. Увеличивая искусственную силу сопротивления, можно добиться уменьшения скорости колес часового механизма

в требуемых пределах, но эта скорость изменилась бы при всяком увеличении и уменьшении сопротивления. Еще лучшие условия в отношении регулирования хода механических часов были достигнуты, когда в качестве регулирующего устройства применили шпиндельный ход и балансир фолио вместо ветряка.

«Какие-то неизвестные личности в неизвестное время (вероятно, в конце XIII в.), — по мнению Байли, — изобрели шпиндельный ход и сделали возможным появление механических часов. Этот ход оставался в обычном употреблении без существенного изменения в течение пяти с половиной веков. В течение трех с половиной веков он является существенной частью любых крупных (башенных) и портативных (карманных) часов. Ближайшим результатом развития механических часов была революция в исчислении времени — переход по всей Европе от церковных канонических часов к равным часам нашей современной системы исчисления времени. Изменение было радикальным, если учесть, что до этого пользовались каноническими часами, неравными по времени года и с интервалами в разделении суток от 2 до 5 ч. Переход на новое исчисление времени совершался постепенно с 1350 до 1450 г. по мере распространения в городах башенных часов» [106, 9].

Английское слово clock — часы — происходит от латинского clossa; другим его эквивалентом является саксонское clugge, французское cloche и древнегерманское (тевтонское) gloske. Но первоначально все эти слова употреблялись не в смысле «часы», а обозначали колокол. По-видимому, самые первые часовые механизмы были способны производить слышимые сигналы боем в колокол, а не показывать время на циферблате (они были еще без циферблата). Такие устройства нужны были в монастырях, для того чтобы извещать монахов о наступлении времени для молитв или работы. Первые будильники включали в себя простейшие приспособления для подачи колокольного вызывного сигнала, использовавшегося часто также для набата в общественных местах. Действие этого раннего сигнального устройства регулировалось шпиндельным ходом еще самого примитивного устройства. Наверху шпинделя был установлен Т-образной формы молотковый рычаг; он мог колебаться под действием зубцов ходового колеса на палеты шпинделя. Выступающие части (плечи) молоткового рычага, двигаясь в зоне своего действия из стороны в сторону, производят удары в колокол. Когда наступало время для боя часов, штифт, имевшийся на колесном механизме, поднимал стопорное устройство и тем самым освобождал сигнальный механизм. После этого механизм мог двигаться из стороны в сторону, пока на него продолжала действовать колесная передача [43].

Не исключена возможность, что это примитивное устройство навело на мысль применить шпиндель с палетами в качестве спускового устройства башенных часов. По-видимому, вскоре в качестве регулятора хода часов было применено и коромысло ве-

сов с гириями, навешенными на обоих его концах. Это устройство не нужно было вновь придумывать, оно было хорошо известно механикам и широко применялось в технике того времени. Во всем этом новым было лишь применение его в качестве регулятора хода часов.

Так или иначе, лучшим свидетельством существования в XIV в. традиции, идущей от монастырских часов, могут служить весьма старинные французские и английские башенные часы простого устройства с боем, но без циферблата. Одни такие часы от первой половины XIV в. были привезены в качестве военной добычи герцогом Бургундским Филиппом в г. Дижон (Франция) и там установлены в церкви Пресвятой Девы в 1382 г. Особые жакемары в виде фигур мужчины и женщины, установленные на этих часах, отбивали часы ударами в колокол. Фигура мальчика, отбивающего четверти часа, была добавлена в 1714 г. (рис. 93).

Трудно сказать, где и когда для отбивания часов впервые были установлены жакемары, но известно, что они являлись неотъемлемой принадлежностью многих ранних английских башенных часов. Они имелись, например, на йоркских кафедральных башенных часах, которые были установлены во время царствования Эдуарда IV (1461—1481) или даже ранее. Жакемары представлены здесь в виде мрачных, но весьма популярных фигур Гога и Магога. Жакемары имелись и на уэльских башенных часах.

В монастыре Иоанна Рыльского (Болгария) сохранились старинные часы, которые использовались в свое время для механического приведения в действие колоколов на звоннице.

Дальнейший прогресс часового дела в странах Западной Европы в XIV столетии не мог быть достигнут за счет развития башенных часов простого устройства даже при допущении, что



Рис. 93. Башенные механические часы, в г. Дижон

шпиндельный ход с регулятором фолио мог быть изобретен в Западной Европе. Не с них (простых башенных часов) началось и продолжалось строительство башенных часов в Италии, а затем и в других странах Европы. Итальянские, страсбургские, нюрнбергские башенные часы XIV в. имели весьма сложное устройство. Они показывали не только время, но и движение небесных светил (Солнца, Луны и планет), воспроизводили автоматически различные сцены, привлекательные для людей того времени, и т. д.

Появление в XIV в. таких крупных и сложного устройства башенных часов отмечает собой большой скачок в развитии часового дела, что при всем нашем желании не может быть объяснено развитием только западноевропейской техники часового дела того времени [80, с. 33—155].

Во-первых, до XIV столетия в Западной Европе не наблюдается такого значительного прогресса в совершенствовании механической части конструкции водяных часов, какое имело место, например, за тот же период в средневековом Китае. Эти усовершенствования в Западной Европе стали осуществляться только после появления механических часов, и не иначе как на основе использования достижений техники в области создания башенных часов с применением средств механики.

Во-вторых, хотя не подлежит сомнению, что еще в XII—XIII вв. в монастырских церквях и на колокольнях кафедральных соборов имелись простейшего устройства приборы для отбивания канонических часов колокольным звоном, а в первой половине XIV в. простые башенные часы с боем (без циферблата), как имелись и мастера по их установке. Но не отсюда мог исходить дальнейший подлинный прогресс в создании сложных астрономических башенных часов, которые в XIV в. стали устанавливаться в городах Западной Европы, в том числе в крупных монастырях и знаменитых кафедральных соборах.

В исторической литературе принято считать, что первыми чисто механическими часами, о которых имеются достоверные данные, являются миланские часы, установленные в 1335 г. на башне Дворца виконта. В дошедших до нас источниках они описываются следующим образом: «Здесь находятся замечательные часы, у них большой язык колокола, который отбивает 24 ударами 24 часа, согласно XXIV часам дня и ночи, и таким образом в первый час дается один удар, во второй — два удара, в третий — три и в четвертый — четыре удара, и так отделяется один час от другого» [33].

Имеются сведения еще о трех часах, установленных в Италии до 1350 г. Весьма популярны были часы, установленные в 1344 г. в Падуе у входа во дворец принца Убертино. Они показывали фазы Луны и движение некоторых планет и были снабжены боевым механизмом, который отбивал 20 часов днем и ночью и отдельно еще 4 часа.

Раньше происходило много путаницы из-за часов Якова Дон-

ди и его сына Джiovанни. Теперь достоверно известно, что нельзя отождествлять Якова-отца, закончившего часы в 1344 г., с сыном Джiovанни; последний же в 1348—1364 гг. изготовил свои знаменитые планетарные часы, описание которых приведено ниже. В Италии, кроме часов Донди, в 1343 г. были часы в Модене, а в 1347 г.—в Монзе.

Строительство башенных часов в Италии в XIV в. шло настолько интенсивно, что к концу столетия все более или менее значительные города уже имели свои собственные башенные часы.

В Западной Европе башенные часы стали распространяться в том же XIV в., но не без влияния Италии. Об этом можно судить хотя бы по тому, что итальянский счет от I до XXIV имел распространение во всех крупных городах Западной Европы, где были установлены в то время башенные часы. Дольше всех этот счет сохранялся в Германии. В Бреславле башенные часы с такой шкалой времени были заменены на современный счет времени по 12 часов только в 1589 г.

После Италии городские башенные часы были установлены в Страсбурге (1352 г.), в Нюрнберге (1361 г.) и в Аугсбурге (1364 г.). В 1370 г. по указу императора Карла V башенные часы были сооружены в Париже.

Из других башенных часов заслуживают упоминания большие часы Франкфурта и Лурда (1380 г.), Лиона (1383 г.), Воленжера (1400 г.), Любека (1405 г.), Данцига (1470 г.). Первые башенные часы, построенные в Англии, относятся примерно к 1370 г.

Устройство ранних башенных часов

Данные о ранних механических часах весьма скудны: иногда это упоминание, вкравшееся в стихотворение или прозаическое произведение, иногда это запись в церковном реестре об уплате некоторой суммы часовщику за ремонт часов, а иногда и запись об оплате самого их изготовления. Ни одни из старинных часов не дошли до нас в первоначальном виде, какой им был придан в XIV столетии при их изготовлении. Все они исчезли или подверглись капитальному ремонту и реконструкции. Поэтому только путем старательного и всестороннего использования дополнительных источников (письменных и археологических) можно восстановить первоначальную конструкцию. В связи с этим особое значение для историка приобретают те источники, в которых имеются только достоверные свидетельства о создании и конструкции ранних механических часов, такие, как: а) рукописные трактаты Джiovанни Донди — «Трактат о светилах» («Tractatus Astrarium») и «Главное сочинение о планетах» («Opus Planetarium»). В них дается достаточно подробное описание созданных Донди сложных планетарных часов в 1348—1364 гг. Сами часы, к сожалению, не дошли до нас. Но по их описанию в трак-

татах Донди возможно получить представление о спусковом устройстве и регуляторе хода. Шпиндельный ход показан на чертеже и полностью объяснен в тексте; б) чертежи часов, созданные известным немецким часовщиком де Виком в Париже в 1364—1370 гг., куда он был приглашен Карлом V. Они сохранились благодаря заботам и предусмотрительности Жюльен Леруа, который до производства реконструкции часов в XVIII в. составил на них чертежи; потом они были опубликованы в широко известном труде Муане [142]. Часы, созданные де Виком, сначала находились в королевском дворце, а затем были перенесены во Дворец правосудия. В XVIII в. они подверглись полной реконструкции, которая осуществлялась под руководством Жюльена Леруа; в) поэма Фруассара «Li orloge amoureux» [157, 54—56], написанная в 1368 г., содержит достаточно вразумительное описание шпиндельного хода и регулятора хода (foliot balance) — самой ранней конструкции хода и регулятора. Предполагают, что автор поэмы в значительной мере основывался на часах, построенных де Виком.

Трактаты Джованни Донди, поэма Фруассара и чертежи Леруа, взятые вместе, позволяют уже дать детальное описание устройства механических часов второй половины XIV в. и по ним вообще судить о конструкции раннего спускового устройства и регулятора хода часов.

Планетарные (астрономические) часы Донди. Джованни Донди (1318—1387) преподавал астрономию и логику в Падуанском университете, медицину — во Флорентийском и Падуанском университетах. Донди был всесторонне осведомлен во всех науках того времени. Особенно блестящими были его познания в области механики, как впоследствии у Леонардо да Винчи [106, 1—2].

В 1348—1364 гг. Донди создал свои знаменитые планетарные часы, которые показывали движение Солнца, Луны и пяти планет, содержали в себе вечный календарь и давали возможность определять звездное и среднее солнечное время. Эти часы были известны далеко за пределами Италии; они доставили Донди большую славу при жизни и обессмертили его имя. О них восторженно отзывались современники и считали их механизм удивительным. Такая оценка сохранилась и позже. В 1470 г. часы Донди называли «знаменитыми часами, достопамятными и превосходящими все часы, появившиеся и ставшие известными до 1470 г.».

Интересна последующая история часов Донди. Они оставались в Италии до 1809 г. Сначала находились в библиотеке замка в Падуе. В 1529 г. часы испортились и остановились. После долгих поисков был найден часовщик, который сумел их восстановить, — Джуанелло Турриано (1500—1585), потом ставший часовщиком и механиком Карла V. Современниками Дж. Турриано провозглашался гением. Он сам создал астрономические часы весьма сложной конструкции. Для их устройства потребовалось 1800 колес, с помощью которых в этих часах воспроизводилось:

«30-дневное движение Сатурна, часы дня, годичное движение Солнца, движение Луны, а также всех планет в их „обычном движении“ соответственно птолемеевой системе мироздания. По свидетельству современника, Джуанелло потратил двадцать лет только на предварительную разработку проекта устройства своих часов» [8, 126].

Он же известен как строитель водопровода, который считался одним из величайших технических чудес XVI в. [60, 18]. В 1556 г. после отречения от престола Карл V удалился в монастырь св. Юста, взяв с собой часы Донди и Джуанелло Турриано в качестве своего часовщика. Еще будучи императором, Карл V увлекался часовым искусством. В монастыре он до конца дней работал над созданием астрономических часов, которые бы ни в чем не уступали знаменитым страсбургским и нюрнбергским часам, справедливо вызывавшим всеобщее удивление [16, 37—40]. После смерти Карла V часы Донди оставались в монастыре св. Юста до 1809 г., когда монастырь был сожжен, а все сокровища уничтожены. Таким образом, часы Донди не дошли до наших дней. К счастью, дошли два рукописных трактата Донди—«Трактат о звездах» и «Главное сочинение о планетах». В них имеются многочисленные чертежи, описание созданных Донди планетарных часов и методов конструирования. На основании расшифровки и изучения этих рукописей, начатых Байли и продолженных Ллойдом—известными историками часов, в Англии была осуществлена реконструкция часов Донди [170, 354—356].

На рис. 94 воспроизведен чертеж часов Джованни Донди. Рама часов изготовлена из бронзы, а валы, колеса, циферблат — из латуни. Из 297 частей часов Донди 100 составляли колеса и шестерни, зубцы которых были нарезаны вручную. Зубцы треугольной формы, но для различных астрономических зубчатых передач употреблялись тупые зубья — округленные, со срезанными краями. Для воспроизведения движения Луны нужно было иметь колесо со 157 зубцами, нарезка которых представляла задачу весьма трудную. Не менее трудной была нарезка на одном колесе 365 зубцов.

По мнению Бейли, этот чертеж для историка часов представляет исключительный интерес как один из самых ранних дошедших до нас чертежей ходового механизма. На нем изображен шпиндельный ход, который был в широком употреблении в течение трех последующих столетий. В часах Донди вместо коромысла с регулируемыми грузами на его концах в качестве регулятора использовано так называемое коронное колесо (по форме похожее на корону). Заводной барабан, на котором намотана веревка с грузом (гирей) на конце, делает 10 оборотов за сутки, второе колесо вращается 100 раз в день, а ходовое колесо — 800 раз. Каждому обороту ходового колеса сопутствовало 54 колебания баланса (коронного колеса) — 1800 колебаний в час. Период колебания баланса — 2 мин. Поскольку в часах Донди отсутствует фолио в форме коромысла с грузами на концах, он рекомендовал регулировать их ход при отставании увеличением заводной гири и прикреплением к ходовому колесу маленьких гирь, если часы спешили.

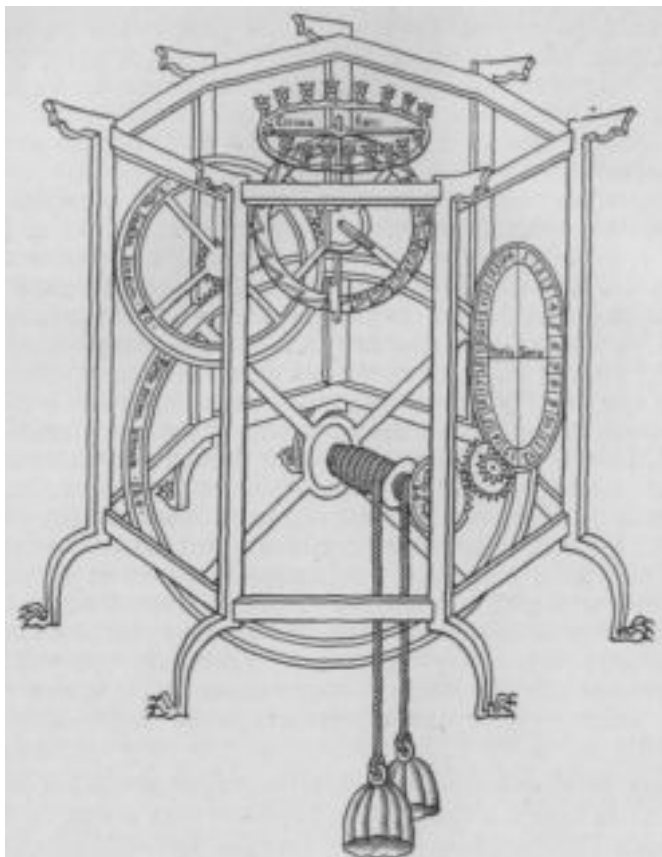


Рис. 94. Планетарные астрономические часы Джованни Донди

Среднее солнечное время указывалось на циферблате, расположенном впереди рамы. Циферблат был разделен на 24 часа. Неподвижная стрелка была скомбинирована с вращающимся циферблатом, двигавшимся против часовой стрелки. На каждой стороне циферблата, предназначенного для указания среднего солнечного времени, находились шкалы, которые показывали для каждого дня в году восход и заход Солнца (в Падуге).

На корпусе (раме) совершенно различными способами были устроены два календаря. Один из них — годовой — показывал определенные праздники, другой — пасхалию (даты празднования пасхи) и передвижные праздники, даты которых зависели от времени празднования пасхи. С тех пор подобные календари изготовлялись только дважды: в 1842 г. Швильге устроил их в часах Страсбургского собора, а Йенсен в 1956 г. — в часах, установленных в Копенгагене.

Циферблат годового календаря представлял собой большой круг или, вернее, круговую ленту диаметром в 43 см, занимавшую почти всю ширину рамы часов. Вокруг ее верхнего конца имелось 365 зубцов, сходных с зубца-

ми ножевки; одному дню года соответствовал один зуб. На наружной стороне ленты находилось большое количество выгравированных указателей продолжительности каждого дня в году в часах и минутах, воскресные надписи, имя святого, память которого приходилась на этот день, и месяц. Названия месяцев были вызолочены и высеребрены, выгравированные надписи покрыты красной и голубой (небесного цвета) эмалью.

Календарь, показывавший переходящие праздники, состоял из трех различного назначения цепей, соединенных между собой. Большой годичный календарный круг приводился в действие шестерней, сидящей на оси широкого острозубчатого колеса. Оно вращалось шестью штифтами, расположенными на оборотной стороне вращающегося 24-часового циферблата. Цепной календарь приводился в движение двумя зубчатыми рейками от годичного календарного круга. Автоматическая коррекция для високосных годов в календаре часов Донди не была предусмотрена.

В часах Донди имелось семь отдельных циферблатов для показа движения небесных тел: два из них — для Солнца и Луны, а остальные — для пяти планет: Марса, Юпитера, Меркурия, Венеры и Сатурна. Циферблат, показывающий движение Солнца, или так называемое первое движение, приводился непосредственно от 24-часовой зубчатой передачи, а она в свою очередь приводила в движение лунный циферблат посредством зубчатой передачи с косыми (тангенциальными) зубьями. Другие пять астрономических циферблатов приводились в движение от годичного календарного круга. Поскольку шесть штифтов на задней стороне 24-часового циферблата приводили в действие все эти семь сложных механизмов и, кроме того, календарный механизм, то в течение ночи могло возникнуть сильное напряжение, способное вызвать замедление хода часов. Чтобы предупредить это, Донди предусмотрел включение в работу дополнительной движущей силы с началом движения механизма годового календаря.

Циферблат «первого движения», заключающий в себе циферблат Солнца, приводимый в движение *от* 24-часового циферблата и показывающий среднее время, производил свое движение так, чтобы 366 звездных дней заканчивались в течение 365 средних солнечных дней. Донди считал, что среднее солнечное и звездное время находятся между собой в таком же соотношении, как $366,25:365,25$.

Циферблат Венеры приводится в движение годовым календарным колесом, и зубчатая передача у него рассчитана так, чтобы он мог пройти за год только дугу в 11 минут.

Циферблат Меркурия показывает три движения, одно из которых неравномерное и осуществлено оно весьма необычным путем, а именно путем использования эллиптических колес, одно из которых неподвижно, а другое вращается вокруг него.

Вторым весьма сложным циферблатом является циферблат для Луны. Для нее механическая передача движения была составлена из колес с зубцами овальной формы. Два колеса с зубцами такой формы были разделены на неодинаковые секторы, каждый с тем же количеством зубцов. Внутреннее колесо с овальными зубцами было закреплено в ступице колеса с регулярным круговым движением и таким образом было предусмотрено регулярное увеличение фаз Луны в одинаковые периоды времени. Внешнее колесо с овальными зубцами увлекало за собой внутреннее колесо, и тем самым равное количество

зубцов в неравных секторах обеспечивало воспроизводство движения Луны по дугам со все увеличивающимся радиусом по мере возрастания ее углового перемещения (в следующие один за другим промежутки времени). После Донди это принял в расчет в 1779 г. знаменитый английский часовщик Томас М.юдж.

Циферблат Сатурна показывал два его движения, одно из которых — замедленное. Движение остальных циферблатов (Юпитера и Марса) было осуществлено более или менее общепринятыми средствами.

Применение овальных, эллиптических колес, колес с косыми зубьями, винтовой передачи и другие идеи, воплощенные в конструкциях часов Донди, были большой новинкой. Они намного опережали свое время. Не только современникам, но и преемникам Донди эти прогрессивные идеи были мало понятны, и они не могли их заимствовать. Поэтому идеи, воплощенные в устройстве часов Донди, лишь с трудом можно уложить в рамки истории техники той эпохи, когда жил и работал Донди.

Часы Страсбургского собора. Почти современниками часов Донди являются часы Страсбургского собора (1354 г.). Их конструкция была несколько проще конструкции часов Донди, но, как часы общественного пользования, они стали предметом подражания в последующие годы.

Страсбургский собор, один из древнейших в Западной Европе, построен в 510 г. при короле Хлодвиге, а при Пипине Коротком и Карле Великом он перестраивался. Но свой современный вид и архитектурное оформление собор получил только к 1413 г. В 1354 г. внутри башни собора были установлены замечательные астрономические часы. Они были высотой около 12 м и имели годовое календарное колесо около 3 м в диаметре. Часы содержали календарь переходных праздников; перед часами находилась астролябия, стрелки которой показывали движение Солнца и Луны и дневных звезд. Над часами помещалась фигура богородицы, перед которой ежедневно в полдень проходила процессия волхвов, поклонявшихся ей. В это время кричал, махая крыльями, механический петух. Для пения петуха использовались воздуходувные меха и свирели. Часы были снабжены набором небольших гонгов, исполнявших гимны. Имя строителя часов осталось неизвестным.

Вторые часы для Страсбургского собора (рис. 95) были начаты в 1547 г., конструктивная их разработка осуществлена Михаилом Херусом и Никлаусом Брукнерусом вместе со знаменитым математиком того времени профессором страсбургской высшей школы Христианом Герминусом. Однако вскоре после смерти обоих компаньонов Герминуса постройка часов была приостановлена. В 1570 г. по приглашению страсбургского магистрата ученик Герминуса и преемник его по кафедре высшей математики Конрад Дезиподиус довел постройку часов до конца. Дезиподиус не следовал первоначальному плану, но разработал свой собственный и приступил к его осуществлению после одобрения проекта многими учеными. Механическая часть часов была выполнена Исааком и Иозие Габрехтами из Шафгаузена, и в 1574 г. вторые часы были пущены в ход. В архитектурном ансамбле вторых страсбургских часов снова был использован механический петух. Эти часы шли с 1574 по 1789 г. и считались в свое время непревзойденным чудом механики.

Наряду со страсбургскими часами большой славой заслуженно пользовались нюрнбергские башенные часы весьма сложного устройства, которые были построены в 1356—1361 гг. Их создатель тоже остался неизвестным. Они

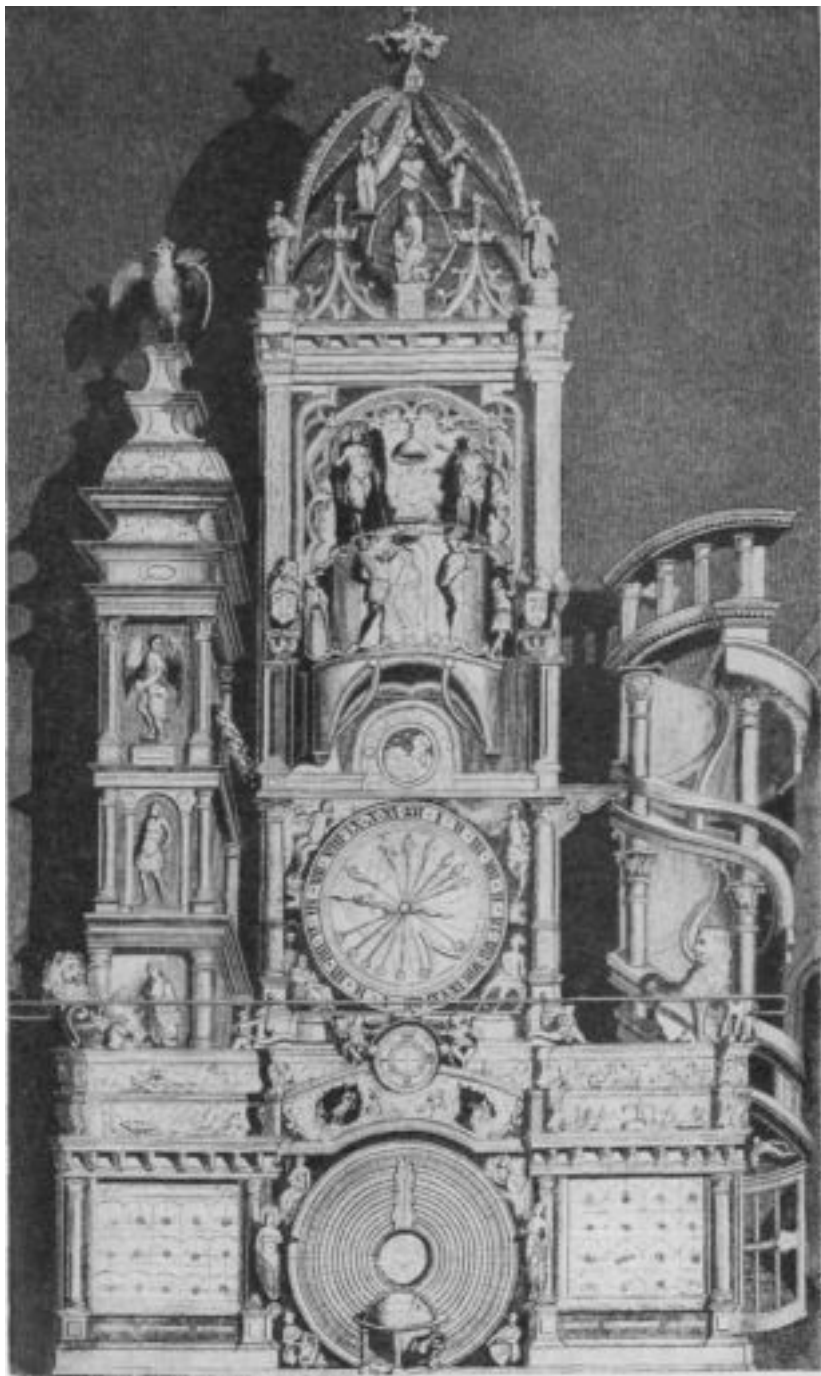


Рис. 95. Страсбургские астрономические башенные часы 1574 г.

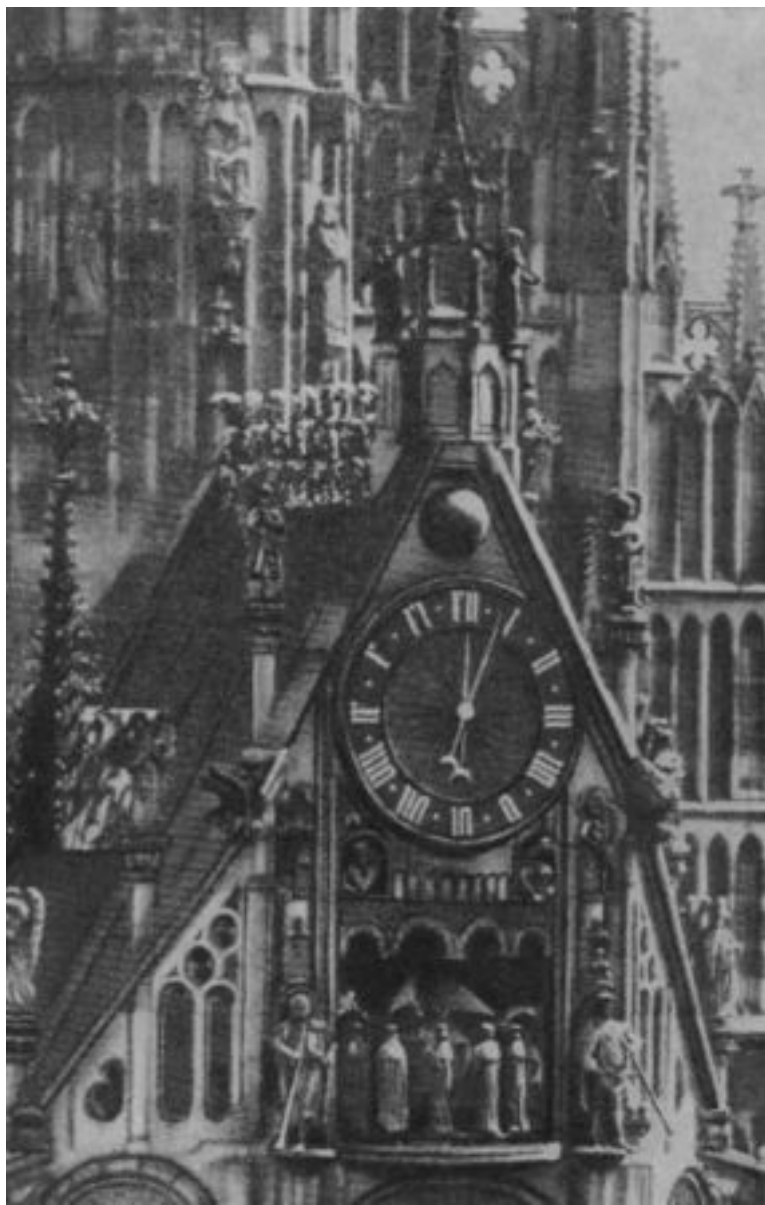


Рис. 96. Нюрнбергские башенные часы

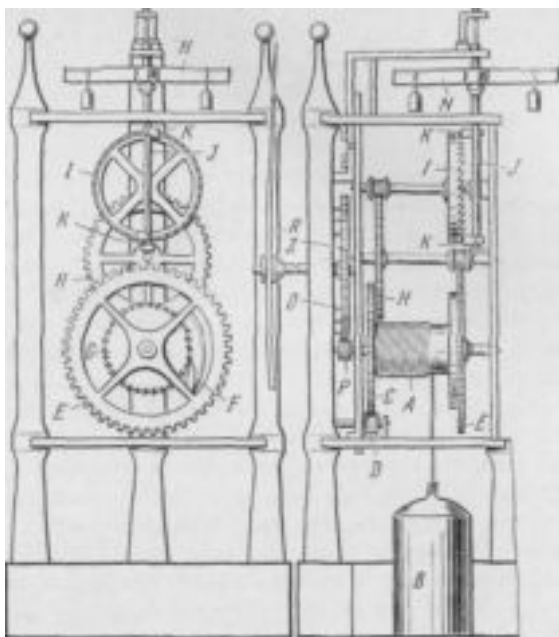


Рис. 97. Ходовой механизм парижских башенных часов de Вика, 1370 г.

были установлены на соборной башне и воспроизводили церемонию избрания в 1356 г. императора Карла IV. Он восседает на троне в окружении семи своих избирателей-курфюрстов. Под звуки труб мимо трона проходят фигуры, склоняя перед императором головы. В 1506—1509 гг. часы подвергались реконструкции. Современный их вид показан на рис. 96.

Парижские часы де Вика. Наряду с планетарными часами Джiovанни Дойди и ранними башенными страсбургскими часами весьма большой исторический интерес представляют башенные часы, установленные в 1370 г. де Виком в королевском дворце в Париже по указу Карла V. На рис. 97 показан ходовой механизм этих часов.

Вокруг деревянного вала *A* диаметром около 30 см намотан канат с гирей *B* на конце. Гири весом около 500 фунтов (0,2 т) падала с высоты 10 м в течение 24 ч. Гири большого веса требовались в связи со значительным трением в колесном зацеплении и наличием тяжеловесного регулятора фоллио. Все детали часов, по-видимому, изготовлялись кузнецами на наковальне.

На валу *A* находится зубчатое колесо *C*, сцепленное с шестерней *D*, сидящей на оси, расположенной параллельно валу *A*. Эта зубчатая передача нужна для поворота рукоятки во время завода часов. Вал и поворотное колесо *C* свободно установлены на оси большого главного колеса *E*, с которым вал соединяется собачкой *F* и храповым колесом *G*. При таком соединении вал может вращаться без движения большого (главного) колеса во время завода часов. Большое колесо приводит в движение шестерню, сидящую на

оси, где находится второе колесо H , а это последнее приводит в движение шестерню, находящуюся на оси, где имеется третье, или ходовое, колесо $/$, называемое коронным (его зубцы наклонены в стороны от радиального их расположения и напоминают корону). Это колесо является неотъемлемой частью спускового устройства, или шпиндельного хода, имеющего своей задачей регулирование скорости движения зубчатой передачи. Коронное колесо, получая энергию от зубчатой передачи, затрачивает ее на вращение шпинделя, с которым находится в постоянной кинематической связи. Нижний конец шпинделя покоится на опоре, а верхний подвешен на веревке, которая помогает опоре принимать тяжесть шпинделя. Шпиндель снабжен двумя палетами (K и KI), размещенными на нем против верхнего и нижнего зуба коронного колеса. Палеты по отношению друг к другу расположены под углом 90° или несколько больше (меньше) и поочередно зацепляют зубцы ходового колеса, вызывая вращение шпинделя с палетами то в одну, то в другую сторону. Когда, например, выступающий зуб колеса сталкивается с нижней палетой и ударяется о нее, это производит вращение шпинделя на его оси, а затем становится причиной того, что верхняя палета входит в промежуток между двумя зубцами, находящимися в верхней части коронного колеса. Давление, оказываемое этим зубом, затем изменяет вращение шпинделя на обратное. Зуб ходового колеса при каждом таком повороте шпинделя освобождается, но сразу же попадает в контакт с другой палетой. Как только одна палета соскакивает с зуба колеса, другая под действием балансира тотчас падает на зуб, и это все повторяется снова и снова. Поэтому шпиндель находится в постоянной кинематической связи со спусковым колесом. Характерным для шпиндельного хода является отход назад ходового колеса и, следовательно, связанной с ним колесной системы.

Балансир фолио связан непосредственно со шпинделем и представляет собой коромысло с передвигающимися по нему двумя грузами. Грузы должны быть установлены так, чтобы центр тяжести регулятора совпадал с геометрической осью шпинделя. Изменение периода колебаний шпинделя достигается перемещением грузов. Коронное колесо перемещается на один зубец при каждом полном колебании балансира фолио. У этого балансира отсутствует собственный период колебания. Оно испытывало влияние того вращающего момента, который приложен к коронному, или спусковому, колесу.

До появления маятниковых часов при отсутствии повышенных требований к точности хода часовщики считали фолио наилучшим балансиром, поскольку он был малочувствителен к изменениям температуры и легко и просто регулировался.

Часы Генри де Вика с боем, и потому они, кроме ходового механизма, имеют также механизм боя (рис. 98), который с часовым механизмом связан лишь включением его в действие в запрограммированное время. Он состоит из двигателя, колесной передачи и регулятора; вместо стрелочного механизма он имеет специальное сигнальное устройство. Механизм боя приводится в действие гирей; заводятся часы ключом в A .

В механизме боя имеется подъемное колесо E , по окружности которого вставлены восемь штифтов. Штифты, расположенные на одинаковом расстоянии как от центра колеса, так и друг от друга, во время боя часов поднимают рычаг молотка. Когда рычаг падает с подъемного штифта, вместе с ним падает молоточек, который ударяет по колоколу.

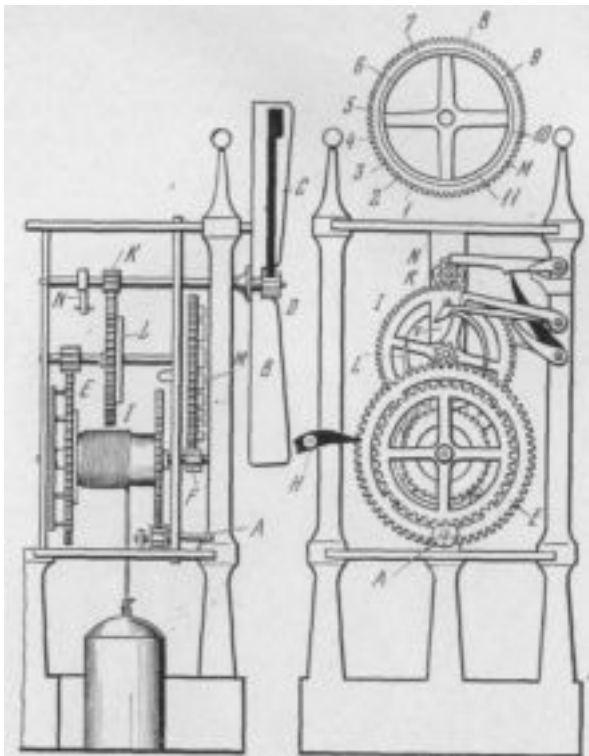


Рис. 98. Механизм боя башенных часов де Вика

Колесо *E* делает один оборот за 12 ч; за то же время второе колесо делает 78 оборотов. В течение этого времени молоток отбивает часы от 1 до 12. Каждому полному обороту второго колеса соответствует один удар молотка в колокол. Второе колесо *N* приводит в движение вал ветряка посредством шестерни *K*. Ветряк *B*, регулирующий скорость вращения колес в течение действия боя часов, своими двумя лопастями свободно сидит на оси. Он приходит во вращение в течение действия механизма боя благодаря наличию собачки *C*, сцепленной с зубом храпового колеса *D*.

Механизм боя со счетным кругом приходит в движение каждый час.

Счетный круг *M* (см. рис. 98) содержит по окружности 11 пронумерованных (от 1 до 11) выступов. Между ними имеются выемки на неодинаковых расстояниях друг от друга. Начиная с 1 до 11, это расстояние прогрессивно увеличивается. Благодаря наличию в боевом механизме счетного круга замыкание не может произойти до тех пор, пока рычаг, находящийся на оси ветряка и снабженный шипом, не попадет в одну из этих выемок, имеющих между указанными выступами.

Механизм боя часов автоматически приходит в движение ежедневно, производя соответствующее количество ударов, и автоматически же выключается. В остальное время механизм боя совершенно отделен от хода часов и находится в бездействии.



Рис. 99. Внешний вид часов де Вика, установленных во Дворце правосудия после их реконструкции

Де Вик в своей конструкции часов со всей тщательностью разработал и успешно осуществил механическое взаимодействие часового и боевого механизма, необходимое для боя часов [142].

После реконструкции часов де Вика, осуществленной Жюльеном Леруа, они были установлены во Дворце правосудия (рис. 99).

Первые английские башенные часы. Строительство башенных часов в Англии имеет свою историю, однако ранний ее период содержит много неясного.

Более достоверными являются известия об установке здесь башенных часов лишь с 70-х годов XIV в. Теперь принято считать, что в Лондоне первые достоверно известные башенные часы с боем были установлены по приказу короля Эдуарда III (1327—1377) для Вестминстерского дворца. Они были установлены на специально воздвигнутой в 1365 г. часовой башне. Сохранилась и позднейшая запись монаха Мальмесбурна от 1373 г., на основании которой устанавливается, что «в этом году были впервые изобретены часы, последовательно разделяющие сутки на 24 часа» [157, 35]. Монах, по-видимому, не знал, что на континенте в это время существовало уже несколько таких часов и потому не могло быть часов, упоминаемых в этой записи, «впервые изобретенных». Часы били 24 раза последовательно, подобно итальянским часам. Их бой был слышен ночью в Лондоне.

Строителями этих часов были три голландских часовщика, специально приглашенные в Англию королем Эдуардом III. В 1368 г. всем им были выданы паспорта на временное проживание в Англии; в своих занятиях часовым искусством они пользовались особым покровительством самого короля.

Из английских башенных часов, дошедших до настоящего времени, самыми старинными являются часы в Конене, Солсбери и Уэльсе.

Архивные материалы Конена свидетельствуют, что в 1379 г. были установлены большие часы, причем нет причин сомневаться, что сохранились именно они. Они имеют часовой механизм, механизм боя часов и четвертей часа, которые все смонтированы внутри большой прямоугольной железной рамы. Рама имеет около 2 м в длину, 1,5 м в ширину и 2 м в высоту. Это наиболее ранние часы, обладающие механизмом для боя четверти часов. Сейчас ход этих часов управляется маятником, но он несомненно является позднейшим нововведением; некоторые колеса также заменены.

Механизм солсберийских соборных часов сейчас находится в северном нефе собора, а механизм уэльских часов — в Научном музее Лондона. Обе эти модели очень похожи.

В солсберийских часах, изготовление которых относят к 1386 г., имеется ходовой механизм и механизм боя часов, тогда как в уэльских часах, которые были построены, вероятно, около 1392 г., есть, кроме того, механизм для боя четвертей часа, хотя, может быть, он был добавлен позже. Механизм как тех, так и других часов смонтирован внутри в большой железной раме. Циферблат в солсберийских часах отсутствует, а в уэльских он сохранился, хотя, возможно, и не в первоначальном виде. Теперь эти часы в качестве регулятора хода имеют маятник, но видны следы применения более раннего балансира фолио.

Имеются свидетельства, что в Уэльсе в 1392 г. уже имелись башенные часы; по-видимому, они были изготовлены еще ранее. Однако теперь подвергается сомнению предание, будто часы построены в 1325 г. Питером Лайфутом — монахом гластонберийского аббатства. Механизм боя уэльских часов приводится в действие отдельной гирей; имеется счетный круг, который до сих пор используется в башенных часах. Механизм отбивает часы и дает перезвон на четвертях часа. Часы относятся к XIV в., однако некоторые их части более позднего происхождения, например внутренний циферблат, показывающий часы и минуты, фазы Луны. Над циферблатом помещены фигуры четырех рыцарей на лошадях. Каждый час двое из них с одной стороны нападают на двух других и воспроизводится сцена турнира, причем один из рыцарей оказывается

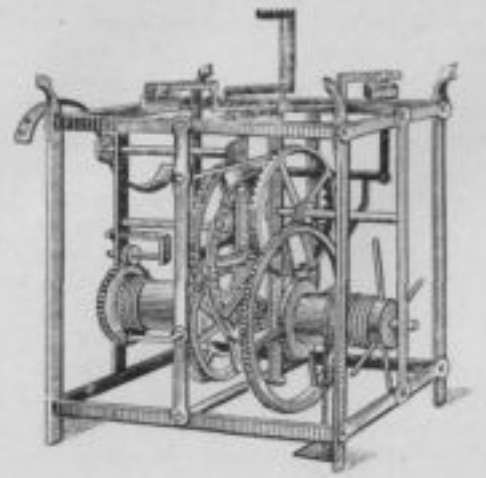


Рис. 100. Английские башенные часы Доверского замка, в которых сохранился балансир фолио; сооружены около 1415 г.

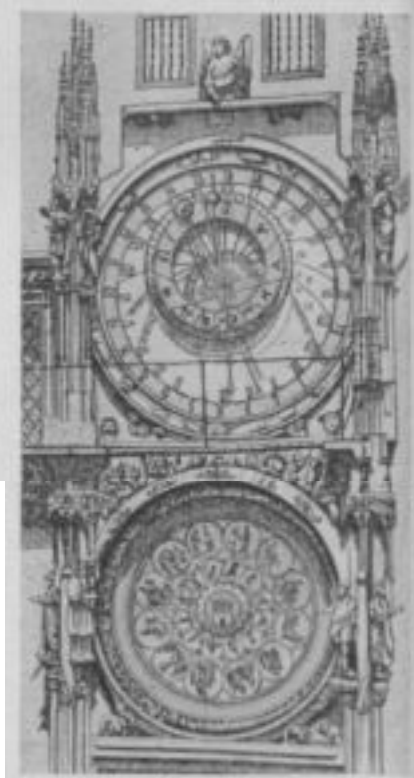


Рис. 101. Пражские башенные часы

сброшенным с лошади. Внутри собора имеется фигура, известная под названием «Джека Бландифера», который ударяет пятками в колокола каждую четверть часа, а молотком по колоколу — каждый час.

С исторической точки зрения большой интерес представляют башенные часы Доверского замка, сохранившиеся до настоящего времени (рис. 100). В этих часах в неприкосновенности сохранился старинный шпиндельный ход и регулятор хода часов фолио. Часов с таким старинным ходом и регулятором до нашего времени дошло очень мало.

Их часовой механизм состоит всего лишь из трех колес: главное колесо с 96 зубцами, приводящее в движение колесо с 17 зубцами, и ходовое колесо с 33 зубцами. Главное колесо делает за час один оборот. Балансир фолио совершает двойное колебание примерно за 8 с. Длина балансирного рычага, или коромысла фолио, 70 см. Механизм хода заводится при помощи четырех радиальных рычагов, имеющих на заводном барабане.

Механизм боя действует от отдельного груза и состоит из двух пар колес. Его ход регулируется ветряком. Включение и выключение механизмов боя осуществляется от штифта на главном колесе часового механизма; здесь для этой цели храповое устройство не применяется. Защелка западает в спицы колес. Как колеса, так и рама изготовлены из кованого железа. Рама скреплена штифтами, а не винтами.

Точных сведений относительно происхождения этих часов нет, но существует предание, что они были изготовлены в Швейцарии в 1348 г. Имеются также расходные записи, показывающие, что в 1404—1407 гг. производились выплаты по уходу за доверскими часами; более или менее вероятно, что описываемые часы были установлены в XIV столетии. По конструкции и по технологии они похожи на часы XIV в. [157, 69—73].

В Англии, кроме часов Доверского замка, старинные башенные часы имелись в Кассиобери. По устройству они были сходны с часами Доверского замка. По-видимому, их изготовляли одни и те же мастера.

Между 1360—1500 гг. строительство башенных часов в Западной Европе непрерывно увеличивалось. К 1500 г. в каждом большом городе имелись башенные часы; другие башенные часы, но более сложного устройства стояли на городском кафедральном соборе [39, 487—494].

Сложные соборные часы отличались от обычных не устройством часового и боевого механизма, а наличием добавочных механизмов и устройств, служащих для воспроизведения всех указанных выше дополнительных движений, весьма оживлявших эти часы.

От XV—XVI столетий дошло много замечательных башенных часов. Большинство из них подверглось позднейшей реконструкции, и лишь самое малое количество сохранилось в первоначальном виде. Приведем описание некоторых старинных башенных часов, пользующихся популярностью и в наше время [33, 53, 40].

Пражские башенные часы. Большую древность имеют знаменитые Пражские башенные часы, которые установлены на площади городской ратуши (рис. 101). Они дошли до наших дней и продолжают привлекать к себе внимание даже в настоящее время.

Здание городской ратуши в Праге было построено в 1338 г. На нем через 26 лет была воздвигнута башня, с которой глашатай оповещал, который час. Первые часы на башне были установлены в 1402 г. Они имели два больших циферблата. Нижний циферблат воспроизводил вечный календарь, а верхний — движение Луны и Солнца. Циферблат, показывающий четыре фазы Луны, был добавлен в 1597 г. Часы работали до 1824 г., когда их из-за неудовлетворительного состояния пришлось поставить на капитальный ремонт. После ремонта часы работали до 5 мая 1945 г. В связи с военными событиями здание ратуши было разрушено. Часы вышли из строя. На восстановление их потребовалось два года.

В этих часах обращает на себя внимание не только механизм, но и механические устройства, служащие для воспроизведения различных сцен. Перед боем часов раскрываются два окна над циферблатом и из них выходят 12 апостолов. Часы оживлены и другими механическими фигурами. Страшная фигура Смерти, стоящая на правой стороне верхнего циферблата, при каждом бое часов поворачивает косу, а затем песочные часы, напоминая о конце жизни. Человек, стоящий рядом, кивком головы как бы подчеркивает роковую неизбежность. На другой стороне этого же циферблата находятся еще две фигуры. Одна изображает человека с кошельком в руках; каждый час он звенит лежащими в нем монетами, показывая, что время — деньги. Другая фигура изображает путника, мерно ударяющего посохом о землю. Она показывает, как с течением времени движется по жизненной дороге человек, или суетность жизни. После боя часов появляется петух и три раза кричит. Пос-

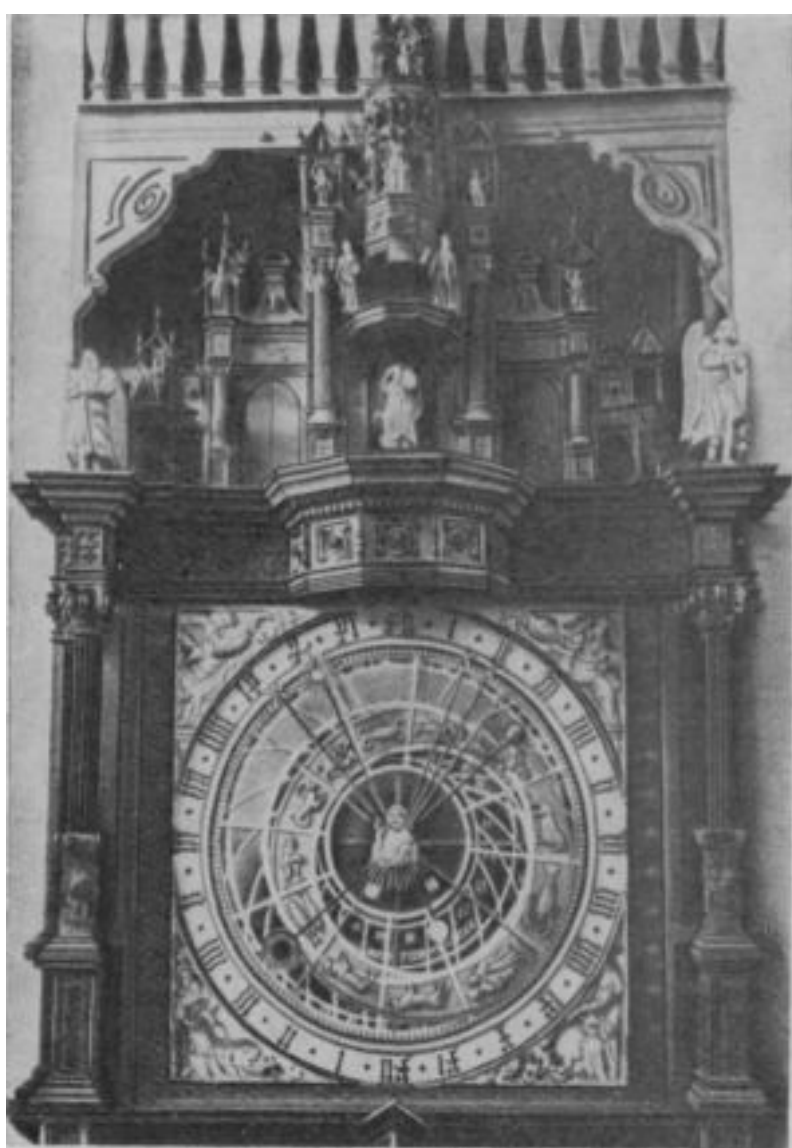


Рис. 102. Башенные часы в церкви г. Любека

ледним в оконце появляется Христос и благословляет всех стоящих внизу зрителей, которые, как и пятьсот лет назад, собираются на площади перед часами, чтобы посмотреть на чудесное творение старого мастера.

Часы в г. Любеке. Замечательны по своему устройству башенные часы, установленные в 1405 г. на западной стороне высокого алтаря церкви св. Марии в городе Любеке (рис. 102). Эта церковь сложена из кирпича. Часы до



Рис. 103. Башенные часы на площади св. Марка в Венеции



Рис. 104. Руанские башенные часы

сих пор работают, но были в ремонте в 1860 и 1889 г. Они показывают движение небесных тел, а когда бьют 12 ч, приходит в движение ряд автоматических фигур. Через боковые двери входят немецкие курфюрсты и присутствуют на церемонии торжественного вступления императора на трон. Затем открывается другая дверь, и появляется Христос; после того как он дает благословение, все удаляются при звуках фанфар и хора ангелов.

Часы на площади св. Марка в Венеции. Они считаются замечательными башенными часами. Однако до нашего времени они не дошли в первоначальном виде. Часы установлены в 1495 г. Джованни Рейнальдом и его сыном Карлом. О конструкции первых часов мы ничего не знаем. Вторые часы были закончены вскоре после 1600 г. (рис. 103). Их циферблат показывал время суток, знаки зодиака и движение Солнца и Луны. На галерее — выше циферблата — три волхва во главе с ангелом шествуют и преклоняются перед богородицей. На самом верху находились два бронзовых гиганта — мавр и индус, отбивавшие часы на колоколе большими молотками.

Руанские башенные часы были изготовлены механиком де Феленсом в 1389 г. Это одни из первых часов, которые отбивали не только часы, но и четверти часа. Для того времени они были наиболее механически совершенными, но в 1572 г. испортились. Когда они перестали бить, весь город пришел в смуту: ведь в Руане и его окрестностях жизнь и дела регламентировались этими часами. Они показывали время суток, день недели, фазы Луны (рис. 104).

Лионские часы. Знаменитые эти часы стоят в северном поперечном неф готического кафедрального собора св. Жана в Лионе (Франция). Они имеют форму башни, высота которой сорок футов. Сооружение часов обычно приписывают Николаю Липпу из Базеля и относят их окончание к 1598 г. Однако известно, что еще в 1572 г. над какими-то часами работал местный часовщик Яков Левет. Возможно, Липп просто обновил часы Левета, а может быть, заменил их другими. В настоящее время после неоднократной реконструкции и добавлений лионские часы имеют весьма величественный вид и оживлены разнообразными автоматическими фигурами, разыгрывающими различные сцены.

Часы состоят из трех частей: нижнего этажа, среднего этажа и автоматических фигур наверху (рис. 105). На левой стороне нижнего этажа находится



Рис. 105. Лионские башенные часы

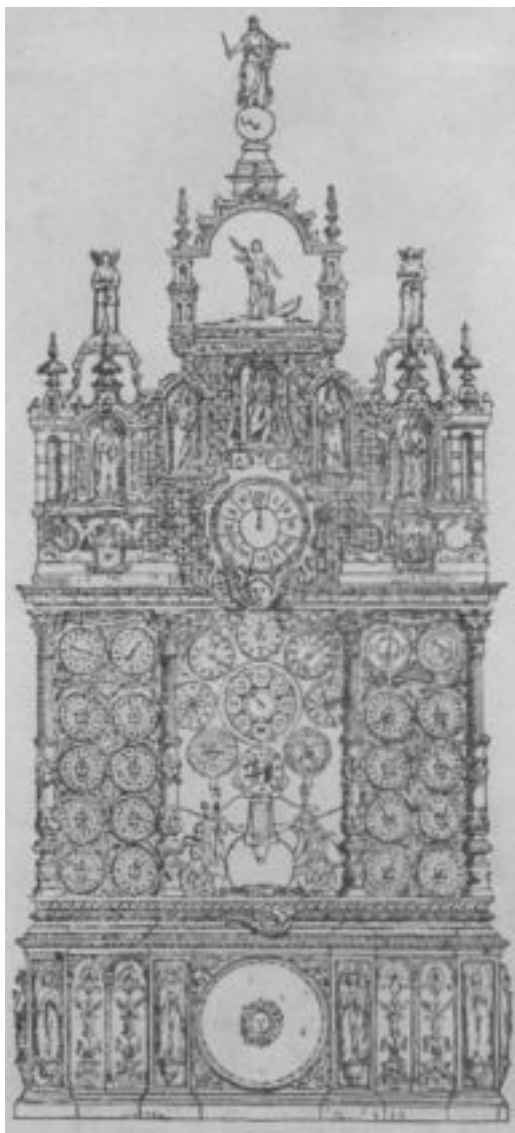


Рис. 106. Башенные часы в Безансоне

дверь, которая открывает доступ к механизму часов. Циферблат показывает год, месяц, день недели, число и даты пасхи.

В среднем этаже имеется большой овальный циферблат, который был добавлен в 1661 г. для показания минут. На фасаде находится циферблат для показания часов дня, положения Солнца и фаз Луны.

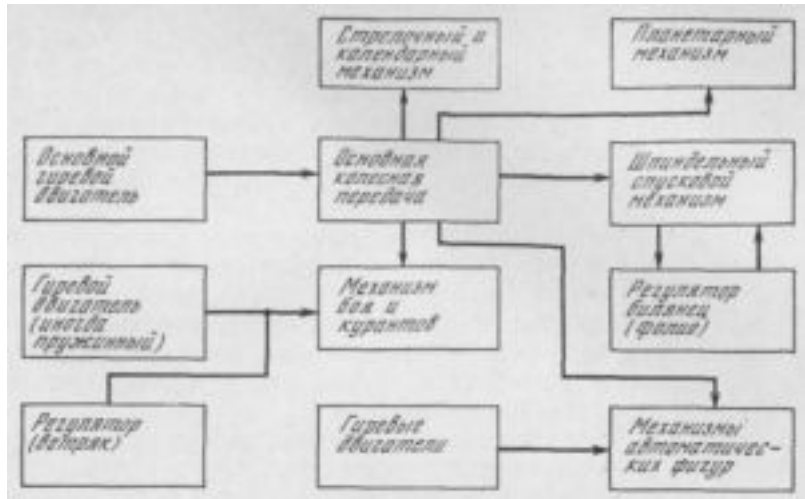


Рис. 107. Схема устройства механизма башенных часов во второй половине XIV в.

В верхней части часов находятся автоматически движущиеся фигуры. Дни недели показываются посредством фигур, которые появляются в позолоченной нише. Они появляются в полночь и остаются до следующей полуночи. Воскресенье отмечается фигурой, символизирующей этот день недели; понедельник, вторник и следующие дни отмечаются другими соответствующими фигурами. Над этими фигурами находится коленопреклоненная дева Мария; еще выше — бог-отец с ангелами с колокольчиками. Башня часов увенчана петухом.

Часы били в определенное время: утром, в полдень и в послеполуденное время (от утра до вечера). Когда наступало время отбивать часы, стоящий слева ангел поворачивал песочные часы. Три раза кричал петух, вытягивая шею и взмахивая крыльями. Ангелы исполняли гимны на колокольчиках, тогда как ангел, стоящий справа, отбивал время. Затем открывалась дверь и перед девой Марией появлялся архангел Гавриил, а через раскрывшийся потолок «нисходил» голубь. Бог-отец давал свое благословение. Потом все действующие фигуры удалялись [28, 92—93].

Как велики могут быть успехи в отношении усложнения механики башенных часов, можно судить по часам, установленным в Безансоне (Франция) (рис. 106). Эти часы имеют 70 циферблатов и состоят приблизительно из 30 тыс. деталей.

Башенные часы обычно имеют отдельный механизм для боя и механизм для показания времени, приводимых в действие соответствующими двигателями. Все это мы видели уже в часах де Вика.

Схема устройства башенных часов даже во второй половине XIV в. была достаточно совершенной и сложной (рис. 107).

В XIV—XVII вв., до изобретения маятника, в башенных часах продолжали применять шпиндельный ход с балансиром фо-

лио без какого-либо существенного его усовершенствования. Это объясняется тем, что «до конца XVII в. не было научной базы, как справедливо утверждает Е. А. Цейтлин, для превращения часов в точный измерительный прибор. Теоретические работы Леонардо да Винчи и Кардано не установили еще основного для часового механизма принципа изохронности колебаний» [79, 374].

Если иметь в виду башенные часы в целом, то для усовершенствования их устройства строителями было сделано очень много. В XIV—XVII вв. не было такой отрасли техники, к которой **было** бы приложено столько гениальной изобретательности, знаний и остроумия, как при конструировании и создании башенных часов со сложным устройством. Здесь имело место сплетение воедино механики, техники и искусства.

В башенных часах впервые было применено программное устройство в виде счетного круга для боя часов, получасов, а для боя четвертей часа потребовалось еще более усложнить это устройство. Механизм боя приходил в движение каждый час, получас и четверть часа, а все остальное время находился в бездействии. Программное устройство, следовательно, автоматически регулировало движение боевого механизма.

В условиях развития торговли и промышленности в городах XIV—XVII вв. бой четвертей часа имел большое значение для регулирования там повседневной и деловой жизни, в особенности потому, что на часах имелась только часовая стрелка (без минутной).

Весьма характерным для башенных часов является применение в них зубчатой колесной передачи для приведения в действие механизма боя для обеспечения движения различного назначения стрелок на циферблате, для автоматического воспроизведения «вечного календаря», действия фигур по заданной программе и т. д. Особенно удивляла современников возможность воспроизводить с участием колесной передачи движение небесных светил по птолемеевой или коперниковой системе мироздания; им казалось, что техника с помощью науки добралась до механизма Вселенной.

В башенных часах впервые нашли применение сложные (многоступенчатые) колесные передачи (кинематические цепи с большими передаточными отношениями), а также кулачковые и храповые механизмы и муфты. В XIV—XVII вв. не было более сложного технического объекта, чем башенные часы. Они по количеству, разнообразию и точности механизмов, подлежащих синтезу, превосходили любые технические объекты того времени. Но особенно многосложной в башенных часах была колесная передача. Джуанелло Турриано потребовалось 1800 колес для создания своих башенных часов, чтобы воспроизвести в них дневное движение Сатурна, часы дня, годичное движение Солнца, движение Луны, а также всех планет в их «обычном движении» соответственно птолемеевой системе мироздания.

Применение в башенных часах системы зубчатой передачи с большими передаточными отношениями потребовало знания важнейших кинематических соотношений, например числа оборотов колес и трибов при определенном количестве зубцов колес и трибов. Возникла необходимость в разработке кинематики механизмов. Зубчатыми передачами уже интересовались Леонардо да Винчи и Джеронимо Кардано (1501-1576). Последний, занимаясь часовыми механизмами, уделял внимание кинематике зубчатого зацепления в своем труде «*Dererum variete*» [80, 175—178].

Весьма привлекательной частью башенных часов, кроме движения разнообразных по назначению стрелок, было наличие затейливых фигур, совершающих движение по определенной программе и весьма оживляющих часы. Для примера покажем, как в прежних башенных часах воспроизводилось движение 12 фигур апостолов.

Эти фигуры, размещенные по особой программе, несет на внешней окружности большой диск, управляемый часовым механизмом, чтобы обеспечить движение по заданному маршруту. Рычаг, соединенный с руками, головой или другой частью фигуры, то поднимается, то опускается в то время, когда вращается круг, снабженный вырезами и зубцами. Фигура посылает привет, кланяется или благословляет, смотря по тому, в какой роли она участвует в данной сцене.

Циферблат часов часто располагался на всех четырех сторонах башни, и на всех этих четырех циферблатах стрелки должны были показывать одно и то же время. Это достигалось путем устройства соответствующей колесной передачи (соединенной с часовым колесом), позволявшей одновременно перемещать



Рис. 108. Автомат для боя часов и четвертей часов из Льежа

стрелки часов на одно деление на всех четырех циферблатах. Иногда время отмечалось только боем. На рис. 108 можно видеть сложное механическое устройство, предназначенное для осуществления боя часов и отдельно боя четвертей часов.

Башенные часы сложного устройства со многими стрелками, движущимися по циферблату, и с автоматически движущимися затейливыми фигурами, с многосложным механизмом вызывали восхищение, а у не посвященных в механику часов — удивление. Они, естественно, приковывали внимание не только современников: к ним сохранился интерес до сих пор. Такие часы, как страсбургские, нюрнбергские, парижские, часы де Вика и другие, воспевали поэты, ими восхищались даже люди науки. С этими часами связывались воспоминания о целых столетиях, канувших в вечность. Не нужно забывать и того, что создание их совпало с развитием искусства в период Высокого Ренессанса и они сами по себе являлись подлинным шедевром искусства.

Повышенный интерес современников к действиям сложных башенных часов весьма умело использовали господствующие классы и церковь для насаждения церковной идеологии, показывая сцены на библейские сюжеты. Следовательно, башенные часы средневековья несли не только службу времени. Вместе с тем не следует забывать, что создание прославленных башенных часов отмечает весьма важный прогресс в развитии культуры, науки, техники и искусства. Наличие в этих часах боевых и часовых механизмов, а также механизмов для воспроизведения движения Солнца, Луны, планет, самодвижущихся фигур по заданной программе и т. д. служит наглядным свидетельством действительных успехов науки и техники того времени.

Механические часы, по словам Ф. Энгельса, явились «крупным шагом вперед как во *временисчислении*, так и в *механике*» [3, 506].

Появление и развитие механических часов индивидуального пользования в Западной Европе в XV—XVII вв.

По сохранившимся историческим данным невозможно с полной достоверностью восстановить самую раннюю историю появления и распространения в Западной Европе механических часов индивидуального пользования. Но есть некоторые основания утверждать, что часы такого рода появились в конце XIII или в начале XIV в. в жилищах итальянских князей и во Франции — во дворце Филиппа IV Красивого. В описи имущества последнего упоминаются комнатные часы с двумя свинцовыми гирями. Другое упоминание о часах индивидуального пользования имеется в поэме «Роман о Розе» Жана де Мёна, написанной в XIII в. В четверостишии, относящемся к часам, говорится: «И тогда он заставил часы звонить в своих залах и в своих комнатах посред-

ством хитроумно изобретенных колесиков,двигающихся непрерывно».

Робертсон находит, что здесь речь идет о механических часах индивидуального пользования [157, 43—44]. С этой интерпретацией не согласен Байли. Он полагает, что в четверостишии, скорее всего, говорится о каком-то музыкальном инструменте. Слово *orglog* могло содержать способ подбора колокольчиков [105, 42—43].

В некоторых старинных письмах и манускриптах имеются ссылки на портативные часы. Часть письма, написанного Джоном Пастом в 1469 г., гласит: «Прошу Вас поговорить с Гарнунтом из аббатства относительно маленьких часов, которые я послал ему для починки с Джонсом Гресхемом. Если они готовы, будьте добры взять их у него и прислать мне».

После 1490 г. все чаще и чаще встречаются записи, касающиеся покупки домашних часов королями, принцами и другими состоятельными людьми.

Домашние (комнатные) часы по своей конструкции были во всем аналогичны большим часам общественного пользования, за исключением, конечно, габаритов. Они могли крепиться к стене на консолях. Часы имели механизм хода и боя, иногда применялись еще устройства для будильника. До изобретения пружинного двигателя домашние часы, так же как и башенные, приводились в действие грузом. Механизм изготовлялся из железа и монтировался на железной раме. Ход домашних часов регулировался баланси́ром фолио.

Большим недостатком комнатных часов XV в. было то, что в них некоторые колеса иногда были таких размеров, что выступали за раму.

На рис. 109 показаны настенные часы с гирями.

После 1550 г. в качестве материала для изготовления часов, в том числе и домашних, стала все шире употребляться латунь.

В XV в. механические часы индивидуального пользования были редкостью. Их производство еще не вышло за пределы выполнения мастерами индивидуальных заказов. Поэтому такого рода часы имелись только у очень богатых людей. Большая же часть горожан продолжала узнавать время по башенным часам. Нередко пользовались и солнечными часами.

Потребность в часах индивидуального пользования, наметившаяся в XVI в., в XVII в. значительно усиливается, и не только среди знати, но и среди буржуазии, а также горожан. Однако удовлетворить эту потребность стало возможным лишь после применения в часах ходовой пружины, когда стало возможным изготовлять часы удобных размеров. Появление карманных часов Ф. Энгельс относит к самому концу XVI в. [3, 508]. С этого момента в области часового дела начался действительный прогресс и более значительное распространение часов среди широкого круга горожан. Этому также способствовал переход Западной Европы на новый счет времени (с делением ночных и днев-

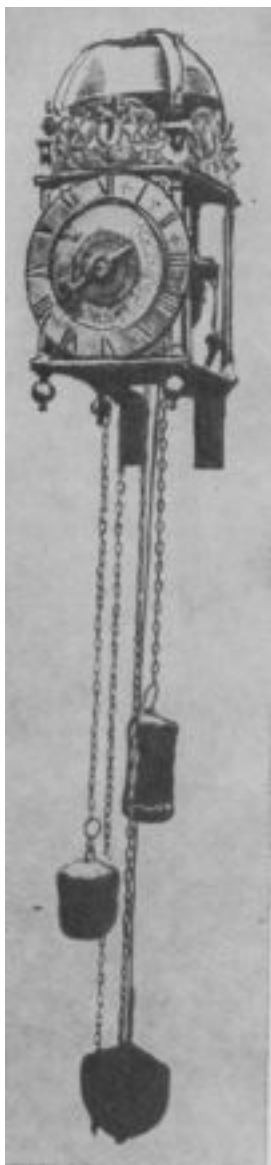


Рис. 109. Настенные часы, приводимые в действие гирями

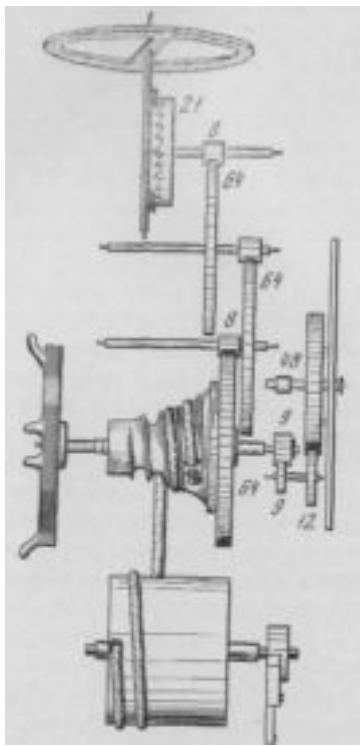


Рис. ПО. Итальянские пружинные часы с фузейей и с балансом в качестве регулятора хода

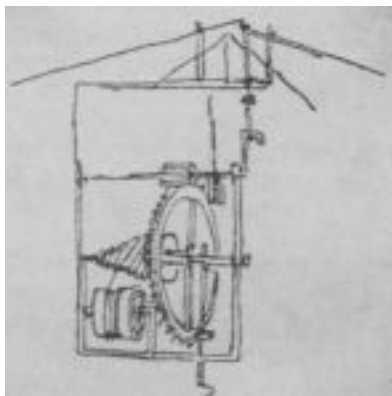


Рис. 111. Рисунок фузеи, выполненный Леонардо да Винчи

ных часов на 12 равных часов вместо неравных канонических часов).

В XVII в. мода на часы получает все большее распространение, причем часы являлись зачастую не столько измерителем времени, сколько предметом украшения. Часы, усыпанные алмазами и рубинами, носят знатные дамы и кавалеры. Франты вставляют часы в набалдашники своих тростей. Не отстает и духовенство: для него стали изготавливать наперстные кресты с часами. Некоторые епископы носили посохи с часами в рукоятке. Те, кто не мог приобрести дорогие карманные часы, пользовались миниатюрными песочными часами, привязывая их как украшение к колену.

Появление и развитие часов с пружинным двигателем. Самые ранние портативные приборы времени, приводимые в движение пружиной, появились в Италии уже в XV столетии. Упоминания о существовании там пружинных часов содержатся в двух источниках, недавно открытых Антонио Симони [165]. В письме Комино де Понтевика, датированном 1482 г., сообщается о часах, в которых узкая лента (из отпущенной стали) навита на опорную ось. Имеется фузея, к основанию которой одним концом была присоединена кетгутовая струна¹, другой ее конец присоединен к опорной оси заводной пружины. Второе сообщение мы находим в эпитафии к сонету, написанному Гаспаром Висконти в 1493 г.: «Здесь говорится о портативных часах, имеющих механизм хотя и малого размера, но способный поддерживать ход часов. Часы показывают не только время, но и ход планет, праздники, а также отбивают время». В литературе имеются упоминания о трех переносных часах из Милана, двое из них — с боем.

О применении пружины в часах было известно и Леонардо да Винчи (о чем см. выше, с. 197).

Самое раннее изображение часов, приводимых в действие пружиной, относится к середине XV в. Внешне они мало чем отличаются от часов индивидуального пользования, приводимых в действие грузом.

Из источников о существовании пружинных часов заслуживает особого внимания рукопись Павла Алемануса, составленная в Риме в 1477 г. Описанные там часы (рис. 110) имеют шпиндельный ход и баланс в качестве регулятора. Фузея здесь была использована для уравнивания крутящего момента ходовой пружины. Главное колесо, на оси которого сидела фузея, делало один оборот в течение трех часов, за то же время баланс совершал 10 752 секундных колебания [38, т. 3, 656].

Таким образом, нет сомнений, что фузея была изобретена в Италии. Леонардо да Винчи тоже был знаком с назначением этого устройства. Эскиз фузеи, сделанный его рукой, можно видеть на рис. 111.

¹ Кетгутовая струна изготавливалась из кишок животных.

Со второй половины XV в. дворы Италии и Франции уже знали часы-будильник. В инвентарных книгах Савойского двора упоминаются часы в форме тамбурина, которые по своим размерам могли быть только пружинными. Во Франции в 1480 г. несомненно уже имелись пружинные часы, упоминается даже их изобретатель Каравагиус. Портативные пружинные часы, однако, раньше всего появились в Италии и отсюда стали в XV в. распространяться в других странах Западной Европы.

Производство пружинных часов с боем достигает значительного развития в Германии, особенно в Нюрнберге, который в XV—XVI столетии являлся одним из значительных центров развития не только торговли и промышленности, но науки и техники. Достоверно известно, что инициатором производства там этих часов был слесарь Петр Генлейн, своими руками изготовивший в начале XVI в. несколько пружинных часов.

В приложении к космографии, составленной Помпонием Мелом в 1511 г., Ион Коклей писал: «Петр Генлейн, еще молодой человек, создает творения, которым даже наиболее ученые математики отдают дань уважения: из небольшого количества железа он изготавливает снабженные многими колесами часы, которые, как бы их ни поворачивали, без наличия какого-нибудь груза показывают и отбивают 40 часов, даже если находятся на груди или в кошельке» [83, 510].

Нам неизвестно, какой вклад действительно внес Генлейн в часовое дело своими изобретениями. Но ясно одно, что он не был изобретателем отдельных механизмов пружинных часов. Все основные части и механизмы для них (заводная пружина, фузея и др.) уже были изобретены до него в Италии.

Часов, которые можно приписать Генлейну, до нашего времени не дошло. Но в заслугу ему следует вменить и то, что он сумел образцами своих изделий вызвать интерес к изготовлению пружинных часов. По типу созданных им часов стали изготавливать пружинные часы не только в Нюрнберге, но и за его пределами.

В настоящее время в музеях имеется только двое часов, современных Петру Генлейну. Одни из них до 1939 г. находились в Мюнхене, а другие — в лондонском Музее древностей. Последние были изготовлены Яковом Цехом для польского короля Сигизмунда I в 1525 г. (дата, как и имя изготовителя, обозначена на пружинном барабане). Это часы цилиндрической формы и большого размера (диаметр 25 см, высота 52 см). Годовое колесо в них предназначено для того, чтобы показывать положение Солнца в зодиаке. Имеется два часовых круга: внешний с обозначением цифр I—XII и I—XII раздельно для каждой половины суток и внутренний — с обозначением цифр для всех 24 часов суток (I—XXIV). Эти круги снабжены устройствами, позволявшими передвигать стрелки так, чтобы можно было регулировать время по богемскому или итальянскому счету времени.

Вслед за Петром Генлейном **вскоре стали** изготавливать пруж-

жинные часы не только в Нюрнберге, но и в Аугсбурге, Праге и других городах.

Появление и распространение пружинных часов в XVI в. явилось причиной соревнования между итальянскими, французскими и немецкими часовщиками в создании разнообразных, иногда самых необыкновенных часов по форме, сложности механического их устройства и внешней орнаментации. От первой половины XVI в. до нас дошло большое количество таких часов, которые можно рассматривать как чудеса механики. После появления пружинных часов часовщики стремились пристраивать к ним сложные механизмы, приводившие в движение различные фигуры, стрелки, показывавшие время различных, более известных городов, годы, месяцы, числа, дни недели, церковные праздники, фазы Луны и пр. Наиболее простые часы имели только бой и будильник.

Развитие в XVI в. производства пружинных часов индивидуального пользования совпало с блестящим подъемом культуры в Западной Европе в связи с возрождением изобразительного искусства и живописи, достигших особого успеха в произведениях гениальных мастеров так называемого Высокого Ренессанса. Именно это общее движение, вызвавшее также и интерес к науке и технике, породило профессию часовщика и привело к образованию центров часового производства. В XVI столетии во всех передовых странах Западной Европы можно отметить появление таких центров: в Италии — Флоренция, Венеция, Генуя, Милан, Неаполь, Рим; во Франции — Париж, Блуа, Гренобль, Лион; в Нидерландах — Антверпен, Юрюссе, Гент, Брюссель, Амстердам; в Англии — Лондон; в Германии — Нюрнберг и Аугсбург [137].

Самые ранние пружинные часы были по форме цилиндрическими, иногда напоминая плоский барабан диаметром в несколько дюймов. Во Франции появились пружинные часы сферической формы. Пружинные часы сферической и цилиндрической формы получили в Англии удачное название «clocks-watches». Они занимали промежуточное положение между настольными и карманными часами. Карманные часы в собственном смысле слова появились только через сто лет после применения в часах ходовой пружины.

Обычно принято считать, что первые пружинные часы имели сферическую форму. Однако, по справедливому мнению Бриттена, до сих пор не ясно «были ли самые ранние часы сферической или цилиндрической формы. Около шести типов сферической формы часов дошло от весьма ранней даты, вероятно от второй четверти XVI столетия, и все они немецкие. Имеются также старинные французские часы сферической формы... И все же определенно можно сказать, что часы цилиндрической формы были более ранними и они же потом вытеснили часы сферической формы» [114, 39].

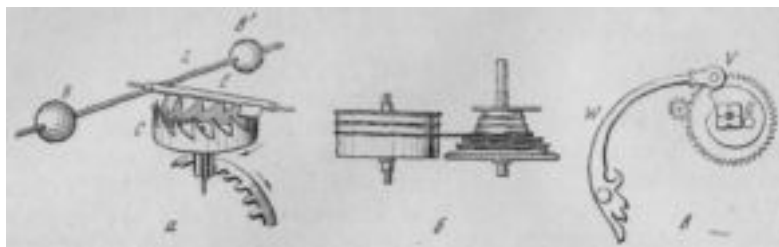


Рис. 112. Устройство для регулирования хода ранних механических часов

a — фолио с грузиками *BB'* на его концах; *E* — шпиндель, *C* — коронное ходовое колесо; *b* — фузея; *в* — тормозное устройство: *W* — сильно изогнутая пружина, *V* — ролик на свободном конце пружины, *U* — неправильной формы кулачок, по которому ролик может совершать движение и сообщать добавочное усилие, необходимое для увеличения крутящего момента ходовой пружины

Пружинные часы цилиндрической формы дошли до нас в большом количестве, их можно видеть во многих музеях Западной Европы.

В исторической литературе часто встречаются часы под названием «нюрнбергские яйца»; они были действительно пружинными часами с ходовым механизмом достаточно малого размера; их могли положить в кошелек или носить в виде брелка.

Как верно замечает Ф. Рело в своей «Истории современного положения часового дела», наименование «яйцо» для самых ранних пружинных часов индивидуального пользования ничего общего не имеет с их формой: оно произошло от латинского *hora*, что означает «час», «время»; путем постепенного искажения этому слову на немецком языке было придано значение — «яичко», «яйцо».

Циферблат ранних пружинных часов изготовлялся из позолоченной латуни; на нем имелась только одна стрелка — часовая. Латунная крышка над циферблатом имела глубокую гравировку. Против часовых цифр материал совсем удалялся, через отверстия можно было видеть цифры и по положению стрелки часов определять время без открывания крышки. Корпус часов часто снабжался петлей, при помощи которой часы можно было подвешивать или переносить.

Механизм изготовлялся из железа или стали. Винты до 1550 г. еще не были известны; соединение частей механизма осуществлялось при помощи штифтов, клиньев, шпонок и т. д. Ходовая пружина представляла собой длинную стальную ленту. Элементы устройства для регулирования хода часов типа *clocks* — *watches* показаны на рис. 112. С 1510 г. в пружинных часах стали применять тормозное устройство (*stackfreed*) в виде пружины, воздействующей на кулачок, укрепленный на валу барабана для

Происхождение этого слова неизвестно, возможно, оно заимствовано из персидского языка.

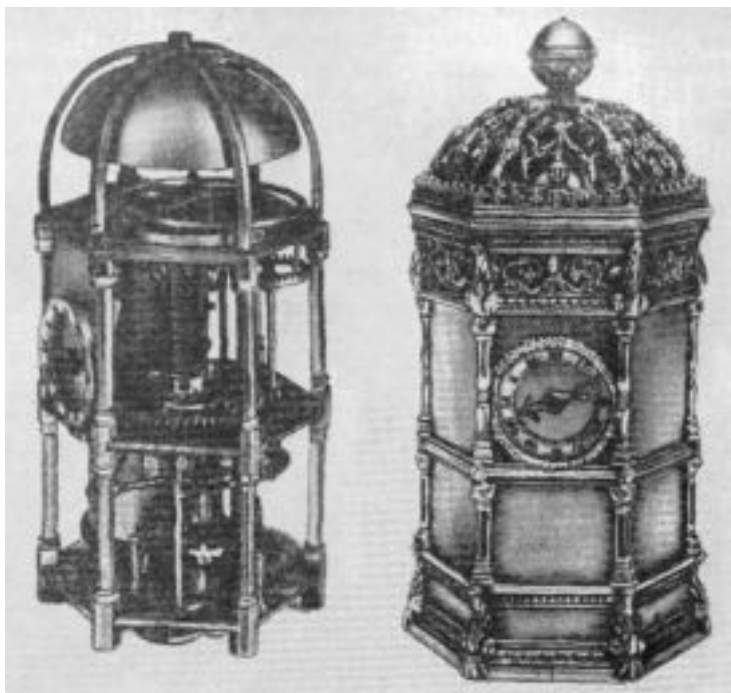


Рис. 113. Настольные часы XVI в.

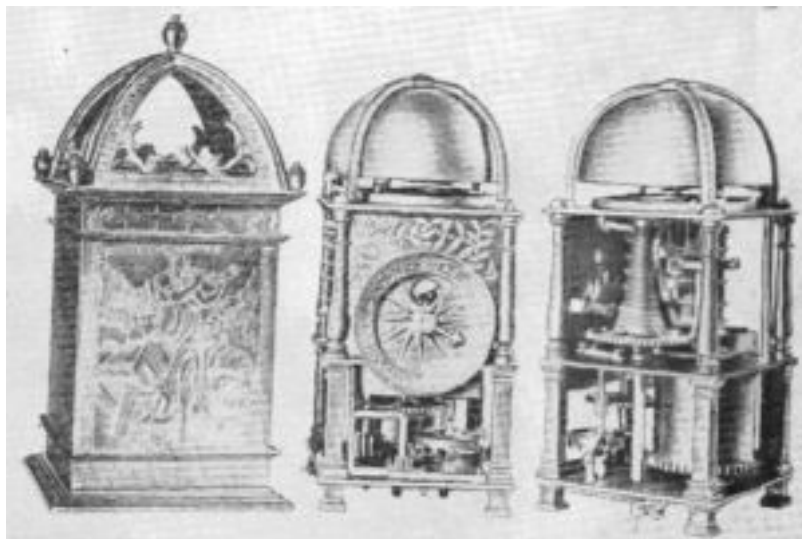


Рис. 114. Французские настольные часы XVI в.

уравновешивания крутящего момента ходовой пружины по мере ее раскручивания. Для этой цели начинает входить в обиход фузея, на введение и распространение которой большое влияние оказал Яков Цех, проживавший в Праге с 1525 по 1540 г.

В ходе развития пружинных часов индивидуального пользования (clock — watches) постепенно начинают выявляться два направления. Одно из них привело к развитию настольных часов, а другое — с 1600 г. к развитию карманных.

Настольные часы второй половины XVI и XVII в. {до 1658 г.}. Первые настольные часы мало чем отличались от ранних переносных часов цилиндрической или сферической формы — только были большего размера. Дальнейшее развитие этих часов свелось к увеличению их размеров; им стали придавать форму зданий — круглых, четырех-, шести- и восьмиугольных, увенчанных сверху куполом или колокольной (рис. 13). По контуру и углам размещались колонки, пилястры, кариатиды; плоскости украшались резьбой, золотыми насечками и выполненными с большим изяществом фигурками, которые нередко могли автоматически двигаться благодаря особому заводному механизму. Настольные часы, снабженные рядом механизмов для автоматического воспроизведения сцен религиозного, исторического, мифологического и бытового содержания, предназначались для подарков и на вывоз.

Настольные часы могли помещаться на камине, на полке или на пьедестале и назывались каминными, полочными, пьедестальными.

В последней четверти XVII столетия пружинные часы в виде настольных часов можно было встретить во всех странах Западной Европы.

До 1600 г. Нюрнберг, Аугсбург в Германии считались самыми крупными центрами производства настольных часов. В Нюрнберге уже в XVI в. существовала корпорация часовщиков.

Во Франции в XVI в. также было развито производство настольных часов. Королевский часовщик Юлиан Кульдрей в 1518 г. для Франциска I (1515—1547) — изготовил двое часов без гирь. По свидетельству французского часовщика Жанвье, между 1560—1590 гг. во Франции стали изготавливать пружинные часы всех размеров, которые славились своим богатым украшением (рис. 114). Наиболее крупными центрами часового производства, кроме Парижа, были Блуа и Руан.

В Париже цех часовщиков появился еще в 1453 г., но только через столетие (в 1544 г.) получил свой первый статут, утвержденный декретом короля: тогда имелись уже три категории часовщиков: 1) специалисты по башенным часам, 2) специалисты по изготовлению настольных часов и будильников и 3) специалисты по изготовлению пружинных переносных часов.

Производство часов в Швейцарии началось в первые десятилетия XVI в. Вероятнее всего, что часы были завезены сюда из Франции и вначале они просто ремонтировались, а потом появились часовщики, которые сами начали их изготавливать.

История отмечает, что первую часовую мастерскую организовал в Женеве Шарль Кузен родом из Аутума (Бургундия) в 1587 г. Через сто лет после переселения Кузена в Женеву там уже было 100 часовых мастеров и 300 подмастерьев, а ежегодный выпуск часов составлял 5000 штук [132]. Эти значи-

Рис. 115. Английские настольные часы в виде фонаря

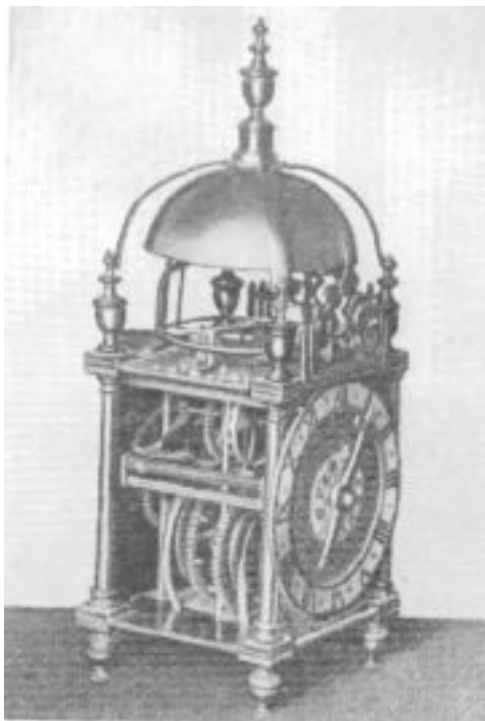


Рис. 116. Часовая мастерская XVI в.



тельные сдвиги в развитии часового производства связаны с переселением в Женеву гугенотов из Франции, среди которых было много часовщиков.

В Англии производство пружинных часов получило развитие позже, чем в Германии и во Франции. Только с начала XVII в. там стали изготавливать домашние часы, которые имели форму фонаря, птичьей клетки и т. д. (рис. 115). Для развития пружинных часов немалое значение имело переселение в Англию после отмены Нантского эдикта из Нормандии и Пикардии 14 гугенотов [175].

На рис. 116 показана часовая мастерская XVI в. и ее изделия — настенные и настольные часы.

Около 1550 г. в некоторых больших часах появляется минутная стрелка, а иногда и секундная. Такие часы можно видеть в музее Нюрнберга. Примерно в то же время входит в употребление будильник.

Механизм старинных домашних часов был открытым. Но такие механизмы покрывались пылью и подвергались коррозии. Поэтому их стали заключать в особые корпуса, которые сначала изготавливались из бронзы, но уже во второй половине XV в. стали делать из серебра и золота с художественными украшениями. Особенно тщательно украшались часы, предназначенные для ношения на шее и для экспорта.

С середины XVI в. настольные часы стали изготавливать в виде круглых коробок с крышкой. Делали и часы небольших размеров с футляром, чтобы их можно было брать с собой в путешествия.

В последней четверти XVII в. домашние настольные часы можно было встретить уже во всех странах Западной Европы.

Развитие карманных часов в XVII в.

В XVI в. намечается тенденция к уменьшению размеров пружинных часов. Так, один золотых дел мастер в 1542 г. поднес герцогу Урбинскому часы, которые могли вставляться в перстень. Архиепископ кентерберийский Паркер имел часы, вставленные в рукоятку трости. В 1575 г. он завещал их своему брату — епископу елейскому. В коллекции часов Пирпонта Моргана имелись часы величиной с орех, датируемые 1650 г. Размер их механизма не превышал 8 мм. Начавшаяся в XVI в. тенденция к уменьшению размеров часов привела в конце XVI или в начале XVII в. к появлению карманных часов. XVII век можно считать золотым веком развития карманных часов, или механических часов, вставленных в корпуса специальной формы.

Ранние карманные часы имели овальную или круглую форму. Ближе к 1650 г. часы во Франции, Швейцарии и Англии приняли окончательно круглую форму. Немецкие карманные часы имели яйцевидную форму, но и там возникла тенденция приблизиться к французским и английским формам часов. На эмалевой поверхности часовых циферблатов, как и на внутренней поверхности крышки часов, появились живописные изображения.

Изяществу в выполнении корпусов и циферблатов стали уделять особое внимание. Они изготавливались из золота, серебра, горного хрусталя. Корпуса часто были усыпаны рубинами, изумру-



Рис. 117. Карманные часы с эмалевыми циферблатами и живописными изображениями на них

дами, жемчугом и другими драгоценными камнями. После того как в 1632 г. Жак Тутен из Лиона изобрел новую эмаль (своей живостью и яркостью она и теперь вызывает восхищение), на эмалевую поверхность стали наносить художественные изображения (рис. 117). В этом проявлялось высокое мастерство золотых и ювелирных дел мастеров того времени. В 1675—1700 гг. стали изготавливать карманные часы самой разнообразной формы (кроме круглой и овальной). В Париже Пьер Джони изготавливал часы, имевшие форму креста; они предназначались для высших членов епископата, которые обычно носили их на груди. Стало

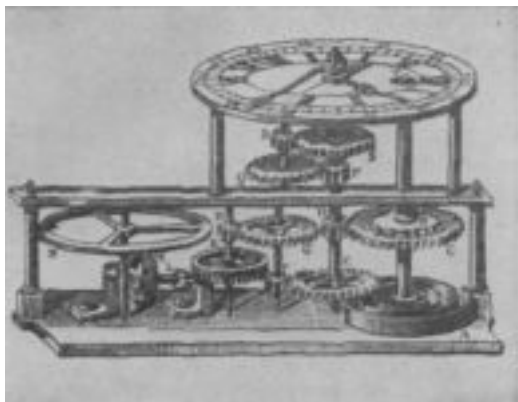


Рис. 118. Баланс, приводимый в действие растяжением и сжатием свиной щетины

Рис. 119. Устройство механизма карманных часов начала XVII в.

модным изготовлять карманные часы в виде книг, фруктов, цветов, висячих замков и даже в виде человеческого черепа.

После 1650—1675 гг. корпуса из горного хрусталя постепенно исчезают. Около 1700 г. для изготовления внешнего корпуса карманных часов стали использовать рыбу, шагреновую, черепаховую кожи с золотыми и серебряными гвоздиками, а также филигранное золото и серебро [105].

В XVII в. в карманных часах стали применять для регулирования их хода вместо фолио баланс со свиной щетиной (рис. 118).

Схема устройства механизма карманных часов начала XVII в. дана на рис. 119. Заводная пружина навита на ось *B*. Свертывающийся конец пружины имеет отверстие, в которое вставлен крюк стержня *A*. Заводной ключ вставляется в квадратную часть этого стержня. После того как ключ начнет поворачивать указанный стержень, заводная пружина будет закручиваться вокруг своей опорной оси; тогда в пружине развивается крутящий момент, действующий в направлении, обратном вращению стержня *A*. Поскольку с помощью этого стержня осуществляется завод часов, то она фактически выполняет ту же функцию, какую в башенных и настенных часах выполняет веревка или цепь с грузом на конце, намотанная на барабан.

Ось, на которой сидит часовое колесо *D*, приводит в действие весь механизм часов (*FGH*). В полый части часового колеса *D* находится храповое колесо *C*, вращающееся по часовой стрелке под действием ходовой пружины, а вместе с ним и часовое колесо *D* через посредство прикрепленной к нему собачки *E*. Если бы это колесо было неподвижным, то при заводе часов требовалось бы передвинуть весь механизм вместе со стрелками настолько же назад, насколько оно перед этим прошло вперед. Храповое колесо *C* может двигаться только в одну сторону, движению его в противоположную сторону пре-

пятствует собачка *E*. Колесо *D* с 56 зубцами находится в зацеплении с трибом, имеющим 8 зубцов с передаточным отношением 1 : 7. Колесо *D* через триб находится в связи с колесом *F* и с его трибом, а этот последний передает движение колесу *G* с трибом; отсюда движение передается на коронное колесо *H*. Колесо *Я* имеет зубья, которые расположены иначе, чем обычно. Оно имеет своим назначением изменять направление с вертикального на горизонтальное. Спусковое колесо *K* находится в связи с шестерней *O*, на оси которой оно и сидит. Количество зубцов колес и трибов подбирается с таким расчетом, чтобы 2100 оборотов спускового колеса *K* соответствовали одному обороту часового колеса *D*.

Баланс сидит на оси шпинделя *M* и совершает под его действием вынужденные колебания. Шпиндель имеет два выступа, или палеты, которые попеременно взаимодействуют со спусковым колесом *K*. За двойное колебание *баланса* спусковое колесо продвигается на один зуб. Характерным для этого спускового регулятора является отход назад ходового колеса, а следовательно, и всей колесной системы.

Для регулирования хода баланса была использована эластичность свиной щетины, ее способность сжиматься и распрямляться под действием определенных сил. В первой фазе колебания баланс ударяется о свиную щетину и она деформируется, во второй фазе свиная щетина, распрямляясь, создает силу, способную регулировать амплитуду колебания баланса в определенных пределах.

Вторая часть механизма карманных часов представляет собой устройство, обеспечивающее движение стрелок — часовой и минутной (см. рис. 119). Ось *E* проходит сквозь весь механизм, и на нее насажена минутная стрелка. На той же оси сидит шестерня *P*, воздействующая на колесо *Q*, а вместе с тем и на шестерню *R*, которая, в свою очередь, приводит в движение колесо 5. Последнее насажено не на вал, а на трубку, свободно надетую на ось минутной стрелки и проходящую сквозь циферблат. На эту трубку насажена часовая стрелка. Триб *P* имеет 8 зубцов, а колесо *Q* — 24; следовательно, *Q* вращается в 3 раза медленнее оси *E*. Далее, триб *K* имеет 8 зубьев, а колесо *S* — 32, стало быть, движение последних замедляется в 4 раза. Поэтому трубка с насаженной на нее часовой стрелкой обращается в 12 раз медленнее, чем ось *E* с минутной стрелкой. Таким образом, часовая стрелка должна пройти один раз за тот же промежуток времени, за который минутная стрелка успеет совершить 12 оборотов.

Следовательно, движение стрелки зависит целиком от оси *E*. Чтобы иметь возможность передвигать стрелки от руки, предусмотрено устройство, позволяющее двигать их вперед или назад без участия в этом передвижении остального механизма.

В противоположность гиревому заводу, обладающему постоянным моментом, пружинный завод не обладает этим свойством. По мере разворачивания пружины ее момент уменьшается и вызывает неравномерность хода часов. Самым ранним средством, примененным для устранения этого нежелательного явления, было тормозное устройство *stackfreed* (см. рис. 112).

Во время завода ходовой пружины ролик тормозного устройства лежит в углублении кулачка, из которого он выходит под давлением ходовой пружины. По мере того как ходовая пружина разворачивается, момент пружины уменьшается, ролик изогнутой пружины снова западает в углубление кулачка и

вводит некоторое добавочное усилие, необходимое для увеличения момента ходовой пружины.

Более совершенным средством для уравнивания момента ходовой пружины является фузея, или улитка, которая состоит из массивного колеса, имеющего вид усеченного конуса C с винтообразной насечкой для цепочки, при помощи которой конус соединен с барабаном. Когда пружина в барабане заведена, вся цепь навита на улитку и работает на ее наименьшем радиусе, и, наоборот, когда слабеет сила упругости пружины при ее постепенном раскручивании, цепь тянет фузею за ее все более расширяющуюся часть. Благодаря этому плечо рычага (им является радиус сечения конуса), на которое действует сила, передаваемая барабаном, увеличивается. В результате крутящий момент, или сила, приводящая в движение часовой механизм от зубчатого венца, сидящего на улитке, остается неизменным и тем самым обеспечивается равномерный ход часов.

Механизм карманных часов изготовлялся из латуни или стали. Колесная передача состояла из колес и трибов, которых было на одну пару меньше, чем у современных карманных часов. Завод часов был рассчитан на 12 или 16 часов. Первоначально механизм вставлялся в корпус и удерживался посредством маленьких штифтов. Для очередного завода механизм часов мог подниматься на шарнирах или петлях. Карманные часы весьма часто снабжались механизмом боя или будильника, а иногда — календарным устройством, а также устройством для показа фаз Луны.

Отметим наиболее важные усовершенствования и изобретения, оказавшие влияние на развитие производства карманных часов с 1600 до 1700 г.

С 1610 г. в качестве средства для защиты циферблата карманных часов вместо наружного металлического корпуса или корпуса из горного хрусталя входит в употребление стекло. В настольных часах стекло стало применяться несколько раньше, чем в карманных часах. В качестве основы для крепления механизма часов с 1630 г. входит в употребление латунная платина. В 1630—1664 гг. взамен струны из кетгута начинает употребляться гибкая металлическая цепь. Струна из кетгута была неудобна, она растягивалась при сухой погоде и растягивалась при сырой.

После 1650 г. на циферблате появилась минутная стрелка. К 1700 г. она становится привычной деталью, хотя без минутной стрелки карманных часов было больше, чем с ней. Секундная стрелка до 1750 г. применялась весьма редко, но на отдельных экземплярах карманных часов она встречалась уже в 1655—1690 гг.

Производство карманных часов в Западной Европе наибольшего развития достигает в 1650—1700 гг., особенно в Англии и Швейцарии. Последние к 1700 г. становятся мировыми центрами часового производства. Прежние главные центры часового, производства Нюрнберг и Аугсбург в Германии вместе с Францией теряют свое значение.

Отмена Нантского эдикта в 1658 г. была причиной массовой эмиграции гугенотов из Франции, которые были наиболее пред-

приимчивыми и способными ремесленниками, особенно в часовом производстве. Это и вызвало временный упадок часовой промышленности в этой стране [175, 330].

С прекращением торгового пути из Италии через Германию в связи с открытием Нового Света и нового морского пути Нюрнберг и Аугсбург как промышленные и торговые центры постепенно приходят в упадок. Этому же способствовало падение цен на золото и серебро с наплывом драгоценных металлов из Нового Света. Окончательно мощь Нюрнберга и Аугсбурга как центров часового производства была подорвана Тридцатилетней войной (1619—1648) [60, 153—155].

В XVIII в. центр часового производства Германии перемещается в Шварцвальд. Часы становятся одним из предметов вывоза.

Непостоянство силы ходовой пружины, несовершенство шпиндельного хода и баланса со свиной щетиной или балансира фолио в качестве регулятора делали ход часов неточным даже при применении тормозного устройства и фузеи. Некоторые авторы считают, что такие часы были настолько неточны, что употреблялись в основном в качестве механических игрушек для богатей. Однако это явное преувеличение. Автор «Истории хронометра» Р. Гоулд считает, что погрешность хода часов в XVI в. не превышала 15 мин. за день, т. е. эта погрешность была не намного больше погрешности часов с гиревым приводом [129].

Сложные, особо редкие часы XVI—XVII вв. Кроме настенных, настольных и карманных часов бытового назначения, до нас дошли и часы особо сложного устройства. Это прежде всего двое сходных между собой часов 1625 г. Одни находятся в Лондонском музее компании часовщиков, а другие — в Виенне. Творцом одних из них был Иоганн Шнейдер из Аугсбурга. Часы смонтированы на восьмиугольном основании из золота (рис. 120). На пьедестале — фигуры мальчиков на дельфине. Мальчики поддерживают основные часы, которые имеют цилиндрическую форму и в свою очередь увенчиваются будильником квадратной формы, на котором высятся колонки и навес. Под навесом — фигуры св. Георгия и дракона, а выше — человек в древнеримской одежде. На циферблате основных часов можно отметить широкую ленту с выгравированным на ней годовым календарем с именами святых для каждого дня, узкое минутное кольцо, серебряное часовое кольцо для всех 24 часов, серебряную ленту с выключателями для показания длительности светлых часов дня. Центр циферблата занимает астролябия. Стальная стрелка показывает минуты, золотые — часы и фазы Луны. На обратной стороне часов — шесть маленьких циферблатов, которые показывали дни, недели и месяцы. Общая высота часов — 80 см [114, 33].

Британский музей имеет часы высотой около 1,5 м, которые были изготовлены в 1589 г. знаменитым Исааком Габрехтом — создателем известных уже нам вторых страсбургских башенных часов. Сохранилось предание, что они были изготовлены Габрехтом для папы Сикста V и являлись уменьшенной копией



Рис. 120. Особо сложного устройства часы Иоганна Шнейдера из Аугсбурга

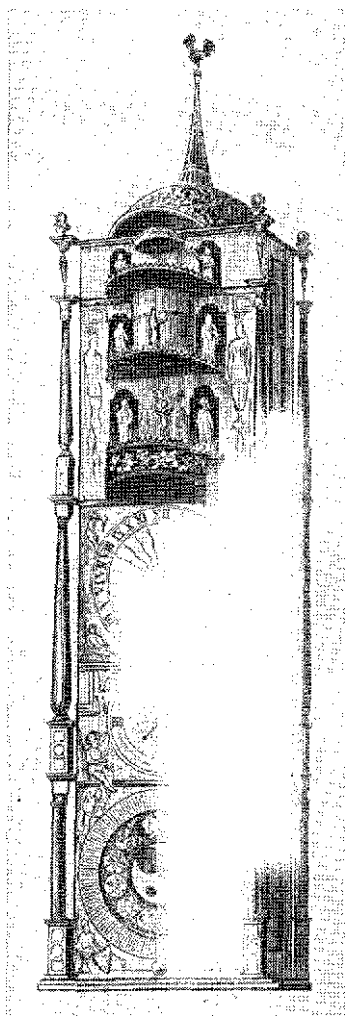


Рис. 121. Особо сложного устройства часы Габрехта

больших страсбургских башенных часов (рис. 121). На самом большом нижнем циферблате выгравированы дни праздников и астрономические знаки. Следующий ярус имеет циферблат для показания минут и часов, а также две фигуры: одна приводит в движение косу в руках ангела смерти, а другая — песочные часы, когда отбивается время. Верхний ярус занят группой движущих-

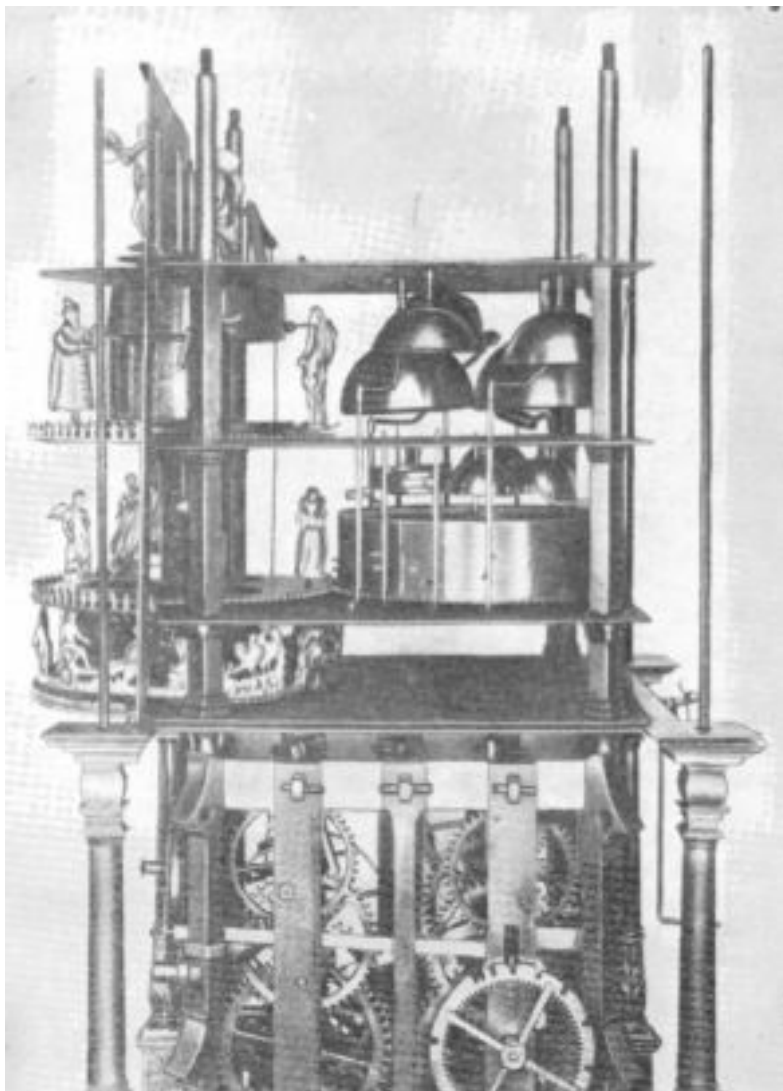


Рис. 122. Особо сложного устройства часы Кеннинга

ся автоматических фигур. Все увенчивается петухом, который после боя часов кричит и машет крыльями [114, 35].

Другие часы Британского музея имеют форму трехмачтового корабля. Они изготовлены Гансом Шлоттом из Аугсбурга в 1580 г. Полагают, что они принадлежали императору Рудольфу II. Циферблат находится у основания средней мачты, а за ним проходит процессия перед сидящим на троне императором.

В Дрездене находились часы в виде вращающегося шара, которые в 1602 г. были изготовлены для Христиана II Гансом Кеннингом. В восьмиугольной башне высотой 1,5 м расположены две галереи (рис. 122), между которыми имеется проход, составленный из спирали с 16 витками. Каждую минуту кристаллический шар из верхней галереи спускается по спиральному проходу к нижней галерее, чтобы затем снова быть часовым механизмом, поднятым на верхнюю галерею. Восемь автоматических фигур музыкантов стоят вокруг нижней галереи и играют на своих инструментах. В то же время внутри башни играет орган. Фигуры представляют богов планет, стоящих вокруг верхней галереи, каждую минуту в колокольчик звонит фигура, изображающая Сатурн.

В противоположность этим богато украшенным часам некоторые представляют интерес с технической точки зрения. В часах, созданных Гансом Кеннингом, для уравнивания действия ходовой пружины вместо фузеи применено более совершенное устройство [114, 34].

Историко-культурное значение развития механических часов

Для ранней технической цивилизации Западной Европы главным ведущим изобретением были, конечно, механические часы. Кроме прямого влияния на быт городов, они имели весьма значительное влияние на развитие всей техники. Как первый действительно точный прибор часы сделали образцом точности, а как наиболее совершенное механическое устройство — предметом подражания при устройстве всех последующих приборов.

К. Маркс при рассмотрении техники мануфактурного периода в качестве важнейших технических объектов отмечает мельницу и часы. Он писал: «...водяная (ветряная) мельница и часы — это те две унаследованные от прошлого машины, развитие которых уже в эпоху мануфактуры подготавливает период машин» [5, 418]. И в другом месте: «Не подлежит также ни малейшему сомнению, что в XVIII в. часы впервые навели на мысль применить автоматы (а именно, пружинные) к производству» [4, 263].

Эти обобщения находят полное подтверждение в современных конкретных исторических исследованиях.

Большинство изобретателей машин в XVIII в. были часовщиками или были близко знакомы с устройством часов. Увлечение в XVII и XVIII вв. часами определялось не только тем, что они имели широкое практическое применение, но и тем, что они заключали в себе принцип автоматизма, который стали переносить на различные объекты фабричной техники.

Француз Николай Фордж, по профессии часовщик, в 1751 г. изобретает строгальный станок. Аркрайт — изобретатель прядильных машин — был цирюльником и вместе с тем часовых дел

мастером по прозвищу «ноттингемский часовщик». Фультон, изобретатель парохода, первоначально был часовщиком. Картрайт — изобретатель механического ткацкого станка — ранее построил модель парохода, колеса которого приводились в движение посредством часового механизма. Харгривс соединял с занятием ткача профессию механика. Он устанавливал водяные и ветряные мельницы, насосы и фонтаны, изготовлял часы [68, 302—303]. Гентсман, часовщик по профессии, изобретает тигельный способ получения высококачественной стали для часовых пружин. В России выдающиеся изобретатели машин в XVIII в. И. П. Кулибин и Л. Ф. Сабакин были также часовщиками.

Короче говоря, часы являются чрезвычайно важной «машиной» как с точки зрения механической, так и социальной. В середине XVIII в., еще до наступления индустриальной революции, часы делаются уже весьма совершенными и точными. Как первый автомат, примененный для практических целей, и как образец точности, часы неизменно привлекали внимание всех изобретателей. В их устройстве искали ключ к решению многих технических вопросов.

Льюис Мэмфред не без основания считает, что «триумф механических усовершенствований — триумф регламентации». Если изобретение механических часов, по его мнению, возвестило волю к новому порядку, применение пушек и других огнестрельных орудий в XIV в. выявило стремление к мощи, волю к утверждению сил, то в машинах сходятся вместе как порядок, так и сила [34, 12].

«Часы... — писал К. Маркс, — дают идею автомата и автоматического движения, применяемого в производстве» [5, 418]. Эта идея механиками XVIII в. также была удачно использована и для создания игрушек-автоматов, которые живо воспроизводили движения животных или человека. Они были изготовлены столь искусно, что при виде их действия забывалось, что имеешь перед собой мертвый механизм.

Между создателями автоматов особую славу приобрел Дроз (родился в 1721 г. в Шодефоне), изготовивший механического писца, рисовальщика и девушку-музыкантшу. Обмакнув перо в чернильницу, писец заполнял лист бумаги ровными строчками текста. Окончив письмо, аккуратно посыпал его песком — просушивал. Рисовальщик, склонившись над бумагой, не торопясь набрасывал различные силуэты. Окончив одну фигуру, неспеша брался за другую. Девушка-музыкантша играла на клавесине, перебирая клавиши то быстрее, то медленнее и следя глазами за движениями своих рук.

Знаменитый Вакансон (1709—1782) создал флейтиста и утку. Об этих автоматах Вакансона в свое время писали очень много. Игрок на флейте — молодой человек среднего роста. Он дует в флейту, как натуральный флейтист, и вполне правильно устанавливает пальцы. Утка представляла еще более совершенное произведение искусства. Когда механизм заведен, птица встает,

машет крыльями, наклоняется к чаше с водой и к зернам, ест, крикает, а через некоторое время после принятия пищи последняя даже выходит из нее в виде кашицы.

По поводу автоматов Вакансона Маркс в письме к Энгельсу писал: «Можно исторически доказать, что попытки Вакансона... оказали чрезвычайно большое влияние на фантазию английских изобретателей» [4, 263].

Норберт Винер находит, что XVII столетие и начало следующего было «веком часов»; инженеры того времени были «часовщиками и полировщиками линз». Если развитие автоматов у древних греков не оказало большого влияния на «серьезную философскую мысль», то «совсем иначе обстоит дело с часовым автоматом. Эта идея действительно сыграла важную роль в ранней истории новой философии, хотя мы склонны ее игнорировать» [55, 56-58].

Уже Коперник находил возможным, по аналогии с часами, судить об устройстве мироздания. Философы XVII в. стали прибегать для объяснения механической закономерности физического мира к сравнению ее «с искусственными механизмами, сделанными рукой человеческой: нередко ее сравнивали с затейливым механизмом страсбургских часов» [90, т. 2, 14]. Лейбниц говорил о мире, как о *horologium mundi* (часовом механизме Вселенной) [90, т. 2, 15]. Роберт Бойль, Коперник прямо уподобляют изучение природы изучению часового механизма, а механизм природы — механизму часов. Поскольку мир аналогичен механизму, говорит Бойль, то при его истолковании следует совершенно отказаться от метафизической философии природы и ограничиться чисто механической стороной дела. Ньютон пошел еще дальше и объявил, что именно эта сторона дела и есть настоящая философия природы. Он рассматривал свою теорию тяготения как аналогичную особому виду механизма, заставляющему планеты двигаться. Эти свои взгляды Ньютон пояснил в письме к Лейбницу: «Понимание движения планет как осуществлявшегося под влиянием тяготения без учета причины тяготения представляет собой такой же прогресс в философии, как и понимание формы часов и зависимости их колесиков друг от друга без знания причины тяготения веса» [97, 100].

Мир, по мнению философов XVII в., — это как бы большая машина, большой автомат, и все, что в нем находится, все предметы мира — это малые автоматы, заключающиеся в большом, как часть единого мирового механизма.

Как справедливо указывает Е. Спекторский, «другим и ближайшим последствием уподобления мира механизму было то, что вопрос о механизме Вселенной вызвал вопрос о механике; вопрос о часах вызвал вопрос о часовщике» [90, т. 2, 15]. В этой связи в английской философии получило развитие теологическое учение о боге как механике и часовщике Вселенной, нашедшее свое выражение в деизме. Это несомненное свидетельство влияния техники наряду с механикой на философию.

В XV—XVI вв. механические часы стали применяться в астрономических обсерваториях.

В 1471 г. астроном и математик Региомонтан поселился в Нюрнберге и вместе с Бернгардом Вальтером, весьма богатым человеком и любителем астрономии, построил обсерваторию, снабженную превосходными инструментами, которые были изготовлены выдающимися нюрнбергскими механиками. Здесь в 1484 г. впервые были применены к астрономическим наблюдениям механические часы, приводимые в действие гирей. Эти немецкие часы были одними из первых, показывавшими минуты и секунды.

Датский астроном Тихо Браге на острове Хвен-Зунде построил великолепную по тому времени обсерваторию Ураниборг («Замок неба») с превосходными инструментами, куда со всей Европы стекались ученые и студенты. Для регистрации прохождения звезд по меридиану Тихо Браге использовал двое маленьких механических часов и одни большие стенные; среднее время из их показаний применялось в качестве меры времени при астрономических определениях.

Иост Бюрги с 1603 по 1622 г. был часовщиком — сначала часовщиком императора Рудольфа II, затем поселился в Касселе. Для кассельской обсерватории он изготовил знаменитые колесные часы [19, ч. 2, 186].

Выше упоминалось о применении в XVI в. механических часов в истамбульской обсерватории. Однако следует отметить, что эти механические часы не обладали нужной для астрономических наблюдений точностью и постоянством хода. Они нередко давали ошибочное показание времени и требовали ежедневной проверки их хода. Поэтому до изобретения маятниковых часов для астрономических определений времени чаще всего продолжали применять водяные или ртутные часы. Механизм с колесной передачей считали более пригодным для башенных часов.

Французский король Карл V первый сделал решающий шаг к введению исчисления времени по равным часам вместо «канонических» неравных часов. После установки дворцовых башенных часов де Вика он приказал всем церквям Парижа отбивать по ним часы и четверти часа. Так как на этих часах время отсчитывалось в равных промежутках, новый порядок исчисления времени распространился не только в Париже, но постепенно и в европейских странах.

В литературе XIV в. уже встречаются упоминания о семидесяти башенных часах, имевшихся в Италии, Франции, Англии, Фландрии и Швейцарии. В XV и XVI вв. они получили всеобщее распространение.

«День» сначала подразделяли на 24 часа, считая от одного заката солнца до наступления другого. Окончание дня отмечалось 24 ударами колокола. Такой порядок счета времени в некоторых местах сохранялся до 1370 г. и позже. Во второй половине XIV в. постепенно переходят от этого счета времени к подразде-

лению дня на две равные половины, каждая по 12 часов, с отсчетом от полуночи до полудня и обратно — от полудня до полуночи. Все часы стали равными. Первый час стали считать тотчас после полуночи и полудня. Полдень и полночь пришлись на 12 ч первой и второй половины суток. Переход на этот новый, более рациональный счет времени происходил в различных странах Западной Европы не одновременно: в одних странах — раньше, в других — позже. Подразделение дня на две половины по 12 часов в большей мере отвечало практическим нуждам; при этом счете уже не стало надобности отбивать время 24 раза — нужно было отбивать только 12 раз. Час стал чем-то постоянным. Теперь распределять работу можно было гораздо точнее, чем со старыми изменчивыми часами. Этот переход к новому рациональному счету времени в Западной Европе был завершен в последней четверти XIV в. [37, т. 3, ч. 1, 717].

Счет времени от I до XXIV часов начиная с часа восхода Солнца дольше всего сохранялся в Италии и в некоторых городах Германии.

Распространение башенных часов и нового счета времени было прямым следствием развития торговли и ремесел в городах Западной Европы в XIV в. Развитие экономики на этой основе усиливало мощь и значение этих городов и способствовало переходу инициативы из рук духовенства к светскому обществу или секуляризации общества.

Часы одинаковой продолжительности, по которым стал осуществляться счет времени в Западной Европе, называли «городским временем». Однако и при новом счете времени часы продолжали соразмерять и контролировать по истинному солнечному времени, и это продолжалось до появления маятниковых часов. Показания механических часов переводили на солнечное время.

Даже в первой половине XVIII в., несмотря на большие успехи в усовершенствовании маятниковых часов, имелась недооценка среднего времени; солнечному времени отдавалось предпочтение перед средним солнечным временем. На практике продолжали пользоваться истинным солнечным временем. Необходимо было по равномерно идущим часам, показывающим среднее время, получать неравномерно изменяющееся истинное солнечное время.

Циферблаты роскошных часов XVIII в. одновременно показывали истинное солнечное и среднее солнечное время. Первое признавалось главным и отмечалось позолоченными стрелками, а среднее время указывалось под надписью: «Для премудрых».

Сохранению привычки приравнивать счет времени к истинному солнечному времени способствовало еще и то обстоятельство, что в быту в XVI—XVII вв. продолжали применяться не только механические, но и солнечные часы.

Для облегчения перевода среднего времени в истинное солнечное время существовали таблицы под названием «l'Equation l'Horloge» («уравнение часов»). В России такие таблицы в большом ходу были еще в XVIII в., они печатались в календарях на каждый год; там же давались указания «как боевые и карманные часы ставить исправно».

В «Санкт-Петербургском календаре» на 1768 г. сказано, «что никакие (механические) часы с Солнцем ходить не могут, но всегда их надобно ставить по солнечному ходу». «Уравнение времени», следовательно, служило для получения часового угла истинного солнца, как и теперь, но цель была разная: тогда истинно солнечным временем пользовались в жизни, теперь же определяют часовой угол солнца, но не живут по солнцу.

Часть II

РАЗВИТИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ХРОНОМЕТРИИ

Глава I

РАЗВИТИЕ МАЯТНИКОВЫХ ЧАСОВ

Со времени изобретения маятниковых часов и часов с регулирующей системой баланс — спираль начинается история классической колебательной хронометрии. Последняя достигла значительного успеха в XVIII—XIX вв. и развивалась вместе с развитием культуры как неотъемлемая часть науки и техники.

История маятниковых часов берет начало у арабов в средние века. В исторической литературе стало обычным утверждение, что арабский ученый Ибн Юнис в 1008 г. первый стал применять маятник для измерения времени, но остался неизвестным способ его использования [198, 34]. Историю маятника в Западной Европе связывают с трудами итальянских инженеров XV в. Они считали возможным использовать тяжелый маятник для получения возвратно-поступательного движения в насосах [42, 197].

Ш. Фремонт в трактате «История развития часов» [251] воспроизводит ряд эскизов из рукописей Леонардо да Винчи, иллюстрирующих использование возвратно-поступательного движения маятника тяжелого веса для приведения в действие двойного плунжера насоса. На гравюрах, имеющихся в работе Бессона «Леатр математических и механических инструментов» («Theatre des instruments rmathematiques et mecaniques»), опубликованной в Лионе в 1578 г., приводятся и другие примеры использования маятника. Следовательно, является бесспорно установленным, что маятник задолго до исследования его свойств Галилеем применялся в качестве составной части машин. В то же время имеются основания утверждать, что до Галилея маятник использовался не в качестве регулятора механических процессов, а только как исполнительный механизм наряду с другими механизмами.

Однако идея применения маятника в качестве регулятора шпиндельного хода уже имелась у Леонардо да Винчи (1452—1519). В библиотеке Амброзиани в Милане хранится большое количество листов различных размеров, исписанных рукой Леонардо да Винчи. Установлено, что они написаны на рубеже XV—XVI столетия. Они содержат ряд набросков, иллюстрирующих устройство различных механических приборов, часто без какого-либо пояснительного текста. На листке 257 рукой Леонардо на-



Леонардо да Винчи

бросан эскиз применения маятника в качестве регулятора хода часов (рис. 123). Вокруг оси намотана веревка с гирей на конце. Видно, каким образом приводится в действие зубчатая передача, а также как осуществляется связь движущей силы со спусковым устройством, но нет никаких объяснений действия спускового устройства и регулирования зубчатой передачи [157, 137—138].

Новонайденные рукописи Леонардо да Винчи «Мадридский кодекс I» и «Мадридский кодекс II» добавили 700 страниц к рукописному наследию ученого. Они открывают новые страницы его творческой биографии, и, что для нас особенно важно, в них имеются новые данные о работе Леонардо над применением маятника в часах. «Мадридский кодекс I» наиболее систематизирован и почти целиком посвящен одной теме — механике, а в ней — внешней баллистике (движению пуль и ядер) и движению маятника, а также детальному анализу и описанию различных машин и механизмов.

Материалы, содержащиеся в «Мадридском кодексе I», неопровержимо свидетельствуют, что Леонардо положительно ре-

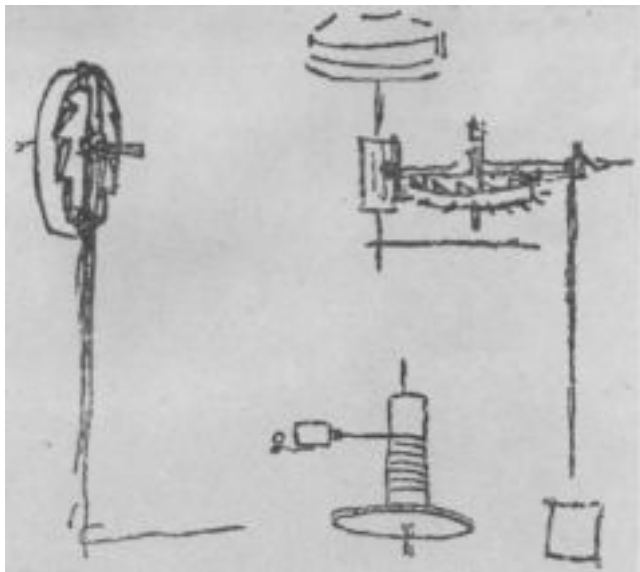


Рис. 123. Схематически набросанный рисунок маятниковых часов Леонардо да Винчи

шал вопрос о возможности применения маятника в часах. Ученый-исследователь Ладислао Рети на многих страницах «Мадридского кодекса I» обнаружил значительное число записей и рисунков. Тщательно изучив их, он пришел к выводу, что они имеют прямое отношение к применению маятника в часах, с его выводами согласился Сильвио Бедини — один из западноевропейских авторитетов в области истории часовых механизмов.

Бедини и Рети указывают, что некоторые страницы «Мадридского кодекса I» (л. 9; л. 61, левая сторона; л. 157, левая сторона) содержат материалы, убедительно доказывающие, что у Леонардо были весьма оригинальные идеи относительно использования маятника в часах, намного опередившие исследования в этой области Галилео Галилея. На л. 157 (левая сторона), по утверждению Бедини и Рети, можно видеть — почти за сто лет до Галилея — первый чертеж часового механизма с маятником.

В статье «Мадридские кодексы. Новонайденные страницы — новые грани таланта Леонардо» Анна Мария Брицио отметила, что эти рукописи можно датировать 1493 г. По ее свидетельству, «Леонардо всегда интересовали часовые механизмы. Он обнаруживает огромные познания и проявляет глубокий интерес к большим часовым устройствам и планетариям, которые в то время существовали в Ломбардии. Особенно его интересовали башенные часы аббатства Кьяровалле недалеко от Милана, а также астрономические часы Джованни де Донди, установлен-

ные в библиотеке герцогского замка в Павии. Леонардо сделал множество рисунков наиболее сложных узлов этих механизмов» [191, 14]. В «Мадридском кодексе I» содержится также много иллюстраций, касающихся применения маятника в часах.

Кроме того, Леонардо наряду с различными типами механизмов анализирует часовые пружины, механизмы с пружинным приводом, зубчатые колеса для передачи движения и т. д. Большое внимание он уделяет проблеме уменьшения силы трения и в связи с этим предлагает ряд интересных решений.

Теория маятника, разработанная Леонардо да Винчи, основывается на его учении о «естественном» и «вынужденном» движениях и наблюдениях над колебанием маятника. По его мнению, движение маятника является частным случаем движения тела, брошенного в воздух. Тогда «всякое тело стремится упасть по направлению к центру Земли по кратчайшему пути» или имеет тенденцию к естественному движению тел, у которых движение от a до n тем больше, чем оно ближе к завершению. Скорость же насильственного или вынужденного движения (от n до m) тем меньше, чем оно ближе к завершению.

Своим острым глазом Леонардо усмотрел истинную (по идеальной параболе) траекторию движения брошенных тел и правильно изобразил ее на своих рисунках. Из наблюдений над колебанием маятника он сделал ряд обобщающих выводов. Когда маятник качается, то дуга, по которой он движется к крайней верхней точке, всегда короче той, по которой он двигался вниз, и нисходящая дуга становится все короче с течением времени, т. е. по мере затухания колебания. Кроме того, он заметил, что чем короче становится дуга, тем более однородными становятся колебания маятника, т. е. тем медленнее изменяется период его колебания.

Начиная с XVII в. имеются сведения о применении маятника в медицине. Так, в одной книге, вышедшей в 1602 г., дано описание особого инструмента, состоявшего из свинцового шара, который врач держал на длинном шнуре. Колебание маятника использовали для измерения пульса.

Однако свободные затухающие колебания маятника не могут служить для измерения длительных промежутков времени. Создание маятниковых часов состояло в соединении маятника с устройством для поддержания его колебаний и их отсчета. Сохранились сведения (правда, недостоверные), будто маятниковые часы в 1612 г. изготовил Иост Бюрги из Праги (в настоящее время они хранятся в Венском казначействе) [19, 189]. Бюрги был астрономом и талантливым часовщиком. Однако в конце XVII в. многие часы были реконструированы, так что их современный вид не обязательно соответствует их первоначальному виду.

Английский часовщик XVII в. П. Вебстер сообщает, что через его руки прошли маленькие стенные часы с маятником, изготовленные в 1656 г.— на год раньше получения Гюйгенсом патента на свои маятниковые часы. Поскольку рукописи Леонардо да

Винчи находились в библиотеке Абброзиани с 1637 г., то не исключена возможность, что эскизы, касающиеся применения маятника в качестве регулятора хода часов, могли стать известными итальянским часовщикам.

Таким образом, изобретение маятниковых часов нельзя приписать кому-то одному. Но все же основоположниками теории и практики создания часов можно считать Галилео Галилея и Христиана Гюйгенса.

Теория маятника и маятниковые часы Галилея

Галилей (1564—1642) считается основоположником экспериментального естествознания и современной механики, физики и астрономии. Одним из важных результатов переворота в методике научно-исследовательской работы, произведенного им благодаря введению эксперимента и математического исчисления, было установление точных законов движения тяжелых тел как свободных, так и связанных, в том числе законов колебания маятника.

По свидетельству Вивиани, первого биографа Галилео Галилея, в 1583 г. 19-летний юноша Галилей, находясь в Пизанском соборе, обратил внимание на раскачивание люстры. Он заметил, отсчитывая удары пульса, что время одного колебания люстры остается постоянным, хотя размахи колебаний делаются все меньше и меньше. Эти наблюдения побудили Галилея приступить к исследованиям, в результате которых он установил главный закон колебания маятника — независимость периода колебания при малых амплитудах. Этот закон, известный под названием изохронизма, имел не только теоретическое, но и большое практическое значение. Галилей сразу понял, какие важные последствия можно извлечь из сделанного им открытия. Первое практическое применение закон получил в медицине. Галилей устроил маятник, длину которого можно было изменять, и находил ту длину, при которой колебания совпадали с биением пульса. Удлиняя или укорачивая маятник, Галилей достигал согласования колебания маятника с биением пульса. Изохронным колебанием маятника, согласно свидетельству Вивиани, Галилей «воспользовался во многих опытах для измерения времени и движений и первый применил его к наблюдению небесных светил» [272, т. 16,332].

Исследуя колебание маятника, Галилей установил, что время качаний маятников разной длины пропорционально квадратным корням из их длин. Сам Галилей сформулировал этот закон в книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей...» (1638) следующим образом: «Что касается отношения времени качания тел, подвешенных к нитям различной длины, то промежутки времени относятся между собой,

как корни квадратные из длин маятников, и, обратно, длины маятников... относятся друг к другу, как квадраты времени качания» [189, т. 2, 190]. Сын Галилея, Винченцо, впоследствии утверждал, что этот закон отец установил уже в 1583 г. в Пизе и при его помощи определил высоту собора.

Галилей установил также существование независимости периода колебаний маятника от его массы или что маятники одинаковой длины имеют колебания одинаковой продолжительности независимо от того, из какого материала они сделаны — из дерева, камня или металла. Однако Галилей не дал математической формулы для определения периода колебаний маятника. Это было сделано потом Гюйгенсом, которому удалось доказать, что малые колебания физического маятника можно сделать также изохронными, как и у математического маятника.

Свойство изохронности колебания делало маятник весьма удобным средством для создания часов с таким регулятором. Галилей живо интересовался решением проблемы определения долготы (ему принадлежит идея определения долготы по наступлению моментов затмений спутников Юпитера); он был заинтересован в создании хороших часов для целей механических, физических и астрономических исследований. Галилей, безусловно, не мог упустить из виду практической возможности использования установленного им закона изохронизма колебаний маятника для устройства часов с этим регулятором.

И действительно, в конце жизни, когда Галилей уединился в Арчетри, он вплотную занялся проблемой определения долготы, а в связи с этим и вопросом применения маятниковых часов, о чем свидетельствует его письмо генеральным штатам Нидерландов от 15 августа 1636 г. Оно было извлечено из национального архива Гааги и опубликовано в 16-м томе трудов Галилея [272] и в 3-м томе собрания сочинений Гюйгенса [284]. «У меня есть, — писал Галилей генеральным штатам, — такой измеритель времени, что если бы сделать 4 или 6 таких приборов и запустить их, то мы бы обнаружили (в подтверждение их точности), что измеряемое и показываемое ими время не только из часу в час, но из дня в день, из месяца в месяц не отличалось бы на различных приборах даже на секунду, настолько одинаково они шли» [272, т. 16, с. 467].

Идея Галилея о создании маятниковых часов, высказанная им в письме 1636 г., по-видимому, весьма заинтересовала генеральные штаты Нидерландов. Известно, что ученый по этому поводу вступил с ними в переговоры. Голландская делегация в составе Гортензиуса и Блау посетила Галилея, когда он усиленно занимался разработкой проекта создания маятниковых часов. Генеральные штаты Нидерландов послали в подарок ученому золотую цепь — знак особого внимания.

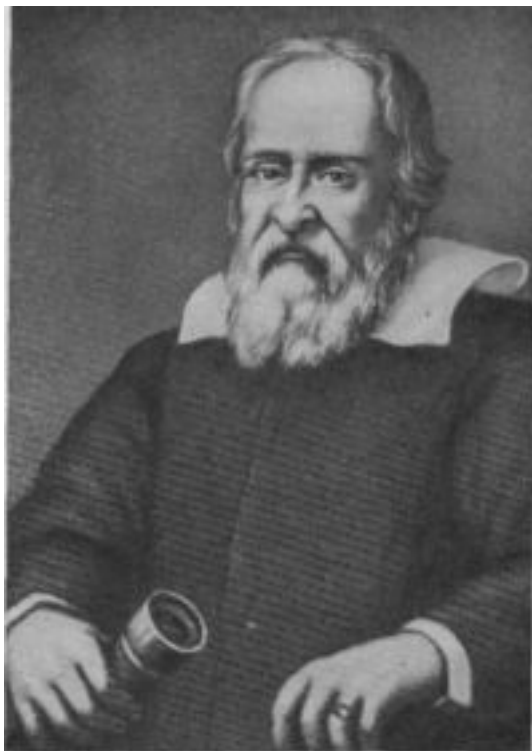
В письме от 6 июня 1637 г. к Лоренцо Реалю, бывшему губернатору Голландской Индии, Галилей сообщил об изобретении им особого устройства для счета колебаний маятника, предна-

значенного для определения долготы. Этот прибор не был собственно часами, а был только счетчиком колебаний маятника. Зубчатое колесо под действием растяжения и сокращения свинной щетины приводилось в движение толчками — зуб за зубом. Щетина в данном случае действовала как храповик с собачкой [106, 39]. По-видимому, Галилей тогда еще не считал для себя возможным взяться за конструирование механизма маятниковых часов, поскольку был убежден, что опытные голландские часовщики сами сумеют решить эту техническую задачу.

Реаль в то время был членом комиссии, которой голландское правительство поручило рассмотреть предложение Галилея об определении долготы по наблюдению затмения спутников Юпитера.

Содержание письма Галилея генеральным штатам от 1636 г. с его сообщением о маятниковых часах, идущих из месяца в месяц, определенно свидетельствует, что такие часы тогда уже были задуманы, но еще не были воплощены ни в чертежах, ни в моделях. К конструктивной разработке идеи о своих часах Галилей смог приступить лишь в 1641 г.; на этом пути самым крупным его достижением было изобретение совершенного спускового регулятора хода маятниковых часов. Об этом эпизоде жизни и творчестве Галилея рассказывает его ученик и близкий друг Вивиани.

20 августа 1659 г. в письме к герцогу Леопольду он сообщил подробности, связанные с реализацией изобретения Галилея в реальной конструкции маятниковых часов. «В один из дней 1641 г., когда я находился в вилле Арчетри,— писал Вивиани,— Галилей поделился со мной своими мыслями о возможности присоединить маятник к часам, приводимым в движение грузом или пружиной, и что маятник, как точный регулятор хода часов, может корректировать до известной степени действие на ход несовершенств механической конструкции. Но,— будучи лишен зрения и уже слаб для того, чтобы выполнить план, созревший в его голове, Галилей ознакомил со своими мыслями сына Винченцо в один из его приездов в Арчетри из Флоренции. После этого они не раз обсуждали вопрос о создании реальной модели маятниковых часов: в итоге был составлен чертеж конструкции этих часов. Решено было сразу приступить к делу, с тем чтобы определить могущие быть трудности в этом деле, но которые невозможно заранее предвидеть при теоретической разработке конструкции. Винченцо был против того, чтобы привлекать к этому посторонних ремесленников, из боязни, что они могут разболтать секрет устройства часов для определения долготы еще до представления их герцогу и в генеральные штаты. Поэтому он имел намерения изготовить модель часов собственными руками, но не мог исполнить этого сразу и долго откладывал выполнение работы. Но через несколько месяцев Галилей — автор этого замечательного изобретения — заболел и 8 января 1642 г. умер. После этого события у Винченцо пропал энтузиазм к вы-



Галилео Галилей

полненной модели, и только в апреле 1649 г. он стал работать над ее созданием согласно концепции своего отца, сообщенной ему в моем присутствии... Винченцо Галилей нанял молодого слесаря, который имел некоторый опыт в создании больших настенных часов. Он заставил его делать железную раму, колеса и их оси и оборотные колеса, но без нарезания зубцов. Всю остальную работу по изготовлению часов Винченцо выполнил собственными руками» [272, т. 19, 655].

«Винченцо не раз демонстрировал,—свидетельствует Вивияни,— мне механизм часов, заключенный между грузом и маятником, как знакомому с существом изобретения Галилея» и могущему, добавим мы, помочь ему советами и по достоинству оценить его работу.

Винченцо не надолго пережил отца: он скончался 16 мая 1649 г. от острого припадка нервно-психического заболевания. В бреду он уничтожил большое количество часов, или, по словам Вивияни, «остановил их ход навечно»; по-видимому, пострадала и модель маятниковых часов, созданная его руками, но она не была полностью разрушена. В инвентарной описи, выполненной

Рис. 124. Модель маятниковых часов Галилея

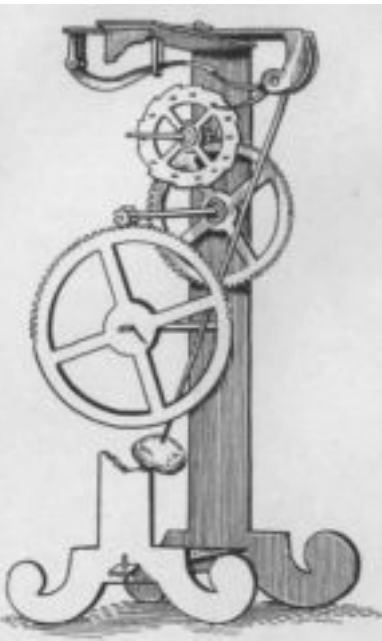
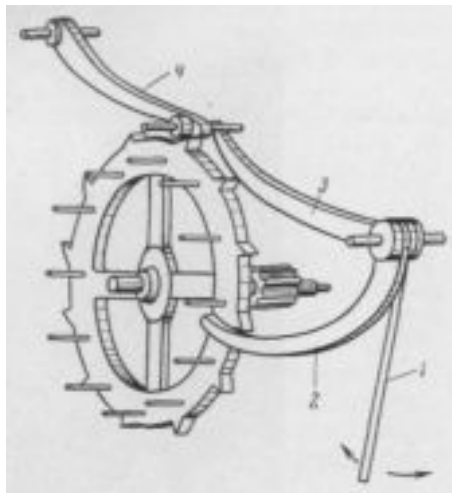


Рис. 125. Спусковой регулятор (ход), примененный в маятниковых часах Галилея

1 — стержень маятника; 2 — изогнутая пружина; 3 — пружина, связанная с осью маятника; 4 — возвратная пружина покоя



вдовой Галилея, которая умерла в 1669 г., имеется запись: «Железные часы с маятником незаконченные, впервые изобретенные Галилеем». Вот что осталось от трудов Винченцо и что пережило Галилеев — отца и сына — это чертежи конструкции их маятниковых часов.

Изобретение Галилеем маятниковых часов держалось в строгой тайне, о нем даже не сообщалось в биографии Галилея, написанной Вивiani. Последний счел возможным сообщить об этом изобретении лишь после того, как стало известно об изобретении маятниковых часов Христианом Гюйгенсом. Тогда по сохранившимся чертежам была изготовлена для принца Леопольда Тосканского модель часов Галилея. Одна модель маятниковых часов Галилея хранится в Лондонском научном музее [157, 98].

На развитие часов проект Галилея оказал мало влияния, так как не был осуществлен в действующей конструкции. Тем не менее идея, заложенная в основу их устройства, была весьма прогрессивной.

Маятник представлял собой железный стержень с грузом на нем в виде свинцового шара, положение которого можно было регулировать передвижением его по стержню маятника (рис. 124). На валу нижнего колеса намотан шнур с висящим на нем грузом (на рисунке не показан). Движение передается промежуточному колесу, приводящему во вращение ходовое колесо. Последнее насажено на верхнюю ось и снабжено заостренными зубцами, а сбоку по окружности — штифтами, размещенными на одинаковых расстояниях. Ходовое, или храповое, колесо периодически вступает в контакт с маятником посред-

ством спускового механизма, изобретенного Галилеем. Поскольку спусковой механизм обеспечивал свободное колебание маятника и подачу ему одностороннего импульса, то он может быть отнесен к свободному ходу, который, по замечанию Ф. Рело, в XVIII в. вновь был изобретен и применен для хронометров [83, 513—514].

Взаимодействие ходового колеса со спусковым механизмом и с маятником (рис. 125) осуществляется с помощью двух скобок (3, 2), сидящих на оси маятника одна под другой, и, кроме того, изогнутой пружинки 4, выполняющей роль собачки, захватывающей периодически заостренный зуб ходового колеса. При колебании маятника влево верхняя скоба 3, выполняющая роль задвижки, снимет изогнутую пружинку 4 с заостренного зубца ходового колеса. Тогда скоба 2 перехватывает штифт сбоку колеса и ставит его на покой. При движении маятника вправо, когда он достигает среднего положения, скоба 2 отходит от штифта; тогда от поворота ходового колеса, снова пришедшего во вращение, маятник получает импульс для поддержания колебания. Поворот ходового колеса совершается только на один зуб, так как верхняя скоба 3, отойдя вместе с маятником вправо, не будет поддерживать изогнутую пружину 4 и она, спустившись, захватывает следующий зуб. Таким образом, маятник при каждом полном колебании один раз освобождает ходовое колесо и получает односторонний импульс. В данном случае спусковое устройство и ходовое колесо играют по отношению к маятнику чисто служебную роль и самостоятельно (без маятника), в отличие от шпиндельного хода, функционировать не могут.

Маятниковые часы Гюйгенса и теория их устройства

Христиан Гюйгенс (1629—1695) — великий голландский математик, физик и астроном XVII в. Он не только продолжил исследования, начатые Галилеем, но и положил начало развитию новой области механики — динамики системы материальных точек твердого тела в результате исследования физического маятника и конструирования часов с обыкновенным, циклоидальным и коническим маятниками.

Центральное место в творчестве Гюйгенса занимает мемуар «Маятниковые часы» («Horologium oscillatorium»), изданный в 1673 г. в Париже. Этот труд выходит далеко за пределы, очерченные названием. В нем, кроме описания конструкции изобретенных Гюйгенсом часов с обыкновенным, циклоидальным и коническим маятниками, впервые рассматриваются: учение о центре колебаний физических тел; определение ускорения силы тяжести g посредством наблюдения колебания маятника; предложение о применении длины секундного маятника в качестве единицы длины; теория центробежной силы; механические и геометрические свойства циклоиды; учение об эволютах и эвольвентах. Исследования в области физико-математических наук осуществлялись Гюйгенсом на более широкой, чем у Галилея, основе и касались более сложных научных и технических проблем.

Своими трудами по хронометрии Гюйгенс внес огромный вклад в науку и технику. С них, как и с трудов Галилея, собственно, и начинается новая история часов — развитие классической колебательной хронометрии. До того часы были мало надежны, а применявшийся в них регулятор хода фоллио только задерживал развитие хронометрии. После Гюйгенса часы стали более надежным механизмом, основанным на выводах науки и служащим ей.

В 1658 г. в Гааге появилась брошюра Гюйгенса «Часы» («*Horologium*»), где было приведено описание его первых часов с простым маятником. После выхода брошюры ряд лиц выступил с опровержением приоритета Гюйгенса в изобретении маятниковых часов и со ссылками на свои более ранние изобретения или изобретения других лиц.

О часах Гюйгенса в октябре 1658 г. узнал герцог Леопольд Тосканский и в марте следующего года написал письмо парижскому астроному Буйо, где восстанавливал приоритет Галилея, а в августе переслал ему копию письма Вивиани, поступившего от последнего на его имя 20 августа 1659 г. Содержание этого письма приведено выше. К письму приложен чертеж конструкции часов Галилея. Этот чертеж Альберти поместил в прибавлениях к новому флорентийскому изданию сочинений Галилея. По вопросу о приоритете Галилея у Буйо с Гюйгенсом была переписка. В письме от 2 мая 1659 г. Буйо информировал Леопольда, что Гюйгенс не знал об изобретении Галилеем маятника как регулятора хода часов и что после того, как он узнал об этом из его, Буйо, письма, он более не считает себя единственным изобретателем маятниковых часов и не может приписать себе всю славу этого изобретения. Но считает, что он достоин похвалы уже за то, что пришел к той же идее, что и Галилей, хотя руководствовался только своим собственным умом и ничем другим. В 1660 г. Буйо прислал Гюйгенсу чертеж часов Галилея. В ответ Гюйгенс писал: «Вы доставили мне большое удовольствие, переслав мне чертеж часов, начатых Галилеем. Я вижу, что они имеют маятник... но он применен не так, как у меня. Во-первых, вместо того чтобы использовать ходовое колесо, именуемое коронным колесом, он (Галилей.— *В. П.*) заменил его значительно более сложным изобретением, во-вторых, он подвешивает маятник не на нитке или узкой ленте, так что весь его груз покоится на шпинделе, который приводит его в движение» [297, 138]. Устройство часов Галилея Гюйгенс находил замечательным и воздавал должное таланту Галилея.

Гюйгенс, несомненно, начал заниматься проблемой создания маятниковых часов, не зная о достижениях Галилея в этом вопросе, а также о предложении, сделанном им в 1636 г. Генеральным Штатам, применить маятниковые часы для определения долготы. Для этого утверждения сейчас имеются достаточные основания. Хотя устройство маятниковых часов Галилея, особенно регулирующее их устройство, было намного лучше, чем часов

Гюйгенса, однако значение и важность изобретения Галилея долгое время оставалось неизвестным. Преждевременная смерть сына Галилея Винченцо помешала довести до конца дело создания часов, Вивиани же, по-видимому, не понял важности мысли Галилея, иначе он не стал бы дожидаться обнародования изобретения Гюйгенса.

«За Гюйгенсом,— отмечает Розенбергер,— во всяком случае остается слава независимого вторичного изобретения (достоверно известно, что он не знал о последнем плане Галилея, не знал, вероятно, и об его счетчике) и заслуга первого целесообразного и легко выполнимого устройства часов с маятником, дававшего возможность легко переделывать всякие старые часы на новые» [19,188],

Кроме Галилея, как изобретателя маятниковых часов еще до Гюйгенса, указывали на Иоста Бюрги. Именно его называет Вольф в своей истории астрономии. Однако тщательная проверка фактов, проведенная Герландом, показала неосновательность подобного утверждения. В числе тех, кто приписывал себе изобретение маятниковых часов более совершенной конструкции, чем часы Гюйгенса, был и Роберт Гук. Но кто бы ни был первым изобретателем маятниковых часов, ясно, что маятник в качестве регулятора хода часов стал входить в широкое применение только после появления трудов Гюйгенса «Часы» [266] и особенно «Маятниковые часы» [267].

Если в ранней работе Гюйгенса содержится в основном только описание первых маятниковых часов, то в последующей дается и их теория, которая в принципе остается без изменения до сих пор. Эта теория оказалась способной служить рациональной основой для последующего конструирования маятниковых часов.

Работа Гюйгенса над часами с простым, циклоидальным и коническим маятниками. В брошюре «Часы» приведены чертежи (рис. 126) изобретенных Гюйгенсом маятниковых часов и дано их описание. Здесь речь идет о применении в часах маятника, колеблющегося по круглой дуге в пределах лишь нескольких градусов. Чтобы обеспечить это условие при наличии шпиндельного хода, была применена зубчатая передача между маятником и ходовым колесом. Она выполняла функцию редуктора с соотношением 3:1. Коронное ходовое колесо имело вертикальное расположение, которое в устройстве позднейших часов было заменено горизонтальным расположением. Это мы видим уже в часах, изготовленных Соломоном Костером (рис. 127). Гюйгенс отказался как от вертикального расположения коронного ходового колеса, так и от применения редуктора. Вместо этого были применены металлические щеки особого устройства, которые по замыслу создателей этих часов должны были обеспечить изохронное колебание маятника по круговой дуге при любом изменении амплитуды.

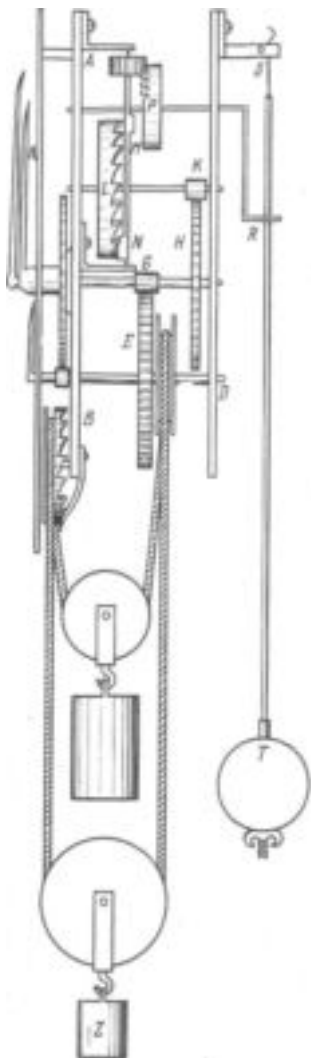


Рис. 126. Маятниковые часы Гюйгенса 1658 г.

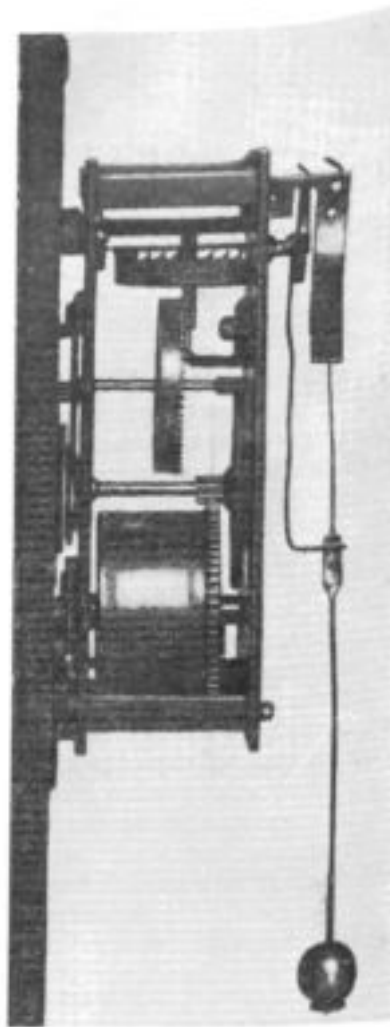


Рис. 127. Маятниковые часы, изготовленные Костером по проекту Гюйгенса

При создании часов Гюйгенсу было известно, что колебание маятника с увеличением его амплитуды становится неизохронным и что при применении в маятниковых часах шпиндельного хода получение изохронного колебания маятника или колебания его по круговой дуге в пределах только нескольких градусов является задачей технически трудно разрешимой.

В маятниковых часах со шпиндельным ходом, какими были часы Гюйгенса (см. рис. 126), практически почти невозможно-

было получить колебания с малым размахом. В этой конструкции, когда маятник T со шпинделем MN соединяется посредством вилки R и центр подвешивания его S лежит близко к линии опор шпинделя с палетами, имеется большой угол подъема — спуска; он достигает $30\text{--}40^\circ$. Это обстоятельство обуславливает колебание маятника с большим размахом, который в часах Гюйгенса часто достигал $40\text{--}50^\circ$. Вариация хода часов при столь большой дуге была весьма значительной и это, безусловно, отражалось на их точности. При данных условиях для Гюйгенса важно было добиться изохронного колебания при любой дуге размаха маятника. Это вынудило его искать средство, могущее обеспечить изохронность колебаний маятника не только при малой, но и при большой амплитуде. Для решения этой задачи Гюйгенсу «потребовалось укрепить и, где нужно, дополнить учение великого Галилея о падении тел. Наиболее желательным плодом, как бы величайшей вершиной этого учения и является открытое мною свойство циклоиды» [190, 10]. Для того чтобы найти эту кривую, Гюйгенс вынужден был проводить тщательно подготовленные опыты, основанные на сравнении изученного им падения маятника по круговой дуге с падением тел, скатывающихся по круговому пути под влиянием тяжести. Он стремился найти такую кривую, движение по которой могло бы происходить независимо от высоты падения и всегда за одно и то же время. Единственной кривой, удовлетворяющей этому условию, оказалась циклоида с горизонтальным основанием и вершиной, опущенной вниз. Открытие Гюйгенсом свойства циклоиды, как «кривой с равным временем» или обладающей свойством таутохронизма при действии силы тяжести, и было им использовано для создания часов с циклоидальным маятником (рис. 128).

Кроме того, Гюйгенс доказал, что для одного ниспадания и одного восхождения, т. е. для одного качания по циклоиде ABC , нужно столько времени, сколько его требуется для свободного падения тела P по длине оси циклоиды DB , а оно равно отношению окружности к своему диаметру. Этим определялась не только линия равных времен, какой является циклоида, но и средство вычислять количество колебаний как кругового, так и циклоидального маятника по его длине. Далее Гюйгенс геометрически вывел общеизвестную формулу $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ для определения периода колебаний математического маятника при малой амплитуде [190, 238]. В теоретической механике эта формула выводится с применением высшей математики¹.

Часы Гюйгенса с циклоидальным маятником. Установив, что кривая развертывания циклоиды есть тоже циклоида², Гюйгенс подвесил маятник на нитях и поместил по обеим их сторонам

¹ См.: Сомов П. О. Основание теоретической механики. СПб., 1904, с. 300.

² Развертка (эволюта) циклоиды есть тоже циклоида, если начало развертывания взять в вершине циклоиды.

циклоидально изогнутые металлические щеки (рис. 129) таким образом, чтобы при его качании нити ложились по этим кривым поверхностям. Тогда, действительно, описывая циклоиду, маятник мог иметь равномерный ход при любом изменении амплитуды. Для построения циклоидальных щек Гюйгенс изобрел шаблон, пользуясь разработанной им теорией эволюты и эвольвенты.

В первых часах с циклоидальным маятником, изготовленных Костером, когда еще не было такого шаблона, Гюйгенс находил кривые, соответствующие циклоиде, опытным путем. Часы, снабженные циклоидальным маятником, имеющие большую амплитуду, Гюйгенс считал наиболее пригодными для мореходства. Они, по его мнению, менее подвержены влиянию корабельной качки, чем маятниковые часы с малой амплитудой.

Описание часов с циклоидальным маятником (рис. 130) дано Гюйгенсом в мемуаре «Маятниковые часы». Их маятник состоял из металлического стержня с тяжелой сферой X и движком A для регулирования периода колебаний. Стержень маятника был подвешен на нитях между двух направляющих в виде изогнутых пластинок (щек).

Часы Гюйгенса представляли собой соединение маятника со старым шпиндельным ходом, т. е. с механизмом, способным функционировать и без маятника. Маятник как бы подвешен уже на готовый механизм. В отличие от устройства шпиндельного хода, применявшегося в догюйгенсовых часах, в часах Гюйгенса шпиндель и ходовое колесо смонтированы на взаимно перпендикулярных осях, т. е. шпиндель расположен горизонтально, а ходовое колесо — вертикально.

Маятник совершал колебания под действием вилки S , соединенной с горизонтальным шпинделем M . На оси этого шпинделя имелись палеты LL , которые могли попадать в промежуток между зубьями колеса K . Это ходовое колесо было связано посредством зубчатой передачи с источником энергии (с потенциальной энергией поднятой гири, подвешенной на конце шнура, обернутой вокруг оси D). Маятник при каждом своем колебании мог освобождать ходовое колесо K и одновременно получать импульс от него. Маятник сам определял момент, когда требуется доставка энергии для получения импульса, и в этом заключается сущность обратной связи, которая впервые появилась в часах из-за применения маятника. Благодаря этому часы Гюйгенса обладали собственным периодом колебания в отличие от догюйгенсовых часов.

Ход часов Гюйгенса был несвободным, так как маятник находился в постоянной кинематической связи с ходовым колесом. При несвободном ходе маятник мог получать неравномерное по силе толчки. В этом недостаток шпиндельного хода, примененного в маятниковых часах Гюйгенса. Труды Гюйгенса по теории циклоидального маятника имели значение не столько в области Хронометрии, сколько для разработки в механике вопросов ди-



Христиан Гюйгенс

намики. Для создания точного хода маятников решающее значение имело не применение циклоидальных щек, а применение анкерного хода, обеспечивавшего колебание маятника по короткой дуге. После Гюйгенса циклоидальный маятник не стал применяться в хронометрии.

У циклоидального маятника имелись недостатки, которые превышали его достоинства: щекам трудно придать точную кривизну циклоиды; нити вследствие жесткости не вполне прилегают к щекам, так что центр тяжести маятника не движется по циклоиде. Отрицательное влияние оказывают также оседание на нитях пыли, влажность и, наконец, сопротивление воздуха.

После введения анкерного хода в маятниковых часах сама собой отпала необходимость использования циклоидальных щек. Они в этом случае являются лишним усложнением конструкции часов.

Задачу о движении математического маятника Гюйгенс решил для того, чтобы перейти к более сложной задаче — к изучению физического маятника. При этом требовалось рассмат-

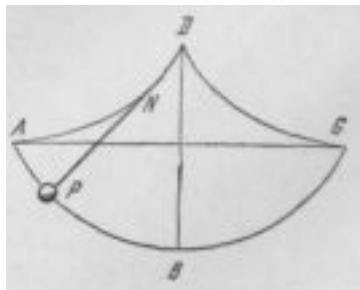


Рис. 128. Колебание маятника по циклоидальной кривой

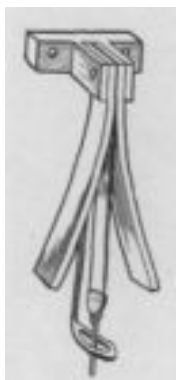


Рис. 129. Циклоидальные направляющие (щеки), примененные в часах Гюйгенса 1673 г.

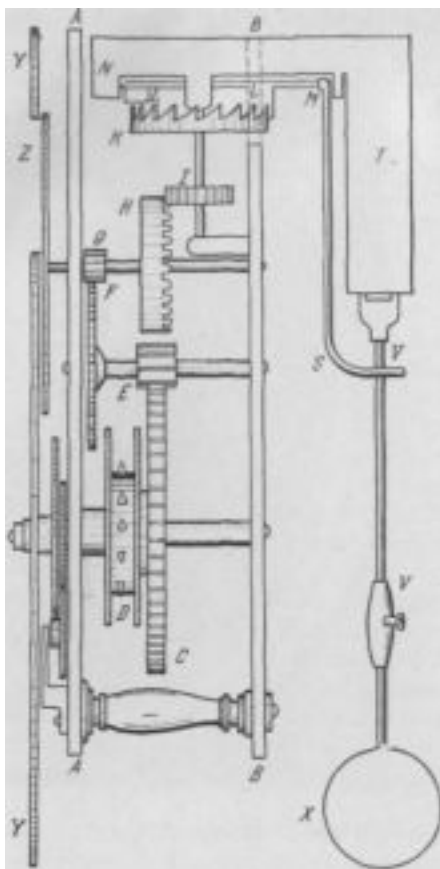


Рис. 130. Маятниковые часы Гюйгенса 1673 г.

ривать маятник не как математическую точку, подвешенную на невесомой нити, а как систему материальных точек твердого тела.

Исследуя колебание физического маятника, Гюйгенс пришел к выводу, что его центр качания не может быть математически строго определен, если неизвестен закон, по которому отдельные его части, испытывая действие силы тяжести, взаимно изменяют свое движение в каждое мгновение. Этот закон можно сформулировать так: центр тяжести масс, входящих в состав маятника, при качании его не может подняться ни выше, ни ниже, чем та высота, с которой он спустился, все равно, будут ли эти массы связаны между собой или свободны.

Этот принцип Гюйгенс называл «великим принципом механики». В настоящее время он может быть понят и истолкован с

точки зрения закона сохранения энергии. В изолированной колебательной системе маятника количество энергии то в виде потенциальной, то в виде кинетической не теряется и не возникает вновь. Сколько было получено при падении маятника за счет силы тяжести, столько же затрачивается при его подъеме. Таким образом, Гюйгенс в свое время подошел к установлению соотношения между потенциальной и кинетической энергией системы материальных точек в поле силы тяжести, или закона сохранения энергии для данного частного случая.

Действие этого закона на колебание физического маятника Гюйгенс излагает следующим образом: «Представим себе, что маятник из нескольких маятников различного веса (массы.— В. П.) выведен из состояния покоя и, после того как он совершил какую-то часть целого колебания, разделен на составные маятники, которые с полученной скоростью двигаются обратно и поднимаются до той или другой высоты; общий их центр тяжести вернется до той же высоты, на которой находился раньше до начала колебания» [190, 124].

Всякий физический, или сложный, маятник условно можно допустить, по Гюйгенсу, состоящим из множества математических маятников с общей осью вращения (подвеса); каждый на своих концах несет массу, из которой и состоит физический маятник. Если бы эти материальные частицы были свободны и не связаны взаимным сцеплением, то каждая из них могла бы подниматься на разные высоты и в различные промежутки времени в зависимости от длины маятника. Но поскольку физический маятник является твердым телом, то и каждая материальная его частица принуждена двигаться вместе с другими по одной и той же траектории; причем верхние частицы ускоряют движение нижних, а нижние замедляют движение верхних. Очевидно, можно найти такую точку, для которой ускорение от верхних частиц и замедление от нижних одинаковы. Эта точка называется *центром качания*. Он будет двигаться как единая система материальных точек.

Этот центр, по Гюйгенсу, находится на линии, перпендикулярной к оси вращения и проходящей через центр тяжести маятника, и удален от этой оси на определенное расстояние, которое может быть найдено по формуле

$$L = \frac{\sum m r^2}{\sum m p} = \frac{m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots}{m_1 p_1 + m_2 p_2 + m_3 p_3 + \dots} = \frac{\text{момент инерции}}{\text{наибольший статистический момент}},$$

где L — приведенная длина физического маятника; $m_1, m_2, \dots$ — масса или вес отдельных частей маятника; $r_1, r_2, \dots$ — расстояния их от точки подвеса маятника; $p_1, p_2, \dots$ — расстояния от точки подвеса до центра тяжести маятника. Точка, лежащая на геометрической оси маятника на расстоянии L от точки подвеса,

называется центром качания маятника. Он лежит несколько ниже центра тяжести маятника.

Сам Гюйгенс следующим образом характеризует возможность перехода от закона колебания простого маятника к закону колебания физического маятника: «Дан маятник, состоящий из произвольного числа частей, множат вес каждой части на квадрат ее расстояния от оси колебаний. Если сумму этих произведений разделить на произведение, получающееся от умножения общего веса всех частей на расстояние общего центра тяжести от той же оси колебаний, то получится длина простого маятника, изохронного с данным сложным, или расстояние между осью колебаний и центром качаний сложного маятника» [190, 130].

Можно сказать, Гюйгенс заменил физический маятник математическим, длина которого равняется расстоянию от точки подвеса до центра качания, и доказал, что колебание физического маятника совершается по тому же закону, что и колебание математического маятника. Вследствие этого период колебания физического маятника можно определять по той же формуле $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, которую Гюйгенс нашел для периода колебаний математического маятника, с тем отличием, что величина l в этой формуле равна L — приведенной длине физического маятника.

Гюйгенс доказал, что центр качания и точка подвеса обладают свойством взаимной переместимости, т. е. если подвесить маятник за центр качаний, то старый центр подвеса станет новым центром качания физического маятника. На этом свойстве основано устройство оборотного маятника (предложен Катером в 1818 г.), при помощи которого легко определяется приведенная длина физического маятника.

Гюйгенс был удовлетворен результатами своих исследований колебания физического маятника и не оценил новых возможностей, представившихся в связи с открытием дифференциального и интегрального исчисления, о котором ему сообщил Лейбниц. В своих выводах Гюйгенс опирался на понимание массы, как ряда отдельных точек, без выяснения возможности перехода к понятию массы, непрерывно заполняющей пространство, к твердому телу. Единственно полноценный способ решения этого вопроса дает только интегральное исчисление.

«Непрерывную массу,— писал Лагранж в «Аналитической механике»,— следует представлять себе не в виде бесконечного множества рядом лежащих точек, но в согласии с духом анализа бесконечно малых, в виде целого, составленного из бесконечно малых элементов, обладающих теми же свойствами, как сама масса» [70, 114].

Для истолкования массы непрерывного тела нужно иметь в виду не сумму отдельных его составляющих, но предел суммы, т. е. интеграл, и если ясно оговорить, что под знаком интеграла разуметь не определенную точку, обладающую массой, но массу элемента объема—дифференциал всей массы. Причем предел

суммы не зависит от способа разложения тела на элементы объема.

После Гюйгенса теория маятника развивалась под знаком всестороннего применения выводов дифференциального и интегрального исчисления. Поскольку точное исследование колебаний маятника ведет к эллиптическим функциям, элементарный вывод формулы маятника — нелегкая задача. Как известно, с эллиптическими интегралами впервые столкнулся Леонард Эйлер.

Часы Гюйгенса с коническим маятником. Заключительную часть мемуара «Маятниковых часов» Гюйгенс посвятил описанию конструкции часов с коническим маятником и теоремам о центробежной силе, которые приводятся им без доказательства. Доказательства содержатся в отдельной работе — «О центробежной силе», написанной в 1659 г., но вышедшей только в 1703 г. — через восемь лет после смерти ученого. Эта теоретическая работа вместе с практическим приложением содержащихся в ней основных выводов для создания конического маятника вошла в золотой фонд теоретической и прикладной механики. Для Гюйгенса центробежная сила вовсе не фиктивная, а вполне реальная сила той же природы, что и сила тяжести. Иначе она не попала бы в поле его зрения и не стала бы предметом его специальных исследований.

Центробежная сила развивается при движении тела по криволинейной траектории и происходит вследствие того, что инерция благодаря ранее приобретенному движению направляет тело по прямой, а не по кривой, на которой тело, однако, удерживается действием центростремительной силы. Стремление тела сойти с криволинейной траектории и продолжать движение по прямой (по касательной относительно кривой) и составляет центробежную силу. Она измеряется произведением массы точки на квадрат скорости, деленной на расстояние точки от оси вращения: $F_{\text{цб}} = mv^2/r$. Эту формулу установил Гюйгенс.

Заменяя линейную скорость точки v угловой ω ($v = \omega r$), получим: $F_{\text{цб}} = mr\omega^2$. Следовательно, при данной угловой скорости центробежная сила возрастает пропорционально расстоянию точки от оси вращения.

Для хронометрии практически особенно важным является равномерное движение тел по окружности. В этом случае величина скорости (линейная скорость) остается неизменной, меняется лишь направление движения благодаря действию непрерывной и постоянной по величине силы, направленной всегда к центру окружности и придающей движущемуся телу постоянное ускорение. Его называют центростремительным. По величине оно равно центробежному.

Применение в часах конического маятника вытекает из возможности осуществления равномерного его движения по окружности под воздействием центростремительных и центробежных сил. Именно на этом принципе Гюйгенсом и были в 1659 г. со-

зданы часы с коническим маятником. Описывая их, ученый отмечает, что конический маятник совершает движение «по окружности круга» столь же равномерно, как и обычные маятники. Секундная стрелка имеет непрерывное движение по окружности, без скачков. Часы с таким маятником обладают бесшумным и равномерным ходом [190, 206]. Но такие часы было трудно изготовить, потому они не получили широкого распространения.

Конический маятник, вращающийся вокруг центральной оси OO' (рис. 131), проходящий через точку подвеса O и описывающий коническую поверхность, представляет собой нить длиной l

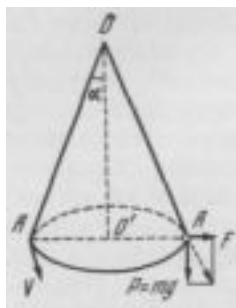


Рис. 131. Принцип действия конического маятника

с грузом A весом P на одном из его концов. Гюйгенс придумал остроумный способ подвески исходя из тех же математических соображений, что и в случае выбора подвески для циклоидального маятника.

Для того чтобы груз, подвешенный на нити, мог равномерно вращаться по окружности, нужно центробежную силу увеличивать пропорционально увеличению радиуса от центра вращения. Это может быть достигнуто путем увеличения линейной скорости пропорционально корню квадратному из увеличения длины радиуса (или длины маятника).

С увеличением линейной скорости (при постоянном радиусе) центробежная сила возрастает в квадрате. При надлежащем выборе скорости и угла α груз, двигаясь равномерно, будет описывать горизонтальные окружности вокруг вертикали OO' , проходящей через точку O прикрепления нити, причем время полного оборота должно быть постоянным, как время колебания математического маятника.

В 13 тезисах о центробежной силе, изложенных Гюйгенсом в 5-й части «Маятниковых часов», основным является вопрос об определении периода колебаний конического маятника.

При решении этой задачи следует учесть, что маятник, отклоненный от положения равновесия на известный угол α , снова стремится приблизиться к этому отвесному положению с силой $g \sin \alpha$. Эта величина уменьшается по мере уменьшения угла α и обращается в нуль, когда $\alpha = 0$. Следовательно, эта сила непостоянна. При известном или заданном угле α маятнику сообщают подходящую линейную скорость с таким расчетом, чтобы равнодействующая P — веса груза и центробежной силы — имела направление нити OA , образующей с вертикалью угол α . Тогда нить, соединяющая точку ее подвеса с грузом на ее конце, будет описывать коническую поверхность, совершая равномерное движение по окружности.

Для определения периода колебания конического маятника

введем обозначения: l — длина маятника, α — угол отклонения, r — расстояние от оси вращения, c — длина окружности, s — линейная скорость, F — центробежная сила. Силу, стремящуюся вернуть гирию в отвесное положение, примем равной $mg \sin \alpha$ (или равной центробежной силе F , умноженной на $\cos \alpha$). С другой стороны, она равна ms^2/r , тогда $g \sin \alpha = \frac{s^2}{r} \cos \alpha$. Но $\sin \alpha = r/l$ и потому $\frac{gr}{l} = \frac{s^2}{r} \cos \alpha$.

Время оборота гири $t = c/s$, откуда $s^2 = c^2/t^2$. Подставляя выражение для s^2 в предыдущее уравнение, получим: $\frac{gr}{l} = \frac{c^2}{t^2 r} \cos \alpha$, или $gr^2 t^2 = lc^2 \cos \alpha$, откуда $t = \sqrt{\frac{lc^2}{gr^2} \cos \alpha} = \frac{c}{r} \sqrt{\frac{l}{g} \cos \alpha}$, или $t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \cos \alpha}$.

Время оборота вращающегося маятника обратно пропорционально корню квадратному из ускорения силы тяжести. С увеличением силы тяжести сила, стремящаяся вернуть гирию в отвесное положение, увеличивается во столько же раз, во сколько увеличивается сила тяжести. Чтобы гирия при этом описывала круг, необходимо силу, отклоняющую ее, или центробежную силу, соответственно увеличить путем придания маятнику скорости вращения, пропорциональной корню квадратному из ускорения силы тяжести. Время оборота маятника не зависит от массы, если учесть, что как сила притяжения земли (а следовательно, сила, стремящаяся вернуть гирию в отвесное положение), так и центробежная сила (а следовательно, сила, отклоняющая гирию) одинаково пропорциональны массе гири.

Физический вращающийся маятник подчиняется тем же законам, что и математический. Используя соответствующее механическое устройство, конический маятник можно применять в качестве регулятора хода часов; описание одних таких часов приведено в труде Гюйгенса «Маятниковые часы» вместе с теоремами «О центробежной силе» [190, 206—210]. Конические маятники могут успешно применяться как регуляторы хода во многих приборах, где требуется воспроизводить абсолютно плавное или равномерное движение.

Морские часы Гюйгенса. Конструируя маятниковые часы и создавая теорию их устройства, Гюйгенс стремился сделать их пригодными для определения долготы. Эту задачу он ставит уже в самом начале своих работ над маятниковыми часами. 12 января 1657 г. он писал Схоутену: «На днях я нашел новую конструкцию часов, при помощи которой время измеряется так точно, что появляется немалая надежда на возможность определения при ее помощи долготы, даже если придется взять их по морю».

Об интересе к измерению долготы при помощи часов свидетельствует и письмо Ньютона от 18 мая 1669 г. к Астону: «Служат ли,— спрашивает он,— стенные часы к определению географической долготы?»

В 1661 г. Христиан Гюйгенс сконструировал часы, специально предназначенные для мореплавания. Чтобы они могли насколько возможно сохранять свое вертикальное положение при качке корабля, их установили на кардановом подвесе (рис. 132). Часы имели отдельные циферблаты для минут, секунд и часов.

Маятнику этих часов была придана форма равнобедренного треугольника, в вершине которого подвешен свинцовый груз (линза) 11. Между щеками 10, изогнутыми по циклоиде, подвешены две другие нити с грузиками 9. Перемещающая грузики, можно регулировать период колебания маятника. Маятник короткий (24,2 см) и полусекундный. Основание маятника 8 проходит через вилку и ею же поддерживается в движении. Вилка связана со шпинделем и сидящими на нем палетами, которые периодически вступают в контакт с коронным колесом 7.

Механизм морских часов Гюйгенса, приводимый в действие от ходовой пружины, был снабжен особым устройством, позволявшим осуществлять завод в каждые полминуты на ходу и вместе с тем обеспечивать передачу коронному колесу импульсов постоянной силы.

Это устройство представляло собой промежуточный двигатель, который был присоединен к оси секундного колеса. Роль заводной пружины сводилась к периодической подзаводке промежуточного двигателя посредством замкнутой цепи. Она приводилась в движение гириями вокруг четырех блоков. Гиря 1 при опускании осуществляла передачу импульса ходовому колесу шпиндельного хода, а гиря 2 как противовес служила для натяжения цепи (рис. 133). После поворота стопорного рычага 3 и освобождения стопорного колеса 4, снабженного храповиком 5, гиря 1 могла опускаться до определенного положения и передавать ходовому колесу постоянные по величине импульсы. Обратный подъем этой гири мог осуществляться благодаря тому, что секундное колесо 6 было связано с пружинным двигателем и могло приводить во вращение стопорное колесо 4. Гиря 1 при подъеме приводила в определенное положение рычаг 3, останавливая тем самым всю колесную передачу. Опускание и подъем гири повторялись снова и снова.

Устройство для стабилизации импульса, примененное Гюйгенсом, явилось предшественником всех промежуточных двигателей, предлагавшихся потом в качестве стабилизаторов импульса.

Результаты, испытаний морских часов Гюйгенса, Сюлли, Дютерта. Гюйгенс возлагал большие надежды на свои морские часы, брал патенты в разных странах, организовывал их испытания на суше и на море,

Результаты этих испытаний морских часов с маятником Гюйгенса в конечном счете показали, что они вели себя весьма сносно при хорошей погоде, но при плохой их показания были ненадежными. Маятник часов лишен был какой бы то ни было температурной компенсации, а потому был подвержен влиянию температуры. Кроме того, было установлено, что показания двух маятников одинаковой длины при разных широтах неодинаковы, так как периоды их колебания обратно пропорциональны квадратному корню из ускорения силы тяжести. У полюсов маятник колеблется быстрее, чем на экваторе, где ускорение меньше, чем у полюсов. Уменьшение силы тяжести на экваторе было за-

Рис. 132. Морские часы Гюйгенса 1661 г.

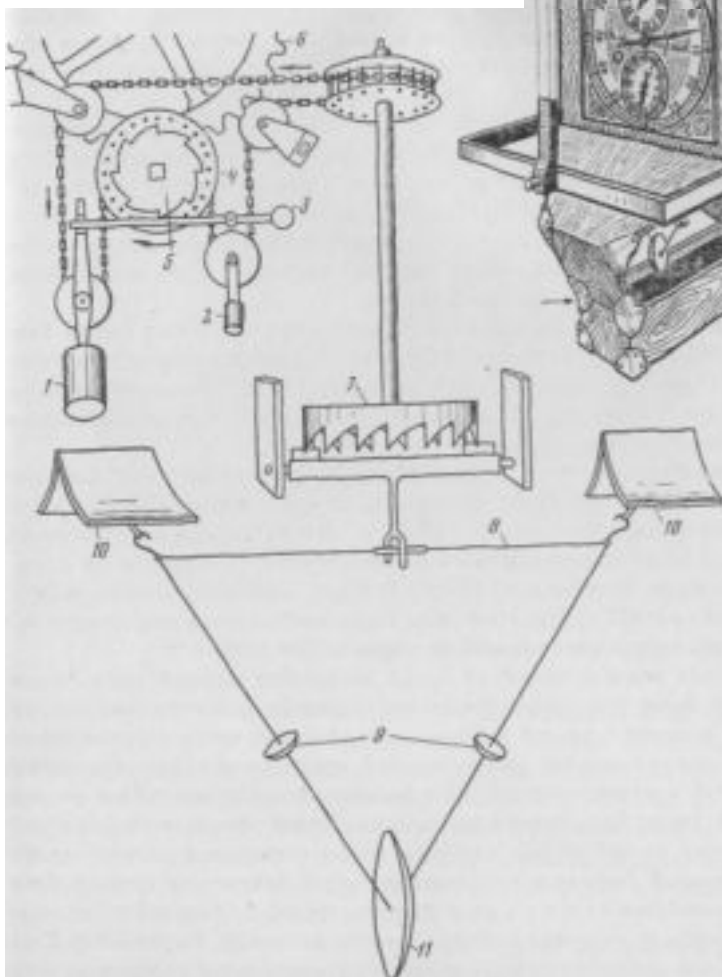
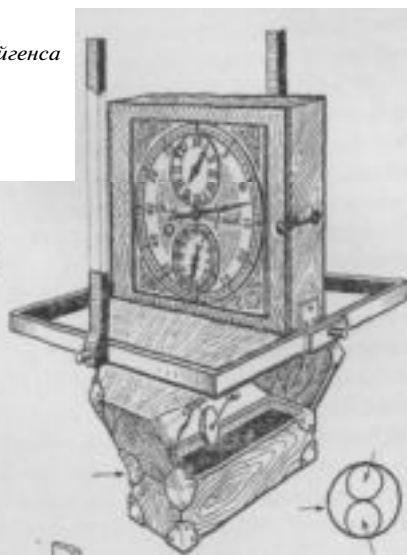


Рис. 133. Морские часы Гюйгенса со стабилизатором импульса и циклоидальным маятником

1 — гиря, передающая импульс ходовому колесу; 2 — гиря для натяжения цепи; 3 — стопорный рычаг; 4 — стопорное колесо; 5 — храповое колесо; 5 — секундное колесо; 7 — ходовое колесо; 8 — нить, по которой могут перемещаться вверх и вниз грузики 9, чтобы изменять приведенную длину маятника; 10 — циклоидальные щеки; // — линза, маятника

мечено в 1672 г. французским астрономом Жаном Рише во время его путешествия в Южную Америку. Таким образом, изобретение маятниковых часов не разрешило проблему определения долготы на море.

В докладной записке Королевской академии наук в 1679 г. (через четыре года после изобретения им баланс-спирали в качестве регулятора часов) Гюйгенс предложил испытать часы с этим регулирующим устройством вместо маятниковых часов. Испытание не дало положительных результатов. Баланс-спираль в этих часах не имел температурной компенсации, поэтому ход часов был подвержен влиянию температурных изменений (в 18 раз большему, чем в маятниковых часах!).

Хотя в результате произведенных испытаний часов Гюйгенса в конечном счете была установлена бесперспективность применения маятниковых часов в качестве морских часов, впоследствии все же был сделан еще ряд попыток использовать принцип устройства маятниковых часов для этой цели. В 1720 г. голландский часовщик Масси получил премию Парижской академии наук за опубликование способа использования маятника на море, но это предложение не имело практического использования.

Следующий шаг в создании морских маятниковых часов был сделан Генри Сюлли (1680—1728) —учеником знаменитого английского часовщика Георга Грагама. Ньютон и Врен обратили внимание Сюлли на исключительную важность создания совершенных морских часов, но он этим вопросом занялся в Париже лишь в конце своей жизни.

Получение Масси в 1720 г. премии Парижской академии наук было тем дополнительным обстоятельством, которое обратило внимание Сюлли на полезность занятий морскими часами. После испытания первых своих морских часов Сюлли в 1724 г. представил их в Академию наук. Описание часов с подробными заметками были посланы Георгу Грагаму. Замечания последнего Сюлли опубликовал в своей работе «Описание вновь изобретенной конструкции часов для точного определения времени на море» (1726) [299].

На рис. 134 показан механизм одной из поздних моделей часов Сюлли, которые были более усовершенствованы по сравнению с его первыми часами.

В обеих моделях — ранней и более поздней — в качестве регулирующего устройства применен весовой рычаг, который практически представлял собой горизонтальный маятник, соединенный с балансом посредством гибкой струны, ограниченной двумя криволинейными щеками. Сюлли придавал большое значение получению точной формы этих щек, якобы неизвестной до него геометрам и обладающей свойством придавать рычагу и балансу изохронные колебания. При колебании баланса в ту и другую сторону от мертвой точки горизонтальный рычаг претерпевал соответствующие движения. Теоретически Сюлли допустил, что данное устройство может обеспечить точно изохронное колебание, подобно маятнику, совершающему свои колебания по циклоиде, или же балансу, регулируемому спиральной пружиной, не подверженной температурным влияниям. Сюлли считал, что его регулирующее устройство не является обычным маятником и что оно не подвержено влиянию изменения широты места, как это свойственно обычному маятнику. Последнее заключение, основанное на смешении понятия массы маятника с его весом, было ошибочным. Если масса остается неизменной на всех широтах, то в отличие от нее вес изменяется с изменением ускорения силы тяжести, различной для различных широт; вместе с этим изменяется и время колебания маятника, которое об-

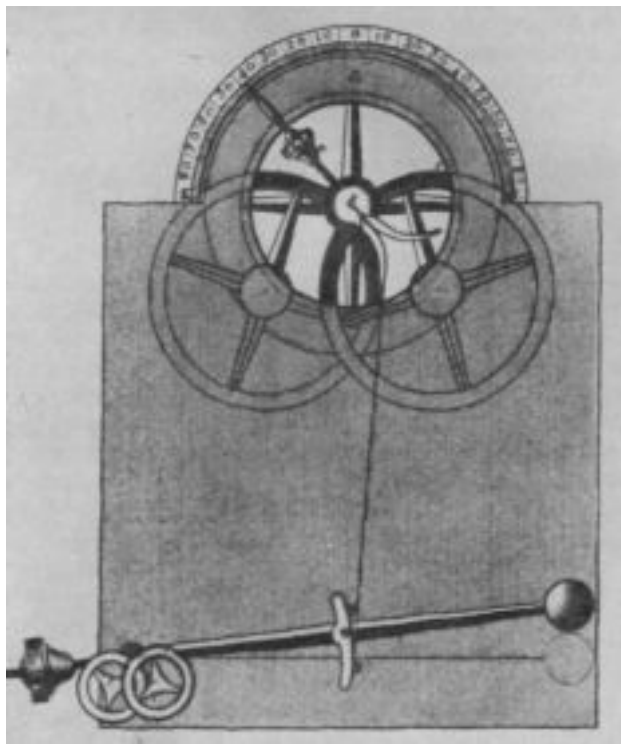


Рис. 134. Модель морских часов Сюлли

ратно пропорционально корню квадратному из ускорения силы тяжести. Этот источник погрешности был бы не столь важен, если бы он не оказывал влияния на колебание горизонтального маятника (стало быть, на всю регулируемую систему часов Сюлли) и движение корабля; а это влияние имело и было весьма значительным. Под влиянием бортовой и килевой качки судна действие горизонтального маятника на ход баланса становилось иным под влиянием приобретенной при этом инерции, менялось и натяжение струны, а отсюда — и величина силы, действующей на ход баланса.

В 1726 г. были произведены испытания на море одних из последних маятниковых часов, улучшенных Сюлли по заданию Парижской академии наук. Первые испытания производились в относительно спокойных водах Горонны; часы в течение почти полусуток плавания показали отставание на 2,5 с на каждый час по сравнению с тем, как они шли на берегу. Во втором испытании, производившемся во время шторма, изменение хода также было незначительным. Заключение комиссии Академии наук было для Сюлли обнадеживающим.

Совсем иные результаты показало третье испытание часов, проведенное в открытом океане. Оно было плачевно, так как выявило полную непригодность часов Сюлли для использования на море.

В 1726 г. была сделана еще одна попытка создать морские часы, но не с одним, а с двумя маятниками. Их изобретателем был французский часовщик Дютерт; однако испытание и этих часов, произведенное на море, тоже показало их непригодность.

Усовершенствование хода маятниковых часов в Англии после Гюйгенса

Маятниковые часы Гюйгенса были введены в Англии в 1659 г. Английские часовщики скоро разгадали причину непостоянства хода этих часов. При наличии шпиндельного хода нельзя было добиться изохронного колебания маятника, т. е. колебания его при малой дуге в пределах $2-3^\circ$ (даже при применении особых средств для ограничения амплитуды колебания маятника). Было установлено, что длинный и тяжелый маятник, менее подверженный случайным нарушениям хода и колеблющийся при малой дуге, более пригоден для создания часов, чем короткий и легкий, применение которого и было возможно только при сохранении в часах шпиндельного хода. Отсюда появилась проблема создания такого хода, который мог бы обеспечить применение в часах длинного и тяжелого маятника, колеблющегося при малой дуге. С 1660 г. над решением этой проблемы начал работать Роберт Гук (1635—1703) в Королевском обществе.

Отличный от шпиндельного новый анкерный ход для маятниковых часов был изобретен в Англии перед 1671 г. Часы с таким ходом и с длинным, тяжелым маятником, которые сохранились до нашего времени, были изготовлены Вильямом Клементом в 1671 г. (теперь они находятся в Лондонском научном музее) [174].

В литературе между тем изобретение часов с анкерным ходом, с длинным и тяжелым маятником часто приписывается только Клементу, даже без упоминания имени Гука, что явно несправедливо. На это, в частности, указывает биограф Гука Маргарет Эшшассе: «Одно только можно сказать,— пишет она,— что для изобретения анкерного хода больше шансов и возможностей было у выдающегося механика — ученого того века, который на практике доказал свою способность решать проблему создания часов с маятником, совершающим свое колебание при малой амплитуде. Многих, однако, приводит в смущение тот факт, что в „Дневнике" Гука нет упоминания об изобретении им анкерного хода. Хотя это действительно так, но следует учесть, что с 1675 г. мысли Гука были всецело сосредоточены на разработке конструкции карманных часов с балансом и спиральной пружины. Это явилось предметом его спора с Ольденбургом, что наделало много шума в Королевском обществе» [250, 63].

После изобретения в Англии анкерного хода там были достигнуты значительные успехи в создании точных маятниковых

часов, благодаря чему английские часы приобрели мировую славу. Многие часовщики, особенно Томас Томлион и Георг Грагг, уже при жизни пользовались большой известностью, состояли членами Королевского общества.

Ранний этап анкерного хода (крючковый ход). Анкерный ход в маятниковых часах впервые был практически применен в 1670 г. английским часовщиком Вильямом Клементом (1640—1696). Маятник имел длину 9,5 м и делал 48 колебаний в минуту. Томас Томпион (1638—1713), которого по справедливости считают «отцом» английского часостроения, использовал анкерный ход для устройства двух своих маятниковых часов, предназначенных для королевской обсерватории, открытой в 1676 г. в Гринвиче. Они имели маятник длиной около 4 м, а период колебания — 2 с. Впоследствии практически было установлено, что лучше всего изготавливать маятник с секундным периодом колебания.

Анкерный ход, который был применен в часах Клемента, известен также под названием крючкового хода (рис. 135). Здесь ходовое колесо 1 приняло уже современную форму с зубцами, расположенными по направлению радиусов. Эти зубцы ограничены с одной стороны радиальной плоскостью, а с другой — слегка вогнутой поверхностью, с тем чтобы при работе хода зубец мог действовать лишь своим острым концом, не касаясь якоря другими частями. Шпиндель с палетами заменен в крючковом ходе Клемента якорем 2, жестко посаженным на ось вилки маятника и взаимодействующим с зубцами ходового колеса. По форме якорь напоминает скобу с плечами, оканчивающимися двумя наклонными плоскостями (3 и 4), у которых на концах имеются импульсные поверхности, или палеты, с которыми зубцы ходового колеса могут вступать в контакт. Палеты по их положению относительно ходового колеса называются входной (3) и выходной (4). Действие крючкового хода на колебание маятника обуславливалось двумя движениями — вращательным движением ходового колеса и колебательным движением якоря, вызываемым действием маятника. Поскольку якорь имеет форму скобы и состоит из цельного куска, то при отодвигании одного его плеча от ходового колеса другое, противоположное, приближается к ходовому колесу. Вследствие этого концы якоря, или палеты, могли попеременно входить в контакт с зубцами ходового колеса и прерывать его движение.

На рис. 136 показано взаимное расположение палет и зубцов ходового колеса при действии крючкового хода и маятника. Положение хода 1 соответствует такому моменту его работы, когда зуб ходового колеса только что упал на входную палету а. В этот момент маятник начинает свое дополнительное колебание, а при продолжении его увлекает за собой якорь, который затем поворачивается вокруг своего центра качания на определенный угол. Зуб ходового колеса будет при этом скользить по палете, преодолевая трение (положение 2). Ходовое колесо при этом слегка повернется назад. Отход назад произойдет потому, что так называемая поверхность покоя палеты ограничена дугой, центр которой не совпадает с осью вращения якоря. Когда маятник начнет свое колебание налево, зуб будет перемещаться с поверхности покоя на поверхность импульса и вместе с тем начнется постепенное осво-

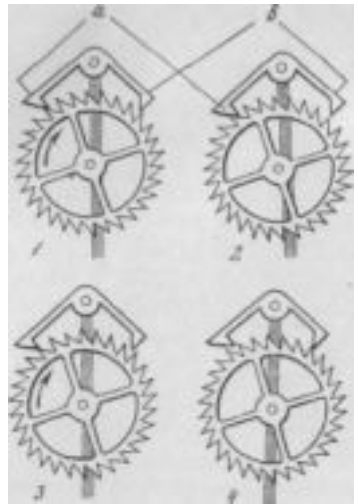
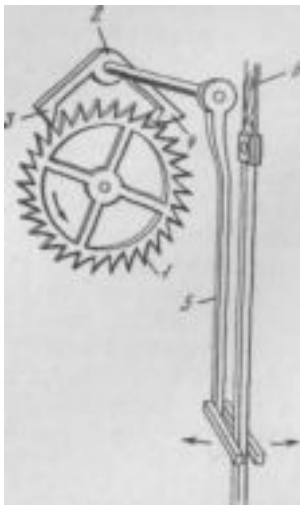


Рис. 135. Крючковый, или возвратный, ход Клемента

1 — ходовое колесо; 2 — якорь; 3 — входная палета; 4 — выходная палета; 5 — вилка; 6 — пружинный подвес маятника

Рис. 136. Взаиморасположение палет и зубцов ходового колеса при действии крючкового хода и маятника

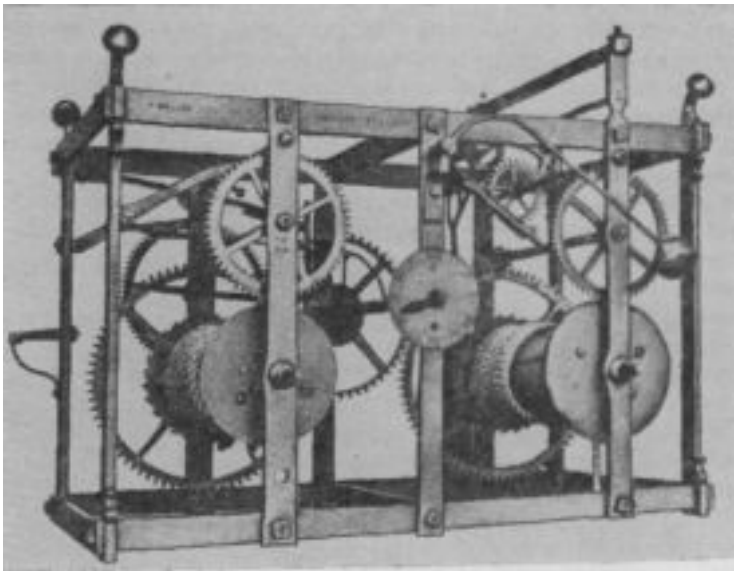


Рис. 137. Башенные часы Клемента 1671 г.

вождение палеты из-под зуба, так как якорь выталкивается кверху (положение 3). Этим самым маятнику сообщается импульс, который будет продолжаться до тех пор, пока зуб не спадет с входной палеты *a*. После этого колесо свободно и быстро повернется на небольшой угол, пока зуб его не упадет на выходную палету и (положение 4), и на ней повторится весь цикл аналогично описанному выше процессу на входной палете *a*.

Поднимаясь то одним, то другим плечом, якорь позволяет ходовому колесу подвигаться вперед на $\frac{1}{2}$ зуба, а за весь период колебания маятника — на 1 зуб.

Изобретение крючкового хода дало возможность, во-первых, применять более тяжелый и длинный маятник, чем при шпиндельном ходе при той же самой силе завода, и, во-вторых, явилась возможность значительно уменьшить амплитуду колебания маятника без применения каких-либо дополнительных средств. Другой крупной заслугой Клемента следует считать изобретение пендельфедера со стальной пружиной взамен шелкового подвеса. Часы, снабженные крючковым ходом и пендельфедером, имели очень хороший ход по сравнению со шпиндельным ходом.

На рис. 137 изображены башенные часы В. Клемента (1671 г.) и его же напольные часы (1685 г.) (рис. 138). Они снабжены секундным маятником и крючковым ходом.

После Клемента крючковый ход получил применение также в часах с коротким маятником и со сравнительно большой амплитудой (порядка 10—15°). При такой амплитуде неизохронности маятника получаются уже довольно большие погрешности хода часов и крючковый ход в значительной мере их исправляет.

Анкерный ход Грагама для маятниковых часов. Для весьма точных маятниковых часов нельзя допускать отхода назад ходового колеса. Этому требованию соответствует улучшенный анкерный ход, изобретенный в Лондоне в 1715 г. учеником Томпиона — Георгом Грагамом (1678—1751). Изобретение этого хода отмечает весьма важный шаг в развитии хронометрии: благодаря ему было достигнуто не только устранение отхода назад ходового колеса, но и последующее уменьшение амплитуды колебания маятника и ненужных сопротивлений. Исключительно высоким часовым мастерством Грагама были созданы часы с точностью хода 0,1 с. В течение почти двух столетий после Грагама его ход остался лучшим и применялся для создания астрономических часов, т. е. часов, используемых в астрономических обсерваториях, пока в 1890 г. не появились часы Рифлера почти со свободным ходом.

С момента своего появления ход Грагама подвергался различным изменениям, нашедшим конкретное выражение в модификациях знаменитого Томаса Ирншау (ок. 1790 г.), Вениамина Льюиса Виллиама (ок. 1820 г.), Чарльза Фродшама (ок. 1860 г.), Роберта Гарднера (начало XX в.). В XIX в. в Англии лучшие маятниковые часы изготовлялись с ходом Грагама. На континен-

те Европы и в России с ходом Грагама изготавливались лучшие маятниковые часы с температурной компенсацией, которые чаще всего были известны под названием «регулятора». Еще до сих пор ход Грагама используется в малого размера башенных часах; если часы с этим ходом изготовлены хорошо, то обеспечивается большое постоянство их хода в течение продолжительного времени.

Анкерный ход Грагама (рис. 139) внешне мало чем отличается от крючкового, или возвратного, хода Клемента. Маятник при помощи вилки соединяется с якорем B , который в ходе Грагама состоит также из двух плеч и имеет две палеты — входную и выходную. На входной палете имеется плоскость наружного покоя F_1 и импульсная наклонная плоскость S_1 , а на выходной — внутренняя плоскость покоя F_2 и импульсная наклонная плоскость S_2 , которые являются рабочими поверхностями палет. Плоскости покоя имеют цилиндрическую форму и описаны из B , как из центра; центр поверхности покоя одновременно является центром вращения якоря, или анкера. Центр якоря легко определяется по касательным линиям T_1 и T_2 , отсюда получается расстояние между центром анкера и ходового колеса как равное 1,4 радиуса ходового колеса. Импульсные поверхности S_1 и S_2 с радиусами R_1 и R_2 образуют угол в 60° . Линии, проходящие из B через центр поверхности покоя с T_1 и T_2 , должны составлять угол 2° ; эти касательные линии граничат с плоскостями S_1 и S_2 .

Палеты взаимодействуют с зубцами ходового колеса, которое имеет 30 зубцов, как и в ходе Клемента; одна четверть из этого числа зубцов охватывается анкером. Зубцы ходового колеса с той стороны, с которой концы их подрезаны с уклоном 6° , при работе механизма скользят по рабочим поверхностям палет передними кромками, в то время как анкер, связанный вилкой с маятником, совершает колебания вокруг своей оси в такт с колебаниями маятника. Зубцы ходового колеса падают сначала на поверхности покоя (F_1 и F_2). Импульс передается на поверхности S_1 и S_2 . В часах Грагама колебания маятника совершаются при малой дуге, или размахе, потому угол подъема анкера не должен составлять более 2° , а лучше $1,5^\circ$.

Благодаря применению в ходе Грагама таких форм палет, где рабочая поверхность разделена на поверхность (плоскость) покоя и поверхность импульса, ходовое колесо после передачи импульса маятнику ложится на поверхность покоя, или, что то же, его зубцы спадают на так называемый покой, а не на наклонные поверхности палет, как в возвратном, или крючковом, ходе Клемента. Зуб ходового колеса, лежащий на поверхности покоя входной или выходной палеты, передает на ось анкера тормозной момент, пропорциональный моменту на оси ходового колеса.

Для того чтобы подробно рассмотреть действие хода Грагама, предположим, что на входную палету A упал кончик зуба a (рис. 140), а анкер под воздействием маятника продолжает движение против часовой стрелки. Маятник (положение I) описывает дополнительную дугу и, дойдя до конца ее, поворачивает обратно. В этот момент зуб скользит по поверхности покоя, проходя сперва дополнительный угол, а затем угол покоя до грани палеты, где начинается передача импульса. Она начинается после того, как анкер, изменив свое направление, перейдет на плоскость импульса и зуб будет толкать его вверх (по часовой стрелке). Импульс передается маятнику во время сколь-

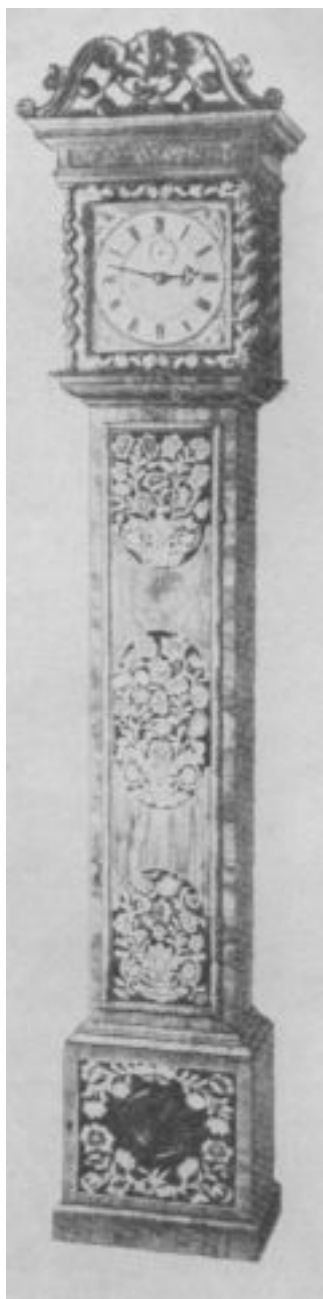


Рис. 138. Напольные часы Клемента с секундным маятником 1685 г.



Рис. 139. Анкерный ход Граама для маятниковых часов

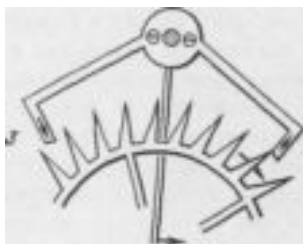
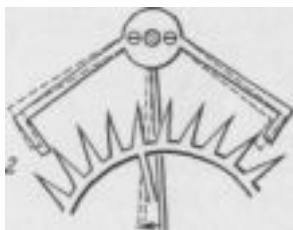
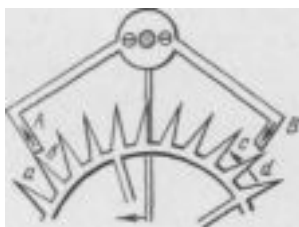


Рис. 140. Схема взаимодействия палет и ходового колеса с анкером и маятником в ходе Граама

жения зуба по плоскости импульсной палеты. За время передачи импульса анкер поворачивается на угол $1^{\circ}20'$, а ходовое колесо — на 3° . Весьма важно понять, что в ходе Клемента подача импульса начинается сразу после отхода назад ходового колеса, в ходе Грагама импульс происходит только тогда, когда зуб совершает путь вдоль импульсной поверхности той или иной палеты.

Сообщив импульс маятнику, зуб соскакивает с входной палеты, и ходовое колесо, будучи свободным, стремится вращаться по часовой стрелке. Это вращение продолжается до тех пор, пока стоящий на очереди у выходной палеты *B* зуб *d* не упадет на поверхность покоя (положение 2).

Угол, на который ходовое колесо повернулось после окончания импульса до момента падения очередного зуба на поверхность покоя выходной палеты, называется углом падения. Этот угол должен быть по возможности малым во избежание бесполезной траты энергии завода. Однако при грубом изготовлении хода приходится допускать несколько больший угол, так как при малейшей неточности в изготовлении ходового колеса и якоря может быть заклинивание хода.

С момента соприкосновения зуба *d* с поверхностью покоя выходной палеты повторяется тот же процесс, который имел место на выходной палете, т. е. скольжение вершины зуба по поверхности покоя, а при перемене анкером направления движения возникает импульс на выходной¹ палете (положение 3). После того как зуб *d* соскочит с выходной палеты, зуб *a* падает на поверхность покоя входной палеты. За полный период колебания маятника, т. е. за цикл работы регулятора, ходовое колесо повернется на один зуб.

Подводя итоги, можно сказать, что действие анкерного хода Грагама состоит из падения-покоя-импульса на одной палете, а затем — на другой и т. д. Поскольку между запирающей поверхностью покоя и кончиком зуба происходит трение, то ход Грагама считают ходом трения на покое.

Общей чертой конструкции часов Гюйгенса и ходов Клемента и Грагама является постоянное взаимодействие ходового колеса с маятником, за исключением тех малых промежутков времени, соответствующих «падению» ходового колеса, когда теряется контакт между ходовым колесом и маятником; на ось маятника постоянно передается момент, пропорциональный моменту на ходовом колесе. Перечисленные конструкции, представляющие собой последовательные модификации часов Гюйгенса, объединяются в группу несвободных часовых ходов и имеют своим предшественником часы Гюйгенса.

Другим замечательным изобретением Грагама в области часового дела является ртутный компенсационный маятник (рис. 1.41). Он стал известен после доклада Грагама в Королевском обществе в 1726 г., хотя эксперименты с ним начались на девять лет раньше. Маятник состоит из тонкого стержня, к нижнему концу которого подвешена подставка, на которой удерживается сосуд, наполненный до известной высоты ртутью. Стержень маятника и оба боковых стержня — из стали. Когда температура повышается, все три стержня удлиняются — маятник становится длиннее. Одновременно с этим находящаяся в сосуде ртуть (ее способность расширяться по крайней мере в 10 раз больше, чем у стали) расширяется и подымает центр тяжести ртутного столба. Высота уровня ртути в стакане и размеры прочих частей маятника подбираются так, чтобы несмотря на изменение температуры математическая длина маятника оставалась постоянной.



Георг Грагам

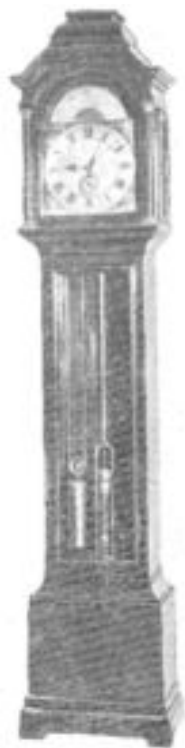
Этот компенсационный маятник при одном и том же принципе устройства может иметь различное конструктивное выполнение.

Прежде чем Грагам пришел к идее создания ртутного компенсационного маятника, он в течение ряда лет проводил экспериментальную работу по выявлению влияния тепла и холода на стержень маятника. Эти исследования показали, что факторами, влияющими на ход часов, являются загрязнение механизма, дефекты материала и т. д., но если маятник тяжелый и отклоняется от вертикали на малый угол, а детали выполнены хорошо, то неравномерность хода таких часов будет малой и на нее будут влиять только температурные изменения маятника.



Рис. 142. Внешний вид маятниковых часов («регулятора») Грагама 1740 г.

Рис. 141. Ртутный компенсационный маятник Грагама



Грагам исследовал относительные коэффициенты линейного расширения стали, латуни и некоторых других металлов. Хотя эти исследования и не были им завершены, все же ему удалось выяснить, что различные металлы (бронза, сталь, железо, медь, серебро и др.), подвергнутые нагреву до одинаковой температуры, расширяются по-разному. Отсюда он сделал практически важный вывод, что «путем использования двух различных металлов, значительно отличающихся степенью своего линейного расширения, можно в большей степени компенсировать нерегулярность колебаний обычного маятника». Этот вывод получил практическое применение в часах Грагама в устройстве ртутного компенсационного маятника. В декабре 1721 г. Грагам стал работать над созданием ртутного компенсационного маятника, изучал влияние изменений температуры на изменение высоты ртутного столба. Путем тщательных наблюдений и подсчетов он точно определил, сколько потребуется ртути, чтобы длина маятника не изменилась при той или иной температуре [254, 39].

На рис. 142 показан внешний вид маятниковых часов («регулятора») Грагама, относящихся к 1740 г. Механизм часов помещен в высоком стоячем корпусе из красного дерева; размер циферблата 30 см.

Свободные анкерные хода маятниковых часов. Большое значение для повышения точностных характеристик хода маятниковых часов имело применение в конце XIX в. свободных ходов Рифлера, Штрассера и Манхардта вместо несвободных ходов.

Свободные хода известны также под названием ходов с постоянной силой. Это название они получили из-за того, что в часах с таким ходом колебания маятника почти независимы от механизма часов, от величины момента на оси ходового колеса. Импульс, сообщаемый маятнику, зависит только от пружины или груза, производящих всегда один и тот же эффект с постоянной силой. Маятник соединен с ходом посредством пендельфедера, никакой вилки нет; следовательно, жесткая связь между якорем и маятником отсутствует. В ходе Штрассера маятник получает импульс за счет изгибания вспомогательной плоской пружины (вспомогательного пендельфедера, соединенного с нижней оправой основного пендельфедера), а в ходе Рифлера — за счет изгибания того же самого пендельфедера, на котором висит маятник. В ходе Манхардта груз, опускаясь каждый раз с одной и той же высоты, сообщает маятнику один и тот же импульс.

Во всех прежних ходах соединение их с маятником сопровождалось все-таки некоторым толчком. Штрассер, Манхардт и Рифлер избежали этого благодаря применению своих ходов с постоянной силой.

Значительно больший простор и широкие перспективы в отношении создания свободных ходов появились при применении электромагнитных импульсов взамен механических.

Ход Штрассера (1859—1917). Ходовое колесо этого хода (рис. 143) не имеет существенного отличия от ходового колеса, используемого в ходе Грагама. Однако анкер значительно отличается от якоря хода Грагама главным образом устройством палет. Здесь анкер имеет по две палеты с каждой стороны — палеты импульса K_1 и K_2 и палеты покоя L_1 и L_2 . Палеты покоя своими концами (рабочими поверхностями) несколько выступают за палеты импульса; выступающие плоскости палет наклонены вправо на 12° к радиальной прямой. Поэтому когда зуб ходового колеса покоится на этой плоскости, возникает момент, который стремится повернуть якорь вниз и прижать палету к зубу ходового колеса — так называемый момент притяжки.

Основное отличие хода Штрассера от покоящегося хода Грагама состоит в том, что зуб вначале падает на импульсную поверхность и потом доходит до положения покоя, а у покоящегося хода зуб сначала падает на положение покоя и затем переходит на импульс. Это различие вытекает из условий взаимодействия спускового устройства с вспомогательным пендельфедером, который в ходе Штрассера выполняет некоторую работу по преодолению силы притяжки.

Рассмотрим работу хода [213, 50]. Пока маятник совершает движение от крайнего правого положения влево, пружина пендельфедера согнута. Согнута и вспомогательная пружина справа от вертикали, которая прижимает входную палету к зубу колеса. По мере того как маятник подходит к положению равновесия, напряжение вспомогательной пружины (точнее, пружин, так как их две) ослабевает. В момент прохождения через положение равновесия напряжение пендельфедера ослабнет до нуля. После того как маятник пройдет положение равновесия, вспомогательные пружины будут выправлены, а затем перегнуты в обратную сторону. Изгиб этот как пендельфедера, так и вспомогательной пружины происходит за счет кинетической энергии, приобретенной ма-

ятником во время движения. Сила изогнутой вспомогательной пружины все время возрастает, в связи с чем возникает момент, который стремится повернуть якорь по часовой стрелке. Когда вспомогательные пружины изогнуты настолько, что этот момент окажется больше момента притяжки, палета вместе с якорем повернется вверх и освободит палету из-под зубца Z_1 , и колесо станет свободным. Тогда ходовое колесо будет вращаться по часовой стрелке, зуб Z_2 встретит скошенную плоскость выходной палеты импульса K_2 и будет скользить по этой плоскости, поворачивая якорь влево, пока не упрется в плоскость покоя палеты.

После того как вспомогательная пружина изогнулась под влиянием упавшего зуба Z_2 , дальнейший ее изгиб происходит вместе с пендельфедером вплоть до крайнего левого отклонения. Благодаря этому вспомогательные пружины

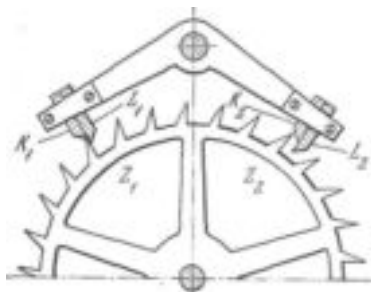


Рис. 143. Ход Штрассера с постоянной силой

окажутся изогнутыми влево от вертикали и при обратном движении маятника служат источником энергии для него. Освобождение зуба Z_1 и перегиб вспомогательной пружины вправо от вертикали произойдут после перехода маятником положения равновесия при его движении слева направо.

Так как момент пружины при данных ее размерах и материале зависит только от угла, образованного касательным и концом ее, то импульс, передаваемый пружиной маятнику, всегда один и тот же и обуславливается конструкцией хода.

Ход Штрассера применяется в астрономических часах обычно в комбинации с гиревым двигателем. Сами часы помещаются в обыкновенном негерметическом футляре. По своим качествам ход Штрассера уступает ходу Рифлера.

Ход Манхардта (1789—1878) состоит из системы колес a и b и воздушного тормоза с (рис. 144). Маятник получает импульс, передаваемый ходом, только раз в минуту, а не при каждом колебании. Следовательно, 59 колебаний маятника являются «мертвыми» и он совершает их почти свободно. В течение этого времени маятник не испытывает воздействия со стороны механизма. Последний начинает оказывать действие на него лишь после совершения маятником 59 колебаний. В этом и заключается основной принцип работы хода Манхардта. Он получил наибольшие применения в башенных часах, где этот ход успешно применялся (например, в башенных часах Берлинской городской думы).

В ходе Манхардта свободное колебание маятника в течение минуты вне зависимости от часового механизма, приводимого в действие гирей, достигается следующим образом. На маятнике A , подвешенном на двух стальных пружинах, имеется недалеко от точки подвеса зубчатое колесико e ; на нем столько зубцов, сколько колебаний в минуту делает маятник (вперед и назад). Это колесико при каждом колебании маятника справа налево поворачивается собачкой (из слоновой кости) на один зубец, затрачивая на это силу самого маятника. Собачка присоединена к устью B . На оси храповика сидит рычаг a , который при повороте колесика на полное число зубцов, т. е. один раз в ми-

нута, ударяется в приспособление Imn , освобождающее механизм часов, дающее возможность тормозу Cc сделать один оборот. После полного оборота механизм сдерживается рычагом около n с помощью зацепления Imn .

На оси воздушного тормоза находится эксцентриковый диск k , который с помощью ролика p опускает рычаг ss , передающий импульс маятнику. **Все** это происходит спокойно, без рывков. В конце каждого оборота эксцентрик k вновь поднимает ролик кверху и маятник опять колеблется совершенно свободно в течение всей следующей минуты, в конце которой груз (рычаг) снова опускается. Следовательно, здесь роль механизма зубчатой передачи заключается лишь в поднятии груза, который, опускаясь каждый раз с одной и той же высоты, сообщает один и тот же импульс маятнику [83, 398].

Ход Рифлера (1847—1912). Часы с этим ходом появились на Чикагской выставке 1893 г. Часы Рифлера, будучи впервые установлены в Мюнхенской обсерватории, показали высокую точность хода. Очень скоро они вытеснили астрономические часы с ходом Грагама. Вариация суточного хода при изменении температуры составляла 0,0008 с. Часы с ходом Рифлера стали использовать большинство обсерваторий мира.

Ходовое колесо в этом ходе двойное, состоящее из импульсного колеса H_1 и колеса покоя H_2 , жестко связанных между собой (рис. 145). Число зубцов ходового колеса 30, угол обхвата 10,5 зубцов (или 126°), что дает возможность удобно расположить детали и узлы хода. В массивном якоре A укреплены две агатовые палеты P_1 и P_2 , каждая из которых представляет собой цилиндр со срезанной с передней части половинкой. Палеты укреплены так, что их цилиндрическая часть проходит против зубцов импульсного колеса, а

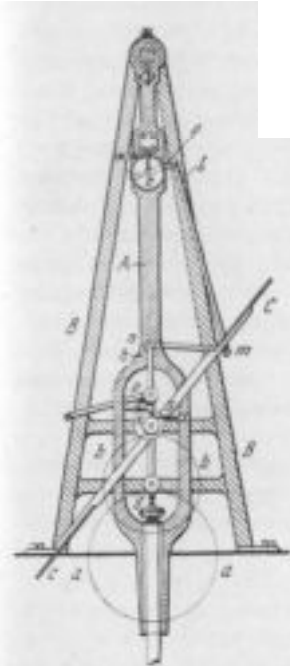
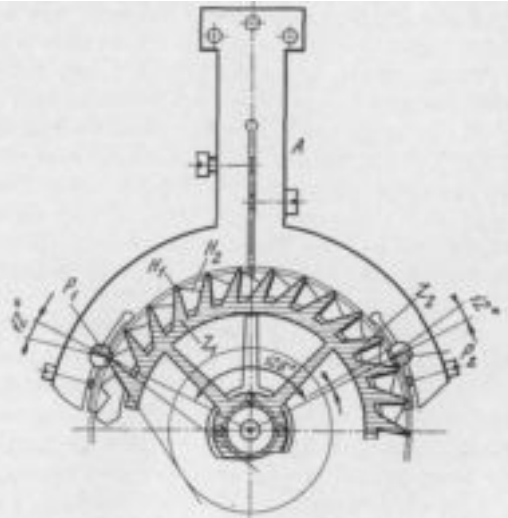


Рис. 144. Ход Манхардта с постоянной силой

Рис. 145. Свободный ход Рифлера для астрономических маятниковых часов



срезанная часть — против зубцов колеса покоя, причем плоская часть палеты наклонена к радиусу ходового колеса под углом 12° .

Колесо покоя, имеющее острые зубцы Z_1 работает на полусрезанной части палет и ложится кончиками своих острых зубцов на плоскости палеты. Колесо импульса имеет короткие зубцы, которыми оно слегка приподнимает цилиндрическую часть палеты и производит импульс.

Палеты в ходе Рифлера, как и в ходе Штрассера, прижимаются не силой, передаваемой от двигателя, не вспомогательной пружиной или вспомогательным пендельфедером, как в ходе Штрассера, а силой, передаваемой пружиной подвеса маятника, или пендельфедера. В ходе Рифлера пендельфедер выполняет двойную задачу — играет роль вспомогательной пружины и, кроме того, выполняет свое прямое назначение. Ход Рифлера хотя весьма похож на ход Штрассера, но представляет своеобразную конструкцию. Разница между ходами Рифлера и Штрассера заключается в том, что в ходе Штрассера вспомогательная пружина должна совершать некоторую работу по преодолению силы притяжки, тогда как в ходе Рифлера эта работа сведена к нулю, и если затрачивается на палете какая-нибудь работа, то только на преодоление силы трения, которую опять-таки при помощи наклона палеты и обработки поверхности палет и зубцов покоя стремятся сделать возможно меньшей.

Палеты в ходе Штрассера прижимаются к колесу и пружиной, и притяжкой, а в ходе Рифлера — только пружиной пендельфедера, поэтому часы с ходом Рифлера нуждаются в абсолютно неподвижной установке в месте, свободном от всяких сотрясений, тогда как ход Штрассера в этом отношении менее требователен. Поскольку ход Рифлера применяется в точных астрономических часах, устанавливаемых в местах, не подвергающихся сотрясениям, то указанная чувствительность хода не имеет особого значения.

Маятник подвешен на пендельфедере, верхняя основа которого (см. рис. 145) лежит в соответствующем углублении поперечной рамки, имеющей в середине прямоугольное отверстие, в которое проходит пендельфедер. С поперечной рамкой наглухо соединен якорь. По вертикали он имеет продольный разрез и два винта — зажимный и упорный, для того чтобы при установке хода можно было точнее отрегулировать падение и импульс. Палеты укреплены в отверстиях якоря, который снабжен также продольными разрезами с зажимными винтами, для возможности поворота палет и установки правильного наклона плоскости среза. Вопреки обычным конструкциям, верхняя часть якоря не имеет отверстия для оси, а снабжена отверстиями для винтов, при помощи которых якорь крепится к поперечной рамке. Рамка стальными призмами опирается на агатовые подушки. Точка подвеса маятника находится выше плоскости подушек на 1 мм. Якорь качается вокруг острого ребра призмы. Вследствие качания маятника якорь также приходит в колебательное движение на опорной призме.

Маятник связан с часовым механизмом посредством двух тонких и упругих пружин, на которых он подвешен. От натяжения пружин в результате их изгиба маятник получает импульс, необходимый для поддержания его колебания. Этот изгиб получается при каждом колебании маятника вследствие одновременного перемещения якоря, когда поперечная рамка с якорем поворачивается вокруг своей оси по направлению движения маятника. Колебания якоря лишь немного превышают 1° в обе стороны от положения равновесия. Угол изгиба пружин всегда один и тот же и не зависит от вращающего момента на

оси ходового колеса. Момент должен быть достаточным для того, чтобы якорь при своем движении мог произвести изгиб пружин в точности по оси, совпадающей с осью колебания маятника. Маятник совершает колебания в одну и другую стороны. Размах лежит в пределах 3° и зависит только от натяжения пружин подвеса. Импульс сообщается маятнику в тот момент, когда он проходит через положение равновесия и поэтому имеет наибольший запас живой силы. Маятник колеблется фактически совершенно свободно и вполне изохронно.

На рис. 145 изображено положение якоря в тот момент, когда зуб лежит своим кончиком на плоскости входной палеты; маятник в это время находится в крайнем правом положении. Маятник движется влево, а зуб покоя продолжает лежать на плоскости палеты. Действующий момент стремится вытолкнуть палету вместе с якорем вверх и вывести ее из-под зуба колеса, но этому препятствует упругая сила пружинок подвеса, прижимающая палету к наклонной плоскости зуба импульсного колеса. Освобождение этого зуба происходит вместе с поворотом рамки якоря справа налево под действием натяжения пружинок подвеса, когда маятник пройдет примерно на $\frac{1}{4}^\circ$ за положение равновесия. Тогда зуб Z_1 покидает плоскость входной палеты, освобождая ходовое колесо. После свободного поворота колеса на угол падения зуб импульсного колеса встречает выходную импульсную палету и, воздействуя на нее, поворачивает якорь в обратном направлении, пока зуб Y_2 колеса покоя не ляжет на выходную палету покоя. В результате поворота якоря пружинки изогнутся влево от положения равновесия и маятник получит импульс, после чего он будет проходить дополнительную дугу, а якорь останется неподвижным. С возвращением маятника в обратную сторону описанное действие хода повторяется.

Процесс работы пружины схематически показан на рис. 146. В положении I маятник движется влево, а пружины подвеса изогнуты вправо. Положение II показывает маятник в момент его прохождения через положение равновесия. Пружинный подвес все еще изогнут, как в положении I. Когда маятник перейдет положение равновесия на угол около $0^\circ 15'$, пружинный подвес быстро перегнется влево (положение III), и маятник продолжит свое движение по дополнительной дуге (положение IV). При движении маятника вправо те же явления происходят в обратном порядке. Положение V не отличается по виду от положения IV, но предусмотрено обратное движение слева направо; маятник, пройдя положение равновесия, достигает положения VII (около $0^\circ 15'$ вправо), тогда пружинный подвес перегибается, а движущийся вправо маятник до положения VIII изгибает подвес еще больше. Затем все повторяется.

С особой наглядностью изображает особенности хода Рифлера Л. П. Шишелов. В этом ходе, по его мнению, «все явления происходят так, как если бы, держа в руке пендельфедер за верхнюю часть, изгибать ее влево и вправо на один и тот же угол, сообщая тем самым импульс маятнику, подвешенному за нижнюю оправу этого пендельфедера. Импульсы будут передаваться плавные и мягкие, все время одной и той же величины, ибо изгиб пендельфедера (или вспомогательной пружины в ходе Штрассера) будет происходить на один и тот же угол... Следовательно, ход Рифлера, как и ход Штрассера, может быть по справедливости назван ходом с постоянной силой» [213, ч. 2, 55].

Спусковое устройство Рифлера уменьшает требуемую на ход часов силу и обеспечивает в соединении с инварным маятником высокую точность. Погрешность суточного хода маятниковых астрономических часов Рифлера может быть в пределах $0,002-0,003$ с (на один порядок меньше часов Граама).

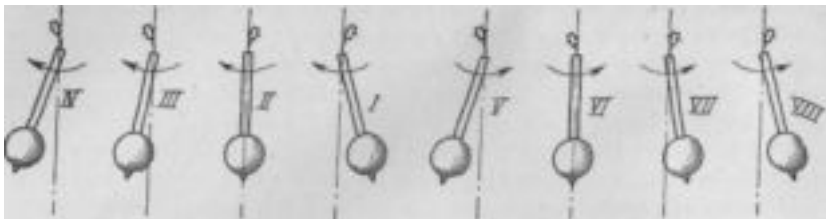


Рис. 146. Последовательность работы пружины в ходе Рифлера



Рис. 147. Астрономические маятниковые часы Рифлера

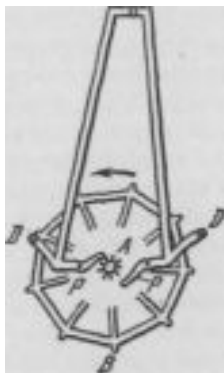


Рис. 148. Ход Блоксама гравитационного типа

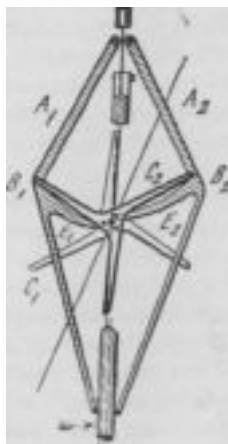


Рис. 149. Двойной коленчатый гравитационного типа ход Гримторпа (Денисона)

Кроме хода, обуславливающего сообщение маятнику импульса за счет сгибания пружины подвеса, маятниковые часы Рифлера имеют: а) инварный секунднй маятник с компенсационной трубкой и линзой из латуни; б) электрoзавод со вспомогательным заводом; в) секунднй колеснй контактный прерыватель; г) корпус часов стеклянный или из красной меди, но герметически закрытый стеклянным колпаком. Степень желаемого разрежения воздуха в корпусе часов поддерживается с помощью ручного насоса.

Механизм часов (рис. 147) смонтирован на станине, составляющей одно целое с кольцом *E*, устанавливаемым на торцевую поверхность цилиндра. От механизма внутрь цилиндра уходит стержень маятника. Под колпаком установлен микроскоп *M*, позволяющий производить отсчет амплитуды колебания маятника по шкале, закрепленной на стержне маятника.

Ход гравитационного типа. При наличии такого хода колесная передача действует на маятник не непосредственно; она служит только для подъема рычагов. Импульс подается падением рычагов всегда с одной и той же высоты. Такие импульсы остаются постоянными по величине и знаку и независимыми от каких-либо изменений, которые могут происходить в крутящем моменте, передаваемом колесной системой ходовому колесу. Этот ход гравитационного типа относится к ходу с постоянной силой, так как импульсы, подаваемые маятнику при наличии этого хода, всегда постоянны по своей величине или весьма близки к этому.

Идея создания хода такого типа впервые была выдвинута Томасом Мюджем — выдающимся английским часовщиком XVIII в. В ходе Мюджа усилия для подъема и размыкания рычага одинаковы по величине. Оно было достаточно для подъема, но оказалось слишком большим для того, чтобы получить надежное замыкание.

Ряд изобретателей (Камминг, Харди, Катер, Готвальд, Рид и Блоксам) пытались использовать идею создания хода гравитационного типа, выдвинутую Томасом Мюджем. Ход Мюджа получил дальнейшее совершенствование в ходе Блоксама, который описан в 1853 г. в «Ученых записках» Королевского астрономического общества. Если в ходе Мюджа не была достигнута надежность запираания хода, то в ходе Блоксама это было уже достигнуто тем, что подъем у него стал осуществляться посредством очень коротких зубцов с полной отдачей силы, а запирание происходит длинными зубцами, но с малой отдачей силы. Его ход имеет два весовых рычага, которые могут вращаться на одной и той же оси отдельно (рис. 148). Ходовое колесо состоит из внутренней шестерни *A* с девятью зубцами для осуществления подъема рычагов путем сцепления с палетами *D* и из внешней шестерни *B* (тоже с девятью зубцами), которая запирает рычаги, когда они сцепляются с защелками. Рычаги имеют выступы, которыми они могут сцепляться с маятником.

В 1852 г. Эдмунд Беккет Денисон (лорд Гримторп) изобрел двойной трехколенчатый гравитационный ход. Впервые он был применен в знаменитых вестминстерских башенных часах, установленных в мае 1859 г. Вариация суточного хода этих часов не должна была превышать ± 1 с, и этому требованию соответствовал ход Гримторпа.

Двойной трехколенчатый гравитационный ход (рис. 149) состоит из трех основных частей: 1) двух рычагов, или палет (*A*₁ и *A*₂); 2) двух отдельных трехколенчатых устройств, каждое с тремя длинными коленами, которые соответствуют зубцам ходового колеса других спусковых уст-

роиств, и 3) пружинного регулятора хода, обеспечивающего регулирование скорости движения спускового механизма и предотвращение вибраций, отскоков и других вредных действий, могущих отразиться на сохранности прибора. Этот регулятор служит как бы глушителем всех нежелательных проявлений при работе хода.

Между коленами C_1 и C_2 расположены три штифта, которые толкают рычаги A_1 и A_2 посредством рычагов E_1 и E_2 . Когда маятник колеблется направо, он увлекает за собой рычаг A_1 , и в конце концов выталкивает запирающий блок B_1 из-под колена C_1 . Двойное трехколенчатое спусковое устройство вращается, пока колено C_1 не запрет на блоке B_1 . Маятник, продолжая колебание вправо, увлекает за собой рычаг A_2 пока он достигает своего крайнего положения. Рычаг A_2 , следуя за маятником, спускается вниз и подает ему импульс, пока он в конце концов не будет застопорен выступающими частями E_2 , вступающими в контакт со штифтом. Так как маятник движется налево, он в итоге выталкивает блок B_1 из-под колеса C_1 , пока другое колено не запрет его на блоке B_2 . При вращении штифт, нажимая, поднимает рычаг A_2 против E_2 . Поскольку рычаг A_2 увлекается маятником вверх на меньшую дистанцию, чем следующий за ним рычаг, увлекаемый вниз, то возникает добавочный источник импульса.

Двойной трехколенчатый гравитационный ход как ход с постоянной силой имеет ряд преимуществ перед другими ходами для применения в башенных часах.

Температурная и барометрическая компенсация маятника

Компенсационным маятником, в отличие от обычного, является такой маятник, который может сохранять постоянство своей длины между центрами подвеса и качания при всевозможных изменениях температуры. В ранних маятниковых часах, начиная от часов Гюйгенса до Грагама, особой необходимости в температурной компенсации маятника не было. До 1700 г. влияние на ход маятниковых часов оказывали не столько температурные изменения, сколько несовершенство механизма часов и спускового устройства. Ввиду этого еще не было достаточно понято значение влияния температурных изменений на ход маятниковых часов. Только после того, как были достигнуты значительные успехи в усовершенствовании анкерного хода и колесной передачи, стали уделять внимание влиянию температурных изменений на ход маятниковых часов. Грагам, изобретатель усовершенствованного анкерного хода и ртутного маятника, был первым часовщиком, который стал основательно изучать влияние температурных изменений на ход часов. Результаты этих исследований он использовал для создания ртутного компенсационного маятника, с устройством которого мы уже познакомились.

Решетчатый маятник Гаррисона. Джон Гаррисон (1693—1776) работал над созданием устройства для температурной компенсации маятника в то же время, что и Грагам, но независимо от него. Решетчатый маятник состоит из пяти стальных я четы-

рех латунных прутьев, соединенных в форме решетки. Прутья, образующие решетку, прочно соединены стальными и латунными поперечинами (рис. 150). Температурная компенсация этого маятника основана на различии линейного расширения стали и латуни.

При каких условиях стальные прутки компенсируют действие латунных? Пусть длина стального прутка при 0° равна L , длина каждого из латунных прутков — L' ; X , X' — коэффициенты линейного расширения стали и латуни. При температуре t удлинение стального стержня будет LXt , удлинение каждого из латунных — $L'X't$. Чтобы длина маятника оставалась постоянной, должно быть $LXt = L'X't$, откуда $L/L' = X'/X$, т. е. длины стальных и латунных прутков должны быть обратно пропорциональны коэффициентам линейного расширения металлов.

Коэффициент линейного расширения стали $0,0000115$, или $11,5 \cdot 10^{-6}$, а латуни — $0,000018$, или $18 \cdot 10^{-6}$ откуда $L/L' = 180/115$. Следовательно, линейное расширение латунных прутков в 1,6 раза больше линейного расширения стальных прутков при одной и той же температуре.

Стальные прутки с повышением температуры испытывают действие растяжения, что вызывает удлинение маятника по направлению вниз. Латунные прутки, испытывая сжатие, вызывают укорочение маятника в направлении, обратном действию стальных прутков.

Если полное растяжение стальных прутков равно полному сжатию латунных, то эффективная длина маятника, т. е. расстояние между центрами подвеса и качания, должно остаться без изменений.

При понижении температуры стальные прутки подвергаются сжатию. При этом произошел бы подъем линзы маятника, если бы этому не препятствовало сжатие латунных прутков, действие которых направлено в обратную сторону, т. е. не на подъем, а на опускание линзы. Таким образом, нейтрализуется отрицательное действие сжатия стальных прутков, вызываемого понижением температуры, и эффективная длина маятника остается без изменения.

Основные части решетчатого маятника показаны на рис. 150. BI — стальной стержень маятника; A — поперечина, служащая прочному соединению каркаса решетки; K — нижняя поперечина; E — стальные стержни (прутки); F — латунные стержни, присоединенные к нижней поперечине, верхними кон-

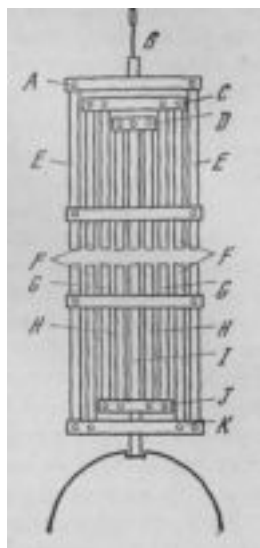


Рис. 150. Решетчатый маятник Гаррисона

цами связаны с верхней внутренней поперечиной C ; G — стальные прутки, которые также присоединены к верхней внутренней поперечине, а нижними концами поддерживаются нижней внутренней поперечиной O ; его же поддерживают нижние концы двух латунных стрежней H , верхние концы которых уже поддерживаются короткой внутренней поперечиной D . К этой же поперечине присоединен стержень маятника, который затем проходит через нижнюю поперечину и несет линзу (груз), что сидит на гайке, позволяющей регулировать ее расстояние от центра подвеса маятника.

Хорошо изготовленный решетчатый маятник имеет преимущество над ртутным маятником в том, что его части почти одинаково подвержены действию окружающей атмосферы, так что как стальные, так и латунные прутки могут принимать или терять тепло одинаково, тогда как тонкий стержень ртутного маятника реагирует на изменение температуры быстрее, чем массивная ртутная линза. В результате неравномерного воздействия компенсации и при повышении и понижении температуры в часах с ртутным маятником не достигается полной температурной компенсации. Промедление или запаздывание между температурным изменением и действием компенсации составляет главное неудобство ртутного маятника.

Хотя ртутный и решетчатый маятники были изобретены почти одновременно (ок. 1726 г.), однако изобретение Гаррисона оставалось неизвестным, так как до приезда в Лондон в 1735 г. он по рекомендации Георга Грагама продолжал совершенствовать свое изобретение. Сам Грагам скоро понял превосходство решетчатого маятника над своей ртутной компенсацией и даже изготовил несколько часов с решетчатым маятником. В XIX в. часы с решетчатым маятником изготавливались чаще, чем с ртутным маятником.

Главный недостаток решетчатого маятника заключается в искривлении стержней и в оседании металла, работающего на сжатие. Кроме того, при комбинации латунь — сталь в решетчатом маятнике имеется девять стержней, тогда как при комбинации цинк — сталь можно ограничиться применением только трех стержней. При девяти стержнях благодаря большому количеству сопряжений стержней с поперечинами получается большой мертвый ход и большое трение.

Хорошо изготовленный решетчатый маятник все же имеет некоторое преимущество перед ртутным маятником. В этой конструкции все части, как стальные, так и латунные, почти одинаково реагируют на изменение температуры и притом одинаково по всей длине стержня маятника. В ртутном же маятнике тонкий стержень реагирует на температурные изменения значительно быстрее, чем та его часть, где имеется массивная линза (цилиндр со ртутью). Переменная разность температуры по высоте маятника сопровождается задержкой или отставанием между температурными изменениями и действием компенсации. Это является главным недостатком ртутного маятника. В результате маятник с ртутной компенсацией обладает меньшей компенсационной способностью, чем решетчатый маятник.

Для того чтобы заставить ртуть следовать **более** быстро **за изменением** температуры, было предложено применять два или более сосуда (рис. 151); это позволяло увеличить поверхность ртути, не уменьшая, однако, ее массы; но следствием этого было увеличение массы вспомогательных частей.

Более совершенной считается ртутная компенсация, примененная в маятнике Рифлера. Стержень этого маятника представляет собой стальную трубку,

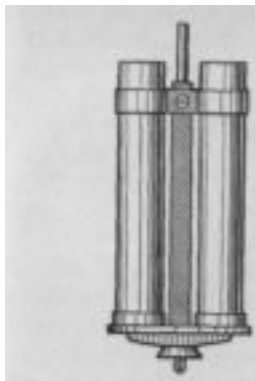


Рис. 151. Компенсационное устройство с двумя сосуда-ми с ртутью в качестве лин-зы маятниковых часов

Рис. 152. Компенсационное устройство из цинка и ста-ли в трубчатом маятнике

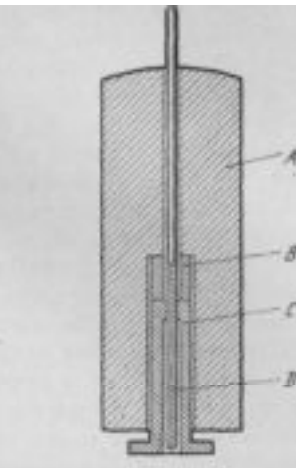
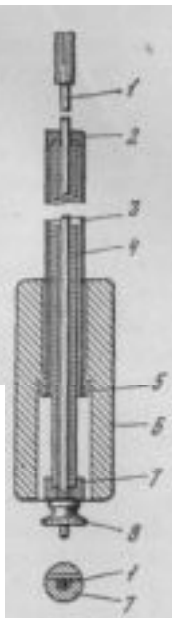


Рис. 153. Инварный стер-жень маятника

наполненную ртутью до двух третей ее высоты. В нижней части стержня си-дит тяжелая латунная чечевица, поддерживаемая у ее центра при помощи двух регулировочных гаек. Ниже и выше ее находятся два или три небольших дис-ка, меняя вес которых можно регулировать дополнительно компенсацию маят-ника. Подъем или опускание этих добавочных грузиков действует так же, как и перемещение главного груза или линзы, т. е. соответственно ускоряет или замедляет колебание маятника. Хотя ртутный маятник Рифлера изготовлен по точному расчету и трубка на $\frac{2}{3}$ своей длины наполнена ртутью, все же он из-меняет свой суточный ход на 0,3 с при изменении разности температуры на одном метре высоты на 1°C .

Компенсационное устройство из цинка и стали. Трубчатый маятник. Около 1800 г. были изобретены различные компенсационные устройства, в которых применялись цинковые и стальные стержни. Ввиду значительного коэффициен-та линейного расширения цинка для устройства компенсации требуется мень-шее количество стержней, чем для устройства компенсации, основанной на при-менении для этой цели латунных и стальных стержней. Еще больший успех в деле температурной компенсации маятников был достигнут благодаря приме-нению трубок из двух металлов (цинка и стали), расположенных концентри-чески, вместо стальных, латунных или железных стержней. Такой трубчатый маятник более компактен, чем решетчатый. Он был изобретен Эдвардом Троу-тоном — знаменитым лондонским мастером астрономических инструментов. На этом принципе, например, устроен маятник знаменитых вестминстерских часов. Его трубки вместо латуни составлены из цинка и стали. Подобные же маятни-ки были использованы фирмой «Дент» для создания многих регуляторов, те-перь уже вышедших из употребления.

На рис. 152 дана конструкция трубчатого маятника, у которого внутренний стальной стержень 1 имеет на конце регулировочную гайку 8, привинченную к нему почти у нижнего основания линзы (груза). Цинковая трубка скользит поверх внутреннего стержня и покоится на квадратном углублении, образованном в весьма толстой шайбе 7, которая, в свою очередь, покоится на регулировочной гайке. Шайба не должна вращаться, когда вращается регулировочная гайка. Стальная трубка у своего нижнего конца ограничена выступами 5, которыми поддерживается линза маятника 6, несколько ниже его центра. Вместе с тем линза находится в связи со стальной трубкой.

С повышением температуры стальная трубка, на которой линза поддерживается, расширяется книзу, что направляет книзу и линзу; 4 — цинковая трубка, которая на себе несет стальную трубку, расширяется вверх и, стало быть, поднимает и линзу маятника вместе с собой. В результате эффективная длина маятника остается неизменной. Точные длины цинковой и стальной трубок для получения совершенной компенсации должны быть вычислены на основе учета и знания их относительных коэффициентов линейного расширения; окончательное регулирование, однако, должно быть осуществлено опытным путем.

Наличие в цинковой трубке просверленных отверстий и надрезов в наружной стальной трубке позволяет свободно проникать воздуху.

Современная компенсация. Инварный стержень маятника. В настоящее время для компенсации маятника используются современные материалы, обладающие таким низким коэффициентом линейного расширения, что требуется весьма малая компенсация. Наибольшей популярностью пользуется сплав инвар, состоящий из 36% никеля, 59% железа, 4% марганца и 1% углерода. Его получил около 1895 г. доктор Чарльз Эдуард Гильом, которому Британский часовой институт присудил за это золотую медаль. Инвар обладает весьма малым коэффициентом линейного расширения (от 0,0000010 до 0,0000030). В Англии был создан сплав сходного состава, который теперь и используется.

Когда требуется высокая точность, инварный стержень необходимо комбинировать с компенсационной трубкой из латуни или из другого материала. Коэффициент расширения компенсационной трубки должен быть в определенном соотношении с коэффициентом расширения данного инварного стержня. Длина трубки может быть рассчитана, если известны коэффициент линейного расширения данного инварного стержня и компенсационного материала трубки. Поэтому трубка должна подгоняться к каждому маятнику в отдельности.

Линза *A* маятника (рис. 153) представляет собой цилиндр, поддерживаемый на 2,5 см ниже его центра компенсатором *B* и покоящийся на верхнем его конце. Компенсатор опирается на регулировочную гайку *C*, которая по стержню маятника может перемещаться по резьбе *D*. Регулировочная гайка на конце снабжена фланцем для регулировки положения линзы.

Некоторые ранние маятники с инварным стержнем имели не только обычную металлическую линзу, но нередко снабжались и инварной линзой, однако для практических целей этого не требуется. Латунная линза или линза из мягкой стали вполне достаточна даже в том случае, когда требуется обеспечение высокой точности хода часов.

Период колебания маятника можно регулировать, поднимая или опуская линзу, которая находится на его стержне, действуя на компенсатор поворотом гайки. Каждому повороту гайки соответствует определенное изменение приве-

денной длины маятника и, следовательно, определенная величина изменения суточного хода. Обычно гайки этих часов имеют деления для контроля угла поворота. Регулировать период можно и за счет прибавления к маятнику добавочных грузиков, помещаемых на специальную полочку, установленную в средней части стержня маятника. Дополнительный грузик приводит к некоторому смещению центра тяжести всей системы маятника, т. е. к изменению приведенной длины. Так, в вестминстерских часах монета в полпенни либо оставляется на подставке стержня маятника, либо удаляется оттуда, следствием чего и является незначительное изменение хода.

Маятник всегда регулируется на небольшое отставание хода часов, чтобы можно было затем должным образом регулировать его ход с помощью регулировочной гайки или малых грузиков.

Барометрическая компенсация маятника. Маятник колеблется в воздушной среде. Поместить часы в безвоздушное пространство нельзя, как это показал Бессель в 1828 г., потому что масло, служащее для смазывания часового механизма, без которого никакой механизм не может работать, будет испаряться и трение в осях сильно возрастет. Поэтому даже самые точные часы работают под давлением, близким к атмосферному, но ни в коем случае не в вакууме. Период колебаний маятника часов, не заключенных в воздухо непроницаемый футляр, уже всецело зависит от атмосферного давления. С повышением давления период колебания маятника увеличивается и, наоборот, с понижением давления уменьшается. Изменение величины хода часов за сутки (выраженное в секундах) под влиянием изменения атмосферного давления на 1 мм рт. ст. называется барометрической постоянной.

Устранение влияния изменяющегося барометрического давления воздуха достигается двумя путями. Первый — изоляция часов с маятником от наружного воздуха, причем часы не изолируются от окружающего воздуха; второй — применение автоматически компенсирующего приспособления.

Наибольший эффект достигается применением первого способа. Прецизионные маятниковые часы Рифлера и Леруа заключены в стеклянный футляр, в котором поддерживается давление на 100—150 мм ниже атмосферного. Вместе с часами в стеклянном футляре помещаются барометр сифонного типа, термометр и гигрометр для определения влажности. Часы снабжены воздушным насосом велосипедного типа, при помощи которого в любой момент можно, изменяя давление, очень точно регулировать их ход. Часы устанавливаются в подвальных неотапливаемых помещениях, где годовые колебания температуры сохраняются в пределах 0,5—1°. Это постоянство температуры является одним из необходимых условий для постоянства давления в резервуаре. Завод у этих часов электрический.

Большое практическое значение имело и применение второго способа, несмотря на то что в этом случае не всегда может быть достигнута полная компенсация влияния изменения барометрического давления воздуха.

Идея этой компенсации принадлежит Робинсону, который в 1831 г. предложил снабдить маятник сифонным барометром. Для этой же цели в 1843 г. приспособил к маятнику сифонный барометр и Бессель. Фирма «Дент» в 1872 г. изготовила часы для Гринвичской обсерватории с еще более верной и тщательной компенсацией; повышение и снижение уровня ртути в открытом лимбе барометра приводило в действие постоянный магнит, находящийся вблизи двух стержневых магнитов, установленных на самом маятнике.

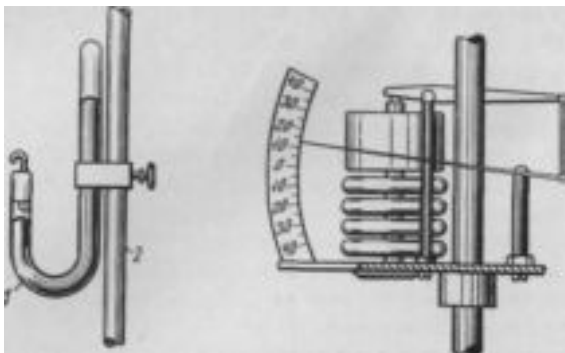


Рис. 154. Барометрическая компенсация маятника при помощи ртутного барометра

Рис. 155. Барометрическая компенсация маятника при помощи aneroidной коробки

В настоящее время барометрическая компенсация маятников чаще всего осуществляется двумя способами: при помощи ртутного манометра и при помощи anerоида.

Принцип барометрической компенсации при помощи ртутного манометра предложил в 1864 г. Крюгер. Конструкция, основанная на этом принципе (рис. 154), состоит из одной барометрической трубки 1, закрепленной ниже середины стержня маятника 2. При изменении атмосферного давления ртуть в закрытом колене соответственно поднимается или опускается, что изменяет положение центра тяжести маятника и его приведенную длину, а следовательно, и период колебания. Эта конструкция имеет ряд недостатков; более совершенной является барометрическая компенсация с помощью anerоида Рифлера.

Устройство Рифлера (рис. 155) состоит из ряда anerоидных коробок, соединенных между собой. Над коробками укреплен груз, который поднимается или опускается в зависимости от расширения или сжатия коробок anerоида, тем самым изменяя положение центра тяжести маятника, его приведенную длину и период колебаний. Anerоид также закрепляется на стержне маятника, немного ниже его середины. С грузом соединена система рычагов, которая передвигает стрелку по шкале. Шкала указывает отклонение в миллиметрах от некоторого среднего давления, на которое проградуирован прибор. Anerоид Рифлера работает на принципе Гюйгенса [213, ч. 1, 77—78].

Часы стационарного типа с маятником

Маятник как регулятор хода нашел применение в точных астрономических часах, башенных, настенных, напольных и других часах. Термин «точные» к маятниковым часам прилагается в исключительных случаях, когда их ход обладает нужной точностью для использования их в астрономических обсерваториях,

на предприятиях часовой промышленности и в иных местах, где по ним производится регулировка и проверка хода других часов. Такие высокоточные, или прецизионные, часы называются астрономическими и астрономическими регуляторами не в том смысле, что они показывают время некоторых астрономических событий, а потому, что они предназначены показывать в астрономических обсерваториях время с наивозможной точностью. Иногда их называют просто регуляторами. Но для наименования точных маятниковых часов это слово выбрано неудачно.

Прецизионных маятниковых часов во всем мире имеется, вероятно, всего несколько тысяч штук. Среди изготовителей точных маятниковых часов особую популярность в XIX в. завоевали Э. Дент (Лондон), Л. Леруа (Париж), З. Рифлер (Мюнхен).

Хранение точного времени от одного астрономического наблюдения до другого стало возможным после применения для этой цели маятниковых часов с анкерным ходом Грагама. По ним можно было определять суточный ход с погрешностью до 0,1 с. В 1726 г. Джон Гаррисон создал двое астрономических маятниковых часов с изобретенным им ходом и компенсационным решетчатым маятником. Погрешность одного из таких маятников выражалась в 1 мин за 14 лет. В 1758 г. Бредли создал маятниковые часы с исключительным постоянством их хода в пределах 0,102 с.

Во второй половине XVIII в. эти часы могли считаться уникальными; с такой стабильностью и точностью маятниковые часы не могли изготавливаться не только в 1800 г., но и много позже и даже самыми лучшими часовщиками. Изучение хода маятниковых часов Бредли в 1904 г. показало, что для обеспечения высокого качества маятниковых часов наряду с точностью их хода исключительное значение имеет также стабильность хода, что важно при длительной работе механизма.

Из таблицы следует, что часы Бредли работали лучше, чем часы Гринвичской обсерватории в 1850 г., но, конечно, хуже, чем любые из астрономических маятниковых часов конца XIX в. [42,

Часы	Год, когда притенялись часы	Точность суточно- го хода (в до- лях с)
Бредли	1758	0,102
Гринвичской обсерватории	1850	0,148
Берлинской обсерватории	1877	0,02-0,03
Гринвичской обсерватории	1900	0,051
Лейденской обсерватории	1900	0,028
Морской обсерватории США	1904	0,015

354]. Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют также о том, что во второй половине XIX в. были достигнуты значительные успехи в отношении повышения точности хода астрономических маятниковых часов. Эти успехи были достигнуты главным

образом за счет усовершенствования температурной компенсации маятника и применения свободного хода вместо несвободного анкерного хода Граама. Все эти достижения нашли конкретное выражение в астрономических маятниковых часах, созданных в 1893 г. З. Рифлером с точностью и постоянством хода в пределах 0,02 с. К концу XIX в. и в первые десятилетия нашего столетия часы Рифлера и Леруа были применены во многих обсерваториях мира.

До применения электрических астрономических часов Шорта с двумя маятниками точность определения времени с помощью астрономических инструментов превосходила точность хода самых совершенных в мире астрономических маятниковых часов. С помощью астрономических наблюдений в конце XVIII в. время определялось с точностью до 0,12 с, в начале XX в. — с точностью до 0,015 с, а в 1965 г. — до 0,004 с.

В XIX в. производилась как реконструкция старых башенных часов, так и установка новых башенных часов. Так, современные страсбургские башенные часы (рис. 156) напоминают старые часы только формой и размером. Последние в настоящее время — уже музейная редкость. Новые часы являются плодом многолетних сложных расчетов и исследований Иоганна Баптиста Шви́льге. Механизм этих часов показан на рис. 157. Их строительство продолжалось с января 1838 г. по октябрь 1842 г. В 1857 г. часам был добавлен медный небесный глобус с циферблатом через меридиан Страсбурга всех звезд, видимых Невооружённым: глазом: На глобусе изображено более 5 тыс. звезд до Шестой "величины"; они представлены на голубом фоне в виде 110 созвездий. Глобус совершает один оборот с востока на запад за одни звездные сутки. За ним помещается календарь. На металлическом кольце указаны основные данные вечногo календаря — названия месяцев, числа, имена святых и все переходящие праздники. Кольцо имеет диаметр 3 м и ежедневно поворачивается на одно деление, а полный оборот делает за 365 или 366 дней. Часы автоматически отсчитывают дни не только обычных годов, но и високосных без какого-либо вспомогательного переключения их механизма. Кроме вечногo календаря, часы показывают солнечное время, восход и закат Солнца, ежедневное движение Луны вокруг Земли, фазы Луны, солнечные и лунные затмения. Восход и заход Солнца отмечается с помощью подвижного горизонта, разделяющего путь Солнца на две дуги, так что продолжительность дня и ночи можно отсчитывать в течение всего года. Над календарем находится галерея с аллегорическими фигурами, изображающими дни недели. Слева направо идут: воскресенье — Аполлон в колеснице, запряженной конями; понедельник — Диана, которую везет олень; вторник — Марс, среда — Меркурий, четверг — Юпитер, пятница — Венера, суббота — Сатурн.

Средняя часть часов отделяется от нижней «львиной» галереей, названной так из-за львов, расположенных по углам;

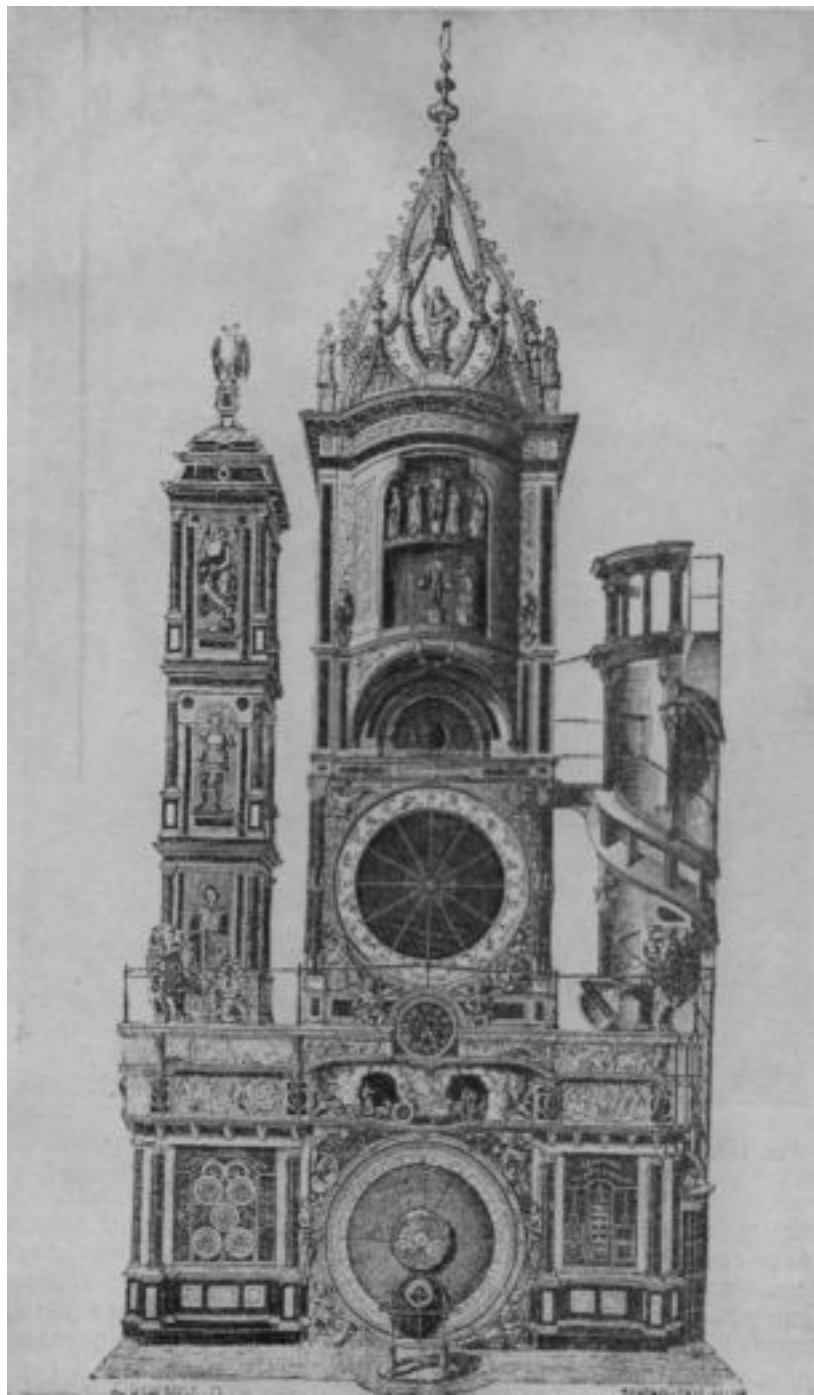


Рис. 156. Страсбургские башенные часы. 1842 г.

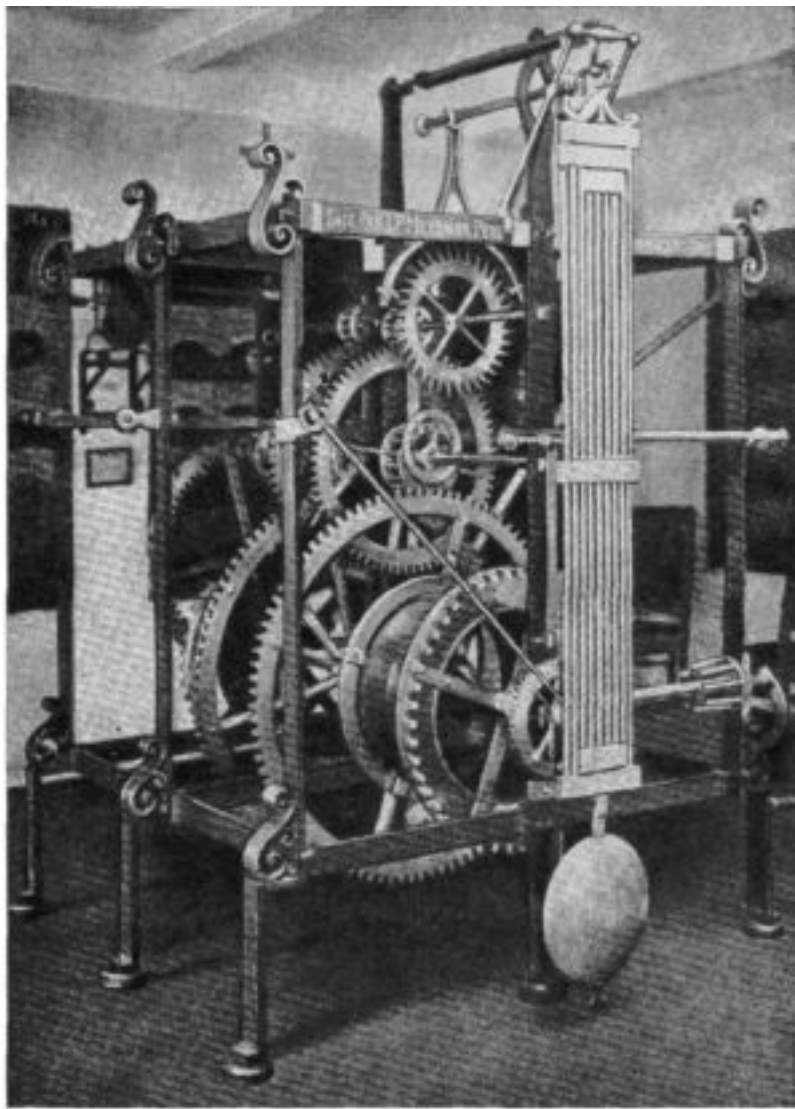


Рис. 157. Механизм страсбургских башенных часов

В центральной части находится циферблат, на котором показывается среднее солнечное время. По обе стороны циферблата расположены два крылатых гения. Каждые четверть часа левый гений ударяет по колоколу. Затем вступают в действие четыре фигуры-автомата, символизирующие четыре периода человеческой жизни: первая фигура — Детство, вторая — Юность, третья — Зрелость и четвертая — последняя четверть часа —

Старость. После этого выступает фигура Смерти, возвышающаяся в центральной части на пьедестале рядом с фигурой Старости. Смерть отбивает полные часы. Гений, видящий справа от циферблата, держит в руках песочные часы, которые переворачивает каждый час — после удара последней четверти часа и на секунду раньше боя часов.

Над галереей помещен планетарий, воспроизводящий движение планет вокруг Солнца по системе Коперника. Планеты — металлические шарики различной величины — движутся вокруг Солнца на фоне голубого циферблата. В середине помещено Солнце с 12 лучами, обращенными к 12 знакам зодиака, изображающими движение Солнца по эклиптике; знаки расположены на периферии планетария. Над планетарием с помощью шара, вращающегося около наклонной оси, отмечаются на фоне звездного неба фазы Луны. Звездное небо окаймлено латинской надписью: «Что может сравниться с утренней зарей, что красивее Луны и более ослепительно, чем Солнце!» Сверху в двухъярусной нише помещены движущиеся фигуры. В верхнем ярусе находится фигура Иисуса Христа. В полдень, когда звучит последний удар часов, мимо него проходит процессия из двенадцати апостолов, каждый из них склоняет голову. Во время шествия апостолов на левой башне поет петух. В полночь он поет 3 раза, напоминая этим об одном из евангельских событий. В заключение Христос, изображенный на самом верху готической башни, благословляет собравшихся зрителей.

Главный механизм часов один раз в неделю корректируется по точным астрономическим часам; от него движение передается непосредственно стрелкам, показывающим среднее солнечное время. Разнообразие и точность других движений в часах осуществляется соответствующими механизмами, действующими под влиянием главного механизма. Часы такого рода представляют собой переход к автоматам, предназначенным воспроизводить естественные движения животных или людей.

Год указывается четырьмя цифрами, из которых каждая находится на особом кольце с десятью цифровыми знаками. Кольцо единиц совершает один оборот за 10 лет, кольцо десятков — за 100 лет, кольцо сотен — за 1000 лет. Тысячное кольцо покажет последнюю цифру через 10 000 лет. На такой период запрограммирован весь прибор.

В 1835 г. была произведена реконструкция башенных часов Уэльского собора в Англии, механизм которых совершенно износился. Их снабдили новым механизмом, несколько переделали циферблат и добавили минутный круг и минутную стрелку (рис. 158). У основания сводчатого фронтона, который возвышается над квадратом циферблата, находится восьмиугольная площадка с башенкой, на которой расположены два ряда всадников, укрепленных на двух деревянных кругах. Прежде во время боя часов круги вращались в противоположных направлениях.

В 1851—1852 гг. была осуществлена полная реконструкция часов на Спасской башне Московского Кремля, после того как их механизм и бой оказались в неисправности, а куранты в течение ряда лет бездействовали. Внешний вид этих часов после их реконструкции можно видеть на рис. 159.

Все колеса и шестерни боевого и ходового механизмов были заменены новыми — стальными и латунными. Подшипники изготовлены вновь из сплава, мало подверженного износу. Цапфы у валов и осей сделаны из лучшей стали. Циферблаты на всех четырех сторонах башни заменены новыми, железными, «так, чтобы фасады башни сохранились в том виде, как до сего находились»; железные циферблаты были окрашены черной масляной краской; цифры отлиты медные и вызолочены червонным золотом. На всех четырех циферблатах добавлены минутные стрелки, которые, как и часовые, заново изготовлены из железа и обложены позолоченной медью.

В часах применили анкерный ход Граама, решетчатый маятник типа Гаррисона с температурной компенсацией. Длина маятника 1,5 м. Механизм часов снабжен четырьмя заводными валами: 1-й вал служил для хода стрелок, 2-й — для боя часов, 3-й — для боя четвертей и 4-й — для игры курантов. Валы приводились в действие гирями из наборных кругов.



Рис. 158. Башенные часы Уэльского собора (Англия)

Рис. 159. Башенные часы, Московского Кремля



До революции механизм курантов включался в 12, 15, 18 и 21 ч.

В 1860 г. на Викторианской башне здания парламента в Лондоне были установлены Вестминстерские башенные маятниковые часы (рис. 160), которые со временем приобрели мировую известность.

Когда парламент объявил конкурс на проектирование этих часов, главное и неперемное условие гласило: часы должны дважды в сутки сверяться с гринвичским временем, причем разница во времени не должна превышать 1 с; они должны поддерживать постоянство хода за неделю в пределах 1 мин.

Вестминстерские часы были изготовлены Эдвардом Дентом (1790—1853) по проекту, разработанному лордом Гримторпом. После смерти Дента работу над часами продолжил сын покойного Фридерих. В 1859 г. он установил часы на Викторианской башне и через год пустил их в ход.

Высота башни, на которой помещаются часы, 100 м, циферблаты находятся на высоте 54 м. Диаметр циферблатов 6,9 м, изготовлены они из опалового стекла и закреплены в стальных рамах. Высота цифр 0,6 м, а расстояние между минутными делениями 0,3 м. Механизм состоит из трех колесных передач: одна приводит в действие стрелки, другая — бой, третья — мелодию. В часах применен двойной трехколенчатый гравитационный ход, изобретенный лордом Гримторпом. Длина маятника 4 м, весит он почти 280 кг. Часы заводятся раз в неделю, бой — два раза.

Хотя и существуют башенные часы с большим размером циферблата, но вестминстерские часы — одни из самых интересных больших башенных часов по конструкции. С вершины Вестминстерской башни каждый час раздается бой часов, называемых Биг-Беном. Часы отбиваются колоколом, который весит более 13 т. С помощью четырех настроенных колоколов (курантов) разыгрывается определенная мелодия. Большой колокол весит 3 т, остальные — в пределах тонны. Языки колоколов весят соответственно 364, 70, 32 и 24 кг [33, 309].

В США башенные часы значительных размеров и со сложным механическим устройством стали появляться много позже, чем в Западной Европе. Наиболее примечательные из них — на башне здания Метрополитен Лайф в Нью-Йорке, установленные в 1909 г. (рис. 161). У них четыре циферблата диаметром 8,1 м каждый. Длина минутной стрелки 5,7, а часовой — 5,2 м. Цифры на циферблате размером в 4,3 м, а минутные деления — в 0,47 м. Минутная стрелка освещается 16 лампами накаливания, часовая — десятью.

Вторые по величине башенные часы были построены для эдисоновской электрокомпании в Бостоне. Диаметр их циферблата 10,4 м, вес стрелок 350 кг, длина часовой стрелки 4,4 м, минутной 5,5 м. Циферблаты помещены на четырех сторонах башни, приблизительно на половине ее высоты, т. е. в 107 м от земли. Наверху башни находится фонарь, который вспышками отмеча-



Рис. 160. Вестминстерские башенные часы Биг-Бен

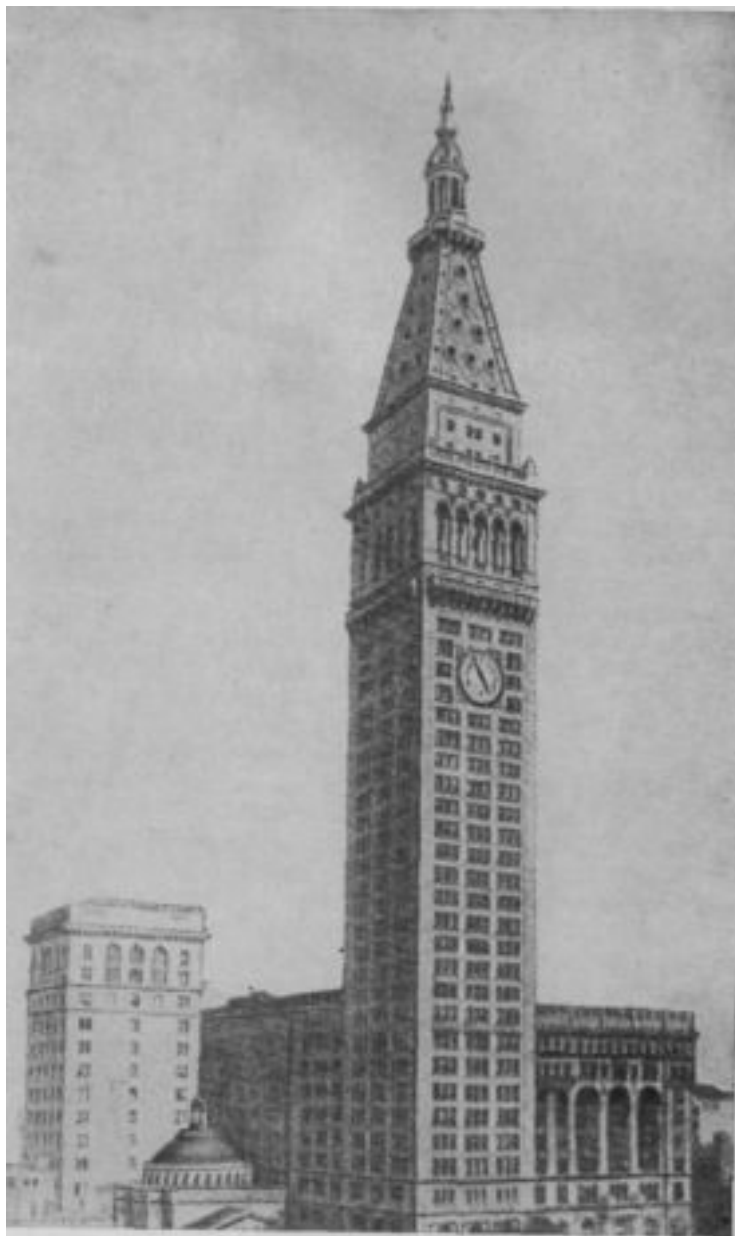


Рис. 161. Часы на башне здания Метрополитен Лайф (Нью-Йорк)

ет часы и четверти часа: для часов загорается 88 белых ламп, для четвертей — 56 красных; общая мощность всех ламп 16,262 кВт. Одной из особенностей часов является набор колоколов, которые бьют часы и четверти с 8 ч утра до 6 ч вечера. В конторе смотрителя здания находятся часы, контролирующие механизм башенных часов и регулирующие службу времени всего здания. Башенные часы приводятся в действие электричеством и имеют автоматический завод.

Одни из самых больших часов США — часы над зданием завода «Колгей компани» в г. Джерси. Их огромный циферблат, имеющий 11,5 м в диаметре, весит 6 т. Длина минутной стрелки 6 м, механизм приводится в действие гирей в 800' кг. Стрелки освещаются лампами накаливания, каждую цифру отмечают яркие красные лампы. Минутные деления, которые находятся на расстоянии 108 см друг от друга, также отмечены электрическими лампами.

Следует также остановиться на часах Феликса Мейера (Нью-Йорк), созданных в 70-е годы XIX в. Они показывали местное время в часах, минутах и секундах, день недели, месяц, время года, знаки зодиака, движение Земли вокруг Солнца и вокруг собственной оси, движение планет вокруг Солнца и фазы Луны. Часы показывали также поясное время Вашингтона, Сан-Франциско, Чикаго, Каира, Мельбурна, Константинополя, Пекина, Лондона, Парижа, Берлина, Вены и Петербурга. Четверть часа отбивает фигурка ребенка, полчаса — юноши, три четверти — старика, а часы — фигура смерти. После боя часов с кресла встает фигура Джорджа Вашингтона и протягивает правую руку с декларацией «О независимости». Слуга открывает дверь, и фигуры всех президентов Соединенных Штатов Америки (от Д. Вашингтона до 1880 г.), одетые в костюмы своего времени, выходят вперед, приветствуют первого президента, проходят дальше и исчезают за другой дверью. Высота часов Мейера 5,1 м, ширина — 2,4 м. В них более 2000 колесиков.

Маятник как регулятор хода наиболее широкое применение получил в разнообразных часах бытового назначения (настенных, напольных, настольных, каминных и т. д.). Здесь применение маятника не создает технических проблем, которые бы нуждались в особом освещении. Интерес представлял бы только вопрос об эволюции стилей внешнего художественного оформления этих часов. Но эта специальная тема, тесно связанная с историей искусства и технической эстетикой, в нашей работе почти не рассматривается.

Глава II

РАЗВИТИЕ КАРМАННЫХ ЧАСОВ

В 1674 г. по проекту Гюйгенса парижским часовщиком Тюре были изготовлены часы переносного типа, где была применена в качестве регулятора система баланс — спираль с собственным периодом колебания (рис. 162), в дальнейшем получившая широкое применение для устройства карманных часов.

Шпиндельный ход, сохраненный в карманных часах, продолжал применяться и после Гюйгенса. С самых ранних образцов и до 80-х годов XIX столетия шпиндельный ход в своих существенных чертах почти не изменялся (рис. 163). Ходовое колесо 1 вращается в направлении, показанном стрелкой, зуб 3 только что сообщил импульс нижней палете 2 и баланс, имея запас кинетической энергии, продолжает вращаться в том же направлении, преодолевая давление зуба 4 на верхнюю палету 5. Когда кинетическая энергия баланса будет поглощена сопротивлением зуба 4, он начнет двигаться в обратном направлении под действием упругости волоска 6, а когда нижняя палета минует зуб 3, упадет на следующий зуб. Этот цикл повторяется снова и снова.

В свете современных данных можно утверждать, что Роберт Гук раньше Гюйгенса применил систему баланс — спираль в качестве регулятора хода часов [204, 133—136]. Если Гюйгенс не может считаться первым изобретателем регулирующего устройства баланс — спираль, то, во всяком случае, его заслуга в том, что он создал с таким регулятором модель часов, которая стала исходной для дальнейшего развития и усовершенствования конструкции часов. При сохранении в часах Гюйгенса старого шпиндельного хода имел место отход назад ходового колеса, оказывавший дестабилизирующее действие на их ход. Устранением этого дефекта и стали прежде всего заниматься часовщики Англии и Франции. Однако все их старания избавиться от этого дефекта, сохранив шпиндельный ход, не увенчались успехом, пока не был изобретен в 1695 г. Томасом Томпионом цилиндровый ход, который после его усовершенствования Георгом Грагамом в 1725 г. стал широко применяться в часах взамен шпиндельного хода.

Развитие карманных часов после Гюйгенса

Основная схема устройства карманных часов после Гюйгенса не претерпела существенных изменений: пружинный двигатель, колесная передача, спусковой механизм (ход), регулятор, стрелочный механизм продолжали применяться по их прямому назначению. Однако они в течение XVIII—XIX вв. подвергались существенным конструктивным изменениям и усовершенствованиям.

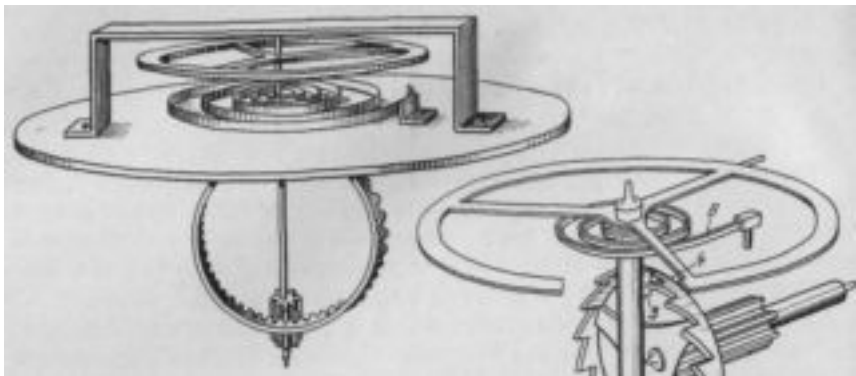


Рис. 162. Балансовые часы Гюйгенса со спиральной пружиной

Рис. 163. Балансовые часы Гюйгенса с шпиндельным ходом



нию. Применение вспомогательных механизмов, таких, как боевой и сигнальный механизмы, календарное устройство, ремонтурный механизм и другие, не изменило основную схему часов, а только дополнило ее.

Пружинный двигатель. От заводной пружины зависит не только определенное усилие, достаточное для приведения механизма часов в действие, но и определенная продолжительность хода часов от одной заводки. В карманных часах, относящихся ко времени Гюйгенса и несколько позже, применялась ходовая пружина, которая позволяла иметь запас завода на 12—15 часов. Примерно с 1690 г. стало возможным обеспечивать в этих часах завод на 24 часа. В настоящее время часы заводятся на 36—40 часов.

В ранних карманных часах не было заводного барабана. Пружина была открытой, навивалась на заводной валик, а наружный ее конец прикреплялся к стойке. Применение барабана создало более нормальные условия для работы заводной пружины (уменьшило потери на трение, способствовало концентрическому разворачиванию витков, сохранению формы плоской спирали и постоянства смазки витков пружины и т. д.).

С заводом часов связаны три отдельных устройства: ограничитель заводки пружины, указатель состояния и времени заводки пружины и устройство для поддержания хода часов во время завода ходовой пружины. Ограничение работы заводной пружины на средних ее витках необходимо для того, чтобы она могла действовать лишь на пологом участке кривой спуска пружины. Достигалось это механически при помощи так называемых остановов, чаще всего с помощью мальтийского креста. Этими остановами снабжалось небольшое количество выпускаемых часов (не более 5%); большинство часов обходилось без них.

В наиболее точных карманных часах с пружинным заводом применялась фузея. С ее помощью вращающий момент, передаваемый на ходовое колесо, становится постоянным. Но применение в карманных часах фузеи усложняло

их конструкцию. Отказаться от нее стало возможным после того, как удалось значительно повысить качество изготавливаемой заводной и балансовой пружины, особенно когда они стали изготавливаться более однородными, без примесей, ухудшающих их качество. В США, Франции и Швейцарии отказались от применения фузеи в начале XIX в. В Англии продолжали применять это устройство по традиции вплоть до второй половины XIX в.

Для повышения ходовых качеств пружины (постоянство движущей ее силы и крутящего момента) имело значение улучшение ее механических свойств и технологии изготовления, рациональный выбор геометрических размеров пружины (толщины, ширины, длины).

Английский часовщик Джон Гаррисон в 1734 г. изобрел и ввел в употребление устройство с двойным храповым механизмом 1, 2 с собачками 3, 4 для поддержания хода часов во время завода ходовой пружины 5 (рис. 164). В карманных часах с неподвижным барабаном это устройство применяется и теперь; но оно не требуется при использовании заводного барабана, вращающегося в ту же сторону, в какую вращается и валик при заводе пружины. В этом случае остановки часов во время завода не произойдет.

Зубчатая передача. Основная задача передаточного механизма — передавать энергию от пружинного двигателя системе колес, трибов и в особенности регулятору, которому это необходимо для поддержания его колебаний. В зубчатой передаче должно быть по возможности меньше трения, нужна точность и постоянство передаточного отношения. Для обеспечения этих условий имеет большое значение применение особого часового зацепления, построенного на основе циклоидального зацепления. В нем циклоида, очерчивающая головку зуба, заменена дугой окружности, а гипоциклоида, очерчивающая ножку зуба, превращается в радиальную прямую. Часовое зацепление, как и циклоидальное, допускает получение больших передаточных отношений, достигающих до 10 и даже до 12 для одной сцепляющейся пары. Там, где величины передаточных отношений небольшие (например, в барабанных и заводных колесах), профили зубцов очерчиваются по эвольвенте.

Основа принципа действия колесной передачи заключается в том, что колесо, имеющее большой диаметр, делает меньше оборотов, а колесо меньшего диаметра (в данном случае триб) делает во столько раз больше оборотов, во сколько раз его диаметр меньше диаметра большего колеса. Колесо и триб должны иметь одинаковый шаг зацепления. Зубчатая пара работает правильно в том случае, если профиль зубцов не нарушен и глубина зацепления выполнена надлежащим образом.

Теоретические исследования для создания особого часового зацепления с помощью кривых (циклоиды, эпициклоиды, гипоциклоиды) были начаты учеными еще в XVII в. Дезарг был первым, кто предложил для профилирования зубцов использовать эпициклоиду. Датский астроном Рёмер в 1675 г. указал

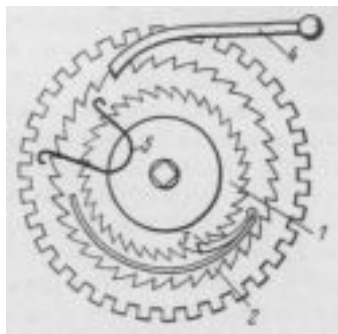


Рис. 164. Устройство для безостановочного завода Гаррисона

на целесообразность применения для этой цели циклоиды. В конце этого же века над созданием особого часового зацепления работал также Лагир. Основываясь на работах последнего, Камус в 1735 г. внес значительный вклад в разработку часового зацепления. В часах Камуса за профиль зубца приняты гипо- или эпициклоиды [192, 120—126].

В XVIII в. теория эвольвентного зацепления получила надлежащую теоретическую разработку в трудах Леонарда Эйлера. Способ зацепления, разработанный Эйлером, обладает многими преимуществами по сравнению с циклоидальным, или часовым, зацеплением [192, 139], но, как указывалось выше, область его применения в часовой механике весьма ограничена.

Совершенствование методов и средств деления и нарезки зубцов часовых колес и трибов происходило крайне медленно [303]. Самые ранние сведения о применении специальных технических средств для механического воспроизведения зубчатого зацепления относятся только ко второй половине XVII в. В 1670 г. Роберт Гук изобрел и применил станок для нарезки зубцов часовых колес. В первой половине XVIII в. было сделано также ряд попыток использовать технические средства для нарезки часовых зубчатых колес. В 1720 г. шварцвальдский часовщик М. Леффлер изобрел для этой цели особое приспособление. Около 1750 г. швед Х. Полемс изобрел станок для нарезки зубчатых колес, а англичанин Хиндли усовершенствовал изобретение Гука. В России подобные станки были изобретены и изготовлены Андреем Нартовым. Однако при применении примитивных технических средств неизбежны были ошибки в шаге и в делении зубцов колеса, которые были трудно устранимы. Применение фрезерных станков хотя и намного улучшило технологию нарезания зубцов, но и в этом случае как вследствие систематических ошибок делительного круга станка, так и вследствие небрежности при фрезеровании могли быть ошибки в шаге и в делении. Только применение зуборезных автоматов открыло большие возможности для устранения подобных ошибок.

Фрезы для очень мелких зубчаток нередко имеют не циклоидальный, а приближающийся к циклоидальным кривым круговой профиль, что также приводит к неправильной форме зуба. Однако такие колеса при работе с достаточно хорошими трибами притираются и дают в конце концов удовлетворительное зацепление.

Камневые опоры. В самом начале XVII в. в Англии в карманных часах начали применяться опоры из драгоценного камня — рубина. Инициатором Их введения считается Николай Фацио (1664—1753). Ему вместе с Пьером и Яковом Дефобром в 1704 г. был выдан патент на это изобретение. Однако вскоре приоритет Фацио начал оспариваться. Стало известным более раннее применение камня в старинных карманных часах Игнатия Гуггенфорда. Однако более близкое знакомство с этими часами показало, что там камни употреблены были скорее в качестве декоративного украшения, а не опорных деталей.

После того применение камней в часах стало расширяться, особенно во Франции и Англии. Но затем их распространение задержалось из-за того, что изготовление, часовых камней английские мастера на целое столетие сделали секретом.

Впоследствии, уже в XIX столетии, этот метод был разработан более подробно известным французским ученым Понселе, имя которого он часто и носит.

В Швейцарии производство часовых камней было организовано в Ла-Шо-де-Фоне Ингольдом только в 1825 г., и с этого времени оно получило большое распространение, особенно в 1850—1855 гг. Однако и тогда не было соответствующих предпосылок для развития массового производства часовых камней, но это стало возможным после появления синтетических рубиновых камней, изготавливаемых по особой технологии. Этот метод разработали швейцарцы Фреми и Верней в 1902 г.

Для производства синтетических камней применялся боксит, представляющий собой мягкую каменную породу. Он добывался в Швейцарии, главным образом в районе Ле-Бьо (департамент Буш-дю-Рон), и применялся также для получения алюминия. Боксит подвергался ряду химических реакций. Кристаллы алюминия очищались в электрических печах. Химически чистый алюминий после кристаллизации, которая происходила в пламени кислородно-водородных горелок при 1800°C , превращался в синтетический белый сапфир. При добавлении к нему окислов хрома получался красный рубин грушевидной формы. Эти рубины распиливались на пластинки толщиной 8 мм, затем утончались и разбивались на куски разнообразной формы. Из сырья получалось 4% пригодных часовых камней, отходы достигали 96%.

Часовые камни из искусственного рубина обладают высокой твердостью и износостойкостью, хорошо обрабатываются, поддаются полированию, не окисляют и не разлагают часовое масло, имеют красивый внешний вид. Применение палет, импульсных камней, опор для цапф и осей из искусственного рубина уменьшает потери на трение и износ деталей, как и в случае применения смазки часовым маслом трущихся поверхностей. Камневые опоры длительное время удерживают эту смазку, что также способствует стабильной работе механизма.

Спусковой регулятор (ход). Большое значение для повышения точности хода карманных часов имело введение взамен шпиндельного хода более усовершенствованных ходов — сперва цилиндрового хода без отхода назад ходового колеса и с трением на покое, затем дуплексного и виргульного ходов.

В 1750—1850 гг. часовщики увлекались изобретением все новых и новых ходов, отличных по своему устройству. Было изобретено свыше двухсот ходов, из которых лишь немногие получили распространение. Сонье в своем «Руководстве по часовому делу» (Париж, 1861) отмечает, что из большого количества появившихся ходов, так или иначе ставших известными, к тому времени удержались не более 10—15. К 1951 г. их количество вообще свелось к двум, если считать, что ход, применяемый в хронометрах, мало пригоден для карманных часов. Причиной такого резкого уменьшения количества ходов, оказавшихся годными к применению в современных карманных и наручных часах, был успех, достигнутый в применении там свободного анкерного хода.

Система баланс — спираль. Спиральная пружина (волосок), применяемая в качестве регулятора хода в ранних карманных часах, имела только два или три витка. Со временем было установлено, что ход часов становится более точным, если размеры баланса и спирали подобраны так, чтобы они давали строго определенное число колебаний в единицу времени. Диаметр баланса должен быть возможно большим, но сам баланс — не слишком легким, поскольку очень легкий баланс подвержен вредным влияниям, как и баланс малого диаметра. Практически установлено, что в карманных часах лучшие результаты с цилиндрическим ходом получаются тогда, когда диаметр спирали ра-

вен радиусу баланса, имея при этом 8—9 витков. Для анкерных ходов, имеющих значительно большую амплитуду колебаний баланса, длина спирали существенно увеличивается, число ее витков берется от 11 до 13. Длина спирали должна увязываться с амплитудой колебания баланса. Хотя более эластичной оказывается тонкая спиральная пружина с большим числом витков, но большее число витков создает опасность соприкосновения одного витка с другим, что приводит к неправильному ходу часов.

До середины XVIII в. на проблему температурной компенсации системы баланс — спираль не обращали должного внимания. Только когда часовщики Англии и Франции занялись конструированием морских часов, пригодных для определения долготы, стали разрабатывать и эту проблему. Французский хронометрист Фердинанд Берту установил, что изменение силы упругости волоска из-за температурных изменений оказывает наибольшее влияние на величину погрешности хода часов и составляет 82% от ее суммарной величины.

В конце XVIII в. проблема температурной компенсации системы баланс — спираль была решена посредством создания биметаллического разрезного баланса, который стал применяться с течением времени не только в хронометрах, но и в карманных часах.

В карманных часах применяются два вида спирали: плоская спираль с концевыми кривыми и без них. Концевые кривые могут исправлять погрешности хода часов как от изменения их положения, так и от неизохронности колебаний системы баланс — спираль. Спирали без концевых кривых свертываются и развертываются эксцентрически. В результате возникает смещение центра тяжести спирали по отношению к оси вращения баланса, что отрицательно сказывается на точности хода карманных часов.

Для регулирования периода колебания баланса путем изменения действующей длины спирали в карманных часах имеется приспособление, называемое градусником. Конец последнего витка спирали до закрепления его в колодку свободно проходит между штифтами градусника, которые, охватывая его, определяют конец действующей длины спирали. Передвигая указатель градусника в ту или другую сторону по шкале, нанесенной на поверхности мостика, мы удлиняем или укорачиваем действующую длину, изменяя таким образом ход часов.

Применение градусника в карманных часах было уже известно в середине XVIII в. (в частности, И. П. Кулибину).

Стрелочный механизм составляет пятую отдельную кинематическую цепь после пружинного двигателя, основной колесной передачи, спускового механизма (хода) и регулятора баланс — спираль. Стрелочный механизм (рис. 165), передающий движение от основной колесной передачи к стрелкам, состоит из системы зубчатых колес и трибов. Минутный триб в стрелочной передаче является основной деталью, обеспечивающей движение стрелочного механизма; он насажен на центральную ось. От этого триба минутное (вексельное) колесо передает движение на часовое колесо, имеющее зубчатый венец и гладкую цилиндрическую втулку, на которой плотно сидит часовая стрелка. Минутная стрелка, сидящая на втулке минутного триба, делает один оборот за один час. В стрелочной передаче передаточное отношение обычно равно 12.

Характерным признаком стрелочной передачи является то, что ее колеса и трибы не имеют собственных осей. Минутный триб сопряжен с центральной

осью фрикционно, часовое колесо вращается на втулке минутного триба, минутное (вексельное) колесо и триб — на штифте, прикрепленном к платине.

Весьма долго карманные часы были с одной часовой стрелкой. Применение двух стрелок в течение долгого времени не требовалось и не находило одобрения. Минутная стрелка в дополнение к часовой сначала появилась в крупных часах вскоре после применения в них маятника и особенно после введения анкерного хода. Англичанин Даниил Кваре применил в 1670 г. в своих часах минутную стрелку, сидящую на одной оси с часовой, или концентрически расположенную минутную стрелку. Это переняли многие английские часовщики.

Однако имеются свидетельства о применении минутной и даже секундной стрелки задолго до этой даты. В Нюрнбергском музее и теперь можно видеть крупные часы, относящиеся к 1550 г., с минутной и секундной стрелками, что свидетельствует о том, что техническая проблема применения в часах минутной и секундной стрелок была уже тогда решена, но не дает основания думать, что употребление таких стрелок было характерным для раннего периода развития часового дела.

Применение в карманных часах минутной, а затем и секундной стрелки начинается с отдельных попыток — раньше всего в Англии и Франции. В 1665 г. Джон Фитти применил в карманных часах центральную минутную стрелку и особое устройство со считающим диском, расположенное в центральной части циферблата. В 1690 г. известный английский часовщик Фроментиль ввел боковую секундную стрелку, имевшую на циферблате

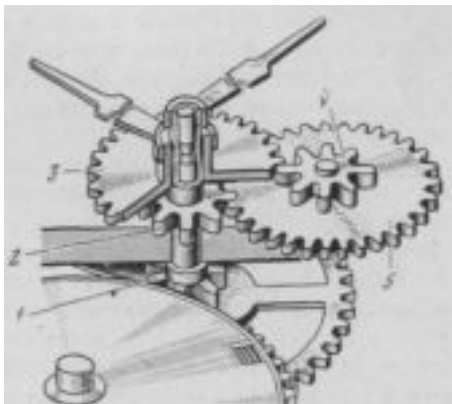


Рис. 165. Стрелочный механизм

1 — триб центрального колеса; 2 — триб; минутной стрелки; 3 — часовое колесо; 4 — триб вексельного колеса; 5 — вексельное колесо

такое же расположение, как теперь. Около того же времени лондонский физик и врач Джоя Флойе имел карманные часы с одной только секундной стрелкой («пульсомер»), чтобы считать пульс своих пациентов. Имеются свидетельства о таком же применении секундной стрелки и во Франции. Но было еще очень далеко до широкого применения даже минутной стрелки, не говоря уже о стрелке секундной, применение которой постепенно расширялось с конца XVIII в. и вошло во всеобщее употребление во второй половине XIX в.

Во второй половине XVIII в. точность хода карманных часов стала значительно повышаться вследствие нововведений в технике измерения времени (каменные опоры, более совершенный ход, чем шпиндельный, и т. д.). В связи с этим и под влиянием развивавшейся потребности в более точном отсчете времени на циферблате часов появилась минутная стрелка. Поскольку это было нововведением, минутные стрелки старались популяризировать: минутные деления стали обозначать арабскими цифрами в отличие от римских для часовых делений. Если раньше часовые римские цифры были большого размера,

то после введения минутных стрелок арабские цифры стали делать более рельефными, выделяющимися. И только после того, как люди свыклись с наличием двух стрелок, цифры свели к одной системе.

Переход от отдельных разрозненных попыток к применению в карманных часах секундной стрелки был завершен только во второй половине XIX в. одновременно с массовым применением свободного анкерного хода, камневых опор и температурной компенсации системы баланс — спираль, а также в связи с возраставшей актуальностью применения часов с наиболее точным ходом и отсчетом времени.

Механизм завода часов и перевода стрелок. Применение в карманных часах завода и передвижение стрелок без ключа с помощью вращения заводной головки имеет свою историю.

Почти до середины XIX в. большинство карманных часов заводилось посредством ключа, который своим квадратным отверстием на время завода соединялся с валом барабана, а в остальное время хранился на цепочке рядом с часами. Такой способ завода применяется и в настоящее время для стенных часов и морских хронометров. Перевод стрелки часов производился этим же ключом через квадратную часть стержня триба минутной стрелки, или стрелка передвигалась рукой.

До 1800 г. было несколько попыток найти способ избежать ключевого завода. Одной из них явилось применение автоматического завода (о чем см. ниже). После 1790 г. стали применяться особые устройства для завода без ключа, основанные на принципе действия насоса. Кнопка, выступавшая наружу, была соединена с осью ходовой пружины либо зубчатой рейкой, либо цепью. Благодаря особому включению храпового колеса ось ходовой пружины могла вращаться только тогда, когда кнопку нажимали вовнутрь или, наоборот, когда ее вытягивали. Завод ходовой пружины посредством вытягивания кнопки осуществлялся через особую пружинку, действием которой цепь наматывалась вокруг храпового колеса, связанного с механизмом завода. Действие завода было аналогично действию насоса. Хотя введение завода вращением особой заводной головки справедливо приписывается Бреге, но только старинной и довольно известной фирме Луи Одемара в Брасусе (Швейцария) удалось в первой четверти XIX в. наладить в больших количествах производство карманных часов с таким ходом.

В Англии в 1820 г. был выдан патент Т. Престу на применение завода вращением особой заводной головки, что нашло применение в карманных часах Джона Арнольда (рис. 166). Однако в Англии эта конструкция не пользовалась особой популярностью ввиду того, что завод мог осуществляться только через вращающийся барабан, а не через фузею, которой еще долго продолжали снабжать английские карманные часы. Но после усовершенствования этого изобретения был создан бесключевой завод на принципе использования для этого качающегося рычага. Этот механизм для завода и перевода стрелок был создан Густавом Гугонином в 1855 г. и стал пользоваться особым успехом среди изготовителей часовых механизмов в Ланкашире, особенно для применения в карманных часах высокого качества. Такой ход мог применяться и в часах, снабженных фузеей.

Первые карманные часы, в которых была применена особая заводная головка для завода и перевода стрелок (так, как это делается теперь), были изобретены Андрианом Филиппом (1815—1894) в Швейцарии в 1842 г. Изо-



Рис. 166. Заводная головка Преста в часах Арнольда

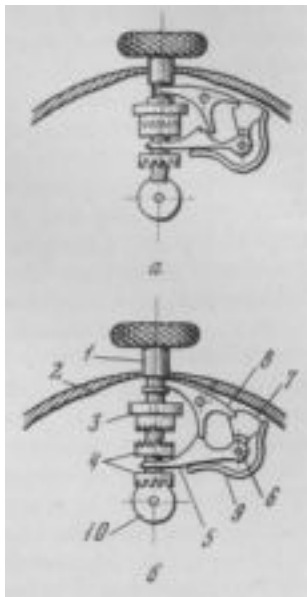


Рис. 167. Современная конструкция ремонтуара

в — положение головки для заводки пружины; б — положение для перевода стрелок

бренный Филиппом новый завод описан в книге «Карманные часы без ключевого завода». Карманные часы с этим ремонтурным заводом стали выпускаться фирмой «Патек—Филипп». Система завода Филиппа и теперь считается превосходной.

Механизм завода пружины и перевода стрелок, осуществляемого вращением особой головки, может считаться отдельной кинематической цепью, шестой по счету. Этот механизм, или ремонтур, состоит из механического устройства для переключения передачи с завода на перевод стрелки и обратно. В зависимости от устройства переключателя имеется несколько отличных по выполнению и кинематике ремонтурных устройств.

В ранних конструкциях ремонтурного устройства только завод пружины осуществлялся посредством заводной головки, перевод же стрелок производился нажатием кнопки — «подавки»; механизм завода в это время бездействовал. В более поздних конструкциях боковая кнопка отсутствует. В этом случае появилась необходимость переключать ремонтур из положения «заводки пружины» в положение «перевода стрелок».

На рис. 167 показана современная конструкция ремонтуара в двух ее положениях: а — для завода пружины, б — для перевода стрелок.

Рис. 167, а показывает момент завода часов, при котором кулачковая муфта 4, сидящая на квадрате заводного валика /, сцепляется своими зубцами с заводным трибом 3, свободно сидящем на заводном валике. При вращении заводного валика вращается кулачковая муфта и заводной триб, который че-

рез заводное колесо передает движение на барабанное колесо, надетое на квадратную часть вала барабана. При вращении барабанного колеса пружина накручивается на вал барабана.

Рис. 167, б показывает момент перевода стрелок. При этом заводной валик 1 вытягивается вверх до фиксированного положения и тянет за собой подъемный рычаг 8, так как один его конец входит в выточку в валике 1. В то же время другим концом подъемный рычаг 8 нажимает на рычаг 5, который передвигает трубку (бочонок) 4, насаженную на квадрат валика и служащую для передачи стрелок и сцепляющуюся с передаточным колесом 10. При вращении заводного валика / передвигается стрелка, так как колесо 10 сцеплено с вексельным колесом стрелочного механизма.

Когда часы заведены и пружина раскручивается, крутящий момент передается барабану с зубчатым венцом, Вал барабана, барабанное колесо, заводное колесо и заводной триб остаются неподвижными. Барабанное колесо может вращаться только в одном направлении, движению в обратную сторону препятствует стопорное устройство.

Перевод стрелок должен обеспечивать установку стрелок на нужное время. При переключении с перевода на завод положение стрелок не должно изменяться. Фиксация на положении «перевод» и «завод» должна быть надежной. Узел завода должен обеспечивать полный завод заводной пружины.

Самозаводящиеся карманные часы. Самозаводящимися, или автоматическими, часами называются такие часы, завод которых происходит без вмешательства человека, т. е. без выполнения для этого ручной операции.

Автоматический завод стал применяться еще в карманных часах. В XVIII в. были известны два главных метода. В одном из них завод ходовой пружины совершался путем открывания и закрывания крышки корпуса карманных часов, но он имел ограниченное применение, и то только у любителей. Хотя он заслуживает упоминания с исторической точки зрения, нет необходимости в его описании, поскольку такой завод имел небольшое практическое значение. Более перспективным оказался второй способ осуществления самозавода карманных часов, основанный на использовании принципа шагомера (pedometer). Шагомер — прибор, носимый в кармане, который измеряет расстояние или пройденный путь посредством нагруженного рычага, поднимающегося и падающего с каждым шагом и действующего на, механизм, который регистрирует число сделанных шагов. Стало быть, этот способ основан на использовании движения тела того, кто носит карманные часы. Самозавод был придуман часовщиками в конце XVIII столетия; эксперименты в этом направлении велись тогда в Англии, Франции и Швейцарии.

Кто был первым изобретателем самозавода — трудно установить. Можно лишь с большим основанием утверждать, что этот способ самозавода получил практическую реализацию и сделался известным в 1770 г. благодаря Абрагаму Льюису Переллету из Лелокля (Швейцария). К сожалению, ни одни из самозаводящихся часов Переллета не дошли до нашего времени и все, что нам известно о конструкции самозавода этого изобретателя, основано на письменных источниках. Идея была основана на использовании принципа шагомера. Часы не имели ручного завода, и, после того как останавливались, пустить их в ход можно было только посредством встряхивания, чтобы создать начальное натяжение ходовой пружины. Это был серьезный недостаток конструкции самозавода Переллета.

Абрагам Льюис Бреге на основе проведенных им исследований добился в 1777 г. улучшения конструкции самозавода, основанного на использовании принципа шагомера.

Первым в Англии в 1780 г. патент (№ 1249) на самозаводящиеся **часы**, работавшие также на принципе шагомера, но с использованием в механизме ряда вспомогательных деталей, весьма эффективно способствовавших самозаводу, получил Льюис Рекордан. В его часах с самозаводом применен нагруженный рычаг, имевший осевое крепление. Он мог входить в зацепление с шестерней, связанной с барабаном, и оказывать действие на ту часть заводного механизма, которая осуществляла функцию завивания пружины.

В настоящее время автоматический завод пружины карманных часов осуществляется посредством грузового рычага (инерционного сектора), расположенного чаще всего в центре механизма и под действием силы тяжести вращающегося на оси как по часовой стрелке, так и против. При расположении в центре инерционный сектор может поворачиваться на 360° или на другой определенный угол, когда поворот сектора ограничивается с каждой стороны амортизирующими упорами. Двустороннее вращение инерционного сектора преобразуются в одностороннее вращение барабанного колеса и вала барабана, на который навита заводная пружина. Это достигается с помощью соответствующим образом сконструированного передаточного механизма.

Устройство автоматического завода пружины на этом принципе было уже известно в XVIII в.: такие часы были изготовлены в Париже в середине XVIII в. неизвестным мастером. Инициалы Q. R. L., имеющиеся на часах, экспертами до сих пор не расшифрованы. Неизвестный мастер более чем за **два** столетия до наших дней решил проблему создания автоматических часов, по конструкции вполне нам современной [237].

На континенте Европы первые самозаводящиеся часы были известны как «вечные» часы, но их производство перестало развиваться с 1792 г. В течение XIX столетия было много попыток возродить это производство, но с тем же малым успехом, как и раньше. Такие попытки продолжались и после того, как Льюис Одемар в 1838 г. в Швейцарии применил **завод без ключа**, а в **1842 г.** Андриан Филипп значительно усовершенствовал этот ремонтурный механизм карманных часов [237].

Дальнейшая история применения самозаводящихся механизмов будет рассмотрена в разделе о наручных часах.

Сложные карманные часы снабжены, кроме основных механизмов, различными дополнительными устройствами (календарным, сигнальным, репетичным и другими механизмами). Последние с основным механизмом связаны лишь несколькими деталями, согласующими работу их с показаниями часов. Уже на ранней ступени развития карманных часов их стали снабжать календарем, боевым механизмом со счетным кругом, сигнальным механизмом и другими устройствами по примеру крупных часов (башенных, настольных, настенных). На основе изобретения в конце XVII в. боевого механизма с гребенкой были созданы карманные часы с репетичным механизмом.

Календарное устройство было более обычным в старинных карманных часах, чем в современных. Имелись календари весьма разнообразного устройства. Простейшие из них осуществляли механическую смену дат только в пределах от 1-го до 30-числа каждого месяца. Даты в пределах 31-го и 1-го числа менялись вручную. Простые календари показывали какую-либо одну календар-

ную дату: либо число месяца, либо день недели. Календарь сложного устройства мог показывать число месяца, день недели, наименование месяца. Нередко можно видеть в старинных карманных часах даже фазы Луны. В XVIII в. особенно ценились карманные часы с «вечным» календарем, которые могли автоматически производить смену дат в течение всего года и коррекцию високосного года — 28 и 29 февраля.

Календарный механизм является надстройкой на основном механизме часов. Поскольку он совершал работу с малым числом оборотов, детали календаря практически не изнашивались.

Появлению карманных часов с репетичным механизмом предшествовало изобретение в Англии в 1676 г. Эдвардом Барлоу механизма боя с гребенкой и улиткой. Этот механизм первоначально получил применение только в крупных часах вместо механизма боя со счетным кругом. Репетичный механизм для карманных часов был изобретен английскими часовщиками Эдвардом Барлоу и Даниилом Кваре. Английское правительство выдало в 1687 г. патент, однако одному только Даниилу Кваре (1648—1724) -

С начала XVIII в. стали все чаще появляться карманные часы с репетицией, в которых с ее помощью можно было по желанию нажатием кнопки вызывать повторение боя часов, четверти часа и даже минут. В Париже усовершенствованием репетичного механизма особенно усиленно занимался Жюльен Леруа. Бреге изобрел звуковую пружину для боя и применил ее в часах с репетицией вместо колокольчиков.

Неотъемлемой частью репетичного механизма, помимо колесной передачи, являются гребенка и улитка, применяемые также и в боевом механизме с гребенкой (рис. 168). Улитка *E* по своей форме похожа на шайбу, на ее окружности имеется 12 уступов с различными углублениями, что соответствует количеству ударов часов. Чтобы улитка могла каждый раз поворачиваться на следующий уступ, она связана с 12-зубцевой звездочкой *K*, которую поворачивает штифт *L*, находящийся в минутнике, каждый час на один зуб. Положение звездочки фиксируется пружинящим роликом *N*. Количество ударов определяется улиткой.

Гребенка *M* представляет собой зубчатый сектор с косыми зубцами, как у храповика. Каждому повороту гребенки на один зуб соответствует один удар. Если, например, хвостовик гребенки *D* упрется в самый глубокий выступ улитки, то гребенка упадет влево на 12 зубцов и часы сделают 12 ударов.

В карманных часах практически используется несколько разновидностей репетиров. Одна разновидность применяется в часах с обычным боевым механизмом, отбивающим автоматически часы и четверти часа, а по желанию можно нажатием кнопки привести в действие и минутный репетир. Такие часы снабжены нормальным, ежедневно заводимым пружинным двигателем.

Имеются репетиры, снабженные небольшой, самостоятельно заводимой пружиной, требующей заводки при приведении в действие от нажатия кнопки. Перечислим лишь некоторые из них: четвертные, отбивающие после нажатия кнопки часы и четверти; получетвертные—отбивающие часы, четверти и с более высоким звуком получетверти ($7\frac{1}{2}$ мин); пятиминутные — отбивающие часы и с более высоким звуком минуты после истекшей четверти.

Часы, как правило, отбиваются редкими ударами низкого тона, четверти — вдвоенными ударами и минуты — частыми ударами высокого тона.

В механизмах получетвертного репетира на четвертной гребенке установ-

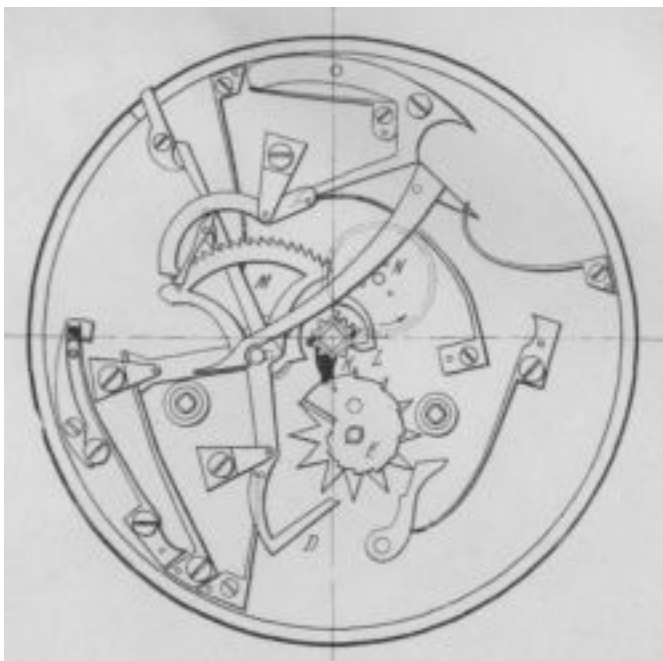


Рис. 168. Конструкция репетиционных карманных часов с применением гребенки и улитки

лена однозубая дополнительная гребенка; пятиминутный репети́р имеет пятиминутную гребенку, которая похожа на четвертную, но отличается от нее тем, что вместо двух групп по три зубца она несет их одиннадцать; минутный репети́р представляет собой четвертной репети́р улучшенной конструкции с дополнительной гребенкой для отбивания минут, а на минутном трибе, кроме четвертной улитки, установлена четырехлопастная улитка.

Распространению в XVIII и в начале XIX в. карманных часов с боем и репетицией особенно способствовали неблагоприятные условия освещения, имевшиеся в то время. До изобретения спичек в начале XIX в. добывать огонь приходилось путем ударов кремня о кусок стали; падающие искры направляли на обугленную парусину или трут, пока те не начинали тлеть. Затем нужно было заставить тлеющий трут разгореться и только после того можно было уже зажечь свечу и при ее свете прочитать цифры на циферблате.

При наличии карманных часов с боем и репетицией отпадала необходимость в ночном освещении. Настенные и настольные часы часто снабжались шнуром, свешивающимся с корпуса; когда его дергали, то повторялся бой последнего часа, а иногда и четвертой часа. По этой же причине карманные часы снабжались кнопочным устройством: нажимая на него, можно было в случае необходимости заставить отбивать четверти часа, полные часы и минуты.

Иногда карманные часы имели и более сложное устройство, снабжались автоматически движущимися фигурами, разными дополнительными устройст-



Рис. 169. Карманные часы, с музыкальным инструментом (слева) и автоматами (справа)

вами, играли мелодии (рис. 169, а). Отдельные экземпляры таких часов стали появляться еще в 1700 г. Так, в карманных часах, находящихся в коллекции Моргана, воспроизводится сцена сражения двух рыцарей, появляющихся в специальном вырезе, сделанном на крышке часов, а затем исчезающих, чтобы дать место двум другим воинам. Эта крышка изготовлена из золота, и на ней имеется изображение охотника, преследующего оленя. Все эти изображения представляют тончайшую ювелирную работу, выполненную на художественной эмали.

Карманные часы с подвижными фигурами и музыкой стали в большом количестве изготавливать после 1800 г. Они снабжались маленькими золотыми фигурками, прикрепленными к циферблату и изображающими танцующие пары, кузнеца, работающего молотком, стадо овец и лающую собаку, вращающееся мельничное колесо, фигуру, ударяющую при репетиции в колокольчики, и т. д. (рис. 169, б).

В течение второй половины XIX в. в связи с прогрессом часовой техники ведущими часовыми фирмами Швейцарии и Германии были созданы карман-



ные часы со многими вспомогательными устройствами. Так, известная швейцарская фирма Одемар изготовила карманные часы, соединявшие все функции сложного часового механизма. Эти часы были известны под названием «самобой». Они автоматически выполняли бой часов, четвертей часа, а минуты — посредством репетиции и были снабжены двумя хронографами с отдельной передачей, действовавшей независимо друг от друга, и вечным календарем, изобретенным фирмой в 1860 г. Часы показывали фазы Луны и были снабжены металлическим термометром, тремя заводами и двойным переводом стрелок.

Этой же фирмой были созданы миниатюрные часы с репетицией величиной в 12 мм. Интерес к созданию миниатюрных часов наблюдался еще в XVIII в. Известно, что Бомарше изготовил для фаворитки короля Людовика XV, мадам Помпадур, часы микроскопического размера, имевшие 9 мм в диаметре; они помещались в кольцо на пальце и заводились ногтем посредством вращающегося вокруг циферблата ободка.

Немецкая часовая фирма Адольфа Ланга в Глассхютте (Саксония) устроила в 1895 г. юбилейную выставку. Там демонстрировались карманные, часы весьма сложного устройства. Они отбивали часы, четверти часа и минуты, имели двойной хронограф, а кроме того, были снабжены вечным календарем и показывали фазы Луны. Стрелки двойного хронографа приводились в действие

одним нажимом, второй нажим останавливал первую стрелку, вторая стрелка останавливалась при третьем нажиме; при четвертом нажиме обе стрелки возвращались к нулю.

На рис. 170 показаны циферблат и механизм карманных часов швейцарской фирмы «Пауль Детисгейм». Кроме часов, минут и секунд, они показывали день недели, месяцы и даты, фазы Луны, восход и заход Солнца, уравнение времени для перевода истинного солнечного времени на среднесолнечное, и наоборот, а также имели вечный календарь.

Фирма «Патек—Филипп» (Женева) в 1914 г. на выставке в Берне демонстрировала карманные часы особо сложного устройства. Помимо обычного часового механизма, они были снабжены также механизмами для боя и репетиции четвертей часов и минут, секундомера, сложного календарного устройства, показывающего день недели, месяц, даты и фазы Луны. Каждый из этих трех механизмов имел отдельный завод и указатель состояния и времени их заводки.

Сложные часы, изготовленные женеvской фирмой «Вашерон и Константин», кроме обычного часового механизма, были снабжены механизмом для боя и репетиции четверти часа и минут, будильника, секундомера, сложного календарного устройства, показывающего дни недели, месяц, даты и фазы Луны. Несмотря на сложность их устройства, эти часы были прецизионными. По точности хода, как показали результаты испытаний в Женевской обсерватории, они соответствовали первому классу прецизионных карманных часов.

Карманные часы, изготовленные в 1900 г. часовой фирмой «Леруа» (Париж), могут считаться наиболее сложными по своему устройству во всем мире (рис. 171). Кроме часов, минут и секунд, они показывали еще 13 других данных, а именно: 1—дни недели; 2—даты месяца; 3 — непрерывный месячный календарь на сто лет вперед; 4 —даты на сто лет; 5 — фазы Луны; 6 — время года; 7 — истинное солнечное время; 8 — состояние и время заводки пружины; 9 — степени шумности окружающей среды; 10 — звездное время; 11 — местное время 125 городов; 12 — восход Солнца, 13 — заход Солнца; 14 — регулирующая система.

В часы, кроме того, были встроены следующие приборы: хронограф, минутный репетир с тремя гонгами, термометр, гидрометр, барометр (для измерения атмосферного давления на высоте до 5 тыс. м), компас, модель северного неба с 460 звездами, модель южного неба с 250 звездами и т. д.

На рис. 172 приведены карманные часы, показывающие изменение фаз Луны, с двойным календарем и с другими устройствами.

Вплоть до 1780 г. на внешнюю художественную отделку изготовители часов по-прежнему обращали исключительное внимание. Изготавливались не только прекрасно отделанные корпуса часов, но и не менее тщательно отделанный механизм (даже с гравировкой). Стиля рококо придерживались при изготовлении часов в Германии, во Франции же — стиля Людовика XV.

В Англии были распространены внешние корпуса карманных часов из особого сплава металла (три части цинка и четыре части меди), который напоминал золото. Он был изобретен Христофором Пинчбеком в 1721 г.; корпуса, изготовленные из этого сплава, известны под названием «pinchbeck». Внешний корпус английских карманных часов в XVIII в. часто украшался рисунком — орнаментом по металлу (рис. 173).

В то время с карманными часами обращались как с редким и дорогим

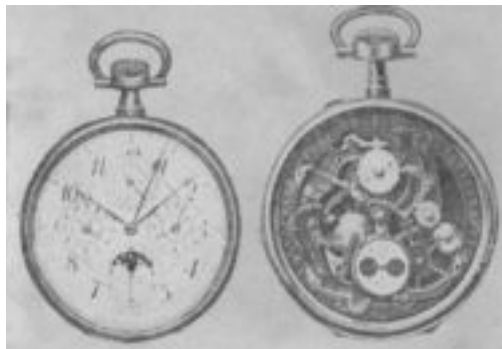


Рис. 170. Карманные часы сложного устройства швейцарской фирмы «Пауль Детисгейм»

Рис. 171. Сложные карманные часы французской фирмы «Лериа»

Рис. 172. Карманные часы с репетицией минут, фазами Луны, двойным календарем (а) и с циферблатом, разделенным на 24 часа (б)

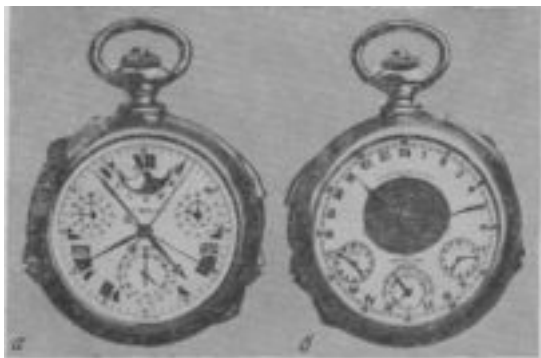


Рис. 173. Внешний вид корпуса английских карманных часов, изготовленных из сплава, предложенного Пинчбеком





Рис. 174. Карманные часы, напоминающие по своей форме различные музыкальные инструменты

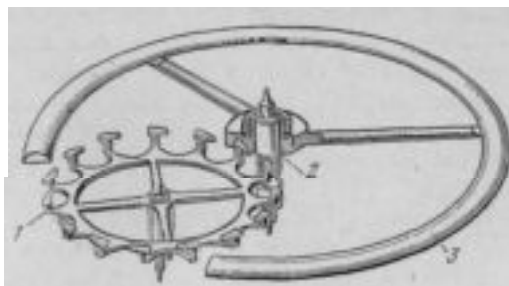
имуществом. Камни в часах, изготовлявшихся на континенте, чаще всего использовались не в качестве опорных деталей, а как украшения. Карманные часы имели самую различную форму — вазы, пистолета, цветов, арфы (рис. 174). Позднее появился эмалевый циферблат, на который стали наносить художественные изображения; их можно видеть на часах XVIII, XIX и начала XX в. (рис. 175). Однако с 1780 г. карманные часы начали изготовлять в больших количествах, и мода на дорогие часы с художественной отделкой пошла на убыль.



Рис. 175. Эмалевый корпус карманных часов с художественным изображением (XVIII в.)

Рис. 176. Цилиндровый ход в карманных часах

1— ходовое колесо; 2— цилиндр;
3 — баланс



Французский часовщик Жан Антуан Лепот (1720—1789) создал карманные часы плоской формы. Введение цилиндрового хода открыло возможность придавать карманным часам еще более плоскую и удобную форму даже для часов с боем и репетицией (благодаря использованию звуковой пружины вместо применявшихся до того колокольчиков). С этого времени постепенно диаметр механизма и его высота стали уменьшаться.

Во второй половине XIX в. карманные часы приобретают вполне современный вид благодаря введению усовершенствованного спускового устройства (хода), камневых опор, температурной компенсации, минутных и секундных стрелок наряду с часовыми, завода пружины и перемещения стрелок с помощью заводной головки; придание же калибру часов тонкой и плоской формы сделало их уже вполне современными.

Ввиду особой важности необходимо более детально рассматривать вопрос о том, как после Гюйгенса была решена проблема устранения отхода ходового колеса назад и проблема создания свободного анкерного хода для его применения в карманных часах.

Создание часов без отхода ходового колеса назад

При сохранении в часах шпиндельного хода в момент падения зуба на палету имел место отход ходового колеса назад, и именно над устранением этого дефекта, оказывавшего дестабилизирующее действие на ход часов, больше всего работали часовщики после Гюйгенса.

Цилиндровый ход. Шпиндельный ход стал постепенно вытесняться после появления цилиндрового хода. Первоначально он был известен как горизонтальный ход, из-за того что ходовое колесо в этом ходе вращалось в той же плоскости, что и остальные колеса, т. е. параллельно с платинами карманных часов.

Принято считать, что Томас Томпион первым изготовил часы с цилиндровым одноктактным ходом. Взамен шпинделя им был применен небольшой стальной цилиндр, плоский с одной стороны. Расстояния между зубцами ходового колеса были настолько значительны, что позволяли цилиндру свободно вращаться между ними. В продолжение колебания баланса в одном направлении зубцы падали на поверхность цилиндра и останавливались здесь на покой в продолжение колебания, тогда как при колебании баланса в обратном направлении зубец подходил к плоской стороне цилиндра и давал импульс. Отход назад колеса был сравнительно с шпиндельным ходом незначителен. На изобретение этого хода в сентябре 1695 г. был выдан патент (№ 344) Эдварду Барлоу, Виллиаму Хаутону и Томасу Томпиону.

Цилиндровый ход сначала не давал лучших результатов, чем шпиндельный ход. Ходовое латунное колесо быстро срабатывалось стальным цилиндром, поэтому довольно скоро от применения горизонтального хода в карманных часах отказались.

Цилиндровый ход современной конструкции (рис. 176) изобрел в 1725 г. Георг Грагам. Устройство его основано на том же принципе и обладает теми же свойствами, что и изобретенный им для маятниковых часов анкерный ход без отхода назад ходового колеса и с трением на покое. Применение цилиндро-

вого хода можно считать первым реальным шагом на пути создания пригодного хода для карманных часов.

Новый ход среди часовщиков Англии успеха не имел, что отчасти объяснялось трудностями в изготовлении этого хода и отчасти недоверием к нему. Несомненные преимущества цилиндрического хода Грагама в сравнении со шпиндельным ходом должны были быть рано или поздно признаны в кругах часовщиков, и раньше всего это случилось не в Англии, а на континенте Европы — во Франции и Швейцарии. Популяризации этого хода значительно способствовал знаменитый французский часовщик Жюльен Леруа. В 1726 г. Г. Грагам послал Леруа по его просьбе данные об устройстве цилиндрического хода. Леруа был так восхищен этим ходом, что перенял его и затем способствовал его распространению.

Во Франции и Швейцарии изготовление карманных часов с цилиндрическим ходом получило большое распространение; такие часы в небольших количествах продолжали там изготавливать вплоть до 1954 г. В Англии карманные часы с таким ходом изготавливались в небольших количествах с 1830 г.

Основными частями цилиндрического хода являются ходовое колесо и цилиндр (рис. 177). Цилиндр представляет собой тщательно отшлифованную и отполированную внутри и снаружи трубку, изготовленную из твердой стали. В рабочей части цилиндра стенки вырезаны так, что остается только **часть его** боковой поверхности, обнимающая центральный угол приблизительно в 195—200°. Внизу эта стенка еще уменьшена с таким расчетом, чтобы оставшаяся часть отвечала центральному углу в 100°. Края срезанной части цилиндра играют роль палет. Стенки цилиндра по возможности должны быть тонкими, насколько позволяет прочность металла. Толщиной стенки цилиндра обуславливается разница между длиной зубца и величиной шага. Так как зубец колеса должен входить внутрь цилиндра, а сам цилиндр помещается в промежутке между двумя зубцами, то разница по ширине промежутка и длине зубца должна быть равна двойной толщине стенки цилиндра с прибавлением необходимой свободы для его свободного вращения. Цилиндр с толстой стенкой уменьшает подъемные площадки зубцов и увеличивает разницу между внутренними и наружными радиусами цилиндра.

Ходовое колесо Грагам изготавливал из латуни, цилиндр — из стали, обоймы были медные, в них вставлены стальные цапфы. Ходовое колесо имело выступы в ободе по числу зубцов (рис. 178). Зубцы в виде трехгранных головок закреплены на изогнутых под прямым углом ножках на ободе. Нормально ходовое колесо имеет 15 зубцов, но иногда в малогабаритных наручных часах применяется колесо с количеством зубцов от 13 до 14.

Ось цилиндра одновременно является и осью баланса, так как на ней насажен баланс со спиральной пружиной. Функционирование цилиндрического хода достигается благодаря взаимодействию ходового колеса с цилиндром. Ходовое колесо передает импульс балансу непосредственно (поскольку баланс с цилиндром составляли одно целое). Цилиндровый ход относится к типу ходов, где импульс происходит главным образом на спинке зубца ходового колеса. Наклон импульсной поверхности зубцов ходового колеса составляет от 16 до 18°. При большем наклоне имеет место увеличение поверхности подъема зубца в цилиндре. В этом случае сила пружины может оказываться недостаточной, чтобы часы после завода могли начать ходить без раскачивания, что в карманных и наручных часах совершенно необходимо. При слишком малом наклоне

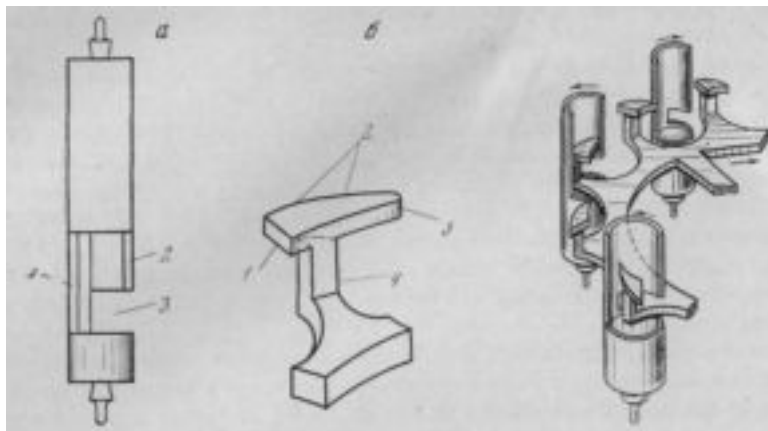


Рис. 177. Цилиндр хода (а) и форма зуба ходового колеса (б)

а: 1 — входная губа, 2 — выходная губа, 3 — проход; б. 1 — пятка зуба, 2 — спинка зуба, 3 — острие зуба, 4 — ножка зуба

Рис. 178. Схема расположения зубцов ходового колеса и цилиндра при работе цилиндрического хода в карманных часах

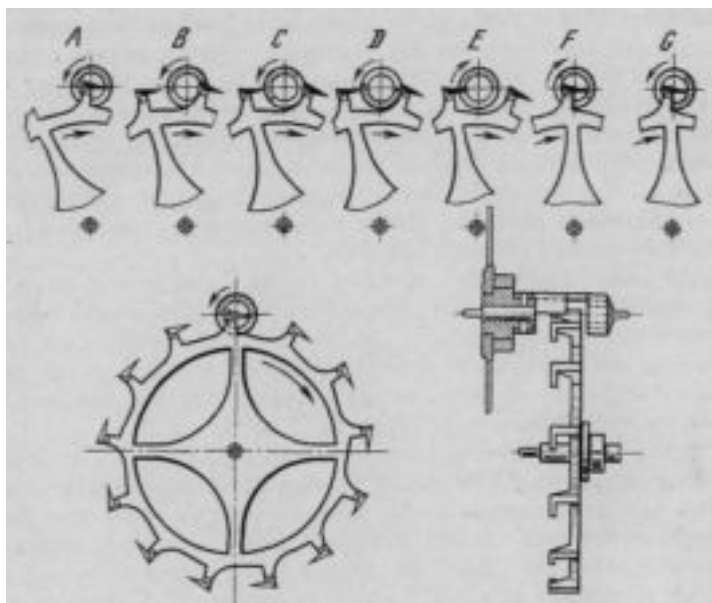


Рис. 179. Диаграмма работы цилиндрического хода

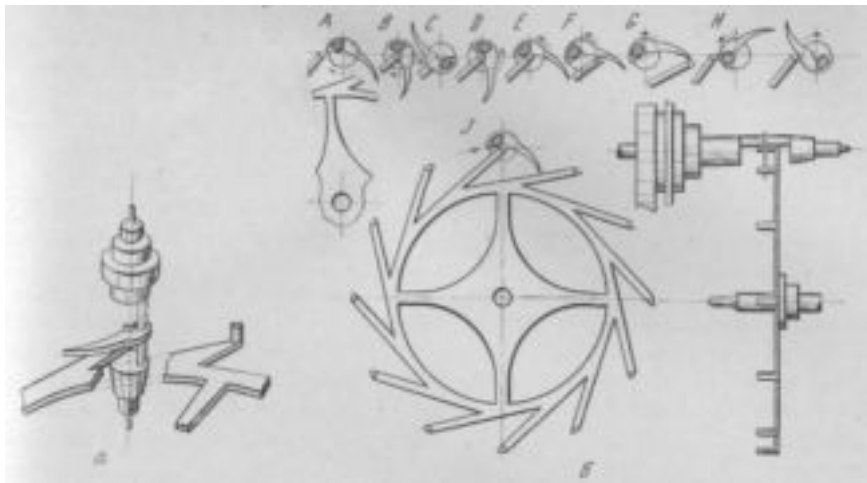


Рис. 180. Схема виргульного хода (а) и цикл работы этого хода (б)

(менее 12°) колесо будет двигаться во время подъема быстрее и терять большую часть механической работы. Потери еще увеличиваются сильными ударами кончиков зубцов колеса при их падении на покой цилиндра, что оказывает тормозящее действие на свободное движение последнего. Однако в малогабаритных наручных часах этот наклон может составить 20° ; в некоторых швейцарских карманных часах большего габарита наклон бывает меньше, чем 16° . Пята зуба подрезана под уклоном в 22° от радиальной линии с тем, чтобы его выступающая часть могла свободно перемещаться внутри полого цилиндра.

При выборе расстояния между осями колеса и цилиндра необходимо выдерживать следующее условие: зубцы по отношению к цилиндру должны иметь возможно меньшую свободу, притом одинаковую как вне, так и внутри цилиндра и во всех зубцах.

Цикл работы цилиндрического хода показан на рис. 179. В положении *A* зуб начинает импульс, в положении *B* заканчивает его. В положении *C* следующий зуб падает на цилиндр, в положении *D* баланс завершает свой размах; в положении *E* зуб начинает входить внутрь цилиндра, сообщая импульс обратного направления. В этом положении энергия импульса поглощена волоском и баланс возвращается в положение *A*.

Амплитуда колебаний цилиндра не превосходит 180° и обычно бывает $150\text{--}160^\circ$; при амплитудах, больших 180° , может произойти заклинивание и поломка хода. Для устранения этого баланс снабжается упорным штифтом, который ограничивает его амплитуду. Цилиндрический ход, подобный ходу Грагама для маятниковых часов, есть ход с покоем без отхода назад ходового колеса, на осуществление которого в шпindelном ходе тратилась значительная часть кинетической энергии баланса.

Цилиндрический ход после усовершенствования его Грагамом и другими часовщиками смог обеспечить большую точность хода карманных часов, нежели шпindelный ход. Открылась возможность изготавливать карманные часы



Бомарше

более плоского калибра, лучше расположив колесную передачу. Немалое значение для последующего применения этого хода имела замена в нем латунного ходового колеса стальным. Хотя казалось разумным применять латунное колесо и стальной цилиндр, так как цилиндр во столько раз больше испытывает контактов, чем зуб, сколько зубцов на колесе, но было обнаружено, что латунное колесо сильно стирает цилиндр. Считается, что Урбан Юргенсон первым применил стальное ходовое колесо, однако имеются указания, что это было уже сделано Томасом Ирншау в 1780 г. и Абрагамом Луи Бреге в начале его деятельности. Мюдж и другие английские часовщики, так же как и Бреге, применяли рубиновые цилиндры, которые при всех их хороших качествах были дороги и очень хрупки. Цилиндровый ход наряду с положительными сторонами имеет и недостатки. Он является несвободным ходом, в нем цилиндр испытывает сильное трение при соприкосновении с зубцами ходового колеса, вследствие чего часы начинают отставать и их часто приходится чинить.

Виргульный ход (ход «запаятая»). В период дискуссий и экспериментов с цилиндрическим ходом во Франции был предложен новый ход, получивший название виргульного. Его изобретателем был знаменитый писатель Бомарше (Пьер Огюстен Карон 1732—1799), автор бессмертных комедий «Севильский

цирюльник» и «Женитьба Фигаро». Особенностью виргульного хода является то, что зубцы ходового колеса имеют форму запятых.

Ход, изобретенный Бомарше, был упрощен и усовершенствован Лепотом и в таком виде получил распространение во Франции (рис. 180). В положении *A* зуб вступает в контакт с кулачком, давая слабый импульс и перемещаясь в полукруглую выемку покоя, в положение *B*. В положении *C* импульс поглощен и волосок баланса переводит его в положение *D*, а затем в положение *E*, где начинается основной импульс, продолжающийся до положения *G*, в котором зуб сходит с кулачка, и следующий зуб падает на внешнюю грань кулачка, в положение *H*, находясь там в покое до окончания размаха баланса (положение *O*) и возвращения его в положение *A*.

Действие хода сходно с работой цилиндрового хода, но здесь импульсы неодинаковы и трение покоя также неодинаково. Внутренняя полуокружность покоя расположена очень близко к оси баланса, и работа сил трения здесь меньше, чем в цилиндре; внешняя окружность покоя также не намного больше, чем в цилиндре. Однако принципиально этот ход не имеет заметных преимуществ перед цилиндровым, а трудности при смазке и ремонте сломанной оси баланса привели к тому, что он был вытеснен цилиндровым ходом и в 1800 г. совершенно оставлен.

Дуплекс-ход. Изобретение этого хода приписывается Роберту Гуку и Иоганну Баптисту Дютертру из Парижа.

Вильям Дергамм описывает ход Гука в своей книге «Искусный часовщик» («The Artificial Clockmaker», 1696) как ход, который имеет два баланса, установленных на отдельных осях и вместе сцепленных, причем один из них регулируется балансовой пружиной. На третьей оси сидит ходовое колесо, которое оказывает чередующиеся действия палет на балансовую ось. Эти три оси установлены в форме равностороннего треугольника. Ход Гука не давал, однако, лучших результатов, чем шпиндельный ход.

Дуплексный ход Дютертра имеет два баланса, сцепленных вместе, один из которых регулируется балансовой пружиной, но действие его было иным: здесь имел место период покоя, а не период отскока.

На рис. 181 приведен дуплексный ход, предложенный в 1725 г. французским часовым мастером Дютертром. Этот ход был с двумя ходовыми колесами. На оси *O* укреплены два колеса: колесо покоя и колесо импульса. Колесо покоя имеет больший диаметр, и зуб ограничен вогнутой кривой; колесо импульса имеет меньший диаметр, и зуб у него ограничен сзади выпуклой кривой. Зубцы колеса работают с одним-единственным зубом импульса на диске *A*. Зубцы же колеса покоя работают с насаженной на одной оси с диском ролькой с вырезом. Баланс с диском *A* и ролькой сидят на одной оси. Импульс диску *A* сообщается зубцами импульсного колеса.

Позднейшая и весьма обычная форма хода дуплекс была основана на изобретении выдающегося французского часовщика Пьера Леруа (1750 г.). Оно заключалось в замене двух колес одним и в совмещении на этом колесе зубцов, которые до того были расставлены на двух колесах. Этот ход в Англии получил некоторое распространение лишь в первой четверти XIX в. Он нашел также применение в так называемых «долларовых» часах, предназначенных для массового производства часовой фирмой «Ватербури» (США). Дуплекс-ход считается теперь устаревшим, но сохранился в некоторых старинных часах.



Рис. 181. Дуплексный ход Дютертра с колесом покая и импульса

1 — ролька с вырезом; 2 — колесо покая; 3 — колесо импульса

Рис. 182. Усовершенствованный дуплексный ход Леруа

1 — зуб покая; 2 — зуб импульса; 3 — импульсный камень; 4 — втулка баланса; 5 — ролька с вырезом

Рис. 183. Рубиновый ролик (а) и импульсная палета дуплексного хода (б)

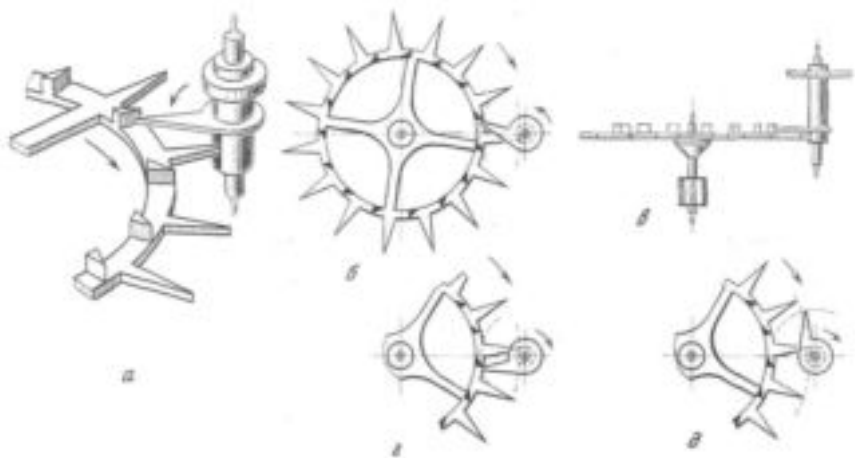


Рис. 184. Взаиморасположение импульсной палеты с импульсным зубом (а —

Интересно, что цилиндрический ход, который был изобретен в Англии, получил применение не в самой Англии, а на континенте Европы, в то время как дуплексный ход, усовершенствованный во Франции, получил наибольшее распространение среди часовщиков Англии. Имя Мак-Кабе, знаменитого часовщика Англии, всегда ассоциируется с успешными результатами, достигнутыми им в применении дуплексного хода в карманных часах. П. Леруа упразднил двухколесную систему; усовершенствованная им форма дуплексного хода показана на рис. 182. В этом ходе ходовое колесо объединяет в себе функции двух колес (колеса покая и колеса импульса), поскольку оно имеет зубцы обоих колес, совмещенных на одном колесе. Нормально ходовое колесо имеет 15 пар зубцов.

Основными частями усовершенствованного Леруа дуплекс-хода являются: ходовое колесо, рубиновый ролик и импульсная палета. Ходовое колесо обычно изготавливается из твердой откованной латуни, но в некоторых случаях применяется колесо из твердой отпущенной стали. На ходовом колесе имеется несколько пар зубцов, которые различаются по форме и расположению: а) зубцы покоя — длинные тонкие и суженные к концу; они простираются в радиальном направлении от обода колеса; б) импульсные зубцы — короткие, треугольной формы, расположенные вертикально над ободом колеса.

Рубиновый ролик является цилиндром небольшого диаметра (рис. 183, а), изготовленным из полудрагоценного камня. В нем имеется очень небольшой вырез такой глубины, какая необходима для беспрепятственного прохода зуба покоя. Ролька своим отверстием насажена на нижний конец оси баланса с легким трением. После насадки ролька приклеивается к оси расплавленным шеллаком. Ролька обычно делается из рубина или сапфира; она должна быть • совершенно круглой и хорошо отшлифованной.

Импульсная палета (рис. 183, б) изготавливается либо из стали, либо из драгоценного камня и представляет собой радиально направленное плечо, установленное на втулке или трубке, которая пригоняется плотно к телу оси баланса над рубиновым роликом, так что может вращаться вокруг оси, если это требуется для регулирования. Импульсная поверхность лежит на линии, проходящей через центр оси баланса.

Ролька работает в контакте с зубцами покоя, а импульсная палета — с зубцами импульса. Во все время движения баланса, за исключением спуска, зуб колеса покоя лежит на рольке и испытывает трение покоя. Импульс передается прямо через импульсную палету при движении баланса влево; вовремя правых движений баланс не получает импульса, так как импульсный зуб, ударив по палете, проскочит дальше и ляжет на покой. Это будут «мертвые» удары. Поэтому дуплекс-ход при любом его устройстве относится к классу ходов с «мертвым» ударом («single beat escapement»). Этим он отличается от цилиндрического хода. Известно, что при цилиндрическом ходе импульс передается балансу при его движении в ту и другую сторону.

Дуплекс-ход имеет сходство с цилиндрическим в том, что они оба являются ходами с трением на покое. При вращении вправо (во время «мертвого» удара) трение в дуплекс-ходе — выходящее и сравнительно небольшое, тогда как при левом (рабочем) колебании зуб колеса стремится вьестись в поверхность ролика (входящее трение).

На рис. 184 дана схема действия дуплекс-хода. В положении *a* вращение ходового колеса происходит как показано стрелкой. Баланс, рубиновый ролик и импульсная палета, сидящие на одной оси, совершают колебания против часовой стрелки. Поскольку баланс колеблется, V-образный вырез рубинового ролика приходит на линию кончика зуба покоя, который входит в этот вырез; вследствие этого ходовому колесу открывается возможность начать совместное вращение с ролькой под влиянием движущих сил. Колесо продолжает вращаться до тех пор, пока зуб покоя не выскользнет из выреза; тогда в пределах $8-10^\circ$, или угла спадения, колесо будет вращаться свободно. Пройдя этот угол, зуб покоя падает на поверхность ролика или будет находиться на трении покоя в течение завершения колебания баланса, происходящего по дуге против часовой стрелки. Этот покой едва заметно нарушается при встре-

че импульсного зубца с вырезом ролика небольшим обратным толчком и «мертвым» ударом.

Импульс подается балансу, когда он начнет свое колебание в обратном направлении или по часовой стрелке — в одну сторону с ходовым колесом (положения *в* и *г*). На рис. 183 показано взаиморасположение импульсной палеты с импульсным зубом при подаче импульса. Угол импульса 35° , т. е. угол, при котором повернется импульсная палета во время контакта с импульсным зубом. Наклон передней грани импульса к радиусу составляет 24° . Для обеспечения точного функционирования хода необходимо обеспечить строго фиксированное взаиморасположение импульсной палеты и рольки, импульсной палеты относительно стенки выреза рольки. Импульсная палета должна быть так расположена относительно выреза рубинового ролика, чтобы она была немного впереди импульсного зуба в момент, когда зуб покоя выходит из выреза рольки. Длина импульсной палеты должна быть такой, чтобы она могла проходить между соседними ближайшими импульсными зубцами ходового колеса, в то время когда зуб покоя находится на цилиндрической поверхности рубинового ролика.

Этот ход, более чем какой-либо другой, требует весьма высокого мастерства исполнения. Ходовое колесо должно быть аккуратно собрано из своих составных частей и установлено совершенно правильно; рубиновый ролик должен надежно устанавливаться концентрично к его оси, а его поверхность и вырез на нем должны быть хорошо отполированы. Глубина выреза ролика должна быть такова, чтобы зуб ни в коем случае не задел выреза, и, с другой стороны, не слишком велика, чтобы это не повредило прочности рольки. Если от конца зуба до дна выреза ролика остается зазор, равный ширине зуба, этого более чем достаточно.

Достоинством дуплексного хода П. Леруа является то, что он сравнительно прост и требует лишь небольшого количества масла для смазки рольки, чтобы смягчить трение покоя. С хорошим балансом, компенсированным на температуру и правильно уравновешенным, и со спиралью с концевыми кривыми удалось получить почти столь же хорошие хода часов, как и со свободным анкерным ходом.

К недостаткам этого хода относится: 1) необходимость тщательной полировки рольки; в осях должен быть минимально возможный люфт, в противном случае в осях значительно увеличивается трение, особенно при левом (рабочем) ходе; 2) наличие тонкой и длинной оси, на которой сидит ролька; 3) чувствительность к внешним толчкам и сотрясениям. При внешних толчках или сотрясениях часы могут или останавливаться, или получить увеличение амплитуды. Остановка обычно происходит в момент получения балансом «мертвого» удара. Это устраняют путем встряхивания часов в плоскости баланса.

История применения свободного анкерного хода в карманных и наручных часах

В настоящее время в карманных и наручных часах наибольшее применение имеет свободный анкерный ход, изобретенный Томасом Мюджем в 1754 г. В основу его был положен несвободный анкерный ход, примененный его учителем Георгом Грагамом в маятниковых часах. Свободный анкерный ход усту-

падет по точности только хронометровому ходу, изобретенному на основе несвободного дуплексного хода. При хронометровом ходе, как и при дуплекс-ходе, импульс подается один раз за полное колебание баланса; при свободном анкерном ходе этот импульс подается при колебании баланса в том и другом направлении не прямо, как в цилиндрическом и дуплекс-ходе, а посредством вилки, как в маятниковых часах с несвободным анкерным ходом Грагама.

Применение в балансовых часах вилки для передачи импульса явилось важным изобретением Мюджа в области хронометрии. Это открыло возможность преодолеть имевшиеся до того трудности для применения маятниковых ходов, приспособленных для работы с ограниченной амплитудой, в балансовых часах, работающих с большой амплитудой. Томас Мюдж вышел из этого затруднения путем введения передачи между якорем и балансом, но такую передачу, которая действовала только во время импульса, а во время прохождения балансом дополнительных дуг никакой связи между балансом и спусковым механизмом нет. Этим объясняется существенная разница в конструкции между ходом Грагама и свободным анкерным ходом Мюджа. В маятниковых часах вилка и маятник совершают свое колебание на одной оси под одним и тем же углом, чего нельзя добиться в свободном анкерном ходе, поскольку центры колебания анкера и баланса находятся в отдалении друг от друга. Эллипс и вилка — две захватывающие одна другую части анкерного хода — при совместном движении образуют два пересекающихся круга. Связь этих двух частей анкерного хода происходит в те моменты, когда они находятся в районе пересечения дуг кругов, описываемых каждым из них. При движениях, выходящих за эту точку, баланс находится вне всякой связи с остальными частями хода; он совершает свое колебание совершенно свободно и только при возвратном движении опять на мгновение приходит в связь с вилкой, получая вновь импульс. Баланс с анкерным ходом может делать вращение по полному обороту в каждую сторону, т. е. вдвое больше, чем баланс с цилиндрическим ходом. Таким образом, применение анкерного хода, в отличие от грагамовского, обеспечивает свободное колебание баланса, т. е. баланс в течение значительной части своего движения не испытывает какого-либо воздействия от спускового регулятора, так как он разъединен с балансом, но вступает с ним во взаимодействие на мгновение для освобождения ходового колеса и передачи импульса. Отсюда происходит английское название этого хода *detached lever escapement* — свободный анкерный ход.

До Мюджа было несколько безуспешных попыток решить эту проблему. Тем не менее с исторической точки зрения не лишне указать на применение для этой цели секторного анкерного хода для передачи движения балансу от скобки при помощи такого механизма, который позволял увеличивать в значительной мере угол колебания баланса при сравнительно небольших углах поворота анкерной скобки.

Секторный анкерный ход. В 1722 г. физик и механик из Орлеана аббат Д'Отфей (1647—1724) опубликовал описание хода, в котором на оси баланса имелся триб, находящийся в зацеплении с зубчатым сектором, закрепленным на одной оси с анкером. Этот ход (рис. 185) интересен в том отношении, что он существенно отличается от применявшихся до него традиционных типов спускового устройства. Рычаг 5, выступающий над палетой 6, имеет на одном конце сектор 3 с зубчатым зацеплением. Последний находится в зацеплении

с трибом 2, который составляет одно целое с осью баланса. Ходовое колесо 8 передает импульс палете, а отсюда через рычаг 5 — зубчатому сектору, который действует на балансовую ось и вызывает колебание баланса 1. Рычаг 5 выступает другим своим концом также за пределы палеты в виде противовеса 7. Два упорных штифта 4 на верхней пластине ограничивают движение рычага, с тем чтобы зубчатый сектор при своем вращении не мог выйти из зацепления с балансовой осью триба. Баланс, находясь в непрерывной связи с зубчатым сектором через триб, естественно, не мог иметь свободных колебаний даже на дополнительной дуге. Поскольку зацепление зубчатого сектора с трибом не может быть нарушено какими-либо внешними воздействиями удара или вибрации, то отпадает необходимость предохранительных устройств и притяжки.

Секторный анкерный ход был запатентован в Ливерпуле (Англия) в 1791 г. Петером Ливерландом. С таким ходом было изготовлено много механизмов под названием «шестерня и гребенка», или «гребенчатый анкер».

Некоторые считают, что современный анкерный ход мог быть результатом эволюции секторного хода, выразившейся в удалении всех зубцов сектора, кроме двух, и всех зубцов триба, кроме одного. Эта мысль совершенно ошибочна, она могла быть навеяна ходом, показанным на рис. 186. Ход был запатентован в Англии около 1814 г. Эдвардом Мэсси (1770—1852). В этом

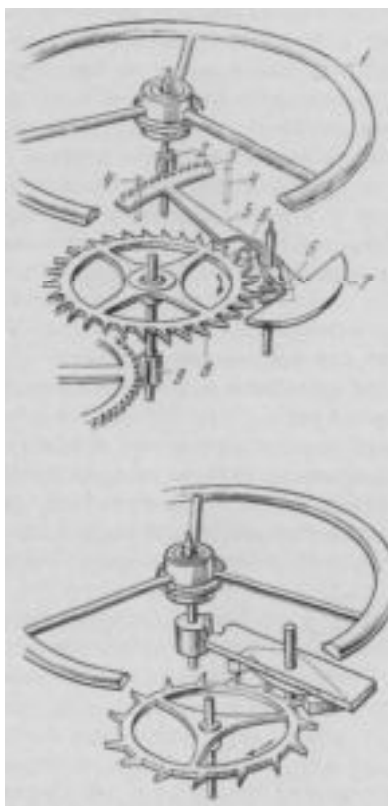
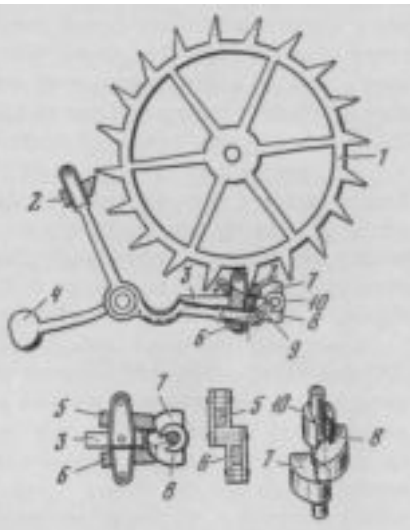


Рис. 185. Секторный анкерный ход

Рис. 186. Анкерный ход Мэсси 1814 г.

Рис. 187. Первый свободный анкерный ход Мюджа для карманных часов



спусковым устройстве ход балансира ограничен прорезом в прямоугольном стержне на одном из его концов, который сцепляется с единственным зубом, выступающим за периферию круга маленького ролика, укрепленного на оси баланса; через этот ролик импульс передается балансу.

Первый свободный анкерный ход в исполнении Томаса Мюджа (рис. 187) был применен в часах, изготовленных им в 1754 г. для супруги короля Георга III Шарлотты. Эти часы находятся теперь в Виндзорском замке.

Ходовое колесо из стали имеет 20 зубцов; по внешнему виду и по форме зубцов оно такое же, какое имеется в ходе Грагама для маятниковых часов. Палеты 2 обхватывают $4\frac{1}{2}$ зубца по окружности ходового колеса. Они сделаны из сапфира и вставлены в опору после соответствующей отрегулировки на одном из палетных плеч. Рычаг 3 установлен на палетной оси и составляет прямое продолжение входа и выхода палеты, так что он находится на более низком уровне, чем палеты. У одного конца он имеет противовес 4. Два драгоценных камня 5 и 6, вставленные в оправу и соответственно отрегулированные, образуют разветвление. Они установлены на различной высоте (уровне), так что каждый может действовать на один из двух кулачков (7 и 8), соединенных вместе. Кулачки заменяют, или, что то же, выполняют функции двойной рольки, получившей распространение в современных часах со свободным анкерным ходом. Предохранительный штифт 9, имеющий форму изогнутых плеч, прочно прикреплен к палетам и действует на малый ролик 10, установленный на балансовой оси.

При вращении баланса один из кулачков контактирует со своим камнем и двигает рычаг, чтобы отключить спуск. Сразу же второй камень другого разветвления сцепляется с другим кулачком, который дает балансу импульс. Цикл повторяется; сначала один кулачок выполняет функцию отключения хода, а другой подает балансу импульс, затем функции у них и камней меняются на обратные.

Мюдж является не только изобретателем одного из первых свободных анкерных ходов, но, кроме того, он высказывал ряд других идей, новых в то время, но широкое применение получивших только теперь; таковы, например, его идеи о сдвоенном ролике безопасного действия и о палетах, изготовленных всецело из драгоценных камней, вставленных в оправы. Хотя сам Мюдж изготовил только двое карманных часов с этим ходом, но от его изобретения ведут свое начало все современные свободные хода, используемые теперь почти во всех карманных и наручных часах. Мюдж справедливо считал изобретенный им ход слишком трудным в изготовлении и применении и не пытался найти возможность для распространения своего изобретения.

Анкерный свободный ход из всех ходов, применяемых в карманных часах, бесспорно занимает первое место, но требует чрезвычайной аккуратности в исполнении. Часы с несовершенным цилиндрическим ходом кое-как еще могут выполнять свое назначение, но механизм с несовершенным анкерным ходом непригоден. Следовательно, применение анкерного хода в карманных часах предполагает довольно высокий уровень развития технологии часового производства. Отсутствие этого необходимого условия в начале появления анкерного хода задержало на весьма продолжительное время его широкое применение и потому же он долго не был оценен по достоинству. Оборудование часовых предприятий было недостаточно совершенным, а у рабочих не было должных навыков для обеспечения нужной точности. Кроме того, в ранней

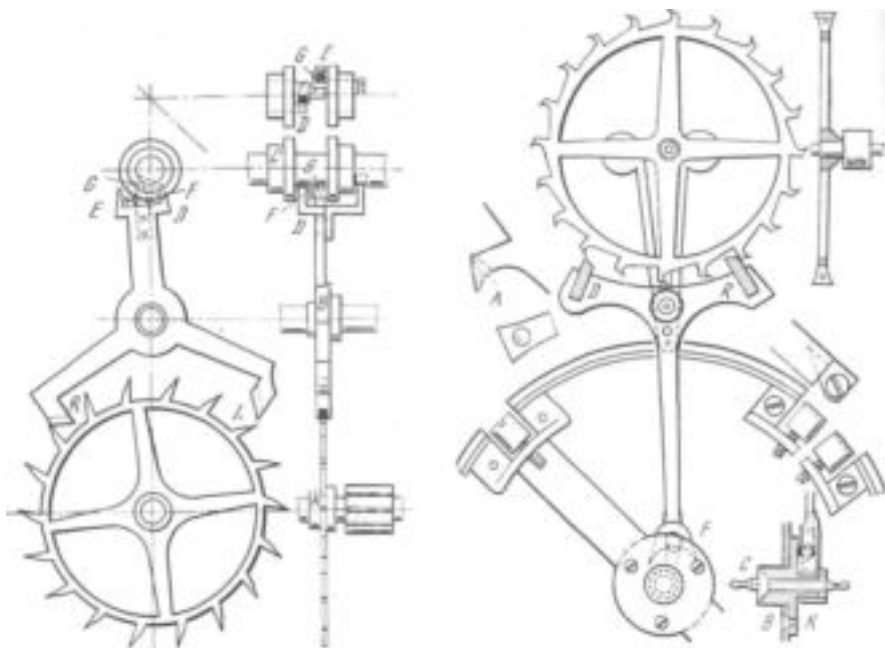


Рис. 188. Свободный анкерный ход Эмери для карманных часов

ED — двузубец; *в, F* — импульсные штифты; *R, L* — рубиновые палеты; *A, B, C* — линии разрезов

Рис. 189. Свободный анкерный ход Бреге для карманных часов

A — зуб с утолщением на конце; *CBK* — разрез притяжки; *D, R* — палеты; *F* — вилка ролькой

конструкции анкерного хода имела весьма существенная техническая недоработка, которая также немало задержала ее распространение. В ней не предусматривалось применение притяжки — весьма необходимого условия для правильной работы анкерного хода в карманных и наручных часах.

Притяжка была изобретена в конце XVIII в. и впервые появилась в Англии в карманных часах Эмери (рис. 188), но получила всеобщее распространение с 1825 г. благодаря французскому часовщику Жоржу Лешо (1800—1884), внесшему существенные усовершенствования в конструкцию анкерного хода. Конструкция анкерного хода Мюджа (по типу Грагама) имела палеты с цилиндрическими поверхностями покоя. Лешо заменил их плоскими поверхностями и расположил палеты под некоторым наклоном, что создавало угол притяжки. Благодаря этому вилка во время хода часов прижимается то к правому штифту, то к левому и тем самым баланс получает свободу колебания. Это сделало анкерный ход безупречным и обеспечило ему широкое распространение.

Изобретения Мюджа долго не имели надлежащего использования, пока Георг Севедж, знаменитый часовщик из Лондона, вместе с братом не привели



Абрагам Луи Бреге

оригинальные идеи Мюджа к более современному виду — к классическому типу английского анкерного хода. С 1830 г. этот ход получает в Англии значительное применение в карманных часах, после чего они стали изготавливаться во все больших количествах и более удовлетворительного качества, чем часы с цилиндровым и дуплекс-ходом, которые в то время также изготавливались, в Англии, но в небольших количествах.

Первый тип свободного анкерного хода, занявший прочное положение в коммерческом мире, был английский анкерный ход с заостренными зубьями, который будет рассмотрен ниже. Этот ход вскоре сделался стандартным для английских карманных часов.

Дальнейший прогресс в устройстве свободного анкерного хода был достигнут в Швейцарии около 1840 г. Здесь появился ход с утолщенным на конце зубом (рис. 189). Данный ход был более прочным, чем английский ход с заостренным зубом; он имел и другие преимущества. По-видимому, этот швейцарский ход в карманных часах впервые был применен выдающимся часовщиком Бреге. Теперь почти каждый свободный анкерный ход в точных переносных часах снабжен зубом с утолщенным концом. Бреге, кроме того, в своей конструкции часов применил устройство, называемое притяжкой.

Хотя первый свободный анкерный ход Мюджа был снабжен «сдвоенной» ролькой особого типа, позднейшие типы свободного анкерного хода в Англии были уже с одной-единственной ролькой; в настоящее время снова вошла в употребление двойная ролька, впервые примененная, по видимому, Бреге.

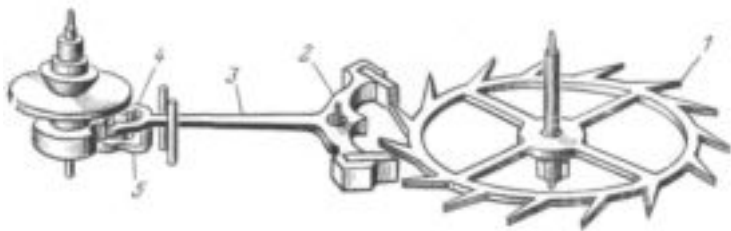


Рис. 190. Английский свободный анкерный ход

В 1865 г. Роскопфом для массового выпуска дешевых карманных часов был применен штифтовый анкерный ход, который и до сих пор не вышел из употребления.

Английский свободный анкерный ход. Этот ход получил название английского ввиду того, что ходовое колесо снабжено английским зубом, т. е. острым, с очень небольшой фаской (рис. 190). Его основные части: 1) ходовое колесо, 2) якорь (анкер), 3) вилка, 4) колонштейн (эллипс), 5) предохранительное приспособление.

Ходовое колесо здесь имеет 15 зубцов. Расстояние между концами двух зубцов составляет 24° . Якорь (анкер) чаще всего охватывает 2,5 зуба: Угол обхвата анкера, таким образом, составляет $2,5 \cdot 24 = 60^\circ$.

Анкер жестко крепится с вилкой посредством винтов. Вилка снабжается противовесом для уравнивания ее веса и приведения центра тяжести якоря и вилки к оси их вращения. Конец вилки оканчивается рожками, охватывающими эллипс (импульсный камень), укрепленный на роляке. Эллипс имеет вид колонки (его часто называют колонштейном) и изготавливается из камня; он передает импульс балансу, а потому называется также импульсным камнем. Еще он называется предохранительным штифтом, потому что исключает возможность случайных остановок хода из-за перехода вилки в другое положение. В английском ходе чаще всего используется простая, а не двойная ролька. Ролька вместе с предохранительным штифтом тоже выполняет предохранительные функции. Ее насаживают на ось, а поверх насаживают втулку, на которой укрепляется баланс и резервная ролька спиральной пружины.

Якорь изготавливается из стали обычно из одного куска, а те места, куда попадает и по которым скользит зуб ходового колеса на обеих палетах, вырезаются насквозь, и в образовавшиеся углубления вставляются соответствующим образом отшлифованные и отполированные куски рубина или сапфира. Якорь имеет палеты — входную и выходную.

Существенным в английском ходе является то, что импульс передается целиком палете анкера.

Действие английского анкерного хода складывается из: а) прохождения балансом дополнительной дуги в одном и другом направлении от положения равновесия, когда он совершает свободные колебания, будучи несвязанным с вилкой; б) момента освобождения зуба ходового колеса из-под палеты; в) момента передачи импульса и падения ходового колеса на покой.

После того как эллипс выходит из прорези вилки, баланс большую часть своего пути совершает свободно, не будучи связан с анкерной вилкой; в это

время ходовое колесо и вилка неподвижны, как и все остальные детали часового механизма, кроме системы баланс—спираль. Но при своем обратном движении, когда баланс достигает положения равновесия и имеет наибольшую скорость движения, эллипс снова попадает в вырез вилки при условии, что сохранилось положение вилки без изменения, т. е. в том положении, в каком она находилась в момент выхода эллипса из выреза вилки. Легче ограничить, движение вилки вперед, чем назад. Удержание анкера в установленном положении достигается лишь силой ходового колеса, когда плечи анкера под давлением зуба будут притягиваться к колесу. Для надежного удерживания анкера необходимо иметь вместо цилиндрических плоские поверхности покоя палеты и расположить палеты под некоторым углом к радиусу колеса, чаще под углом 12° . Это и будет углом притяжки. Назначение притяжки заключается также в отведении предохранительного штифта от рольки в такой мере, при которой не будет трения штифта о боковую поверхность рольки, чтобы, не мешать свободным колебаниям баланса.

Сила, которую нужно приложить к палете, чтобы выдернуть ее из-под зуба, носит название силы освобождения. Когда эллипс (импульсный камень) при прохождении балансом положения равновесия попадает в вырез вилки и производит удар о стенку выреза, он тем самым сообщает вилке скорость. Вилка в свою очередь посредством палеты производит удар о зуб колеса. Под влиянием скорости, полученной при ударе, ходовое колесо теряет контакт с палетой и начинает отход назад. Величина этого отхода зависит от угла покоя С (или, как иногда говорят, от глубины хода) и от угла притяжки. Для того чтобы зуб ходового колеса вышел из покоя, анкер должен повернуться на угол $1\frac{1}{2}^\circ$, а противоположная плоскость покоя под таким же углом вступить в окружность колеса. На это баланс затратит часть приобретенной им во время движения кинетической энергии.

После освобождения зуб анкерного колеса переходит с плоскости покоя на плоскость импульса. Рис. 191, а изображает тот момент, когда зуб *a* ходового колеса только что начал скользить по импульсной плоскости входной палеты. За время прохождения острием зуба от начала плоскости импульса до ее конца ходовое колесо поворачивается на некоторый угол, называемый углом импульса на палете. Соответствующее движение вилки составляет подъем вилки на палете. Сумма углов, проходимых вилкой при подъеме на палете и на зубе, называется подъемом вилки.

При импульсе якорь поворачивается на $8\frac{1}{2}^\circ$ из которых 3° приходится на зуб и $5\frac{1}{2}^\circ$ на палету. Весь подъем будет $1\frac{1}{2}^\circ$ покоя и $8\frac{1}{2}^\circ$ импульса, всего 10° . Движение ходового колеса за каждый такой подъем происходит под углом 12° , что составляет половину угла обхвата $2\frac{1}{2}$ зубцов анкером. На рис. 191, б зафиксировано мгновение, когда зуб *a* спадает с импульсной входной палеты. и падает на покой выходной палеты, а зуб и приближается к импульсной палете. Угол поворота анкерного колеса с момента окончания импульса и падения зуба на плоскость покоя называется углом падения. Угол падения составляет 3° у английского и $1^\circ 30''$ у швейцарского ходов.

Передача импульса и падения ходового колеса происходит дважды за полный период колебания баланса, и каждый раз анкерное колесо поворачивается на половину углового шага.

Чтобы зуб ходового колеса и прилегал к плоскости покоя палет только, своим кончиком, передний его бок должен иметь по отношению к радиусу ко-

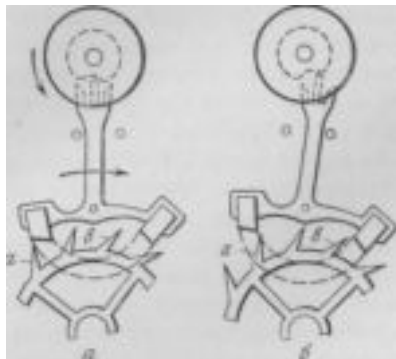
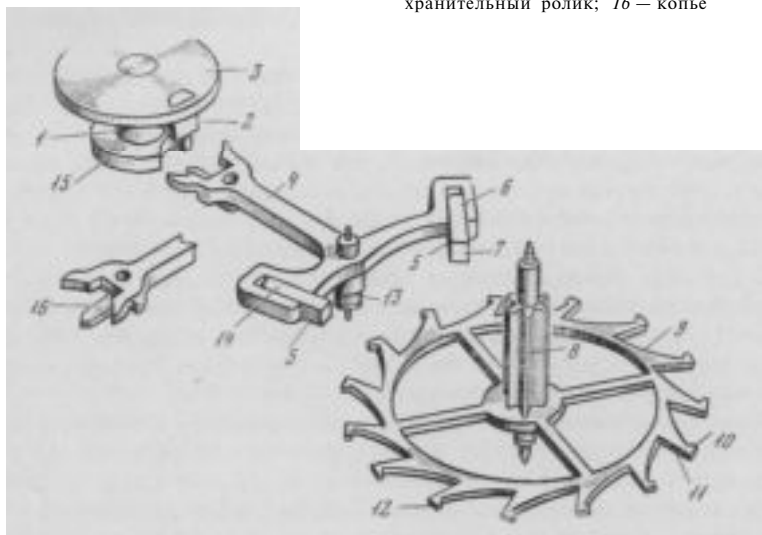


Рис. 191. Схематическое изображение действия английского анкерного хода при прохождении им угла импульса и падения

Рис. 192. Основные части швейцарского хода

/ — двойной ролик; 2 — эллипс; 3 — импульсный ролик; 4 — анкерная вилка; 5 — плоскость покоя палеты; 6 — выходная палета; 7 — плоскость импульса палеты; 8 — триб анкерного колеса; 9 — анкерное колесо; 10 — пятка зуба; 11 — острие зуба; 12 — плоскость импульса на зубе; 13 — ось вилки; 14 — входная палета; 15 — предохранительный ролик; 16 — копы



леса наклон по крайней мере в 24° . Зубцы ходового колеса должны быть очень тонкими, чтобы анкер мог беспрепятственно попадать в промежутки зубца ходового колеса. Ходовое колесо с тонкими и острыми зубцами, конечно, легко подвергается износу и повреждению. К недостаткам этого хода относятся также тяжелые и широкие палеты, изготавливаемые как одно целое с якорем, и технологические трудности, связанные с изготовлением острых зубцов ходового колеса. Именно в перечисленных недостатках заключается причина того, что английский анкерный ход не получил широкого распространения.

Швейцарский анкерный ход. В наручных и карманных часах этот ход имеет наибольшее применение. Он получил значительное распространение вместо английского анкерного хода.

Ходовое колесо имеет 15 зубцов; они значительно отличаются от зубцов ходового колеса, используемого в английском ходе; зубцы в швейцарском ходе не заострены. Основные части швейцарского свободного анкерного хода представлены на рис. 192.

Якорь и вилка в швейцарском ходе большей частью изготавливаются из цельного материала, хотя это и не обязательно. Якорь снабжен входными и выходными палетами. Анкерная вилка имеет вырез (паз) для эллипса, около которого расположены рожки вилки. Внутренние поверхности рожков выполнены по двум окружностям равного радиуса. Для предохранения часов от возможных остановок из-за перехода вилки в другое положение ход снабжается предохранительной ролькой и копьём. Копьё, изготавливаемое из твердой латуни, прочно запрессовано и расклепано в отверстие хвоста вилки.

В швейцарском анкерном ходе чаще всего используется двойная ролька: одна, большая — для импульса и другая, меньшая — для предохранения от случайного переброса вилки. На одной и той же рольке эти две функции одновременно несовместимы. Двойная ролька изготавливается из латуни или стали и плотно напрессована на ось баланса. В импульсной рольке запрессовывается эллипс. Эллипс, как и палеты, изготавливается из рубина.

Опорами оси баланса служат камневые подшипники, состоящие из сквозных и накладных камней. Края отверстий в камнях, а также концы (цапфы) оси закруглены для уменьшения трения.

Работа швейцарского анкерного хода дана на рис. 193 (положения /—VI).

I. В момент прохождения балансом дополнительной дуги против часовой стрелки от его крайнего положения до начала взаимодействия с анкерной вилкой (*a*).

II. Когда баланс при своём свободном движении достигает положения равновесия и, имея максимальную скорость, вводит в вырез анкерной вилки эллипс.

III. Положение анкерного хода к концу освобождения. Угол поворота анкерной вилки во время освобождения называется углом освобождения, или полным углом покоя. После перехода с плоскости покоя на плоскость импульса входной палеты начинается передача импульса (момента) с анкерного колеса через вилку на баланс.

IV. Когда зуб колеса скользит по плоскости импульса палеты и передает момент на анкерную вилку, поворачивая ее на определенный угол.

V. После окончания импульса и до падения зуба на плоскость покоя.

VI. В момент покоя на выходной палете. Баланс движется совершенно свободно к правому крайнему положению (*b*), проходя второй дополнительный угол, так как эллипс вышел из выреза вилки якоря и всякое соединение якоря с балансом прервалось.

При возвращении баланса из крайнего правого положения цикл работы спуска повторяется, но уже на выходной палете, и за полный период колебания анкерное колесо повернется на один зуб. Таким образом, за полный период колебания баланса передача импульса и падение анкерного колеса происходят дважды, и каждый раз анкерное колесо поворачивается на половину углового шага. Следовательно, анкерное колесо вращается прерывисто, скачками.

Анкерные хода разделяются в зависимости от положения плоскостей покоя и плоскостей импульса по отношению к оси вилки на неравноплечие, или равнопокойные, на равноплечие, или равноимпульсные, и смешанные. Различное взаимное расположение палет при этих ходах приводит к некоторому различию в характере импульсных кривых, моментов импульса и моментов освобождения. В неравноплечем ходе условия освобождения одинаковы на обоих

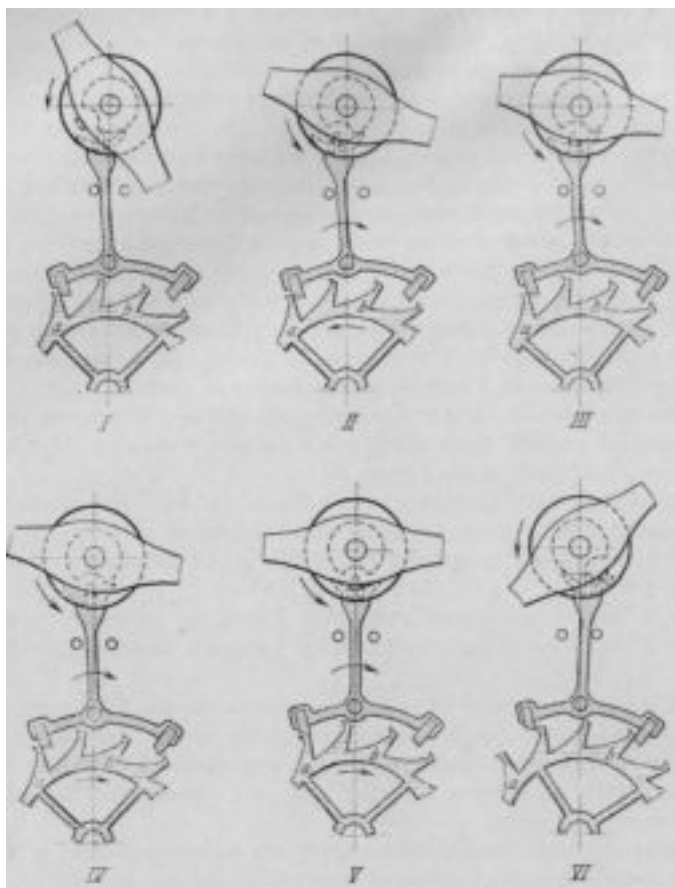


Рис. 193. Работа швейцарского анкерного хода

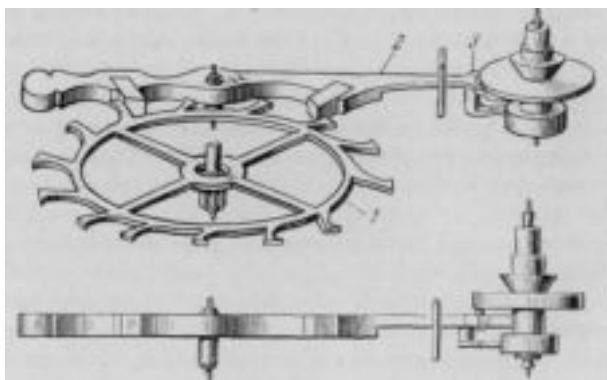


Рис. 194. Боковой швейцарский анкерный ход

палетах, и поэтому он называется равнопокойным; в равноплечих и смешанных ходах нельзя обеспечить это условие. В равноплечих ходах середины плоскостей импульса палет равноудалены от оси вилки, поэтому данный спуск можно назвать равноимпульсным.

В рассмотренных выше конструкциях английского и швейцарского анкерных ходов ось ходового колеса, ось якоря и ось баланса расположены по прямой линии. Поэтому такой анкерный ход называют прямым ходом, или ходом с прямым положением вилки. Однако иногда в механизмах эти три точки располагаются иначе. Прямая, проходящая через ось якоря и ось колеса, с прямой, соединяющей ось якоря с осью баланса, образует прямой угол. В этом случае анкерный ход называют боковым. Прямой анкерный ход применяется в лучших швейцарских часах, а боковой анкерный ход применяется в английских и швейцарских часах низкого качества.

На рис. 194 изображен боковой ход, который подобен прямому швейцарскому ходу. Части механизма здесь остаются те же, что и у швейцарского хода, однако якорь несколько отличается — имеет противовес для уравнивания вилки.

В кинематическом отношении прямой и боковой хода одинаковы. В боковом ходе ходовое колесо 1 с якорем 2 и вилка с колонштейном 3 являются независимыми и отдельными механизмами, однако это не меняет принцип их действия.

Боковой ход в часах низкого качества стали применять потому, что при нем кончики осей и осевые отверстия срабатываются несколько меньше, чем при прямом ходе. Это позволяет применять более дешевые материалы, что снижает стоимость часов. Следует также отметить, что боковой ход занимает меньше места, что позволяет уменьшить габариты часов.

Штифтовый анкерный ход. Штифтовый ход для маятниковых часов, описанный выше, не следует смешивать с ходом со штифтовыми палетами, предназначенными для балансовых часов. Этот ход в карманных часах был применен Георгом Фредериком Роскопфом около 1865 г. и впервые появился на Парижской выставке 1867 г. Обычно этот штифтовый ход относят к типу свободных ходов, предназначенных для применения в карманных и наручных часах. Однако ход со штифтовыми палетами по своему качеству во всех отношениях уступает всем другим типам свободных ходов и имеет несравненно более ограниченную область применения; он используется только в дешевых карманных или наручных часах массового изготовления. Часто ход со штифтовыми палетами выдают за ход Роскопфа, но это не совсем правильно. Этот ход не может считаться изобретением Роскопфа, его заслуга заключается лишь в том, что он сумел удачно объединить в созданной им конструкции хода механические изобретения, сделанные другими, и организовать массовое изготовление дешевых карманных часов с этим ходом.

Роскопф применил в карманных часах простейшие и экономичные в изготовлении детали и узлы; немало он потрудился над усовершенствованием технологии массового их производства.

Большинство карманных и наручных часов с ходом со штифтовыми палетами не являются собственно камневыми часами, хотя в современной практике и имеется тенденция снабжать их двумя, четырьмя или пятью камнями: первые два камня — для опор балансовых осей, следующие два — как кончики осей (end stones); иногда, хотя и редко, применяют камневые штифты. Меж-

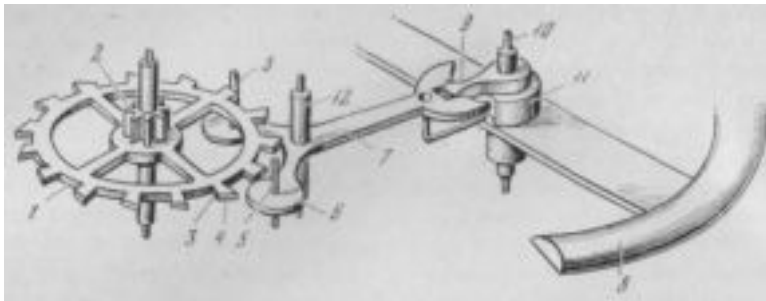


Рис. 195. Штифтовый анкерный ход с прямым расположением вилки

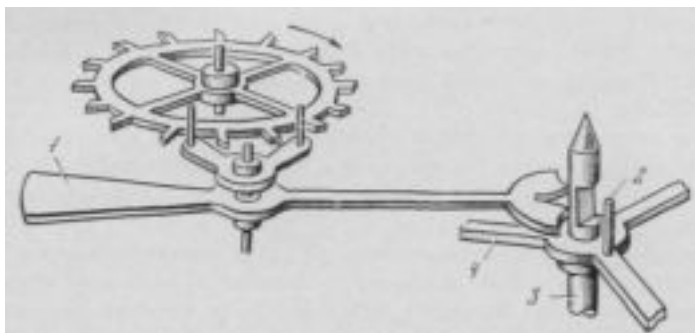


Рис. 196. Штифтовый ход с расположением анкера сбоку

1 — противовес; 2 — колонштейн; 3 — ось баланса; 4 — спицы баланса

ду тем во всех вращающихся опорах в плоскости подшипников имеет место трение, а следовательно, быстрый износ деталей, вращающихся в опоре.

Ход со штифтовыми палетами широко применяется не только в дешевых карманных и наручных часах, но и в будильниках, изготовление которых также имеет массовый характер. В этом случае штифтовый ход стоит вне конкуренции.

На рис. 195 представлен штифтовый анкерный ход с прямым расположением вилки. Двигатель через посредство колесной системы, оканчивающейся трибом 1, передает вращательный момент ходовому колесу 2, которое стремится вращаться в направлении стрелки. Ходовое колесо снабжено зубцами, имеющими форму неправильного четырехугольника: зуб спереди ограничен плоскостью покоя с наклоном к радиусу под углом 16—20°, сверху — наклонной плоскостью импульса, а сзади — плоскостью, параллельной следующему зубу. Особенностью штифтового хода является то, что здесь плоскость покоя 3 и плоскость импульса 4 лежат полностью на зубе, тогда как в английском анкерном ходе они лежат на палете, а в швейцарском плоскость импульса распределена между зубом и палетой.

Якорь 6, представляющий одно целое с вилкой 7, вращается на оси 12. При каждом колебании баланса 8 импульсный штифт 9, запрессованный снизу баланса перпендикулярно к плоскости якоря, входит в вырез вилки и пере-

кладывает ее из одного крайнего положения в другое, при этом штифты 5 якоря пропускают ходовое колесо на половину шага. При повороте ходового колеса на половину шага зуба колесо своей плоскостью импульса толкает штифт, передающий через систему якорь — вилка балансу импульс, поддерживающий его колебание. Спираль (волосок) 10 внутренним концом закреплена в рольке, посаженной на ось баланса, наружным — в колодке, установленной в мостике. На рычаге сделан U-образный изгиб, между вертикальными стенками которого пропущен наружный виток волоска; при повороте рычага меняется действующая длина волоска, что вызывает изменение периода колебания баланса. Якорь может быть отдельной и самостоятельной деталью и не составлять единого целого с вилкой. Такой якорь употребляется тогда, когда вилка расположена сбоку анкера. В этом случае вилка дополняется противовесом веслообразной формы (рис. 196).

Если амплитуда колебания баланса будет больше, чем $\frac{3}{4}$ оборота, то колонштифт упрется в боковой рог, при этом получится мягкий удар, так как вилка слегка пружинит.

Штифтовый ход в смысле точности и постоянства несколько не хуже английского и швейцарского анкерных ходов. К его недостатку следует отнести недолговечность. Часы со штифтовым ходом раньше изнашиваются.

Глава III

ИСТОРИЯ ХРОНОМЕТРА

За великими географическими открытиями в конце XV — первой половине XVI в. началась эпоха колониальных завоеваний, колониальной торговли и дальних океанических плаваний в больших масштабах. К. Маркс, характеризуя особенности экономики Западной Европы XVI—XVII вв., отметил, что «торговля и судоходство расширились быстрее, чем мануфактура, игравшая второстепенную роль: колонии начали приобретать значение крупных потребителей; отдельные нации в длительных битвах делили между собой открывавшийся мировой рынок. Этот период начинается законами о мореплавании и колониальными монополиями» [2, 58].

После перемещения мореплавания с замкнутого Средиземного моря в открытый Атлантический океан жизненно важной становится проблема обеспечения безопасности дальних океанических плаваний. Этого нельзя было добиться без умения точно определять широту и долготу — основные координаты местонахождения корабля в океаническом пространстве. Широту места могли удовлетворительно определять еще до XVI в. по высоте полюса над горизонтом; долготу же с необходимой точностью не умели определять даже в XVII и XVIII вв., несмотря на то что все европейские страны, связанные с колониальной торговлей и мо-

реходством, настойчиво стремились разрешить эту проблему. В целях стимулирования изобретательской работы в этом направлении Португалия и Испания в XVI в., Нидерланды — в XVII в., Англия и Франция — в XVIII в. объявили крупные награды за удачное решение проблемы определения долготы.

В 1714 г. английский парламент утвердил билль (закон), определивший премии в 10, 15, 20 тыс. фунтов стерлингов в зависимости от точности определения долготы. Наибольшая награда назначалась за определение долготы с погрешностью в $\frac{1}{2}^0$, или 30 миль, за время плавания в Вест-Индию и обратно. Такой крупной награды за решение подобной проблемы до этого никем не предлагалось. Для принятия и рассмотрения предложений по этому закону было создано Бюро долготы, в которое вошли выдающиеся ученые — Ньютон, Самуил Кларк, Уитстон.

Глубокий и все возрастающий интерес к определению долготы в правительственных кругах Англии и Королевского общества, крупные награды за его удачное решение сильно поощряли изобретательскую и научную мысль.

В итоге наметились два способа определения долготы: один — механический, с применением часов, другой — с применением средств и методов астрономии.

Механический способ определения долготы с помощью часов был указан еще в 1510 г. испанцем Санто Крусом. Его идея была повторена Гемсой Фризиусом в книге «О принципах астрономии и космографии», изданной в 1530 г. в Антверпене. Впервые определение географической долготы посредством часов сделано Пьером Кругером в 1615 г. [269].

Однако этот способ определения долготы не мог в мореходстве получить дальнейшего практического применения. При сохранении в часах балансира фолио и шпиндельного хода нельзя было добиться той точности хода, какая нужна для определения долготы. Не удалось повысить точность хода часов до уровня этих требований и сразу после применения вместо фолио маятника и спиральной пружины (волоска) в балансовых часах в качестве регулятора. Причина та, что был сохранен старый шпиндельный ход.

Сам факт применения в часах маятника и системы баланс — спираль или регуляторов с собственным периодом колебания имел настолько большое значение, что открыл новую эру в истории хронометрии. С этого времени устанавливается тесная связь между развитием классической механики и физики и хронометрии. Известно, что работа Х. Гюйгенса по конструированию маятниковых часов привела к созданию нового раздела теоретической механики — динамики системы материальных точек твердого тела. Роберт Гук по результатам экспериментальных работ над спиральной пружиной для применения ее в качестве регулятора хода балансовых часов сформулировал законы сопротивления материалов и изохронность колебаний спиральной пружины [209].

Гюйгенс, Сюлли и другие во второй половине XVII в. потерпели неудачу в использовании маятниковых и балансовых часов для определения долготы. Вследствие этого сделалась популярной среди астрономов идея о применении для этой цели астрономических методов. В частности, стал пользоваться популярностью метод лунных расстояний — измерение расстояний между Луной и звездами. О пригодности его для этой цели еще в 1514 г. писал Д. Вернер из Нюрнберга в примечаниях к «Географии» Птолемея. В XVIII в. этот метод был в центре внимания Гринвичской обсерватории и астрономов. До изобретения хронометра ему отдавалось явное предпочтение перед определением долготы с помощью часов.

Созданные в Париже в 1668 г. и в Гринвиче в 1676 г. астрономические обсерватории были поставлены на службу навигации. Они нуждались в применении точных маятниковых часов в качестве эталона времени. Проблема была решена в первые десятилетия XVIII в. выдающимся английским часовщиком Георгом Грагамом, который применил ртутный маятник для температурной компенсации и вместо шпиндельного анкерный ход с трением на покое и без отхода назад ходового колеса. Его часы более 150 лет оставались образцом для изготовления и применения часов в астрономических обсерваториях.

Научные проблемы астрономии и механики, имевшие отношение к определению долготы на море, были в центре внимания ученых XVIII в. Леонард Эйлер в 1753 г. разработал гравитационную теорию движение Луны. Геттингенский астроном Тобиас Майер на основе этой теории составил лунные таблицы, которые служили для вычисления эфемерид Луны и для определения долготы в Гринвичской обсерватории до начала XIX в. Будучи выдающимся научным вкладом в разработку проблем небесной механики, теория движения Луны Эйлера способствовала дальнейшему развитию не только астрономии, но и теоретической механики, как и теоретические исследования Гюйгенса при создании им маятниковых часов.

Парижская обсерватория начиная с 1669 г. стала регулярно выпускать «*Connaissance des Temps*» («Знание времени»), которое было основано Ж.-Д. Кассини. Гринвичская обсерватория с 1677 г. выпускает «*Nautical Almanax*» («Морской Альманах») Джона Флемстида. Эти издания сделались настольными книгами моряков.

Астрономические методы определения долготы в практическом применении оказались сложными, трудоемкими и недостаточно точными. К концу XVIII в. эта проблема была решена, но не с применением методов практической астрономии, а путем создания точных часов на основе усовершенствования балансовых часов со спиралью.

Самая крупная награда была присуждена Джону Гаррисону, который к 1759 г. изготовил четверо морских часов. Он практически доказал возможность с помощью своих четвертых морских

часов определять долготу точнее, чем предусматривалось законом 1714 г., и успешнее, чем с применением средств и способов практической астрономии. Однако устройство морских часов Гаррисона было довольно сложным, а их изготовление было сопряжено с крупными затратами, и поэтому они не могли стать моделью для серийного производства. Попытки Томаса Мюджа и Ларкума Кендаля усовершенствовать часы Гаррисона и сделать их пригодными для серийного производства не увенчались успехом. Заслуга Гаррисона в основном заключалась в том, что ему удалось убедить своих современников, что с помощью созданных им часов можно с желательной точностью определять долготу, во что до него не верили ни ученые, ни часовщики.

По ту сторону Ла-Манша, во Франции, Пьер Леруа создавал морские часы, тоже претендуя на награду, объявленную Парижской академией наук. Устройство большинства его часов оказалось настолько удачным по сравнению с четвертыми морскими часами Гаррисона, что все дальнейшие успешные разработки стали проводиться на их основе [259].

Совершенно не случайно то, что наибольшие успехи в усовершенствовании конструкции маятниковых часов и балансовых часов со спиралью после Гюйгенса были достигнуты во Франции и Англии, где — раньше, чем в других странах — астрономические обсерватории стали нуждаться в маятниковых часах с точным ходом. В XVIII в. именно Англия и Франция становятся самыми крупными и наиболее заинтересованными в создании хронометра державами.

Изобретение хронометра, или прецизионных часов, пригодных для определения долготы, совпало с началом технического переворота в Англии и с изобретением Уаттом паровой машины двойного действия, патент на которую он получил в 1784 г.

Изобретение морских часов и хронометра

Джон Гаррисон (1693—1766) родился возле Йоркшира в семье плотника, который, возможно, занимался также и ремонтом часов. В 1700 г. он переехал в Барроу (Ланкашир). Д. Гаррисон обучался профессии отца, но рано проявил склонность к механике. Когда ему исполнилось 22 года, он изготовил часы с деревянными деталями. В 1726 г. он изобрел так называемый решетчатый маятник для температурной компенсации.

Когда Гаррисон узнал о высоких премиях за разработку методов, пригодных для определения долготы, то перспектива получения награды увлекла его. Он проникся стремлением изготовить часы, которые могли бы соответствовать поставленному условию. В 1726 г. он отправился в Лондон, чтобы более точно узнать условия получения награды и добиться необходимой денежной помощи для осуществления своего замысла. Директор Гринвичской обсерватории Эдмунд Галлей, к которому Гаррисон

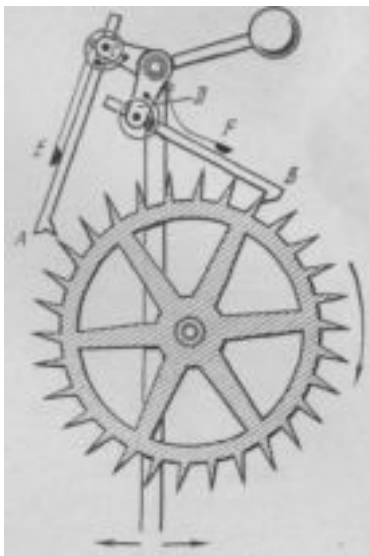
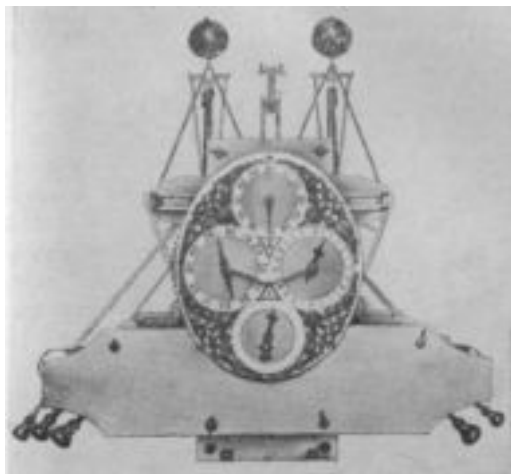


Рис. 197. Самая ранняя конструкция морских часов Гаррисона 1735 г.

Рис. 198. Спусковое устройство под названием «кузнечик», примененное Гаррисоном в трех его морских часах

обратился, отказал в денежной помощи, но порекомендовал обратиться к Георгу Грагаму. Последний предоставил в распоряжение Гаррисона денежное пособие, необходимое для создания первого образца часов.

В 1728 г. он снова прибыл в Лондон с изобретенным им «решетчатым» компенсационным маятником и спуском особого устройства, чтобы продемонстрировать их в Бюро долготы. Ознакомившись с этими изобретениями, Грагам посоветовал Гаррисону не торопиться с представлением их на рассмотрение Бюро долготы до окончательного изготовления самих часов и предварительного испытания их хода.

После возвращения в Барроу из Лондона Гаррисон с еще большей энергией продолжил опыты по созданию часов. При этом он стремился уменьшить действие на ход часов движения корабля и изобрести устройство, обеспечивающее завод часов на ходу, без перерыва действия механизма. Опыты продолжались до 1735 г., когда Гаррисон переселяется в Лондон и привозит сюда первые законченные им часы. Они были достаточно громоздки, с деревянной рамой и напоминали большие маятниковые часы (рис. 197). Теперь они хранятся в Гринвичской обсерватории. В этих часах в качестве регулятора применен не маятник, а два массивных баланса, которые приводились в действие четырьмя балансовыми пружинами. Балансы, образуя между собой фрикционную передачу, могли колебаться в противополож-

ных направлениях по отношению друг к другу и испытывать действие корабля одинаково, но в противоположном направлении. Этим достигалось значительное уменьшение влияния на ход часов движения корабля.

Спусковое устройство (рис. 198), изобретенное Гаррисоном, известно под названием «кузнечика» из-за сходства с задними лапками этого насекомого. Две палеты *A* и *B* шарнирно присоединены в точках *C* и *D* к концам рычагов, находящихся на одной оси с маятником. Палеты *A* и *B* изготовлены из твердого дерева, а спиральные пружины *E* и *F* служат демпфером отскоков. В этой механической системе при наличии одной неподвижной точки имеется возможность свободного движения всех остальных звеньев. Ходовое колесо попеременно толкало то правую, то левую палету и вместе с тем передавало импульс регулятору. В этой конструкции спуска отсутствует трение между палетами и зубцами ходового колеса. Смазки не требовалось.

В качестве движущей силы в часах Гаррисона служили две ходовые пружины, установленные в отдельных барабанах, которые двигали центральную фузею вместе с двойным храповым устройством, обеспечивающим завод часов на ходу, не останавливая механизма часов (рис. 199). Оно было собственным изобретением Гаррисона.

При нормальной работе часов заводная пружина передает свое усилие на фузею через цепь. От фузеи движение передается храповому колесу *D* через храповое колесо *E*, а от колеса — к большому колесу *A* через штифт *G*.

Во время завода барабан вращается в обратную сторону, чем при обычной работе, и механизм часов останавливается вследствие разъединения с источником энергии. Для предотвращения этой остановки Гаррисоном был введен вспомогательный завод собственного изобретения. Во время завода храповое колесо *E* перестает вращать храповое колесо *D*, так как этому препятствует собачка *K*. Пружина *G* на колесе *D*, предоставленная самой себе, начинает сокращаться и приводит в действие большое колесо *A* и всю колесную передачу. Обычно эта пружина способна приводить в действие колесную передачу в течение 3—4 мин или с интервалом более чем достаточным, чтобы можно было осуществить полный завод основной ходовой пружины.

Гаррисоном было проявлено много изобретательности, чтобы свести к возможному минимуму трение в работающих частях механизмов и добиться автоматической компенсации действия на балансовые пружины изменений температуры. Эта компенсация была достигнута присоединением неподвижных концов пружин к разнородным латунным и стальным стержням, расширением и сжатием которых автоматически регулировалось напряжение пружин, как в решетчатом маятнике Гаррисона.

Первые часы Гаррисона (или часы №1) перед доставкой в Лондон были испытаны на борту шлюпки. Эксперты Галлей, Брайлей, Грагам и Шмидт в 1735 г. засвидетельствовали, что Гаррисон изобрел и создал инструмент для измерения времени на море, что принципы, заложенные в конструкции этих часов, позволяют определять долготу и, наконец, что эти часы необходимо подвергнуть дальнейшему испытанию в морских условиях. Последнее требование экспертов было выполнено. Первые часы



Джон Гаррисон

Гаррисона совершили путешествие в мае 1736 г. до Лиссабона и обратно с одобряющими результатами. Руководствуясь результатами этих испытаний, Бюро долготы представило в распоряжение Гаррисона некоторую сумму денег, чтобы он мог продолжить опыты по созданию вторых часов. 30 мая 1737 г. в сводках Гринвичской обсерватории появилось сообщение об изобретении Гаррисона. С этого времени он приобретает известность. Вторые свои часы Гаррисон закончил в 1739 г. Они отличались от его первых часов применением устройства для стабилизации импульса (*remontoire*) с промежуточными пружинами. В нем две геликоидальные, или цилиндрические, пружины через каждые $3\frac{3}{4}$ минуты подзаводились силой от действия ходовой пружины. Получался крутящий момент всегда на одном и том же уровне и передавался от этих пружин ходовому колесу.

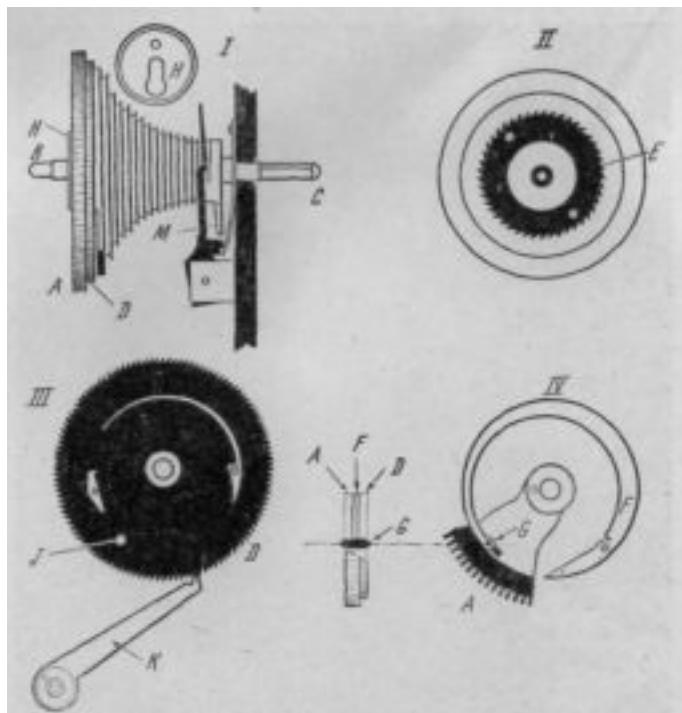


Рис. 199. Вспомогательный завод, примененный в часах Гаррисона

/ — фузея: *A* — большое колесо, свободно сидящее на оси ВС фузеи; *D* — храповое колесо (также свободно установлено на оси ВС); // — вид на фузею снизу: *E* — второе храповое колесо, составляющее одно целое с фузеей; зубцы нарезаны в направлении, противоположном зубцам колеса *D*; /// — вид сверху на храповое колесо *D*; *J* — отверстие, имеющееся на этом колесе; *K* — собачка, которая фиксируется зубцами колеса *E*; *IV* — вид сверху на большое колесо *A*; *G* — штифт, к которому присоединена вспомогательная пружина *F*. Колесо *A* связано с колесом *D* посредством этой пружины (см. сечение по *A* и *D* в положении *IV*)

Основной механизм часов включал в себя также фузею для выравнивания крутящего момента, передаваемого ходовой пружиной, и устройство для ограничения диапазона работы пружины, а также двойной храповой механизм для завода ходовой пружины без остановки механизма часов.

Чтобы противодействовать влиянию движения корабля, боковой и килевой его качке, два тяжелых баланса были соединены проволоками и образовывали фрикционную передачу, как и в первых часах. Они двигались в противоположных направлениях и были поэтому мало подвержены действию движения корабля. Колебание балансов регулировалось четырьмя геликоидальными пружинами. Температурная их компенсация достигалась применением системы из четырех коротких латунных и двух длинных стальных стержней (рис. 200). Действие компенсационного уст-

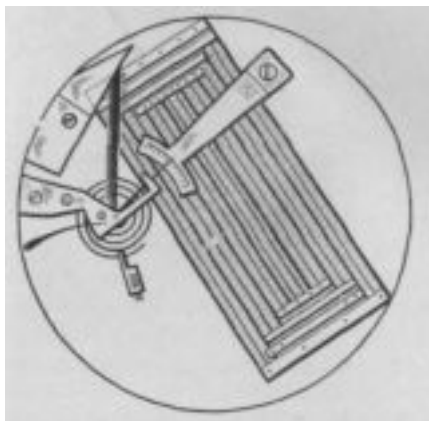


Рис. 200. Устройство для температурной компенсации (ранняя его конструкция)

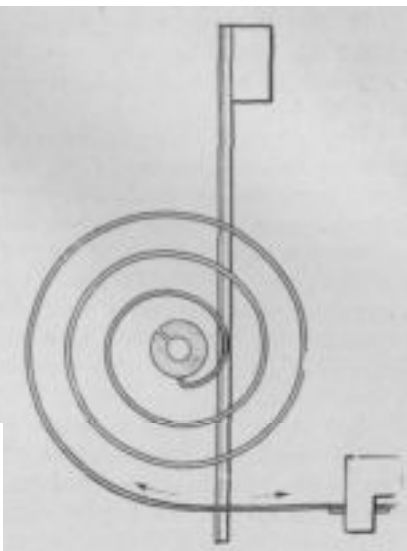
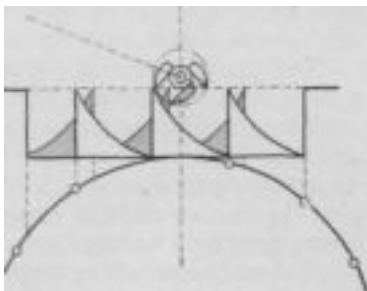


Рис. 201. Биметаллический термометр, или градусник, примененный Гаррисоном в его третьих и четвертых морских часах



Рис. 202. Циферблат четвертых морских часов Гаррисона

Рис. 203. Спусковой регулятор, примененный в четвертых морских часах



ройства было основано на том же принципе, что и решетчатый маятник Гаррисона. Спусковое устройство было аналогично первым морским часам Гаррисона (спусковому устройству «кузнечик»).

Вторые морские часы на море не испытывались, так как Англия находилась в состоянии войны с Испанией и была опасность, что часы могут попасть в руки неприятеля.

В 1741 г., вскоре после завершения работы над вторыми морскими часами, Гаррисон приступил к изготовлению третьих морских часов; по неизвестным причинам они были закончены только в 1757 г.

Неутомимая и настойчивая работа Гаррисона над усовершенствованием морских часов была высоко оценена Королевским обществом: в 1749 г. он был награжден золотой медалью Каплея, как за особо практически ценное изобретение.

Третьи морские часы Гаррисона сходны с его вторыми часами по общему устройству, примененного типа спускового механизма и стабилизатора импульса, но различны по способу обеспечения температурной компенсации системы баланс—спираль и ее изохронизации и по типу балансовой спирали, примененной в этих часах.

В третьих морских часах (часах №3) вместо компенсационного устройства, основанного на принципе решетчатого маятника, Гаррисон применил устройство, которое следует назвать биметаллическим термометром, или градусником (рис. 201). Оно состояло из медной и стальной пластинок, склепанных вместе в нескольких точках. Один конец этой биметаллической пластинки закреплен в колодке, а на ее свободном конце имелось два штифта, предусмотренных для охвата с трением балансовой пружины близ наружной точки ее крепления.

Это компенсационное устройство действует на длину балансовой пружины непосредственно: оно укорачивает ее длину при повышении температуры и удлиняет при понижении. Тем самым достигалась компенсация действия изменения температуры на упругость спирали и на ход часов.

Компенсационное устройство Гаррисона вследствие нежелательного механического контакта штифтов со спиралью не получило большого распространения. Однако сам принцип биметаллической компенсации получил всеобщее признание.

Ход третьих часов регулировался двумя большими балансами и одной спиральной пружиной, имевшей $1\frac{1}{2}$ витка.

Третьи морские часы Гаррисона никогда на море не были испытаны. Вместо них он в 1759 г. изготовил четвертые морские часы, которые и принесли ему награду в 20 тыс. фунтов стерлингов. Позже он сделал еще пятые часы, в принципе мало чем отличавшиеся от четвертых.

По внешнему виду четвертые морские часы Гаррисона напоминают старинные большие карманные часы (рис. 202). Механизм помещался в двух серебряных корпусах диаметром 10,5 см. Циферблат был покрыт белой эмалью; на этом белом фоне имелись украшения, выполненные черным цветом. Часовая и минутная стальные стрелки окрашены в голубой цвет; имелась также центральная секундная стрелка, которая вращалась между двумя другими стрелками. Заводились часы через отверстие в обратной стороне внутреннего корпуса.

Морские часы №4 Гаррисона, в отличие от трех его первых

морских часов, не подвешивались на кардоновом подвесе, а во время качки корабля клались на мягкую подушку, и посредством внешнего корпуса и градуированной дуги их положение могло регулироваться так, чтобы они были слегка наклонены к горизонтали.

Рассмотрим отдельные части механизма морских часов №4 Гаррисона. У них имелся только один баланс из обычной стали диаметром 5,25 см и весом 285,8 г. Балансовая пружина из отпущенной мягкой стали состояла из трех и более витков. Температурная компенсация достигалась с помощью того же устройства, что и в часах №3. От применения спуска «кузнечик» Гаррисону пришлось отказаться и заменить его шпиндельным ходом (рис. 203). Палеты были изготовлены из диамита, а не из стали. Зубцы ходового колеса, как и палеты, были меньше зубцов, применявшихся в обычном шпиндельном ходе. Плоскости палет параллельны друг другу, а не перпендикулярны, как в обычном шпиндельном ходе. Вследствие этого отход назад ходового колеса мог быть незначительным.

Действие хода Гаррисона отличалось от действия обычного шпиндельного хода. Если в последнем случае зубцы коронного, или ходового, колеса действуют только на поверхность палет, то в ходе Гаррисона при прохождении дополнительной дуги (от 90 до 145°) кончики зубцов покоятся на задней части палет, имеющих очертание циклоидной кривой.

Рис. 204 схематически изображает последовательное действие хода Гаррисона.

В положении / окружность 3 изображает тело шпинделя; 4 — диамитовые палеты; их поверхности касательны к пунктирной окружности, а центр круговой дуги, образуемой спинкой каждой палеты, находится на линии, проходящей от центра шпинделя к острию палет. Пунктирная линия 5 есть траектория концов зубцов спускового колеса. В положении I верхний зуб 1 только что освободился от верхней палеты, а нижний готов упасть на острие нижней палеты. Величина этого падения составляет 0,04 мм.

Положение II не следует немедленно за положением I, но показывает положение, напоминающее положение нижнего заштрихованного зуба, только что оставившего нижнюю палету, в то время как зуб 2 готов для отскока к острию, показанному в положении III. Баланс, продолжая свой размах, прижимает зуб 2 к криволинейной спинке палеты, и он движется вперед к положению IV; его давление на палету обеспечивает необходимый размах. Линия 6 показывает положение острия палеты, ограниченное упором, обеспечивающим движение баланса по дуге в 145° от точки равновесия. Из положения IV детали возвращаются к положению III, но при вращении баланса по часовой стрелке зуб дает второй отскок. С этого момента зуб 2 подает импульс, как обычно. Усилие, необходимое для первого главного отскока и для закручивания балансовой пружины, исходит от баланса. Усилие для второго отскока исходит исключительно от пружины баланса. Гаррисон придавал большое значение очертанию спинки палет по кривой в форме циклоиды. На рис. 205 показана окончательная форма этой кривой 0—4.

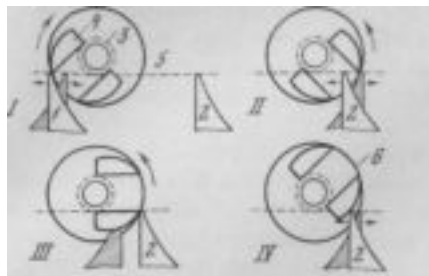
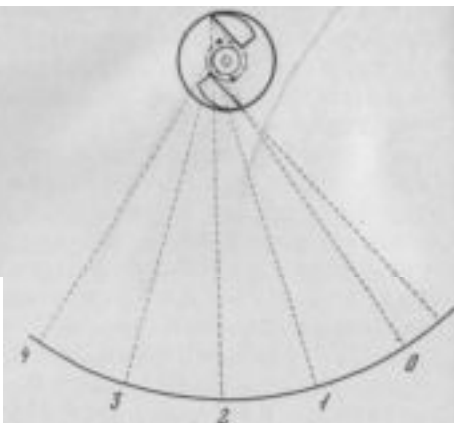


Рис. 204. Схема, изображающая последовательные действия хода

Рис. 205. Очертания спинки палет по циклоидной кривой



В морских часах №4, как и в часах №2 и 3, применено устройство для стабилизации импульса с промежуточными пружинами, подзаводящие часы через каждые $7\frac{1}{2}$ с. С изобретением хронометрового хода вскоре после Гаррисона отпала необходимость в применении стабилизации импульса, на создание которого Гаррисон затратил так много сил и времени.

Для температурной компенсации баланса в часах № 4 было применено такое же устройство, как и в морских часах №3.

После окончания корректировки хода четвертых часов Д. Гаррисон получил распоряжение от Бюро долготы произвести их испытание в соответствии с постановлением парламента. Б путешествие с этим хронометром на Ямайку отправился не сам Гаррисон, а ,его сын Уильям. Он отплыл из Портсмута 18 ноября 1761 г. на корабле «Дептфорд».

После 18-дневного путешествия сказалось различие в определении долготы по часам Гаррисона с тем, как оно определялось тогда на корабле. По обычным вычислениям корабль должен был находиться западнее Портсмута на $13^{\circ}50'$ долготы, а по показаниям часов Гаррисона — на $15^{\circ}19'$. Это оказалось достаточным для того, чтобы сделать скороспелый вывод о непригодности часов для определения долготы. Вопреки этому Уильям Гаррисон утверждал, что, если Мадера правильно обозначена на карте, она будет видна на следующий день, и на этом он настаивал так упорно, что капитан согласился идти по указанному им курсу, и действительно остров показался на следующий день. Точно так же Уильям Гаррисон, руководствуясь своими часами, предсказывал время, когда судно поравняется со всеми островами, лежащими на их пути в Ямайку. Когда он прибыл в Порт-Ройал после 61-дневного путешествия, часы №4 отставали приблизительно на 9 с [264, 22].

Корабль «Дептфорд» отправился из Ямайки в обратный путь 28 января 1762 г. и прибыл в Портсмут 26 марта 1762 г. Часы №4 за это время отстали на 1 мин 5 с, что соответствовало погрешности в 18 миль, которая была намного меньше 30 миль — погрешности, допускавшейся постановлением парламента на получение премии в 20 тыс. фунтов стерлингов. Однако даже успех в испытании на море часов №4 не убедил Бюро долготы в верности их хода и в безусловном преимуществе часов как средства определения долготы перед астрономическими методами.

Английский король Георг III назначил комиссию для ознакомления с устройством часов №4. В нее вошло 11 человек. Кроме англичан, туда входили Камус, Бертю и Лаланд, приглашенные из Парижской академии наук. После ознакомления с часами члены комиссии предложили ряд рекомендаций, выполнение которых не входило в обязанности Гаррисона по биллю парламента 1714 г.

После удачно проведенного испытания на море часов №4 и ознакомления с их устройством уже не могло быть сомнения в возможности определения долготы с помощью часов, но оставалось неясным, насколько он лучше метода определения долготы с помощью «лунных таблиц», одобренных Гринвичской обсерваторией и пользовавшихся большой популярностью среди английских астрономов¹. Защитником астрономического метода определения долготы был королевский астроном Невиль Маскелайн, составивший сильную оппозицию Гаррисону.

Ввиду сделанных возражений со стороны членов комиссии и атаки со стороны Маекелайна Гаррисон решился на второе испытание своих часов на море.

В декабре 1763 г. была организована предварительная проверка хода этих часов с участием 12 ученых. Она происходила в доме оптика и астронома Джемса Шорта. Решено было ежедневно сравнивать ход часов Гаррисона с ходом астрономических маятниковых часов Грагама, установленных в том же доме. Часы Грагама проверялись путем наблюдения за прохождением Солнца в полдень. За восемь дней было констатировано опережение часов №4 на 9,6 с по сравнению с ходом эталонных часов. Ход часов проверялся также при различных температурах для определения зависимости его от изменения температуры.

28 марта 1764 г. сын изобретателя Уильям с часами №4 и в сопровождении представителя Бюро долготы на военном корабле «Тартар» отправился в Барбадос, куда прибыл 13 мая. Там было обнаружено, что хронометр ушел вперед на 43 с; в обратный путь Гаррисон отправился 4 июня на корабле «Новая Елизавета». Он прибыл в Лондон и высадился около дома Шорта 18 июля — через 136 дней после своего отъезда. Часы №4 снова

¹ Эти таблицы составил геттингский астроном Томас Майер на основе гравитационной теории движения Луны, предложенной Л. Эйлером.

были сравнены с часами Грагама. Последние были только что выверены и установлены на точное время с помощью меридианной трубы. Ход часов был подсчитан с учетом возможных отклонений при проведенных испытаниях и с учетом температуры, записывавшейся ежедневно. Часы показали на 15 с менее среднего солнечного времени. Следовательно, вновь найденное время на четверть минуты расходилось с часами, установленными пять месяцев тому назад. Произведенные Шортом расчеты и сравнения хода часов Грагама с часами №4 показали, что последние за время второго путешествия Уильяма Гаррисона ушли вперед на 54 с. О полученных выводах и положительной оценке часов Гаррисона Шорт в 1763 г. опубликовал брошюру [292], где также приведен ряд собранных им документов о работе Гаррисона над часами.

Результаты второго испытания на море часов №4 оказались вполне удачными, но не привели к исполнению надежды Гаррисона на получение награды в 10 тыс. фунтов стерлингов сверх 10 тыс. фунтов, полученных им после первого путешествия на Ямайку.

22 августа 1765 г. Бюро долготы вновь назначило специальную комиссию в составе семи человек для подробного ознакомления с конструкцией часов №4. В эту комиссию входили такие знаменитые часовщики, как Томас Мюдж, Ларкум Кендаль и др. Гаррисон подробно ознакомил комиссию с конструкцией и технологией изготовления своих часов. Члены комиссии, отметив несомненные достоинства исследуемых часов, добавили требование, чтобы их конструкция была удобна для изготовления другими часовщиками. Одному из членов комиссии, Кендалю, потом было дано поручение сделать дубликат часов №4 Гаррисона.

Члены комиссии после детального ознакомления с устройством часов №4 сочли нужным опубликовать брошюру «The Principles of the Harrison's Timekeeper with Plates of the Same» (London, 1767). В ней приведены данные об устройстве часов №4, которые были получены комиссией от Гаррисона вместе с некоторыми чертежами. После этой публикации широкие круги заинтересованных могли ознакомиться с устройством часов, уже снискавших большую известность.

Во время плавания правильность хода часов №4 не могла подвергаться ежедневной проверке из-за отсутствия эталонных часов. Поэтому Бюро долготы в мае 1760 г. поручило Маскелайну провести в Гринвичской обсерватории проверку суточного хода часов,

Маскелайн прежде всего организовал проверку изменения суточного хода при перемене одного горизонтального положения на другое — циферблатом вверх и циферблатом вниз, а также при наклонении часов на 20° в сторону цифр XII, III, VI и IX. Эти испытания заняли два месяца, после чего часы испытывались в горизонтальном положении с циферблатом вверх в течение 10 месяцев (с июля 1766 г. по май 1767 г.). За все время

испытаний часы показали уход на 1 ч 10 мин 27,5 с, среднесуточный уход составил 14,2 с. Нестабильность хода часов № 4 вызывалась неудовлетворительной температурной компенсацией и наличием изохронной погрешности. Наибольший уход суточного хода составлял 30 с при температуре 60° по Фаренгейту в вертикальном положении. Наибольшее отставание за сутки составляло 6,5 мин с термометром на точке замерзания и при горизонтальном положении часов с циферблатом вверх.

Полный отчет о результатах испытания часов №4 был обнародован Бюро долготы с предисловием Нивеля Маскелайна. В нем отмечалось, что часы Гаррисона не обладают той стабильностью и точностью хода, какая нужна для определения долготы в пределах даже 1° при путешествии в Вест-Индию в течение 6 недель. С точностью до полуградуса долгота может быть определена с помощью этих часов только в двухнедельном путешествии и при неперменном условии, что температура будет выше точки замерзания. Эти выводы оказались в явном противоречии с результатами испытания хода часов №4 на море во время двух путешествий Уильяма Гаррисона.

Джон Гаррисон настойчиво добивался получения заслуженной им премии. Его морскими часами в 1772—1775 гг. пользовался Джеймс Кук во время путешествия на корабле «Резольюшен». Они показали долготу с точностью, требуемой парламентом, и Гаррисон незадолго до смерти получил, наконец, полную премию.

Оценивая достижения Гаррисона с современной точки зрения, приходится признать, что из всех его изобретений только двойной храповой механизм для завода часов на ходу без остановки механизма часов сохранил до сих пор свое значение; все же остальные его изобретения (ход «кузнечик», биметаллический градусник, связанные между собой балансы, его деревянные палеты и колеса, седлообразные устройства для получения изохронизма, устройства для уменьшения трения и для исключения необходимости применения смазки и, наконец, устройство для стабилизации) имеют теперь только историческое значение. И тем не менее его заслуги перед хронометрией исключительно велики. По существу Гаррисон практически решил в рамках своего времени все те вопросы, которые потом стали предметом особой разработки уже его младшими современниками, а затем и последующими продолжателями. Они сосредоточили свое внимание на разработке вопросов, касающихся изохронизации и стабилизации колебания системы баланс—спирали, уменьшения трения в кинематической цепи механизма часов, температурной компенсации системы баланс—спирали и т. д. Только после того, как последователям Гаррисона и Пьера Леруа удалось прийти к вполне успешному решению этих проблем хронометрии, стало возможным создавать хронометр наших дней.

Выдающиеся часовщики Ларкум Кендаль (1721—1795) и Томас Мюдж (1715—1794) в усовершенствовании

конструкции морских часов не отходили далеко от принципа устройства часов № 4 Гаррисона. Они ограничились лишь введением или изъятием некоторых деталей из часов Гаррисона. Кендаль прилагал старания, чтобы изъять некоторые части из механизма часов Гаррисона и упростить их устройство. Мюдж, наоборот, стремился добавить сложные и усовершенствованные детали, чтобы добиться дальнейшего повышения точности хода морских часов №4. Несмотря на все старания, результаты их труда в деле совершенствования устройства морских часов не могут идти в сравнение с достижениями таких их современников, как Леруа, Берту, Арнольд и Ирншау.

Кендаль по заданию Бюро долготы изготовил дубликат часов №4 Гаррисона, которые известны как часы К-1 Кендаля. На выполнение этого задания ушло более трех лет, изготовление дубликата было закончено в 1769 г. На хронометре была выгравирована надпись: «Larcum Kendall 1769».

Бюро долготы было заинтересовано в расширении производства морских часов и, естественно, хотело знать: смогут ли изготавливать часы №4 Гаррисона другие часовщики, кроме Кендаля? Этот вопрос и был задан Кендалю, который ответил, что часы Гаррисона малодоступны для широкого изготовления, потому что на это требуется несколько лет труда и большие средства, достигающие 200 фунтов стерлингов.

По мнению Кендаля, конструкция часов №4 до начала их производства должна быть упрощена. Бюро долготы, приняв это во внимание, предложило Кендалю изготовить морские часы упрощенной конструкции, предоставив ему возможность изъять любые несущественные части из морских часов Гаррисона. Во исполнение этого задания Кендаль изготовил морские часы К-2, которые закончил в 1772 г. Третьи часы (К-3) были им закончены в 1774 г. За изготовление часов К-2 Бюро долготы выдало Кендалю 200 фунтов стерлингов, а за изготовление часов К-3 — 100 фунтов стерлингов.

Часы К-2 практически представляли собой больше карманные часы обычного образца. Они имели шпиндельный ход с рубиновыми палетами. Подзавод с промежуточными пружинами отсутствовал, но было сохранено компенсационное устройство и храповой механизм для обеспечения завода часов без остановки механизма (или на ходу), которые имелись в часах №4 Гаррисона.

Конструкция часов К-3 мало чем отличалась от часов К-2; отличие было лишь в устройстве спускового механизма: имелось не одно, а два коронных колеса на общей оси; их зубцы сцеплялись с единственными рубиновыми палетами, расположенными между ними. Три маленьких циферблата показывали часы, минуты и секунды.

По своему достоинству часы К-2 и К-3 безусловно уступали часам К-1. Все они были испытаны во время продолжительного океанического плавания и дали неплохие результаты.

Часы К-1 после испытания в Гринвиче были взяты в плавание капитаном Куком на корабль «Резольюшен». Это было второе из трех путешествий Кука, когда он совершил кругосветное плавание вокруг южнополярной области и пересек антарктический круг с его мертвой зыбью, либо с неистовыми штормами, тропической жарой или лютым холодом. Испытание морских часов проходило, следовательно, в весьма суровых условиях, и тем не менее часы выдерживали испытания. Кук оставался доволен их ходом в течение всех трех лет плавания.

Был отмечен лишь один их недостаток — они несколько спешили, но всегда с известным постоянством. Часы К-1 были испытаны на борту корабля во время северной полярной экспедиции, а затем использовались в течение нескольких лет на северо-американских станциях. «Либо Кендаль,— пишет Гоулд,— был обескуражен своей неспособностью превзойти Гаррисона, либо тем фактом, что Бюро долготы цены на его часы уменьшало прямо в геометрической прогрессии; я не могу сказать, но он достиг успехов не более Гаррисона» [129, 74].

В 1765 г. Т. Мюдж был приглашен в члены комиссии, назначенной Бюро долготы для составления доклада о механизме часов №4 Гаррисона. С согласия Королевского общества он опубликовал небольшой трактат, содержащий важнейшие данные об устройстве часов Гаррисона наряду с некоторыми собственными идеями о возможных дальнейших усовершенствованиях хронометра. Здесь, в частности, уже была высказана хотя еще и не вполне зрелая мысль о создании хода с постоянной силой. Этот небольшой трактат давал возможность часовщикам ознакомиться с деталями устройства столь шумевших часов Гаррисона.

Участие в экспертизе часов № 4 стало поворотным пунктом в жизни Мюджа; с этого времени он все свое внимание обращает на усовершенствование морских часов. Он решил изготовить часы более совершенные, чем часы Гаррисона, движимый к этому отчасти наградой в сумме 10 или 15 тыс. фунтов стерлингов, объявленной Королевским актом, но еще никем не полученной.

В 1771 г., передав дела компаньону, Мюдж переселяется из Лондона в Плимут, чтобы всецело отдаться экспериментальным исследованиям по созданию хронометра и быть ближе к брату, известному физику. Первый свой хронометр Мюдж закончил в 1774 г.— в тот самый год, когда, против всякого ожидания, была отменена награда в 15 тыс. фунтов стерлингов, а условия для получения награды в 10 тыс. фунтов стерлингов были сделаны еще более жесткими.

Морские часы Мюджа по устройству превосходили часы № 4 Гаррисона. Завод часов № 4 однодневный, а у часов Мюджа — восьмидневный. Часы № 4 имели единственную балансовую пружину и биметаллический градусник, Мюдж установил две балансовые пружины и два биметаллических градусника. Вспомогательный подзавод в часах Гаррисона заводил промежуточ-

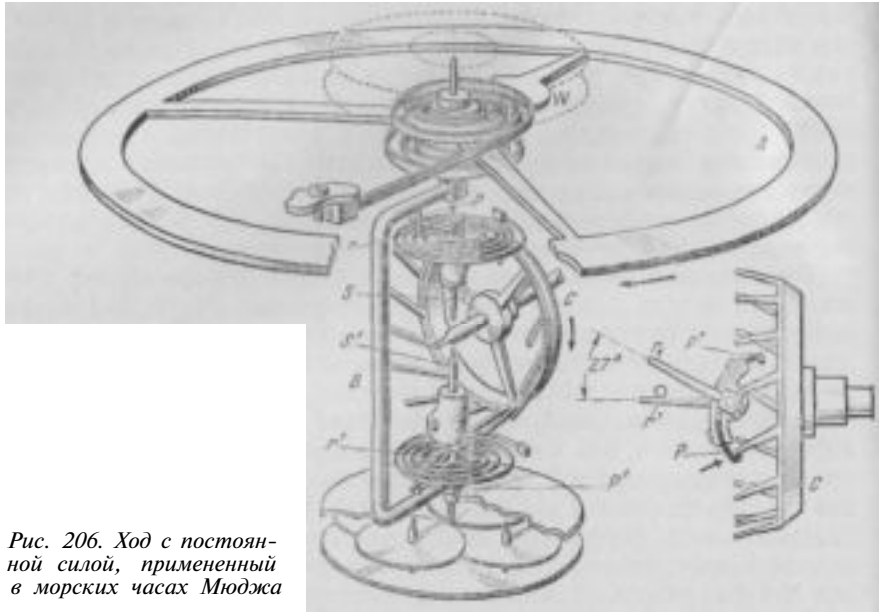


Рис. 206. Ход с постоянной силой, примененный в морских часах Мюджа

ную пружину 8 раз в минуту, а в часах Мюджа заводились две промежуточные пружины, каждая из них—150 раз в минуту. Наконец, выполнение и отделка механизма часов № 4 была хорошая, а у Мюджа — превосходная.

Не подлежит сомнению, что Мюдж, создавая свои морские часы, находился под влиянием Гаррисона, с часами которого он имел благоприятный случай ознакомиться в 1765 г. Как и в часах Гаррисона, у Мюджа имелся приводной барабан с фузеей и с устройством для завода механизма без останова его на ходу. Оригинальным в часах Мюджа был лишь спусковой механизм, который теоретически можно признать совершенным, но в широкой практике трудным для применения ввиду сложности устройства.

Спусковое устройство показано на рис. 206. Базой для его конструирования явился обычный шпиндельный ход, но он был применен так, что передача движения балансу от него происходила не прямо, а при посредстве двух промежуточных маленьких специальных пружинок. Составные части этого хода следующие: *A* — баланс; *B* — ось баланса, которая имеет вид согнутого колена, чтобы она могла освобождать ход; она уравновешена противовесом *W*. Части согнутого колена несут два штифта *P* и *P'*, установленные в стоячем положении на двух радиальных плечах *г* и *г'*, выступающих горизонтально от двух осей, которые независимо вращаются на своих осях, расположенных на одной осевой линии с балансом, и к которым кольцами прикреплены внутренние концы промежуточных пружин для подзавода, а внешние концы присоединены к штифтам. Оси *5S'* несут также две палеты *p* и *p'*. Действующие поверхности этих палет были сделаны из кремня; позже они были заменены рубинами. *C* — коронное колесо.



Томас Мюдж

При действии зуба коронного колеса на палету p происходит под завод верхней промежуточной пружины по дуге 27° . По окончании подзавода этой пружины зуб ложится на палец палеты. Представим себе баланс, колеблющийся в направлении, показанном стрелкой; когда он проходит по дуге 27° от положения равновесия шрифт P , встретив промежуточную пружину, освобождает зуб, до того покоившийся на пальце палеты.

Коронное колесо, будучи теперь свободным, вращается под влиянием сил, передаваемых колесной системой от ходовой пружины, а плечо r' , действующее на палету p' , подзаводит нижнюю промежуточную пружину по дуге 27° , а затем зуб окажется запертым. При своем возвращении баланс поднимает плечо r' после подзавода при дуге 27° за положением равновесия и снова выключает коронное колесо, а верхняя промежуточная пружина освобождается от завода и т. д.

Здесь баланс совершенно не связан с колесной системой; импульсы ему подаются промежуточными пружинами при прохождении им самой незначительной длины дуги.

Этот ход с постоянной силой отличен от всех других ходов по способу подачи импульса балансу; он подается без рывков и толчков. Английский ученый Джон Атвуд в своей работе [224],

опубликованной в «Philosophical Transaction», математически доказал, что промежуточные пружины в ходе Мюджа могут быть так отрегулированы, что посредством этого можно добиться устранения всех недостатков в изохронизме балансовых пружин. Но данная конструкция хода и его регулировка требуют весьма высокой степени мастерства и влекут за собой расходы, не пропорциональные достоинствам этого хода.

Компенсация осуществляется двумя биметаллическими градусниками, действующими на плечи Т-образного рычага, несущего криволинейные штифты.

В XVIII в. над усовершенствованием астронавигационных инструментов и в том числе морских часов, нужных для навигации в условиях полярных морей, работал М. В. Ломоносов. Точные часы Ломоносов считал наилучшим средством для определения долготы местонахождения корабля [19, 63—69].

Пьер Леруа (1717—1785) на основе своих экспериментальных работ вполне научно определил условия, при которых действительно может быть обеспечен изохронизм колебаний балансовой спирали, установил принцип устройства разрезного биметаллического компенсационного баланса, изобрел свободный ход, или спусковой регулятор, путем усовершенствования которого был создан хронометровый ход.

В монографии, посвященной истории морского хронометра, Гоулд отмечает, что Пьер Леруа — «француз, который лишь в небольшом долгу перед своими предшественниками, мало чем обязан своим современникам и благодаря своей гениальности изобрел часы, которые содержат весь основной механизм современного хронометра» [129, 86]. Говоря о часах, которые Леруа в 1766 г. преподнес Людовику XV, Гоулд высказал высшую похвалу, какая только возможна: «Это изделие, — писал он, — увековечило его имя на вечные времена как одного из величайших часовщиков, когда-либо живших на свете».

В этой характеристике Пьера Леруа остается бесспорным то, что он действительно был гениальным часовщиком, который своими трудами и изобретениями сумел заложить прочную основу для разработки современной конструкции хронометра. Однако нельзя согласиться с утверждением Гоулда, что Пьер Леруа изобрел свои часы только благодаря своей исключительной талантливости. Не отрицая этого, все же нужно сказать, что в своей творческой деятельности Пьер Леруа был теснейшим образом связан со всеми традициями в области создания точных часов, которые складывались во Франции со времени Генри Сюлли, преемником которых был Жюльен Леруа — выдающийся французский часовщик, отец Пьера Леруа. Работая над созданием точных балансовых часов со спиральной пружиной, Пьер Леруа был достойным преемником своего отца. В то время в усовершенствовании средств измерения времени были заинтересованы не одни только часовщики. Эта проблема находилась в центре внимания и Парижской академии наук, которая в 1745 г.

объявила премию за «Наилучший способ нахождения времени в море, будь то днем или в сумерки и в особенности ночью, когда горизонт не виден». В связи с этим конкурсом Даниил Бернулли (1700—1782) в 1747 г. написал трактат «Механические и астрономические исследования по вопросу о лучшем способе измерения времени на море» («Recherches Mecaniques Astronomiques sur la meilleure maniere de trouver l'heure en mer etc.»). За эту работу Парижской академией наук Бернулли была присуждена премия. Автор с большим знанием дела доказал исключительное значение и важность проведения исследований, направленных на создание точных часов. По его мнению, астрономические методы определения времени самым тесным образом связаны с применением точных приборов.

«Но даже когда мы дадим этим таблицам (астрономическим. — *В. П.*) и этим телескопам то совершенство, которое можно желать, мы найдем, что они все же недостаточны, — писал Бернулли. — Мы не всегда можем увидеть Луну, еще менее спутники Юпитера. Если даже предположить, что мы можем их наблюдать, как только нам это. потребуется, эти наблюдения оказались бы бесполезными без приборов, которые давали время со всей точностью, после того как мы его определили по Солнцу» [24,241].

Пьер Леруа проштудировал трактат Бернулли и сделал ряд критических замечаний, которые попали на страницы его «Мемуаров». В трактате Бернулли Леруа нашел для себя ряд полезных рекомендаций, в частности рекомендации, имевшие отношение к конструированию регулирующего устройства часов. Он принял к сведению указание Бернулли, что для обеспечения стабильности хода баланса нужно прежде всего, чтобы сам баланс был уравновешен, т. е. чтобы было соблюдено «равенство веса» по всему сечению обода и с обеих его сторон, чтобы центр баланса совпадал с центром оси баланса. Использовал Леруа и мысль, высказанную Бернулли о необходимости применения «двух спиральных балансовых пружин, поставленных в обратных направлениях». К некоторым высказываниям Бернулли Леруа отнесся критически: нельзя было согласиться с Бернулли, когда он без достаточного основания сомневался в выводах науки, получивших опытное подтверждение, например в том, что изменение температуры вызывает изменения в упругой силе пружины.

«В экспериментальной физике утверждается, — писал Бернулли, — что замечены некоторые изменения в упругой силе пружин вследствие изменений температуры. Если бы это было так, то пружина не могла бы единообразно направлять маятник (баланс с волоском. — *В. П.*), но я в этом глубоко не убежден» [24,241].

Не подлежит сомнению, что трактат Бернулли стимулировал творческую мысль Леруа, а премия, объявленная Парижской академией на тему, близко его затрагивавшую, поддерживала

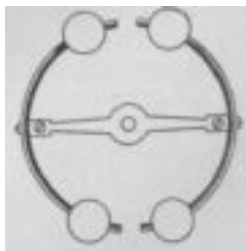


Рис. 207. Биметаллический разрезной баланс Леруа

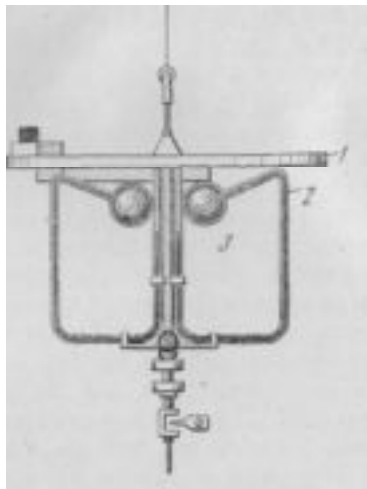


Рис. 208. Компенсационное устройство Леруа с ртутным термометром, примененным в его морских часах

его желание создать точные часы. Стремление Леруа во что бы то ни стало выйти победителем в соревновании с другим выдающимся часовщиком того времени Фердинандом Берту было дополнительным фактором, способствовавшим его активизации. Поэтому утверждение Гоулда, что Леруа всем обязан только себе и ничем своим предшественникам и современникам не соответствует действительности.

Мысль применить спиральную пружину для регулирования хода часов принадлежит Гуку и Гюйгенсу, но Пьер Леруа нашел средство получить изохронную спираль. Он экспериментальным путем установил, что «во всякой пружине достаточной длины есть известная длина, при которой все колебания, большие и малые, будут одинаковой продолжительности ...при уменьшении или увеличении этой известной длины спирали колебания становятся неизохронными» [274]. Итак, посредством спиральной пружины определенной длины продолжительность колебаний баланса можно сделать совершенно независимой от его амплитуды колебаний.

Метод изохронизации П. Леруа фактически сводится к методу компенсации изохронных ошибок путем подбора такой погрешности, вносимой плоской спиралью, которая могла бы компенсировать все остальные погрешности периода колебаний баланса. В непогрешимости своего метода изохронизации Леруа настолько не сомневался, что даже изготовил свои морские часы без фузеи.

Правило изохронизма, предложенное Леруа, получило и теоретическое подтверждение.

Другой проблемой, приковавшей внимание Леруа, была проблема температурной компенсации баланса. В 1761 г. Леруа предложил биметаллический разрезной баланс (рис. 207). Обод



Пьер Леруа

баланса состоял из стальной и латунной частей, соединенных между собой заклепками. В двух диаметрально противоположных местах обод был разрезан так, что получились две пары одинаковых дуг, как у современных интегральных балансов. В результате несовершенства соединения латунной и стальной частей обод баланса Леруа деформировался неравномерно, что вызывало нарушение хода часов. Леруа разработал другое компенсационное устройство, основанное на применении принципа ртутного термометра (рис. 208). К стальному балансу /, вращающемуся вокруг своей оси, приделаны две стеклянные загнутые трубки 2, каждая из которых заканчивается пустыми шариками 3, расположенными друг против друга. Оси трубок и баланса и центры шариков находятся в одной плоскости. Шарики наполняются винным спиртом, а в трубки наливается ртуть. Когда температура возрастает и вызывает увеличение диаметра баланса, то винный спирт, расширяясь, передвигает часть ртути от окружности баланса к его центру; наоборот, при понижении температуры, когда уменьшается диаметр баланса, винный спирт в шариках сжимается и часть ртути переходит от центра к окружности. Для обеспечения эффективности действия этого компенсационного устройства необходимо: 1) подобрать шарики соответствующей вместимости; 2) иметь возможность прибли-

жать или удалять от центра баланса концы трубок с шариками;
3) использовать более крепкий спирт.

Диаметр баланса с компенсационным устройством Леруа 108 мм, а амплитуда колебания — до 120° . В современных хронометрах баланс имеет меньший диаметр, амплитуда колебания может достигать 300° и более.

Леруа пришел к мысли о возможности заранее принимать в расчет влияние изменения температуры на ход хронометра и корректировать его. В записке, озаглавленной «Описание часов, пригодных для применения на море», представленной им в 1754 г. в Парижскую академию наук, он по этому поводу писал: «Чтобы устранить погрешности (в показании часов — *В. П.*), происходящие от изменения температуры, необходимо в ящике для часов установить термометр и перемещать часы из теплого места в холодное и на основе регистрации изменений в ходе часов по показанию термометра составить таблицы, дающие величины замедления или ускорения хода часов, соответствующие повышению или понижению температуры на 1 градус по термометру. Тогда погрешность часов будет известна; известная же погрешность не есть уже погрешность. После этого следует только требовать, чтобы дежурный офицер на корабле записывал показания термометра при каждом заводе часов».

Третьей идеей Леруа, имевшей исключительно прогрессивное значение в истории часов, была его идея о создании свободного хода часов, которая была реализована впервые в часах новой конструкции, созданных в 1748 г.

Свободный ход (спуск), как он описан Леруа и комиссарами Академии наук Камюсом и де Фуши в их докладе, характеризуется так: «Основное преимущество спуска г-на Леруа состоит в том, что баланс, регулируемый в своем движении спиральной пружиной, свободен в своем обратном ходе и не испытывает никакого трения, причиняемого ходовым колесом».

В морских часах Леруа были использованы две расположенные навстречу одна другой спиральные пружины, длины которых подбирались опытным путем таким образом, чтобы они могли обеспечить изохронные колебания баланс—спирали; ход часов в течение 24 часов после завода должен оставаться постоянным. Такой подбор длин спиральных пружин имел в виду обеспечение изохронных колебаний баланс—спирали даже при отсутствии фузеи и промежуточного завода пружины.

Спусковое устройство, примененное в этом хронометре, существенно отличается от дуплекс-хода Леруа с одним ходовым колесом, описанным выше (см. с. 277). Свободный ход, примененный в морских часах Леруа (1776 г.), показан на рис. 209. *Е* — ходовое колесо, по форме напоминающее звездочку, имеющее шесть длинных, радиально расположенных плеч, каждое из которых снабжено на своем конце зубом. Зубцы могут вступать в контакт и покоиться либо на палете *p*, либо на палете *p'* анкера *А*. Последний может вращаться на оси *Н*, на этой же оси жестко насажены плечи *сс'*, распо-

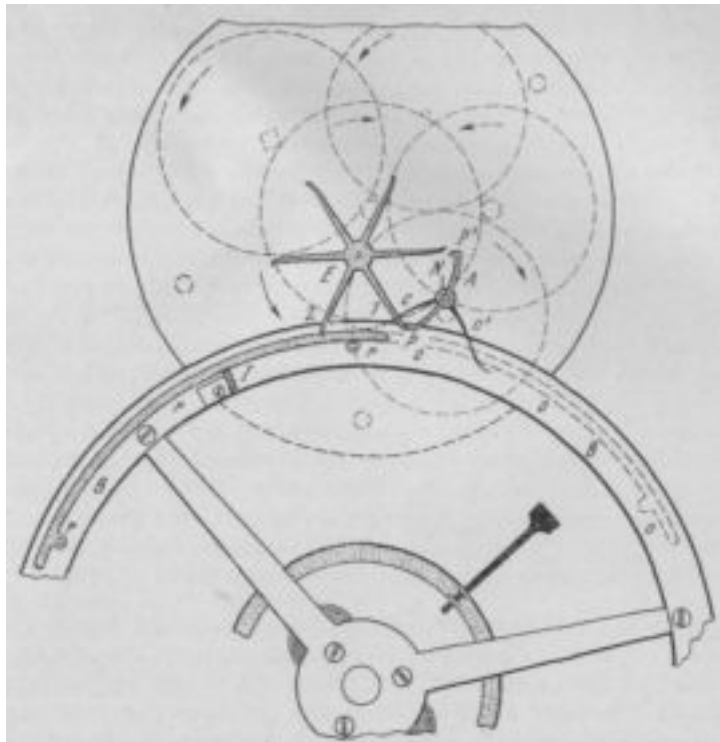


Рис. 209. Свободный ход для морских часов, предложенный Леруа

женные то выше, то ниже обода баланса. На этом обode с ближайшей стороны расположен ободок *rrr*, а на другой, более отдаленной стороне, такой же ободок *ooo*, обозначенный пунктиром.

Как показано на рис. 209, зуб 1 ходового колеса покоится на палете *p*, и баланс в это время совершает свободное колебание по часовой стрелке. Когда конец ободка *rrr* встретится с плечом *c'*, то отклонит это плечо, после чего анкер *A* слегка повернется вокруг оси *N* и освободит зуб /. После этого зуб 2 упадет на импульсную палету / и подаст импульс балансу (и, отклонившись на определенный угол, сделает свободным плечо *c*). Зуб / затем запирается палетой *p'*, которая благодаря своему особому устройству при контакте с зубом ходового колеса втягивается под него. В это время плечо *c'* находится вне контакта с ободком *rrr*. Баланс по окончании размаха (отклонившись на угол около 100°) начинает возвратное колебание.

Конец ободка *ooo* теперь может встретить плечо *c* и оказать действие на анкер, в результате зуб 1 выйдет из контакта. Ходовое колесо, повернувшись, вызовет падение зуба 2 на палету *p*, которая будет оттянута под зуб ходового колеса. В это время второе плечо *c'* будет вне контакта с ободком *ooo*. При возвращении баланса после окончания размаха весь цикл работы спускового регулятора повторится снова.

В ходе Леруа импульс от ходового колеса передается балансу непосредственно на его обод и один раз за полное его колебание. Ходовое колесо после импульса ложится на палету, укрепленную, как известно, отдельно от ходового колеса и баланса. Стало быть, ходовое колесо не может передавать тормозной момент балансу в промежутках между импульсом и освобождением. В это время баланс движется совершенно свободно лишь под действием сил трения и упругости балансовой пружины. Импульс передается близко к положению равновесия и оказывает свое незначительное влияние на период колебания баланса. Можно считать, что свободный ход Леруа является родоначальником хода с односторонним импульсом, применяемым до сих пор в хронометрах.

Передающий механизм морских часов Леруа состоит из четырех пар колес — трибов (см. рис. 209). Леруа отказался от применения в приводном барабане фузеи и средства для завода пружины без остановки хода часов. Балансовая пружина состояла из двух половинок, подобранных по длине так, что они обеспечивали полный изохронизм колебаний системы баланс — спираль. Устройство стрелочного механизма было упрощено. Часовое колесо приводилось в действие прямо от трибки на оси центрального колеса.

Показатели хода морских часов Леруа по тем временам были достаточно высокие: погрешность суточного хода не превышала 32 с.

Сравнивая механическое устройство морских часов Леруа с часами Гаррисона № 4, можно убедиться, что Леруа как часовщик значительно превосходил Гаррисона. Часы Гаррисона отличались от обычных карманных часов его времени лишь тем, что ему удалось применить стабилизатор импульса, завод пружины без остановки хода часов, диамитовые палеты и другие средства, устраняющие дефекты хода обычных часов. Леруа устранил все дефекты хода обычных часов благодаря тому, что конструирование морских часов осуществлял на основе новых принципов, разработанных им вполне научно. Образно говоря, Гаррисон построил дом на песке, а Леруа — на твердом фундаменте. Конструкция часов Леруа 1766 г. оказала решающее влияние на дальнейший прогресс хронометрии. Известно, что хронометровый ход, применяемый во всех современных хронометрах, получил свое развитие на основе усовершенствования свободного хода Леруа. Способ изохронизации колебаний системы баланс — спираль, биметаллический разрезной баланс, предложенный Леруа, имели большое значение для развития хронометрии.

Рис. 210 показывает все регулирующее устройство, т. е. баланс со спиральными пружинами (двойными) и с компенсационным устройством в виде ртутного термометра, описанного выше (см. с. 315). Диаметр баланса 10 см, оба конца его оси движутся в антифрикционных направляющих.

Фердинанд Берту (1727—1807)—швейцарский часовщик, но большую часть жизни прожил в Париже. Он проявил большую находчивость как изобретатель и является автором многих трудов по часовому делу, прежде всего — по морским часам. В 1754—1773 гг. Берту сконструировал и выполнил

11 опытных образцов морских часов. Они описаны в его «Трактате о морских часах, содержащем теорию, конструкцию и работу этих часов и способы их проверки, чтобы добиться с их помощью уточнения морских карт и определения долготы на море», изданном в 1773 г. в Париже.

Хронометры, которые он конструировал и создавал, разнообразны по устройству как в отношении применения движущей силы, так и регулирующих устройств. Начав с создания грубых морских часов, в конструкции которых содержалось довольно много дефектов, Берту постепенно совершенствовал свое мастерство, учась на ошибках и вместе с тем используя достижения Гаррисона, Леруа и других хронометристов. Оценивая действительные заслуги Берту в создании морских часов, надо указать, что их ранние конструкции ни по идее, ни по выполнению не достигали того технического уровня, какой был присущ конструкциям Гаррисона и Леруа. Но более поздние конструкции морских часов Берту приближаются к современным хронометрам, поскольку ему удалось на основе усовершенствования хода Леруа применить в них хронометровый ход.

Парижская академия наук в 1769 г. установила требуемую точность хода морских часов для определения долготы на уровне требований, принятых английским парламентом. «Желательно, — отмечалось ею, — чтобы балансовые часы, маятниковые или другие приборы не допускали, если это возможно, расхождения больше двух минут за шесть недель, а также чтобы они могли определить долготу с отклонением около полуградуса за тот же промежуток времени».

Создавая свои морские часы, Берту стремился, хотя и не всегда удачно, удовлетворить всем этим требованиям.

В статье Ф. Берту «О способе, которым можно производить испытание морских часов, чтобы утвердиться в доверии к ним при определении долготы на море» даются рекомендации, как и в каком порядке производить испытания морских часов с целью установления их пригодности для определения долготы.

С этой целью им предлагаются следующие рекомендации, 1. Сравнивать морские часы ежечасно в течение определенного времени с часами, равномерность хода которых вполне

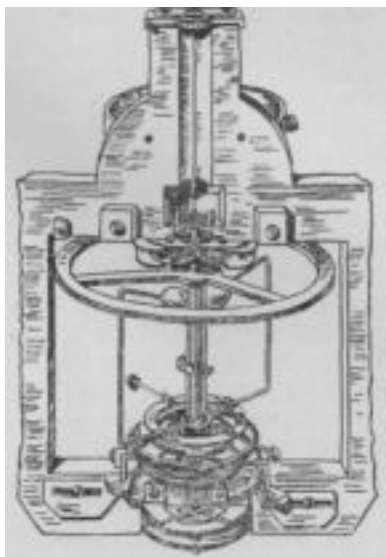


Рис. 210. Общий вид морских часов Леруа

установлена. Необходимо на месте испытания иметь термометр и барометр, чтобы убедиться, что во время испытания ход часов не подвергался воздействию изменения температуры и барометрического давления.

2. Последовательно подвергать часы воздействию температурных изменений: в холоде, обложив часы толченым льдом, и при жаре — в сушильной камере. Во время этих испытаний ход часов сличать с ходом часов, содержащихся при постоянной температуре.

3. Затем перенести часы на легкое судно и установить их там, где они могут быть подвержены сильным и частым толчкам от моря и откуда было бы возможно посредством сигналов сравнивать их ход не менее одного раза в сутки с часами, помещенными на устойчивом месте и на небольшом расстоянии.

4. Если перечисленные выше испытания покажут устойчивый ход часов, то после этого можно с этими часами проделать путешествие из одного места, долгота которого хорошо известна, в другое место, долгота которого также хорошо известна.

Подобному испытанию должны подвергаться те из морских часов, которые предназначены для испытания в длительном путешествии. Ф. Берту считал, что нельзя определить пригодность часов для установления долготы места только на основании данных, полученных во время длительного путешествия и сличения хода часов лишь при отъезде и при возвращении. Во время путешествия могут иметь взаимные компенсации отставания и опережения хода часов.

Вопросу определения долготы при помощи часов Берту посвятил ряд печатных работ: «Долгота путем измерения времени или метод определения долготы на море с помощью морских часов» (Париж, 1755), «Измерения времени, применяемые в мореплавании для определения долготы» (Париж, 1782), «Трактат о часах для определения долготы» (Париж, 1792), «История определения времени с помощью часов» (Париж, 1802).

Своими трудами вместе с образцами морских часов, им созданных, Берту во многом способствовал внедрению во Франции способа определения долготы с помощью часов. Берту стремился, чтобы его часы соответствовали регламенту, установленному Парижской академией наук в 1769 г. Кроме того, по справедливому мнению Берту, недостаточно, чтобы к концу шести недель отклонение не превышало 2 мин — необходимо также, чтобы в течение этого времени колебания были равномерными. Недопустимо, чтобы морские часы сначала шли с опережением, а затем с отставанием. Для того чтобы ход морских часов был равномерным, не требуется, однако, чтобы часы были точно отрегулированы по среднему времени. Достаточно знать суточный ход часов — опережение или отставание часов от среднего времени. Следовательно, как отмечал Берту, не следует смешивать часы, дающие отклонение, с часами неотрегулированными.



Фердинанд Берту

Берту считал, что маятник как регулятор хода часов мало пригоден для применения в морских часах. Однако он не отрицал возможность применения маятниковых часов в мореплавании; он даже сконструировал двое таких часов для применения на корабле. Но действительное и наиболее рациональное разрешение проблемы создания морских часов может быть достигнуто, по мнению Берту, только на пути усовершенствования балансовых часов со спиральной пружиной. Перед Берту встала, таким образом, проблема, как сделать систему баланс—спираль отличным регулятором морских часов.

В связи с этим он изучает отрицательное действие изменений температуры, трения в опорах, состояния и консистенции масла, уравновешенности баланса, бортовой и килевой качки корабля, положения часов по отношению к горизонту и т. д. на точность и постоянство хода морских балансовых часов. Теоретические и практические выводы, полученные путем такого изучения, Берту излагал в печатных работах и использовал при конструировании морских часов. Некоторые из этих выводов сохраняют свое значение до сих пор. Он правильно утверждал, что если

трение в опорах остается одним и тем же, то оно не вызывает изменения хода часов; он рекомендовал давать балансу возможно большую амплитуду и скорость движения, так как при этом достигается уменьшение влияния трения и более эффективное действие масла на ход часов.

В то же время некоторые его рекомендации носили иногда весьма элементарный характер. Так, он считал нужным для поддержания масла в жидком состоянии при низких температурах держать в ящике, куда помещены часы, зажженную лампу.

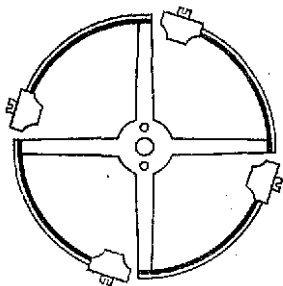


Рис. 211. Биметаллический разрезной баланс Берту 1800 г.

Берту отмечает влияние тепла и холода не только на регулируемую систему баланс — пружина, но и на изменение трения, на состояние масла. Если жидкое масло сгустится, это может стать причиной остановки часов. Он рассматривает увеличение трения и сопротивления масла, как две помехи на пути достижения вполне изохронного колебания регулятора хода. Изучение влияния трения Берту осуществлял вполне научно и со всей серьезностью.

Он проводит систематические исследования линейного расширения материалов, желая подобрать наиболее пригодный из них для изготовления балансовой пружины и для баланса. Берту нашел, что хотя стекло наименее подвержено линейному расширению, но оно неудобно для изготовления балансовой пружины или баланса. Сталь он не советовал применять, поскольку она подвержена коррозии и влиянию магнетизма. Наиболее подходящим материалом для этой цели он считал золото, однако от применения его отказывается по причине высокой стоимости. Берту выбрал медь, как мало подверженную коррозии и влиянию магнетизма. Балансы у него вначале были неразрезные, позже он стал применять балансы биметаллические и разрезные (рис. 211). Берту также предпочитал применять плоские балансовые пружины.

Результаты своих исследований он использовал для создания целого ряда конструкций морских часов.

Морские часы № I, выполненные Берту (рис. 212), имели два баланса: один — стальной, другой — медный, оба большого размера — 35 см в диаметре. Друг с другом они были соединены посредством двух колес, расположенных в одной плоскости. Эти два баланса двигались одинаково и одновременно, но в обратных направлениях. Когда внешний импульс вызывал ускорение колебания одного баланса, то тот же импульс передавался и на другой баланс, но оказывал свое действие в обратном направлении, в результате чего оба баланса колебались с одинаковой частотой, т. е. частотой, которую они имели до появления внешнего импульса. Каждый баланс имел свою спиральную пружину.

жину, прикрепленную одним концом К Платине, а другим — К оси баланса. На конец одной пружины могло действовать компенсационное устройство, основанное на принципе решетчатого маятника. Балансовые пружины были так подобраны, что они могли совершать свое полное колебание за 1 с. Ввиду того что балансы были достаточно громоздки и увесисты, трение в осях было бы довольно значительным, если бы Берту не подвешивал их на пружинах, прикрепленных к платинам часов; оси балансов были закреплены только снизу.

Спусковое колесо имело зубцы, возвышающиеся над его ободом, которое было сцеплено с анкером. По существу, запирающие поверхности были плоскостями покоя с трением, но автор считал, что он нашел баланс, колебания которого приближаются к изохронному.

29 августа 1764 г. Берту представил в Академию наук новый доклад о сконструированных им морских и астрономических часах. В нем центральное место занимает описание морских часов; их конструкция в основном осталась такой -же, как и часов № 1, за исключением того, что Берту снабдил их стабилизатором импульса (remontoire), который оказался неудовлетворительным и впоследствии не нашел применения. Спуск был другой; он, по словам Берту, обеспечивал наименьшее трение.

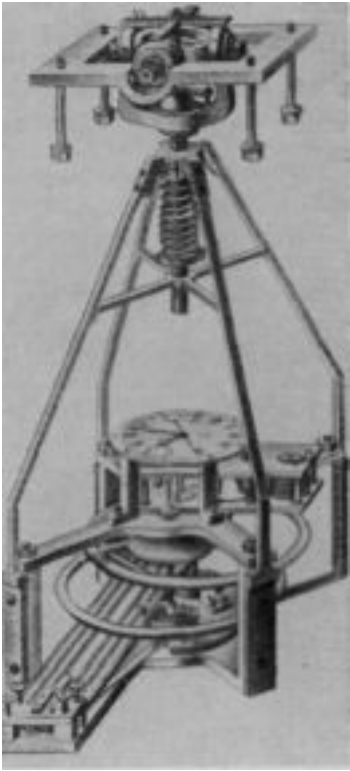
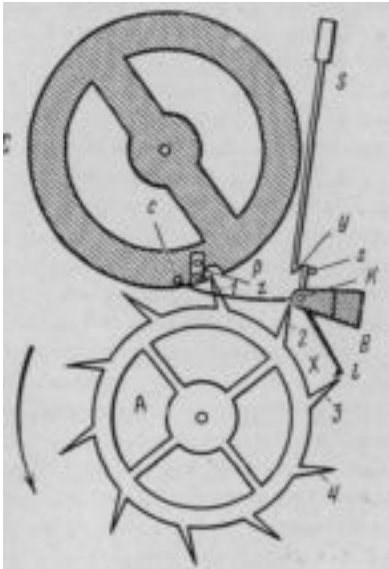


Рис. 212. Морские часы Берту № 1

Рис. 213. Устройство свободного хода, предложенное Берту в 1771 г.



Морские часы № 3, в отличие от первых двух, имели уже только один баланс с компенсацией, основанной на принципе решетчатого маятника. Ход у них — цилиндровый.

В качестве движущей силы в своих первых трех часах Берту применял ходовую пружину вместе с фузеей, но в последующих часах (№ 4, 5, 6 и 7) он вместо нее применял гирию. Последняя закреплялась на конце пружины и проходила по вертикально направляющему ролику и затем обматывала горизонтальный цилиндр, связанный с осью ходового колеса. Во время завода пружина заменяла гирию, не давая часам остановиться. Все колеса в часах были расположены горизонтально. Легче всего, по мнению Берту, добиться передачи постоянного момента ходовому колесу посредством гири, а не пружины; кроме того, при ее применении возможно в любое время, ничего не изменяя в морских часах, увеличивать или уменьшать силу, ею передаваемую. Постоянство момента, передаваемого гирей, в свою очередь может обеспечивать постоянство амплитуды колебания баланса, если даже спираль не вполне изохронна, чего весьма трудно добиться при применении ходовой пружины в качестве движущей силы. Имея в виду эти преимущества гири по сравнению с пружиной, Берту и стал применять ее в своих часах в качестве движущей силы.

Изготовленные Берту часы № 4 мало отличались от часов № 3; они, как и часы № 3, имели один баланс. Эти часы были испытаны на море — по приказу короля — специально назначенными лицами. Наблюдения за суточным ходом этих морских часов велись с 7 по 24 октября 1764 г. Данные наблюдений позволили комиссарам сделать следующее заключение: «Часы г-на Берту не достигли еще желаемой степени точности, какая необходима для определения долготы, но поскольку отклонения, имеющиеся в их ходе, не зависят от движения судна, то ему легко их будет устранить».

В конструкцию последующих морских часов Берту внес мало нового, поэтому нет необходимости на них останавливаться особо. Часы № 8 Берту характеризуют новое направление в применении более совершенного хода в его морских часах.

С 1764 г. Берту направляет свои усилия на создание свободного хода, основанного на принципе Пьера Леруа. Результаты его работы в этом направлении нашли конкретное выражение в свободном ходе, созданном им в 1791 г. (рис. 213). Здесь *A* — ходовое колесо, *B* — собачка, поворачивающаяся вокруг оси *K* и имеющая три выступающих рычага; рычаг *X*, несущий палету / (так называемая стопорная палета), рычаг *У*, прижимающийся пружиной *S* к стопору *s*, и рычаг *r*, конец которого пересекает траекторию штифта *c*, называемого спусковой палетой, смонтированной на ободе колеса *C*. Колесо *C* находится на балансовой оси и несет импульсную палету *p*.

Работа механизма осуществляется следующим образом. Как показано на рис. 213, зуб 3 ходового колеса находится на стопорной палете, и при этом баланс свободно качается в направлении, показанном стрелкой. Спусковая палета *c* встречает конец рычага *г*, слегка поворачивает собачку *B* в направлении, противоположном ходу часов, и палета / отпирает зуб 3. Затем зуб 1 падает на импульсную палету *p* и приводит в движение баланс. При этом спусковая палета *c* освобождает конец рычага *г*, а пружина *S* возвращает собачку в исходное состояние. Таким образом создается условие для встречи зуба 4. Баланс заканчивает свой размах, и при обратном движении спусковая

палета с встречает конец рычага Z, но с противоположной стороны, которая скошена. При этом она незначительно изгибает рычаг вверх (рычаг Z делается очень тонким и гибким, чтобы допустить это) и проходит, не нарушая положения собачки B.

В работе, опубликованной в Париже в 1787 г. и посвященной определению долготы посредством морских часов, Берту приводит описание многих из своих последующих часов. Все они уже снабжены свободным ходом, а не цилиндровым. Часы, начиная с № 35, были снабжены хронометровым ходом, описание которого также дано в книге Берту.

Между 1771—1785 гг. Берту продолжает работать над усовершенствованием свободного хода. В результате его поисков были созданы три варианта этого хода, отличающиеся расположением деталей хода и числом зубцов ходового колеса. На рис. 214 показан один из вариантов этого хода.

По мнению Гоулда, «нет вопроса более горячо дебатиремого в хронологии, чем вопрос об изобретении современного хронометрового хода. Так неудачно сложились обстоятельства, что невозможно в этом вопросе добиться определенного заключения» [129,99].

Обычно изобретение этого хода приписывается Берту, Арнольду и Ирншау. Однако невозможно допустить, как справедливо отмечает Гоулд, что все эти три лица напали на одну и ту же идею независимо друг от друга. Патент на изобретение хода, выданный Джону Арнольду в 1772 г., менее всего может служить основанием для того, чтобы именно его считать изобретателем хронометрового хода. Ирншау с полным основанием оспаривал приоритет Арнольда. Гоулд склоняется к мысли, что Берту больше, чем Арнольд и Ирншау, может претендовать на право первого изобретателя современного хронометрового хода. Каких-либо солидных оснований для такого утверждения Гоулда, конечно, нет, за исключением того, что хронометровый ход Берту по существу является дальнейшим усовершенствованием хорошо известного хода Леруа.

В какой же степени изобретения Берту были оригинальными, что принадлежало ему и что он заимствовал у других, в частности у Пьера Леруа? Сам Берту скромностью не отличался и старался приписывать себе даже то, чего он в действительности и не сделал. Весьма объективную и справедливую оценку достижений и стиля работы Берту дает опять же Гоулд. «Одно порицание можно сделать Берту, — пишет он, — за его стремле-

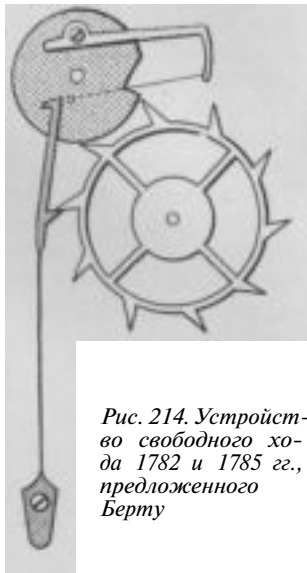


Рис. 214. Устройство свободного хода 1782 и 1785 гг., предложенного Берту

ние представлять свое дело в весьма выгодном свете, но некоторые его утверждения не могут выдержать проверки. Таким является его претензия на то, что он опередил Леруа как в отношении изобретения свободного хода, так и в формировании правила, которым нужно руководствоваться для получения изохронного колебания балансовой пружины. Для подкрепления этого своего притязания Берту ссылается на созданный им в 1754 г. спусковой механизм и на одно из мест его «Трактата...» 1763 г. Первый свободный ход Леруа был представлен в академию, а его описание опубликовано в ее трудах в 1748 г., между тем цитата из «Трактата..» утверждает только то, что Берту намеревался исследовать отношение между длинными и короткими дугами. Такой подход к спору весьма типичен для Берту, но весь вопрос о приоритете Леруа, я думаю, — отмечает Гоулд, — может быть определенно разрешен рассмотрением обстоятельств, имеющих отношение к этому делу. В то время, когда Леруа конструировал морские часы и к ним приспособлял свободный ход, изохронную спираль и компенсационный баланс, и даже тогда, когда он опубликовал об этом отчет, Берту четырьмя годами позже оставался еще верен своей машине, приводимой грузом, снабженной цилиндрическим ходом и компенсационным устройством на принципе решетчатого маятника Гаррисона. Но, узнав об изобретениях соперника, скоро отказался от своего механизма» [129, 106].

Далее Гоулд отмечает: «Однако имелось одно ценное качество у Берту и в более значительной степени, чем у Леруа, а именно его постоянная неудовлетворенность результатами своих работ и стремление все больше и больше улучшать часы. Во всех многочисленных его морских часах от начала и до конца можно проследить неуклонный прогресс, и в то же время среди них нет ни одних часов, которые могли бы считаться оригинальным произведением и быть вне всякой конкуренции, как морские часы Леруа. Когда рассматриваем последовательный ряд часов Берту, начиная от самых грубых и кончая часами мало отличающимися по своему устройству от современного хронометра, то с трудом верится, что эти часы могли быть произведением одного мастера-хронометриста, а не коллектива, прошедшего в создании этих часов через ряд различных этапов» [129, 100].

Джон Арнольд (1736—1799) и Томас Ирншау (1749—1829). На принципе устройства свободного хода, предложенного П. Леруа, трудами Ф. Берту, Д. Арнольда и Т. Ирншау был создан хронометровый ход.

Хронометровый ход с пружиной покоя. Устройство этого хода в выполнении Д. Арнольда и Т. Ирншау показано на рис. 215. Их ход, кроме ходового колеса, имеет пружину покоя *C* с камнем покоя *B*, заделанным в эту пружину, золотую тонкую упругую пружину *E*, импульсную рольку с импульсным камнем *F*. Импульсная и пусковая рольки *D* сидят на оси баланса одна под



Томас Ирншау

другой. Ходовое колесо и импульсная ролька находятся в одной плоскости, а спусковая и обе пружины — выше этой плоскости.

Ходовое колесо в хронометре Арнольда — с 15 зубцами, в хронометре Ирншау — с 12 зубцами. Эпициклоидальная форма зубцов ходового колеса в ходе Арнольда не нашла дальнейшего применения, от нее отказались из-за того, что их требовалось смазывать. Ходовое колесо Арнольда вращается в направлении, противоположном ходу Ирншау.

Пружина покоя одним концом прикреплена своей колодкой неподвижно к платине хронометра, другой конец у нее изогнут под углом книзу. Золотая пружина одним концом крепится к пружине покоя, другим свободным концом лежит на ее изгибе. Она может изгибаться только в одну сторону — противоположную ее прилеганию к пружине покоя (или изгибу крючка этой пружины в ходе Ирншау). Спусковая ролька со спусковым камнем колеблется вместе с балансом и может вступать в контакт с золотой пружиной при каждом по-луколебании баланса.

На рис. 216 представлен тот момент работы хронометрового хода с пружиной покоя, когда зуб ходового колеса 1 лежит без трения на камне покоя 2. Баланс в это время совершает свободное колебание, пока спусковой камень 8 не коснется своей передней фаской золотой пружинки 5. Спусковой камень,

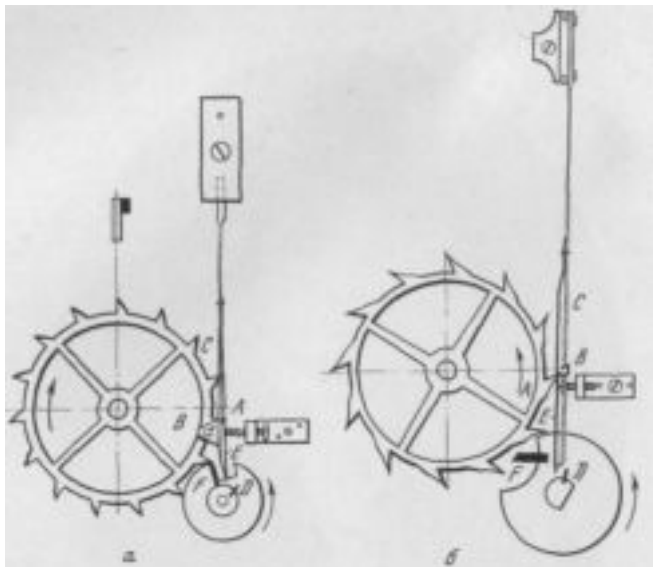


Рис. 215. Хронометровый ход Ирншау с пружиной покоя (а) и Арнольда (б)

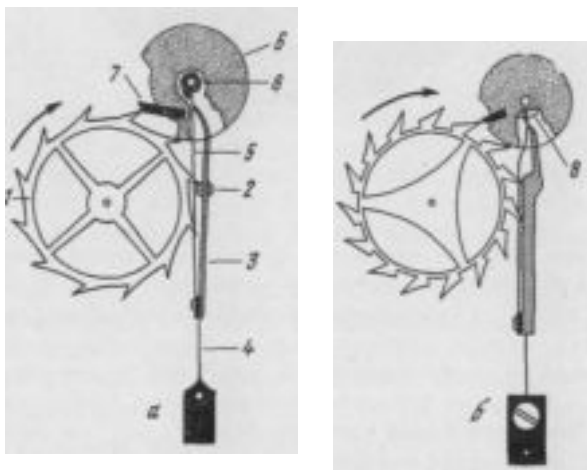


Рис. 216. Современный хронометровый ход (а) и хронометровый ход Ирншау (б)

/ — ходовое колесо; 2 — камень покоя; 3 — пружина покоя; 4 — ходовая пружина; 5 — золотая пружина; 6 — импульсная ролька; 7 — импульсный камень; 8 — спусковая палета

захватив эту пружину, потянет за собой пружину покоя 3 и освободит камень покоя 2 из-под зуба ходового колеса. Это освобождение в результате изгиба золотой пружины в ходе Арнольда происходит по направлению к центру ходового колеса и при колебании баланса слева направо, а в ходе Ирншау —

по направлению от центра ходового колёса при колебании баланса Справа налево.

После освобождения зуба ходовое колесо 1 повернется на угол свободного падения. Спусковой камень поворачивается на тот же угол, что и импульсный камень. Угол между рабочими плоскостями этих камней сделан таким, что при освобождении одного зуба ходового колеса другой зуб должен упасть на импульсный камень и, скользя по нему, подать импульс. После этого пружины выпрямляются и принимают первоначальное положение, а следующий зуб ходового колеса падает на камень покоя. Подача импульса, а затем остановка зуба на полный покой происходят в ходе Арнольда так же, как и в ходе Ирншау. После этого баланс будет совершать свободное колебание сначала в одном направлении, а затем в обратном.

При обратном движении баланса (по часовой стрелке) импульсный камень проходит мимо ходового колеса, не соприкасаясь с его зубцами. Колесо в этот момент находится на покое. Спусковой камень 8, нажимая на золотую пружину, отводит ее от пружины покоя 3. Так как золотая пружина чрезвычайно легка и тонка, то энергия, затраченная балансом на изгиб пружины, будет ничтожно мала, камень отогнет ее и тотчас же сбросит, не производя этим никакого действия на ходовое колесо. Таким образом, в хронометровом ходе импульс балансу сообщается только в одном направлении лишь раз — в период взаимодействия с системой спуска, а все остальное время баланс совершает почти свободное колебание.

Хронометровый ход боится резких толчков и сотрясений, недопустимо и неправильное положение хронометра. Поэтому он хотя и превосходит по точности свободный анкерный ход, все же в карманных часах неприменим.

Изобретение хронометрового хода Т. Ирншау совпадает по времени с изобретением Д. Арнольда. В связи с этим между ними возник горячий спор: Томас Ирншау категорически оспаривал приоритет Джона Арнольда. Ирншау изобрел этот ход раньше и независимо от Арнольда, но медлил с получением патента на свое изобретение. Арнольд поспешил с получением патента, узнав, что аналогичный ход уже изобретен Ирншау. Последнему патент на изобретенный им хронометровый ход с пружиной покоя был выдан в 1783 г., на год позже, чем Арнольду.

Слово «хронометр» впервые было введено в употребление Арнольдом для прецизионных балансовых часов с хронометровым ходом; в таком значении оно употребляется и в настоящее время.

Первые десять часов, выпущенные Ирншау с изобретенным им ходом, не имели большого успеха из-за того, что в них был применен импульсный ролик непропорционально малого размера по сравнению с ходовым колесом; по этой причине часы могли остановиться. Устранив этот недостаток, Ирншау сделал свой ход вполне пригодным для применения его в хронометрах.

Арнольд предложил применять в хронометрах вместо плоской спирали спираль цилиндрической формы. Эта спираль без концевой кривой была им запатентована (английский патент № 1113 от 1755 г.). В другом его патенте за № 1328 от 1782 г.

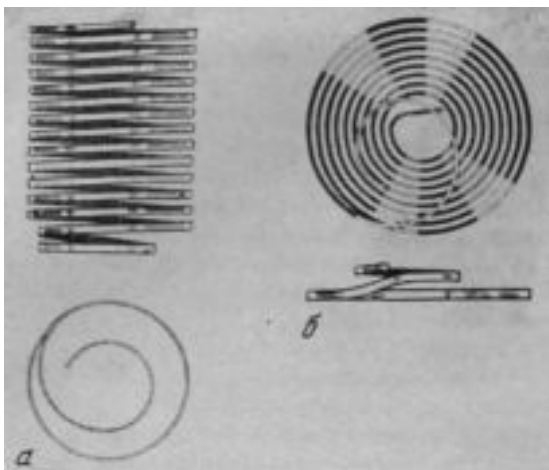


Рис. 217. Геликоидальные волоски (а), предложенные Арнольдом, и сравнение их со спиральной пружиной Бреге (б)

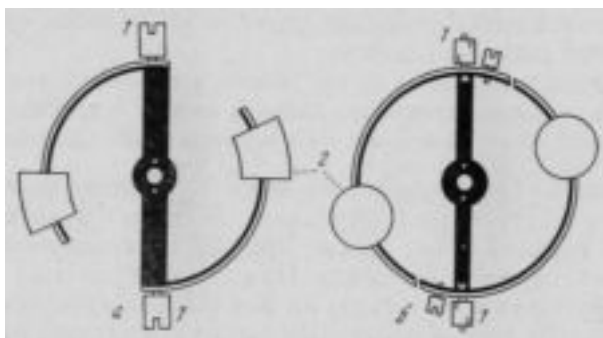


Рис. 218. Современный биметаллический разрезной баланс (а) и такой же баланс у Ирншау (б)

1 — винты для регулировки; 2 — компенсационные грузики

имеется уже следующая констатация: «Изогнутые концы цилиндровой спирали способствуют изохронности ее колебаний. Его конфигурация всегда остается себе подобной». И далее: «Концы цилиндрической спирали искривлены для обеспечения концентрического развертывания спирали и совпадения центра тяжести спирали с осью баланса». Цилиндрические спирали с концевыми кривыми Арнольда известны под названием геликоидальной спирали. Сходство и различие этих спиралей с концевыми кривыми Бреге показаны на рис. 217.

Хотя к необходимости применения геликоидальной спирали Арнольд пришел чисто опытным путем, впоследствии Э. Филлипс доказал эту необходимость теоретически, указав на то, что

для получения изохронного колебания спирали центр его тяжести должен всегда совпадать с балансовой осью. Геликоидальные спирали соответствуют этому требованию.

Для температурной компенсации системы баланс—спираль Арнольд в своих первых морских часах применял биметаллический градусник, от которого он отказался в более поздних часах, заменив его биметаллическим разрезным балансом.

Весьма значительной заслугой Ирншау надо признать то, что благодаря ему конструкция биметаллического разрезного баланса, как и хронометровый ход, приняла уже то устройство, какое используется в хронометрах и в наши дни. В этом легко убедиться из сравнения современного хронометрового хода с таким же ходом Ирншау (см. рис. 216) и современного биметаллического разрезного баланса с соответствующей конструкцией Ирншау, приведенной на рис. 218.

Устройство современного хронометра

Основными частями современного хронометра (рис. 219) являются:

I. Двигатель с фузейей 6. В качестве источника движущей силы применяют стальную пружину в барабане 7, закручиваемую по архимедовой спирали. Для выравнивания момента, передаваемого пружиной на ось ходового колеса, применяется фузея 6 или мальтийский крест в хронометрах без фузеи.

II. Передаточный механизм. Момент пружинного двигателя с фузейей передается с барабанного колеса 5 через триб и среднее колесо 4, триб промежуточного колеса 3 и триб секундного колебания с секундным колесом 2 на триб ходового колеса 1.

III. Стрелочный механизм состоит из минутной трибки, насаженной на ось среднего и вексельного колес, вексельной трибки и часового колеса, сидящих свободно на дополнительной оси. Минутная стрелка насажена на втулку минутной трибки, часовая стрелка — на втулку часового колеса.

IV. Хронометровый ход с пружиной покоя или с рычагом покоя. Применение хронометрового хода является признаком, отличающим хронометр от всех других часов.

V. Регулирующее устройство (система баланс — спираль). Описание устройства хронометрового хода с пружиной покоя (с пружинящей защелкой) дано выше как изобретение Д. Арнольда и Т. Ирншау. Недостатки этого хода и особенно сложность изготовления пружины покоя из одного куска стали привели к изобретению хронометрового хода с рычагом покоя. Этот ход от предыдущего хода отличается только устройством защелки, применением вместо пружины покоя уравновешенного рычага покоя. Он удерживается в надлежащем положении с помощью спиральной пружины (рис. 220). Сходство и различие в устройстве и в функционировании этих вариантов хронометрового хода показаны на этом рисунке.

На рычаге покоя укреплены камень покоя и золотая пружина. Последняя опирается на изогнутый конец рычага покоя и проходит не слева от рычага, а слева под зубцами спускового колеса. На другом конце этот рычаг снабжен противовесом, который приводит центр тяжести всей подвижной си-

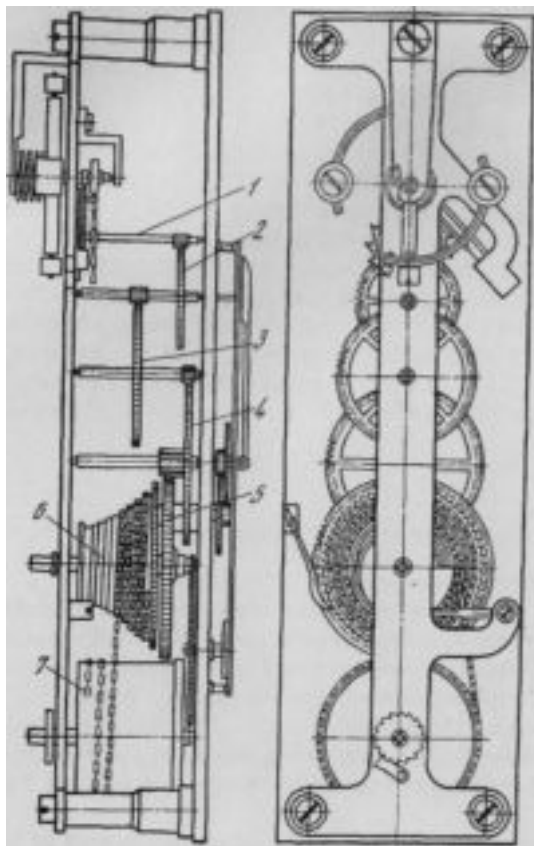
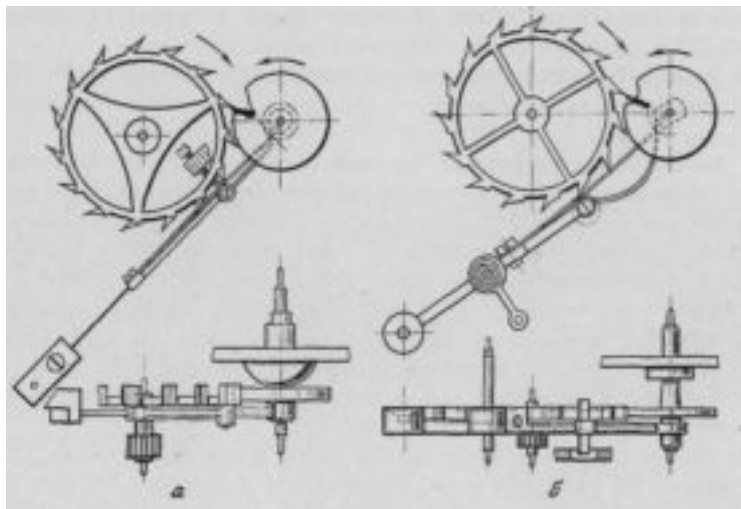


Рис. 219. Устройство современного хронометра

Рис. 220. Хронометровый ход

а — с пружиной покоя; б — с рычагом покоя



стемы к оси вращения рычага покоя. Последний прижимается к упору, который расположен под ходовым колесом. Чтобы рычаг покоя мог в свободном состоянии прижиматься к упору, на его оси укреплен спиральная пружина. При отводе этого рычага вправо пружина закручивается. В этом ходе спусковое колесо, большая и малая рольки со своими палетами совершенно такие же, как и в хронометровом ходе с пружиной покоя; поэтому нет надобности их описывать.

Недостатками хода с рычагом покоя являются необходимость смазки кончиков его оси и наличие трения при вращении его вокруг оси. Трение, как мы знаем, непостоянно даже при применении наилучшего масла, ввиду чего ход с рычагом покоя не так точен, как ход с пружиной покоя.

Ход с рычагом покоя менее требователен, чем ход с пружиной покоя. Он менее чувствителен к толчкам, поскольку рычаг покоя уравновешен и вместе с тем изготовлять его и ремонтировать несравненно легче, чем пружину покоя. Ход с рычагом покоя имеет применение в тех случаях, когда часы не могут быть вполне ограждены от случайных толчков и тряски, как, например, в карманных хронометрах.

К недостаткам хронометрового хода, в каком бы выполнении они ни были, относятся:

1. Возможность произвольной остановки хронометра в случае резкого толчка, причем хронометр будет стоять до тех пор, пока следующий толчок не выведет баланс из положения покоя и не освободит спусковое колесо.

2. Возможность «галопирования» хода хронометра; оно возникает тогда, когда толчок или ряд толчков делают амплитуду (отклонение от положения равновесия) больше 360° , т. е. больше одного оборота баланса. При такой амплитуде спусковой камень дважды освободит ходовое колесо в течение одного колебания баланса и стрелка сделает два скачка вместо одного. Получается ускорение хода, которое к тому же будет неправильно меняться в зависимости от размеров галопирования. Если галопирование уже началось, оно может продолжаться неопределенно долго.

3. Проскакивание зубцов, которое происходит от внешних толчков, а при наличии неправильной конструкции импульсной рольки (велик вырез или мал диаметр импульсной рольки) проскакивание соединяется с галопированием.

Таким образом, из сказанного ясно, что хронометровый ход является весьма капризным, боится резких толчков и сотрясений; недопустимо и неправильное положение хронометра, особенно при наличии хронометрового хода с пружиной покоя. Поэтому, хотя хронометровый ход и превосходит по точности анкерный, он все же в карманных часах неприменим.

По назначению хронометры могут быть классифицированы как: 1) столовые хронометры, предназначенные для использования на суше; 2) морские хронометры, предназначенные для применения на кораблях. Обычно они устанавливаются на кардановом подвесе; 3) карманные хронометры: они обеспечивают достаточную точность только при хранении и применении в горизонтальном положении.

Показания хронометров регулируются либо по среднему солнечному времени, либо по звездному. В зависимости от этого хронометры называют средними или звездными.

По величине единовременного скачка секундной стрелки различают хронометры полусекундные (у большинства столовых и морских хронометров

стрелка скачет через каждые 0,5 с) и четверодесятники. У большинства карманных хронометров стрелки скачут через каждые 0,4 с. Имеются хронометры со скачками секундной стрелки через каждые $\frac{6}{13}$ с. Хронометры называются тринадцатибойщиками, так как за 6 с они делают 13 ударов. Имеются хронометры, у которых стрелки делают скачки каждые $\frac{4}{9}$ с (9 ударов в 4 с) и 21 удар за 10 с. Такие хронометры обычно используются для быстрого и удобного сравнения показаний нескольких хронометров.

В мореходстве применяются также палубные часы со свободным анкерным Ходом, особо тщательно изготовленные и приспособленные к переноскам. Они часто снабжаются центральной часовой, минутной и секундной стрелками.

Глава IV

. ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БАЛАНСА И СПИРАЛИ

Материалы для спиральной пружины

В 1740 г. английский часовой мастер Беджамен Гентсман изобрел тигельный способ получения литейной стали, чем совершил технический переворот в производстве стали, необходимой для изготовления часовых пружин. В созданной им сталелитейной фабрике в Хенсворде близ Шеффилда Гентсман плавил сварочную сталь в тигле, пока она не отделялась от шлака, и получал однородную по составу литую сталь, пригодную для изготовления часовых спиралей. До того сталь для часовых пружин получалась только способом цементации железа, что занимало много времени и не обеспечивало получения стали, однородной по составу, т. е. свободной от включения в нее шлака или окиси кремния, делавшим пружины либо слишком мягкими, либо слишком хрупкими.

Хотя изобретение Гентсмана предвещало существенный прогресс в производстве стали и имело большое значение для развития часовой индустрии, оно не сразу было подхвачено в Англии, и до 1770 г. производство тигельной стали находилось в зачаточном состоянии. В 1787 г. в Шеффилдѣ имелось 11 фирм, занимавшихся производством литой стали по способу Гентсмана. Ведущую роль среди них играла фирма «Гентсман и сын» [291, 330].

У стали имеется недостаток — она подвержена коррозии, а качество ржавой спиральной пружины ухудшается. Даже появление одного ржавого пятнышка может повлиять на точность хода часов. Между тем очень трудно предохранить часы от действия влажного воздуха и других факторов, способствующих ржавлению пружины. Было много попыток покрывать сталь неокисляющимся слоем (например, золотом) для защиты пружин от ржавчины. Однако золочение привело к результату как раз противоположному. Золото по отношению к стали — электроотрицательный элемент, поэтому позолоченная стальная пружина составляет гальваническую пару, от тока которой сталь окисляется гораздо быстрее, чем от действия одного воздуха. В 70-х годах прошлого века в Швейцарии было изготовлено большое количество спи-

ральных золоченых пружин, но они через короткое время испортились, наглядно показав непригодность такого нововведения.

Могло бы помочь делу оцинкование, но пружины требовалось покрывать слоем значительной толщины, что отрицательно сказывалось на их упругости. На том же основании отказались от применения в качестве защитного покрытия лаков. Кроме того, покрытые лаком витки пружины слипаются, что тоже нарушает правильный ход часов.

Придя к убеждению, что никакое защитное покрытие не достигает цели, часовые мастера решили действовать более радикально — • заменить стальные пружины пружинами из другого металла.

Иридиястая или так называемая твердая платина совершенно не подвержена коррозии, и коэффициент ее линейного расширения намного меньше коэффициента линейного расширения стали, однако она не может заменить сталь, поскольку имеет большой удельный вес, намного превышающий удельный вес стали (соотношение 21 : 8).

Серебро — мало подверженный коррозии металл и в виде сплавов с другими металлами имеет достаточную упругость. Этот металл мог бы заменить сталь для часовых пружин, если бы не имел столь значительного коэффициента линейного расширения. Часы с серебряными пружинами нуждаются в еще большей температурной компенсации, чем часы со стальными пружинами. По этой же причине не может быть использована алюминиевая бронза, хотя по упругости, малому удельному весу и слабой подверженности коррозии она и могла бы подойти в качестве материала для спирали.

Никель по коэффициенту линейного расширения и плотности очень близок к стали, но, как и сталь, подвержен коррозии. Он обладает малой вязкостью и ковкостью. Ферроникелевые сплавы, однако, оказались, как мы убедимся ниже, наиболее пригодными для спиральных пружин. Из всех металлов наиболее пригодным, для часовых пружин оказалось золото, и большая часть опытов была проведена именно с ним. Но в чистом виде золото — мягкий и плотный металл, поэтому оно может быть использовано только в сплавах.

В 1825 г. Ф. Гуриент (1743—1830) опубликовал результаты своих опытов по определению изохронности спиральных пружин, изготовленных из сплава золота с самой чистой медью и серебром. Такие пружины, закаливаемые, как и сталь, сохраняют свою упругость даже при очень высокой температуре, но их коэффициент линейного расширения больше, чем у стальных пружин, поэтому при их применении требуется надлежащая компенсация. Знаменитый копенгагенский часовщик Юргенсон по поручению правительства изготовил хронометр с пружиной из сплава золота. В течение тридцати лет этот хронометр использовался на разных кораблях и его ход все время оставался безупречным, хотя подвергался и большим колебаниям температуры и другим неблагоприятным влияниям.

Однако, несмотря на очевидные успехи применения пружин из сплава золота, последние все же не получили широкого распространения. Часовщики скоро вновь вернулись к стальным пружинам. Причина заключалась не столько в недостатках нового материала, сколько в неумелом его применении. Так, например, золотые пружины ставили в часы, не имеющие компенсационного устройства. Но такие часы не могли иметь хороший вид (одна из причин — золото с повышением температуры расширяется сильнее, чем сталь).

Известный немецкий часовой мастер Ланге (1815—1875) предложил для изготовления часовых спиральных пружин использовать сплавы алюминия. Первый сплав содержал 100 частей алюминия и 5 частей серебра, второй — 5 частей алюминия и 90 частей меди. На эти сплавы Ланге получил патент в США. Пружины из его сплавов были легче стальных при тех же размерах, не окислялись, не были подвержены магнитным влияниям и, не будучи столь хрупкими, как стальные, не уступали последним ни в твердости, ни в упругости.

Известны также опыты, произведенные англичанином Дентом в 1833 г., по применению для спирали стекла. Было установлено, что такие спирали малочувствительны к изменению температуры. Однако от применения стекла пришлось отказаться ввиду ряда неудобств.

В 1877 г. Пиллард установил, что ценные сплавы для часов можно получить путем соединения палладия с медью и другими металлами. Спирали, изготовленные из сплава палладия, не магнитны и коррозионно стойки; их, однако, применяли в паре с разрезным балансом.

Спирали из сплава палладия применялись в хронометрах, изготавливавшихся в Петербурге в мастерских А. Эриксона и в Англии рядом часовых фирм.

В 1910 г. поиски материала для спиралей получили другое направление, когда Шарлем Эдуардом Гильомом (1861—1938) был изобретен ферроникелевый сплав, который он назвал «элинваром»; последний представлял собой сплав никеля и стали с добавлением хрома. Элинвар имел ряд преимуществ по сравнению с инваром — сплавом никеля и стали. Элинвар тверже инвара и в этом отношении вполне заменяет его; он малочувствителен к воздействию температуры, является немагнитным и мало подвержен действию коррозии [257].

Однако простой монометаллический баланс в паре с элинварной спиралью не дает достаточно удовлетворительной компенсации. Температурная ошибка хода в 0,5—2,5 с на 1° С при современных требованиях к точности хода часов, работающих в большом интервале температур, не может быть признана удовлетворительной. Элинвар недостаточно удовлетворителен не только в этом отношении, но и не обладает такой твердостью, как сталь. Поэтому на практике приходится проявлять большую осторожность в обращении со спиралью, изготовленной из элинвара. При применении его в паре с монометаллическим балансом требуется дополнительная температурная компенсация.

Недостатки, свойственные элинвару, удалось устранить благодаря изобретению в 1920 г. Карлом Гаазом из Шрамберга (Германия) ферроникелевого сплава с добавкой бериллия, вольфрама и молибдена, известного теперь под маркой «ниварокс». Этот сплав имеет низкий коэффициент линейного расширения и сохраняет упругость при температурах выше тех, в которых обычно работают часы. Сплав немагнитный и коррозионно-стойкий. Спираль из него с монометаллическим нейзильберовым ободом баланса дает хорошие результаты без какой-либо дополнительной компенсации [36].

В Швейцарии Р. Штрауман предложил ферроникелевый сплав с присадкой хрома и титана, обладающей свойствами, близкими к нивароксу [36]. Близок к нивароксу также ферроникелевый сплав глюдидюр (название от старого наименования бериллия — глюциний).

В 1941 г. английская фирма «Телкон» изготовила сплав хроновар. Промеанный состав его: углерод — 0,75%, никель — 35,5%, молибден — 0,5%,

хром — 9%, марганец — 1,7%, остальное — железо. Особенностью хроноварной проволоки является небольшой температурный коэффициент упругости, большая сопротивляемость коррозии и достаточная антимагнитность. Известен также сплав метаэлинвар. По сравнению с обычным элинваром метаэлинвар имеет дополнительные примеси — молибден и ванадий.

Необходимо упомянуть еще о существовании сплава дюринвала, который относится к числу ферроникелевых сплавов с добавкой алюминия, титана и других присадок. Он поддается упрочению посредством закалки и отпуска. Имеются также и более новые сплавы для изготовления заводных пружин. В США появился сплав элжиллой, из которого можно изготавливать антикоррозийные, антимагнитные и износостойкие заводные пружины.

Л. Дефоссе в декабрьском номере журнала «Suisse d'Horlogerie» за 1950 г. в свете новейших данных и фактов доказывает, что применение более совершенных сплавов в часостроении во многом облегчает решение задач, связанных с регулированием хода часов, и, что не менее важно, способствует значительному устранению отрицательного влияния на их ход неуравновешенности баланса, изменений температуры, барометрического давления, магнетизма, центробежных сил, трения и других отрицательно действующих факторов.

По свидетельству Дефоссе, разработкой проблем, имеющих отношение к регулированию хода карманных и наручных часов, весьма успешно занимаются исследовательские лаборатории в Невшателе и Безансоне. Он указывает на Гаага и Жакеро как на ученых, сумевших приблизиться к **решению этих** проблем.

Система баланс—спираль как регулятор хода часов

Баланс со спиральной пружиной, в отличие от маятника, может без нарушения правильности хода часов совершать колебания и при переноске, поэтому он нашел применение в качестве регулятора во всех видах переносных часов (карманных, наручных и хронометрах). Баланс—спираль по сравнению с маятником теоретически обладает еще одним крупным преимуществом — период его свободного колебания не изменяется при изменении величины его размаха, или амплитуды.

Когда система баланс—спираль совершает движение свободно, то ее колебания являются простыми гармоническими. Период такого колебания выражается формулой

$$T = 2\pi\sqrt{I/G}, \quad (1)$$

где T — период одного полного колебания баланса; I — момент инерции баланса, который выражается через массу m и радиус инерции k : $I = mk^2$; G — упругая жесткость, развиваемая спиралью при закручивании ее на 1 рад (единицу угла отклонения баланса от положения равновесия).

Условием постоянства хода часов и будет соблюдение постоянства отношения I/G в формуле (1).

Период колебания системы баланс—спираль зависит от величины и расположения массы баланса, размера и упругости материала спирали

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{12mk^2L}{Eh^3b}} = 4\pi \sqrt{\frac{3mk^2L}{Eh^3b}}. \quad (2)$$

Эта формула получается при подстановке в формулу (1) следующих значений: $I = mk^2$; $G = Eh^3b/2L$, где E — модуль упругости спирали; h , b , L — толщина, ширина и длина спирали соответственно.

Из этой формулы вытекает, что на период колебания системы баланс—спираль влияют следующие величины.

а) Масса баланса. Увеличение массы увеличивает период колебания баланса и наоборот. На период может оказывать влияние изменение расположения отдельных частей системы баланс—спираль или смена их на более тяжелые или легкие. Это свойство используется для регулировки периода, например, путем замены более тяжелых винтов баланса более легкими или при помощи подкладывания небольших шайб под винты баланса.

б) Инерция баланса. Она изменяется путем приближения или удаления отдельных частей баланса от его оси (завинчиванием и вывинчиванием особых винтов баланса).

в) Действительная длина спиральной пружины. На этом свойстве основан способ регулировки периода системы баланс—спираль при помощи градусника или особого устройства, позволяющего удлинять рабочую часть спирали.

г) Сила упругости спирали. Упругость учитывается при подборе новой спирали.

В колебательной системе баланс—спираль энергия два раза за период колебания переходит из потенциальной в кинетическую и обратно. Колебания системы — затухающие, поскольку происходит рассеяние энергии на преодоление сопротивления воздуха, трения в опорах осей и внутривиткового трения спирали и т. д. Величина, исчисленная из отношения полной колебательной энергии к сумме потерь за один период колебания балансового осциллятора, характеризует добротность этого осциллятора. А чем выше добротность осциллятора, тем выше стабильность периода колебания системы баланс—спираль.

Затухающие колебания, или колебания с амплитудой, непрерывно уменьшающейся с возрастанием времени t , описываются в теоретической механике следующим дифференциальным уравнением:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -L \frac{dx}{dt} - Rx.$$

Здесь m — масса; cfx/df — ускорение точки. Правая часть уравнения служит мерой совокупных сил, действующих на точку; $-Rx$ — сила, пропорциональная расстоянию точки от некоторого неподвижного центра, $-Ldx/dt$ — сила, пропорциональная

скорости движения точки и направленная в сторону, противоположную движению. Это и есть сила трения. Суммарные потери на трение в колебательной системе определяются коэффициентом затухания. Он находится опытным путем при наблюдении затухания колебаний или последовательности амплитуд по их абсолютной величине. Натуральные логарифмы из отношения этих амплитуд есть постоянная величина. Гаусс назвал ее логарифмическим декрементом (u).

В колебательной системе баланс—спираль одним из важных источников рассеяния энергии является сопротивление воздуха движению этой системы. Оно прямо пропорционально угловой скорости баланса. При допущении, что баланс колеблется свободно (без наличия какого-либо спускового регулятора) и что при этом была замерена начальная амплитуда колебания, а затем и амплитуда по истечении времени f , отношение между ними может быть выражено как $a=Ae^{-uf}$, где a — амплитуда, соответствующая времени t , A — начальная амплитуда, когда t равно начальному времени; u — логарифмический декремент.

Рассеяние энергии в системе баланс—спираль растет вместе с амплитудой, что может быть выражено дифференциальным уравнением

$$\frac{dE}{dt} = Gu a^2,$$

где E — модуль упругости спирали; G — упругая жесткость спирали, развиваемая ею при закручивании на 1 рад [36, 66].

В реально действующих карманных, наручных часах и хронометрах для поддержания незатухающих колебаний регулирующей их системы требуется приток энергии извне или передача импульса от ходовой пружины на ходовое колесо. Величина импульса (или входа энергии в систему баланс — спираль) должна во всех случаях покрывать рассеяние энергии, вызываемое действием трения в опорах осей, сопротивлением воздуха, внутривитковым трением и т. п. Только при этом условии колебания становятся незатухающими.

Колебания системы баланс—спираль происходят под воздействием энергии импульсов и трения. Главной причиной изменения амплитуды, а следовательно, и периода колебания является изменение энергии импульсов, сообщаемой от ходового колеса балансу. Ходовое колесо с приложенным к нему крутящим моментом $M_{кр}$ при взаимодействии с регулятором хода часов образует замкнутую динамическую систему [186]. На ее состояние оказывает воздействие ряд внутренних и внешних факторов.

Внутренние факторы: а) колебания $M_{кр}$ на ходовом колесе вследствие перепада и рывков $M_{кр}$ пружины и изменения мгновенных значений передаточных отношений в колесной системе; б) изменения автоколебательного режима системы баланс—спираль, вносимые анкерным спуском; в) краткосрочные и длитель-

ные изменения условий трения в часах, связанных с изменением вязкости масла, аэродинамического сопротивления воздуха движению баланса; г) потеря энергии в спиральной пружине.

Внешние факторы: а) позиционные ошибки хода, связанные с неуравновешенностью баланса, спирали и анкерной вилки; б) температурные воздействия, связанные прежде всего с термоэластическим коэффициентом спирали; в) влияние атмосферного давления на ход часов; г) влияние толчков, вибраций и ускорений при ношении часов; д) влияние магнитных и электрических полей [252].

Непостоянство крутящего момента, передаваемого заводной пружиной на ходовое или анкерное колесо, — основной недостаток пружинного завода. Отсюда возникает необходимость в применении особых приспособлений, которые известны под названием ограничителя заводки пружины, или останова, и выравнивателя крутящего момента пружины. Пружину не следует заставлять работать на всех шести витках, а только на средних ее витках. Ограничение работы пружины на средних витках достигается применением остановов, например мальтийского креста, накладки Гуллера и т. д. Чтобы обеспечить постоянный крутящий момент подобно тому, какой дает гиревой завод, применяется фузея. На ее оси будет сохраняться постоянный крутящий момент, если цепь, передающая усилие от барабана на фузею, будет работать при полном заводе пружины на наименьшем ее радиусе, а при спущенном заводе пружины — на наибольшем. Теперь фузея используется только в хронометрах.

В последние десятилетия найдены более эффективные средства для обеспечения постоянства передаваемого импульса от ходовой пружины на анкерное колесо. Имеется в виду применение пружин из созданного Штрауманом (Швейцария) сплава нивофлекс, обладающих высоким модулем упругости; они могут обеспечивать продолжительность хода наручных часов до 40 часов от одного до другого завода. При этом можно обходиться более тонкими, но длинными пружинами и тем самым использовать до 0,6—0,7 свободного объема барабана. Испытания показывают, что такие часовые пружины могут служить без остаточной деформации и поломок до 10 лет. График момента пружин из нивофлекса имеет почти горизонтальный участок на рабочем интервале, что необходимо для повышения точности хода часов.

Другим средством стабилизации импульса, передаваемого регулятору, в настоящее время является автоматический завод (об этом см. на с. 367). Перепад крутящего момента может вызываться не только неравномерностью падения энергии заводной пружины, но и трением в колесной передаче. Поэтому к зубчатым зацеплениям часового механизма предъявляются требования: малое трение, большая точность и постоянство передаточного отношения.

В часовых зубчатых зацеплениях имеет место трение скольжения, за счет которого снижается момент, передаваемый на

ведомый триб. Анализ трения на профиле зуба этого триба при входе и выходе зубцов из зацепления показал, что трение имеет максимальное значение при входе зубцов в зацепление, а при выходе равно нулю для зубцов и безвредно. Для уменьшения входного трения головку зуба трибки делают не острой (как этого требует теоретическая циклоидальная форма), а закругленной. Применение закругленной формы зубцов трибки, кроме уменьшения входного трения, придает трибке некоторую универсальность, допуская работу ее с колесами, имеющими различное число зубцов.

Изучение процессов износа в зубчатых зацеплениях обнаружило следы износа от трения скольжения, а также от коррозии даже при незначительных удельных давлениях. Сильному износу подвергаются трибы, у которых число зубцов меньше числа зубцов колеса в 6—8 раз. Доказано, что в результате износа зубцов происходит неравномерная передача движения, изменяется удельное давление в опорах, из-за чего нарушается ход часов.

Погрешности в профиле зацеплений вызывают увеличение трения и ускоренный износ колес. Для правильной работы колесной передачи необходимо свести трение и износ в ней к возможному минимуму и добиться, чтобы они были постоянны по величине. Достигается это снижением удельного давления осей колес, тщательной обработкой трущихся рабочих поверхностей, снижением коэффициента трения зубцов колес, повышением качества смазки.

Установлению законов трения стал в XV в. уделять большое внимание Леонардо да Винчи; его работы в 1699 г. продолжил французский инженер Амантон. Наблюдения последнего в 1771 г. подтвердил Кулон. Он провел четкое различие между статическим трением — силой, необходимой для возникновения начального скольжения, и кинетическим — силой, необходимой для поддержания скольжения.

В 1886 г. Осборн Рейнольдс впервые исследовал трущиеся смазанные поверхности. Он доказал, что сопротивление при движении определяется гидродинамическими свойствами смазочного материала, разделяющего поверхности. В этом случае трение небольшое и теоретически износ отсутствует, но смазочная жидкость растекается и соприкасающиеся поверхности разделены только ее тонким слоем. Трение и износ в этом случае меньше, чем при отсутствии смазки, но значительно больше, чем при полной изоляции поверхностей гидродинамическими пленками. Систематическое исследование смазки было начато в 1920 г. Вильямом Гарди.

При подборе масел для часовых механизмов и для обоснования технических требований к маслам имело большое значение установление предела, за который не должна выходить их вязкость при низких температурах.

Трение может меняться не только при изменении качества смазки, но и при простом изменении положения осей баланса или колесной системы. Поскольку движение осей часового механизма вращательное, а движение регулятора колебательное, то жесткая кинематическая связь между ними не может быть установлена. Поэтому между регулятором (системой баланс — спираль) и последней (самой быстро вращающейся) осью механизма используется еще один механизм, который называется ходом, или спусковым механизмом.

«Едва ли существуют механизмы более интересные, более замысловатые и вместе с тем более деликатные, чем часовые хода, — писал Л. П. Шишелов. — Трудно назвать другую область прикладной механики, где человеческая мысль так долго, так упорно работала над созданием новых и над улучшением старых ходов» [213, ч. 2].

В карманных и наручных часах применяются исключительно регуляторы балансового типа, работающие со свободным или несвободным спусковым механизмом. Несвободные спуски имеют крупные недостатки (малая амплитуда колебания баланса — менее 180° , большая потеря на трение), что вызывает нарушение изохронизма и необходимость в увеличении размеров двигателя. Поэтому в современных карманных и наручных часах несвободные спуски почти вышли из употребления.

Свободные анкерные хода в сравнении с несвободными имеют следующие преимущества: 1) часы могут работать с большой амплитудой колебания баланса, достигающей $300\text{--}330^\circ$; 2) наличие притяжки позволяет балансу осуществлять колебания почти свободно, так как около 90° всего размаха баланса проходит совершенно свободно, не будучи связанным с деталями спускового механизма; 3) малый расход энергии на трение дает возможность уменьшить размеры двигателя или увеличить амплитуду колебания баланса. Все указанные положительные свойства свободного анкерного хода способствовали широкому распространению его в карманных и наручных часах, несмотря на сложную кинематику из-за наличия дополнительного звена (вилки), которая делает работу спуска весьма чувствительной к изменению его размеров вследствие неточности изготовления.

В практике свободный анкерный ход применяется в часовых механизмах с периодом колебания баланса 0,4 или 0,33, причем период 0,4 является наиболее распространенным в приборах времени. Большая амплитуда вызывает увеличение кинетической энергии баланса. Вследствие этого колебания его становятся более устойчивыми и внешние случайные воздействия (вибрация, резкие повороты механизма в пространстве и т. п.) оказывают меньшие влияния на точность хода часов [295, 85—86]. •

Система баланс—спираль, обладающая сама по себе строго ритмическим движением и управляющая периодичностью хода, регулирует также и движение осей часового механизма, обеспечивая линейную зависимость угла их поворота от времени. Ра-

бота часового механизма и складывается из прерывистых, строго периодических движений, состоящих из «циклов колесной передачи», как их называет Ж. Андрад [217]. Таким путем достигается деление колебания системы баланс—спираль на частоты.

Движение основной колесной системы происходит в течение очень коротких промежутков времени, в остальное время она находится в покое. У большинства часов, выпускаемых отечественными заводами, колесная система приходит в движение 5 раз в секунду и находится в движении около 0,15 с. Следовательно, в течение суток она находится в движении менее 2 часов, а более 22 часов остается в покое.



Рис. 221. Блок-схема автоматического регулирования хода часов

Взаимодействие регулятора и спускового механизма (хода) осуществляется автоматически на основе принципа положительной обратной связи (рис. 221). Источник колебаний (маятник, баланс) сам определяет моменты времени, когда требуется доставка энергии. «В этом и заключается, — пишет известный немецкий физик Лауэ, — сущность обратной связи, которая впервые появилась в часах Гюйгенса, как с маятником, так и со спиралью» [16, 16]. Применение этого принципа сделало возможным автоматическое регулирование хода часов. Если в колебательный контур поступает столько же энергии, сколько в нем рассеивается, то устанавливается некоторая стационарная (неизменная) амплитуда колебаний. Низкая амплитуда или значительное отклонение от стационарного ее значения — лучший показатель либо неудовлетворительной энергетической характеристики пружинного двигателя, либо нарушения постоянства в действии сил трения и в подаче импульса.

При малом затухании колебательной системы или при стационарной амплитуде колебания регулятор будет функционировать с периодом, близким к периоду самой колебательной системы. Поэтому малое затухание колебательной системы часов является одним из основных условий точности хода часов или добротности балансового осциллятора.

Современные карманные и наручные часы могут работать с различным периодом или частотой колебания осцилляторов, лишь бы они удовлетворяли требованиям к их конструкции и имеющимся техническим возможностям повышения ресурсов

или мощности колебательной системы. Применение балансового осциллятора с периодом колебания 0,2 с (или с частотой 36 000 полуколебаний в час) невозможно без преодоления возникающих при этом трудностей энергетического характера, которых нет в часах, работающих с периодом колебаний 0,4 с (с частотой 18 000 полуколебаний в час) и 0,33 с (с частотой 21 000 полуколебаний в час).

Требуемая мощность балансового осциллятора определяется по формуле $P = 4\pi^2 I \sigma \Phi_0^2 / Q$, где f — частота колебаний; I — момент инерции; $\sigma = \Delta\Phi_0 / \Phi_0$; Φ_0 — амплитуда; $\Delta\Phi_0$ — падение амплитуды за одно колебание; Q — добротность баланса [293].

Расчеты показали, что при переходе от периода 0,4 к 0,2 с требуемая мощность колебательной системы возрастает в 3,7 раза, а при переходе от 0,33 к 0,2 — в 2 раза при соответствующих значениях Φ_0 [255]. Возникающие в связи с этим трудности энергетического характера могут быть преодолены применением двух заводных барабанов, соединенных последовательно или параллельно, а также анкерного колеса с 21 зубцами. Последовательное соединение заводных барабанов обеспечивает большую степень стабилизации момента. Однако параллельное соединение барабанов обычно бывает более удобным с точки зрения компоновки механизма.

Для увеличения P большое значение имеет максимально возможное снижение потерь в механизме часов.

Если увеличить частоту колебания балансового осциллятора вдвое, восприимчивость часов к разным помехам уменьшается в несколько раз. На этом принципе основывается применение высокочастотного балансового осциллятора, позволяющего увеличить вдвое добротность Q такого осциллятора (с частотой 36 тыс. полуколебаний в час) по сравнению с обычными часами с периодом колебания 0,4 с. Кроме того, достигается снижение перепада амплитуды от изменения положения часов или позиционной погрешности хода часов. В настоящее время принято считать, что погрешность хода часов с периодом 0,2 с может определяться суточным ходом в 1 с [295, 462—466].

Международный коллоквиум по хронометрии, состоявшийся в Париже в 1969 г., обсудил и всесторонне проанализировал вопрос о применении высокочастотного балансового осциллятора в хронометрах и в наручных часах повышенного качества и признал это нововведение весьма перспективным для внедрения в часовую промышленность [294].

Для обеспечения изохронного колебания системы баланс—спираль, кроме подачи достаточной величины импульса для компенсации всех потерь от трения, требуется также строгая пропорциональность упругой силы спирали углу поворота баланса и чтобы центр тяжести баланса лежал точно на оси вращения. Баланс самое малое время должен находиться под действием колесной передачи. Последнее условие обеспечивается приме-

нием свободного анкерного хода в карманных или наручных часах и хронометрового хода в хронометрах. При применении этих ходов, как известно, баланс вступает в контакт только на время импульса и освобождения, а во все остальное время колеблется свободно. Передача мгновенного импульса оказывает влияние на величину периода колебаний тем меньше, чем ближе к положению равновесия находится баланс в момент сообщения импульса. Когда импульс сообщается балансу в момент наибольшей его скорости, он не влияет на величину периода колебаний.

Мгновенный импульс, сообщенный балансу после его прохождения положения равновесия и совпадающий с направлением движения, увеличивает период колебаний, а импульс, сообщенный до прохождения балансом положения равновесия, уменьшает этот период. Импульс, сообщенный против направления движения, наоборот, увеличивает период до положения равновесия и уменьшает его после положения равновесия. Все помехи, действующие на баланс в момент его прохождения положения равновесия, не оказывают влияния на период колебаний. Кроме того, влияние помех уменьшается с третьей степенью частоты и квадратом амплитуды. Влияние возмущающих сил тем больше, чем больше амплитуда колебаний баланса.

Эти положения были выдвинуты в 1827 г. в работе английского королевского астронома Г. Эри, разработавшего теорию свободно колеблющегося маятника [270, 203]. В ней устанавливается связь между направлением и фазой мгновенного импульса и продолжительностью периода полукосильаний. Эта теория имеет актуальное значение не только для маятниковых часов, но и для часов с балансовым осциллятором, что подтверждено и теоретически и практически.

Теория Эри выдвигала идеи, которые могли быть использованы при конструировании часовых ходов и, несомненно, сыграли большую роль в хронометрии. Условия Эри определяли требования, которые должны предъявляться к идеальному часовому ходу. Для обеспечения изохронной колебательной системы имели большое значение исследования Филлипса, Каспари, Андрада и других теоретиков часов, направленные на разработку способов обеспечения линейности восстанавливающей силы балансовой пружины. Работы немецкого астронома Бесселя были посвящены исследованию способов изохронизации подвеса маятника (пендельфедера). Требования, которые теория часов XIX в. предъявляла к совершенствованию и расчету конструкции часовых механизмов, сводились, следовательно, к обеспечению изохронности свободных колебаний системы баланс—спираль (независимости периода колебаний от амплитуды). Именно этим объясняется, что большинство западных теоретиков часов ограничиваются рассмотрением свободных колебаний баланса, в лучшем случае — с учетом постоянного трения. При этом дифференциальное уравнение, описывающее колебание

баланса, имеет следующий вид:

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + K\varphi = \pm Q,$$

где I — момент инерции баланса; φ — угол поворота баланса; K — коэффициент, характеризующий упругость спирали; Q — момент постоянного трения.

Поскольку период колебаний системы баланс—спираль рассматривался как период собственных колебаний этого регулятора, то поведение такого регулятора с параметрами, постоянными по времени, могло характеризоваться линейным дифференциальным уравнением. В настоящее время классическая линейная теория колебаний доведена до высокой степени совершенства, в ней все ясно и разработано во всех деталях.

Решая задачу изохронизации свободных колебаний, теоретики и практики часового дела особое внимание обращали на совершенствование методики расчета отдельных узлов часового механизма, и в этом направлении были достигнуты огромные успехи. В классических трудах Ю. и Г. Гроссманов «Теория часов» [257] и Л. Дефоссе «Основы теории часов» [242], выпущенных в Ла-Шо-де-Фоне в 1950—1952 гг., дается изложение результатов, достигнутых в вопросе совершенствования теории часов и методики расчета отдельных узлов механизма часов. Отличительной особенностью этих трудов является то, что в них теория доведена до инженерных расчетов и может быть использована практически. Формулы, приведенные в этих трудах, даются на основе использования математического аппарата классической (линейной) теории колебаний и теории механизмов. На этой базе была создана математическая модель часового механизма. При ее создании использованы основные величины и коэффициенты, полученные на основе экспериментальных исследований, что приблизило результаты к практике.

В 1908 г. Ю. Андрад указал на необходимость изучать «цикл колесной передачи» совместно с регулирующей системой часов как взаимодействие анкерного колеса с системой баланс—спираль на основе изучения последовательной работы анкерного хода на фазовой плоскости [217]. Для каждой фазы производится расчет возмущений, вносимых анкерным ходом в амплитуду, и вместе с тем определяется алгебраическое значение энергии или, иначе говоря, изменение баланса энергии (повышение или понижение против равенства поступающей и рассеиваемой энергии) [26Т].

В работающем часовом механизме баланс энергии, как критерий устойчивости колебаний в часах, был успешно применен в Советском Союзе в труде профессора Ф. В. Дроздова [193]. Баланс энергии при наличии положительной обратной связи между работой пружинного двигателя и спускового регулятора несомненно соответствует какому-то стационарному режиму колебаний в часах или колебанию с относительно устойчивой амплиту-

дой и периодом колебаний системы баланс—спираль. Поэтому энергетический подход к изучению часового механизма содержит в себе элементы понимания часов как автоколебательной системы. Отсюда вытекает необходимость рассматривать и изучать часы как единую динамическую систему, рассматривать и изучать все факторы, определяющие устойчивость колебаний в этой системе. Это новое направление в разработке теории часов за рубежом начинает развиваться с 30-х годов нашего столетия.

В 1924 г. Ж. Андрад показал существование устойчивого предельного цикла для идеализированной модели хронометрового хода, работающего в режиме мгновенных импульсов. В 1932 г. Ж- Гааг применил метод малого параметра Пуанкаре к изучению динамики цилиндрического хода, работающего в режиме затяжного импульса. Р. Шалеа исследовал работу анкерного хода в предположении, что процесс взаимодействия хода с колебательной системой можно разбить на 17 фаз. Результаты, достигнутые в изучении динамики часового механизма на основе рассмотрения спускового устройства во взаимосвязи с регулятором хода, с должной полнотой изложены в труде Ж- Гаага и Р. Шалеа [261].

Решительный поворот в изучении колебательной системы часов как единой динамической системы совершился после того, как создание теории ламповых генераторов привело к разработке теории автоколебательных систем, которыми являются также и часы. Термин «автоколебание» введен в науку академиком А. А. Андроновым, 40 лет назад заложившим основы надежной и строгой математической теории систем такого типа. Оказывается, что свойства подобных систем и происходящие в них явления и открываемые ими возможности гораздо разнообразнее и богаче, чем у обычных линейных систем, к которым относили и часы.

Автоколебательные системы всегда нелинейны, т. е. в их теории приходится иметь дело с более широким и сложным классом нелинейных дифференциальных уравнений [184].

А. А. Андронов показал, что математический аппарат для решения вопроса о нелинейных колебаниях был уже дан знаменитыми математиками А. Пуанкаре (1881 г.) и А. М. Ляпуновым (1892 г.). Теория нелинейных колебаний, выросшая и окрепшая на проблемах радиофизики, смогла обратиться к самым трудным задачам, в том числе к изучению часов как автоколебательной системы.

В известной монографии А. А. Андронova и С. Э. Хайкина «Теория колебаний», появившейся в 1937 г., есть специальный раздел «Теория часов», где было положено начало автоколебательному подходу в теории часов. Согласно этой точке зрения, «часы представляют собой... такую колебательную систему, которая способна совершать колебания со стационарной амплитудой, не зависящей от начальных условий». И далее: «Всякие силы, которые могут возникнуть в механизме часов, зависят от

положений и скоростей отдельных частей системы, но не зайисят явно от времени. Таким образом, часы — это автономная система» [184, 178].

В «Теории колебаний» рассмотрены простейшие модели часового хода с помощью метода точечных преобразований, без каких-либо предположений о малости членов, входящих в уравнение движения. Они рассмотрены как системы с одной степенью свободы в предположении мгновенной передачи импульса. Приводятся различные предположения о законе изменения скорости при ударе и характере действующих сил трения; предполагается, что импульс передается в момент, когда баланс проходит через положение равновесия (в случае вязкого трения) или через границу «зоны застоя» (в случае постоянного трения). Даются характеристики траектории на фазовой плоскости.

Для изучения системы баланс—спираль+спусковое устройство, как единой динамической системы, особенно плодотворным оказалось использование понятия фазового пространства, метода точечных преобразований, применение теории нелинейных колебаний, включая качественную теорию дифференциальных уравнений. Использование этого математического аппарата положило начало автоколебательному подходу в теории часов. Нарушение равенства в действии сил импульса и сил трения под влиянием различных факторов или изменение энергетики балансовых спусковых регуляторов оказывает свое влияние на устойчивость колебательной системы часов, но в определенных пределах, обусловливаемых свойствами самой системы автоколебаний.

Автоколебание предполагает существование в системе автоматического регулирования часов стационарного режима, зависящего исключительно от свойств автоколебательной системы, а не от начальных условий. В случае нарушения этого режима каким-либо внешним воздействием на амплитуду регулятор часов стремится вернуться к стационарному режиму.

Собственный период колебаний системы баланс—спираль, несомненно, имеет весьма большое значение для обеспечения стационарного режима колебаний, но при этом не существенно, будет ли совпадать период колебаний с периодом собственных колебаний системы. Нельзя основной вопрос о стабилизации периода автоколебаний по отношению к изменению параметров системы подменять вопросом о совпадении периода автоколебаний часов с периодом собственных колебаний системы баланс—спираль, вопросом, не связанным по существу с проблемой стабилизации [186, 3—4].

Условие Эри о независимости периода от величины импульса, если импульс передается в момент прохождения балансиrom положения равновесия, сохраняет свое значение в качестве положительного фактора стабилизации периода автоколебаний, но в определенных пределах, обусловливаемых свойствами автоколебательной системы, оно упускает из виду сложность явле-

ний, происходящих в действительности при функционировании в часах анкерного хода, потери энергии при ударе, немгновенный характер передачи импульса и т. д. Это же подтвердил на основе своих теоретических исследований Н. Н. Баутин. По его мнению, «вопреки укоренившимся представлениям (ведущим свое начало от работы Эри) изменение угла импульса в процессе работы хода еще не является достаточным условием для изменения периода, а постоянство угла импульса даже при симметричном расположении его относительно положения равновесия балансира еще не обеспечивает независимость периода от амплитуды» [186, 14].

Температурная компенсация системы баланс—спираль

Температурная компенсация системы баланс — спираль была проблемой несравненно более сложной и трудно разрешимой, чем компенсация маятника. Это обуславливалось тем, что в системе баланс — спираль под действием температуры изменяются не только геометрические размеры баланса и пружины, но и величина противодействующей силы, т. е. изменяется упругость пружины. Она слабеет при повышении температуры и становится более упругой при понижении ее. В случае маятника вопрос компенсации сводится лишь к сохранению геометрических размеров маятника, так как величина противодействующей силы g остается постоянной для данного места земной поверхности.

После введения в часы балансовой пружины прошло немало времени, пока наконец была понята сущность изменения упругих свойств спирали, связанных с температурными изменениями, и оценено их действительное значение для хронометрии. Даже такой выдающийся ученый, как Даниил Бернулли, еще сомневался в действительном влиянии температурных изменений на упругие свойства спиральной пружины, а следовательно и на ход часов. Джон Арнольд, с своей стороны, утверждал, что свойства предложенных им геликоидальных пружин не зависят от температуры. Эти утверждения, как случайные и необоснованные, легко были опровергнуты, однако точный характер влияния температурных изменений и в связи с этим упругих свойств спирали на ход часов оставался неизвестным. Не было надлежащего ответа и на вопрос, происходит ли в связи с этим опережение или замедление хода часов и по какому закону оно происходит в зависимости от изменения упругих свойств спирали.

Для решения этого вопроса был произведен ряд экспериментов. В 1840 г. Э. Д. Дент проводил опытные исследования над некомпенсированными хронометрами с балансом из стекла и со стальными спиралями из закаленной и отпущенной стали. Он испытывал хронометры при различных температурах в диапазоне от 32 до 100° (по Фаренгейту) и установил, что момент упругости спиральной пружины изменяется прямо пропорционально изменению температуры.

Сходные эксперименты произведены были и в Гринвичской обсерватории Георгом Эри в 1859 г. над двумя хронометрами; один из них был изготовлен фирмой Молине (№ 1574), другой — фирмой Фродшам (№ 3148). Хрономет-

ры были снабжены геликоидальными пружинами из закаленной и отпущенной стали и латунными некомпенсированными балансами. Аналогичные эксперименты были тогда же поставлены во Франции Деламаршем и Плуа над хронометрами Бреге. Результаты их исследований изложены в специальной статье [243].

Хотя все три эксперимента производились независимо друг от друга, результаты были получены одинаковые: суточный ход часов изменяется прямо пропорционально изменению температуры.

В 1859 г. Эри опытным путем показал, что хронометр с обыкновенным латунным монометаллическим балансом (без компенсации) отстаёт на 11с при каждом повышении температуры на 1° и соответственно уходит вперед при понижении температуры. Изменение момента сил упругости спирали оказывает на ход часов наибольшее влияние (8,92 с из 11с). Отсюда возникла мысль сконструировать систему баланс — спираль таким образом, чтобы при повышении температуры момент инерции баланса уменьшался одновременно с уменьшением упругой силы спирали и по законам, находящимся в определенной и однозначной связи. Компенсацией, по справедливому мнению Ф. Берту, и является «такое положение вещей, при котором два порока одной и той же машины противопоставлены друг другу и взаимно друг друга уничтожают, благодаря чему получается усовершенствование машины». Тогда в приведенной выше формуле $T = 4\pi \sqrt{3mk^2L/Eh^3}$ числитель и знаменатель подкоренного выражения изменяются в равной мере и дробь, а следовательно и период, останется без изменения.

Нам уже известно, что ранняя история температурной компенсации системы баланс — спираль представлена двумя основными конструкциями. Одна из них выполнена в виде биметаллического градусника, изобретенного Джоном Гаррисоном в 1758 г., а другая — в виде разрезанного биметаллического баланса, впервые изобретенного в 1761 г. Пьером Леруа. Берту в своих ранних конструкциях часов применил первый вид компенсационного устройства, а в поздних — второй вид. Прочные основы для применения в часах и хронометрах биметаллического разрезного баланса вместо биметаллического градусника были заложены Джоном Арнольдом и Томасом Ирншау. Последний внес значительные усовершенствования в изготовление биметаллического разрезного баланса, научившись сваривать вместе стальную и латунную части обода. С этого времени (1785 г.) его конструкция стала уже соответствовать всем основным требованиям, которые предъявляются к ней и в настоящее время.

Со времени Ирншау принцип биметаллической компенсации приобретает безраздельное господство. Балансы стали изготавливаться с биметаллическим ободом, с разрезом либо у перекладины, либо посередине. Этот принцип оставался до тех пор, пока прогресс в металлургии в создании новых сплавов металлов не открыл возможности искать компенсацию внутри молекулярной структуры новых сплавов. Речь идет о применении для этой цели инвара и элинвара — сплавов, изобретенных Гильомом. Все попытки, имевшиеся до Гильома, ввести иной принцип, чем принцип биметаллического разрезного баланса, оказались безуспешными.

Если ход хронометра, снабженного компенсационным устройством, отрегулировать для двух данных температур, то эта регулировка не является действительной для других температур. Опыт показывает, что в интервале

между двумя заданными температурами хронометр уходит вперед, и при всякой температуре, выходящей за пределы двух заданных температур, хронометр отстает. Например, ход хронометра, отрегулированный при 0 и 30°, остается постоянным только при наличии этих температур, называемых температурами компенсаций. При других температурах, лежащих Между данными температурами, например при 15°, хронометр или часы идут с опережением по крайней мере на 2 с. Если регулировку хода хронометра осуществить при температурах компенсации 0 и 15°, то при 30° он отстанет по крайней мере на 4 с. Существование такой погрешности хода хронометров с компенсацией на температуру было впервые открыто в 1832 г. выдающимся английским часовщиком Эдуардом Джоном Дентом. Эти погрешности получили название «аномалии Дента», или «вторичной ошибки» компенсации.

В брошюре «Об ошибках хронометров», опубликованной Дентом в 1842 г., сущность этой погрешности формулируется следующим образом: «...если хронометр, построенный по обычному принципу, отрегулировать для какой-либо средней температуры, то он будет отставать при крайних температурах, и наоборот, если он отрегулирован для крайних температур, то он будет идти вперед при средней температуре» [244, 17].

Причиной возникновения вторичной ошибки является неодинаковый закон изменения момента спиральной пружины. Вторичная погрешность лишь тогда будет сведена к нулю, когда кривая падения статического момента пружины станет зеркальным отображением кривой падения момента инерции баланса. Для этого требуется, чтобы момент инерции уменьшался с возрастанием температуры быстрее, чем по линейному закону.

Для устранения вторичной ошибки от компенсации было предложено большое число конструкций балансов с добавочной, или вторичной (вспомогательной), компенсацией.

Вопрос о теоретических основах температурной компенсации рассмотрен в нашей статье [81, 190—194].

Применение устройств для вторичной компенсации не привело к желательным результатам. Наличие подобного устройства в механизме часов вызывало появление новых погрешностей хода из-за того, что увеличивалась деформация обода под действием центробежной силы и происходило увеличение трения о воздух или давления воздуха на ход часов. Вследствие этого в русском флоте приказом по Морскому министерству совершенно не допускались к употреблению хронометры, имеющие вторичную компенсацию, и все они переделывались с целью устранения таких компенсационных устройств.

Совершенно новый подход к проблеме компенсации стал возможен после того, как Шарль Гильом открыл возможность использования ферроникелевых сталей для хронометров. Изучая ферроникелевые сплавы, он в 1899 г. открыл инвар (35,7% никеля, 64,3% железа), имеющий практически нулевой коэффициент линейного расширения. Это позволило перейти к изготовлению балан-

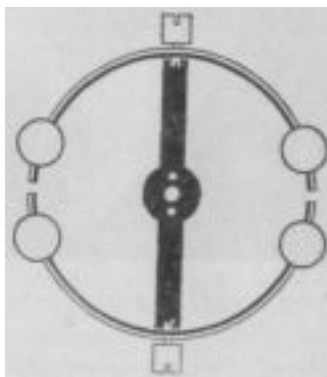


Рис. 222. Интегральный баланс Гильома (типа Леруа)



Шарль Эдуард Гильом

ричную). Благодаря своему совершенству интегральные балансы вытеснили в морских хронометрах все другие системы балансов — громоздкие сложные и ненадежные в отношении обеспечения вторичной компенсации.

Наблюдения над ходом хронометров с балансом без вторичной компенсации и с интегральным балансом Гильома, произведенные в Невшаттельской обсерватории, показали, что в первом случае погрешность хода чаще всего составляла 2,2 с (с опережением), тогда как во втором случае она не превышала 0,25 с опережения. Баланс Гильома, следовательно, уменьшил вторичную ошибку на 90%. Кроме того, он обладает большей устойчивостью, чем баланс сталь — латунь. Но при применении баланса Гильома погрешность хода все же не могла быть окончательно устранена.

Гильом на этом не остановился. Он искал разрешения проблемы компенсации посредством применения особой самокомпенсирующейся спирали и монометаллического неразрезного баланса. Первый, кто указал на эту возможность, был Поль Перри — швейцарский часовщик из Ла-Шо-де-Фоне. Около 1895 г. он изобрел специальный ферроникелевый сплав и нашел, что если соединить латунный монометаллический баланс со спиральной пружиной, изготовленной из сплава с содержанием 72% стали и 28% никеля или же с содержанием никеля от 43,5 до 44%, но с балансом, мало подверженным действию температуры, то может быть достигнута весьма удовлетворительная самокомпенсация системы баланс — спираль. За свое изобретение Перри получил патент во многих странах (немецкий патент за № 98544). В России привилегия на это изобретение была выдана только в 1900 г.

сов типа Леруа с разрезом каждой половины обода посередине (рис. 222). Каждая половина обода прикреплена к перекладине строго своей серединой, благодаря чему образуются четыре плеча с четырьмя грузами вместо двух плеч обыкновенного компенсационного баланса, от которого он, кроме того, отличается применением нового металла. В ранее применявшейся паре латунь — сталь вторая компонента была при этом заменена инваром, вследствие чего падение кривой момента инерции баланса стало происходить в соответствии с падением статического момента спиральной пружины. Такие балансы называются интегральными, так как они осуществляют полную компенсацию погрешностей от действия изменения температуры. С этого времени компенсация перестала делиться на главную и вспомогательную (вторичную).

Для изготовления спиралей из сплава, изобретенного Перри, был организован в г. Флерье (Невшательский кантон) одной акционерной компанией специальный завод. Однако эти спирали имели крупные недостатки (большая вторичная ошибка, значительное внутреннее трение в материале спирали и др.), вследствие чего свободные колебания баланса быстро затухали. Такие спирали были трудны в изготовлении, так как незначительные изменения в пропорции сплавов влекли за собой изменения термоэластического коэффициента. Поэтому изобретение Гильомом в 1910 г. сплава элинвар (ферроникель с добавлением углерода, хрома и вольфрама), упругие свойства которого не зависят от изменения температуры, явилось весьма важным и своевременным. Применение спирали из этого сплава в часах массового производства позволило перейти к монометаллическому балансу и подвергнуть коренной реконструкции биметаллический баланс.

Но до настоящего времени не удается получить элинвар с неизменными термоэластическими коэффициентами, поэтому сохранилась необходимость в доводке компенсации до требуемого значения температурного коэффициента. Но при монометаллическом балансе такая возможность исключена, поэтому возникает потребность в балансе особой компенсации, позволяющей регулировать его компенсационное свойство.

Выдающийся швейцарский часовщик П. Детисгейм предложил для элинварной спирали баланс монометаллический и не разрезной, но для возможности регулирования все же снабдил его парой коротких металлических пластинок, назначение которых заключается в устранении возможных ошибок в ходе регулировки. Описание этого баланса П. Детисгейм опубликовал в 1921 г. в швейцарском часовом журнале «Спираль элинвар и баланс хронометра с компенсационным аффиксом» [246].

Баланс Детисгейма (рис. 223) состоит из сплошного кольца; по его окружности имеются два выреза, в которых маленькими винтиками укреплены биметаллические дуги, служащие для корректировки температурной компенсации, достигаемой за счет элинвара. Регулировку компенсации системы баланс — спираль осуществляют перемещением винтов-грузиков вдоль биметаллических дуг, изменением числа этих винтов и сменой более легких винтов на тяжелые. В конструкции баланса Детисгейма отсутствуют части, выступающие над поверхностью обода (биметаллические дуги расположены во впадине, головки винтов для регулировки центра тяжести не выступают над поверхностью обода). Этим устранено влияние центробежной силы, устранено, насколько возможно, трение о воздух и т. д. Недостатком этого баланса является чувствительность к магнетизму, что ограничивает возможности его применения. Баланс Детисгейма не получил большого распространения и использовался лишь в хронометрах фирмы самого изобретателя.

Другим направлением разрешения проблемы регулировки хода хронометра с монометаллическим балансом является создание дифференциального баланса. Он был изобретен Ш. Воле еще в 1910 г., но не мог иметь практического значения, пока не появились ферроникелевые сплавы более высокого качества, чем элинвар. Обод дифференциального баланса Воле (рис. 224) сплошной, неразрезной, что очень выгодно для уменьшения действия центробежной силы. Отличительной чертой этого баланса является также то, что его обод из одного металла с разными коэффициентами линейного расширения. Компенсационная способность баланса зависит в основном от разности

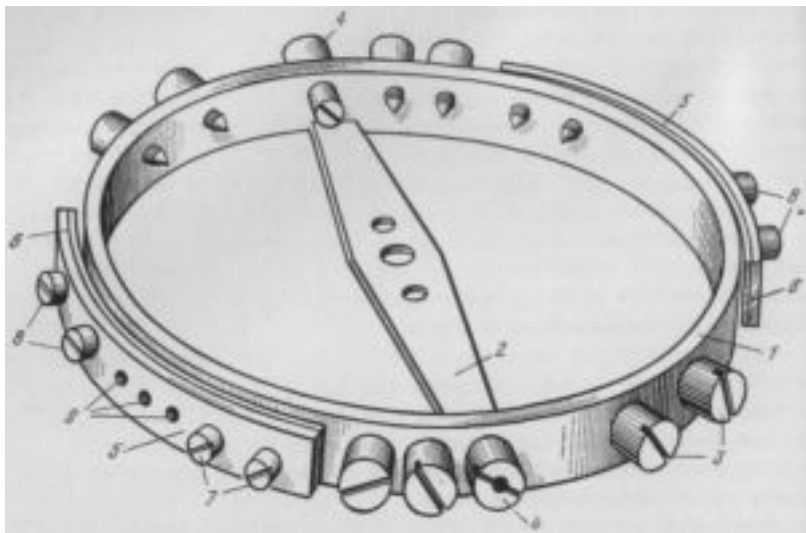


Рис. 223. Баланс Детисгейма

1 — обод; 2 — перекладина; 3 — винты обода; 4 — регулировочные винты; 5 — дополнительные биметаллические дуги; 6 — линия спая дуг; 7 — винты крепления; 8 — компенсационные винты; 9 — свободные отверстия

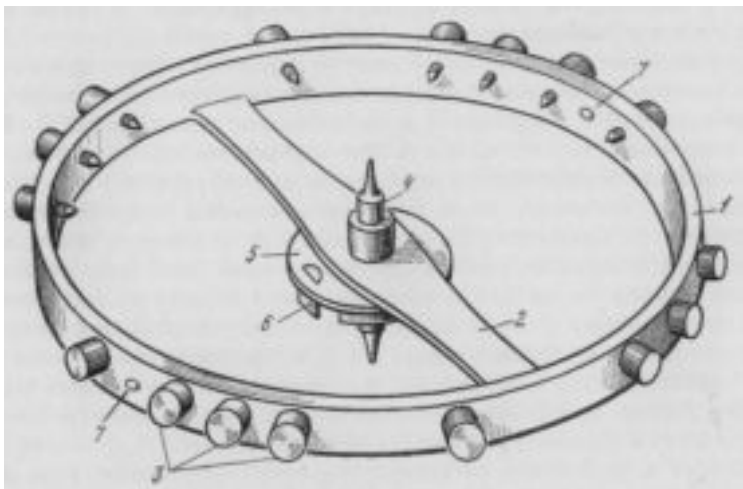


Рис. 224. Дифференциальный баланс Воле

1 — обод; 2 — перекладина; 3 — компенсационные винты; 4 — ось; 5 — двойной ролик; 6 — эллипс; 7 — свободные отверстия

коэффициентов линейного расширения обода и перекладины; она составляет 20×10^{-6} мм.

Однако получить таким методом удовлетворительные результаты компенсации долго не удавалось. Это стало возможным лишь после того, как в 1928 г. швейцарский ученый Р. Штрауман нашел особым образом обработанные материалы для увеличения разности коэффициентов линейного расширения обода и перекладины, что и обеспечило практическое применение дифференциального баланса.

В 1941 г. Вильям О. Беннет (США) получил на дифференциальный баланс патент. Этот баланс, как и баланс Воле, имел перекладину и обод из разных металлов. Баланс соединен с волоском особого сплава. Во время второй мировой войны 1939—1945 гг. адмиралтейство США заказало фирме «Гамильтон» несколько тысяч хронометров с дифференциальным балансом. Заказ был выполнен.

Хронометр фирмы «Гамильтон» изготовлен из следующих сплавов: обод — хромоникелевая сталь (хром 18,56%, никель 9,65%, марганец 0,36%); перекладина — никелевая сталь (никель 68,8%, марганец 0,23%). Этот баланс в сочетании со спиралью из сплава (никель 43,4%, титан 1,6+6%, хром 5,49%, марганец 0,65%) обладает хорошими компенсационными свойствами.

Изохронизация колебаний системы баланс—спираль

Со времени изобретения хронометра становится актуальной проблема повышения стабильности и точности его хода. Решить эту проблему, ориентируясь только на знания, приобретенные опытом, без обращения к теории, оказалось невозможным.

Одной из сложных и важных проблем в ряду других была проблема изохронизации колебаний спирали; часовых дел мастерам с ней приходилось иметь дело каждый раз, когда перед ними вставал вопрос о подборе изохронной спирали. Хотя еще П. Леруа сформулировал правильно принцип изохронизации, по которому «в каждой волосной спирали достаточной длины существует определенная длина, при которой все колебания, большие и малые, являются изохронными», но он оставался на уровне эмпирического правила — критерия, пока не получил подтверждения со стороны теории. Только после этого стал возможен подход к реализации принципа Леруа не путем «проб и ошибок», а объективно научным.

Для теоретического обоснования принципа Леруа наибольшее значение имели труды Э. Каспари [233]. Он пришел к тем же выводам, что и Берту, 100 лет до того писавший, что для изохронности плоской спирали требуется, чтобы она была возможно большей длины и имела большое число витков малого диаметра. Каспари впервые дал выражение для погрешности периода, вносимой плоской спиралью без концевых кривых, и указал на возможность изохронизации колебательной системы при целом числе витков ($+1/4$ витка). Впоследствии Каспари учел поправку на влияние хода механизма и установил значение суммарных углов изохронных спиралей. Он нашел, что на каждом витке спирали имеется не одна (как указывал П. Леруа), а две точки, могущие обеспечить изохронность колебаний. Большое внимание он уделил раз-

работке вопроса о влиянии расположения точек крепления спирали на изохронизм собственных колебаний баланса, установил зависимость периода колебаний от амплитуды с учетом смещения точек крепления концов спирали и числа витков. Эти вопросы стали предметом внимания таких ученых, как М. Резаль и Гроссманы. Первый дал некоторые уточнения выводов Каспари [286], а вторые исследовали траектории центра тяжести спирали и дали рекомендации по выбору угла между точками крепления.

Следствием применения анкерного хода было увеличение по сравнению с цилиндрическим ходом амплитуды колебания системы баланс — спираль и, следовательно, длины спирали, находящейся в паре с балансом. В связи с этим появилась необходимость предотвращения излишнего напряжения спирали и сохранения заданного ему положения иметь спирали с более чем с 8—9 витками. Длина спирали не должна быть и излишней, потому что избыточный вес вредит точности хода.

Первым часовщиком-хронометристом, отошедшим от традиции применения в хронометрах плоской спирали, был Джон Арнольд. Он, как известно, в своих карманных и настольных хронометрах применил спиральную пружину цилиндрической формы с наружной концевой кривой, называемую геликоидальной. Этому примеру вскоре последовали многие мастера-хронометристы. Однако геликоидальная форма спирали оказалась неудобной для применения в карманных хронометрах и в карманных часах, поскольку для расположения такой достаточно длинной спиральной пружины требовалось изготавливать часы больших габаритов. Поэтому во всех карманных часах в паре с балансом по необходимости продолжали применять плоские спирали.

Последние при колебании баланса раскручиваются и закручиваются, и центр тяжести спирали постоянно перемещается около оси вращения баланса. По этой причине в опорах увеличивается трение и возникает добавочный момент на колодке спирали. Чтобы уменьшить влияние добавочного момента и совместить центр тяжести спирали с осью вращения, внешние и внутренние концы спирали в настоящее время выполняются по определенным концевым кривым. Концевые кривые уменьшают влияние смещения центра тяжести баланса со спиралью относительно оси вращения во времени хода часов.

Концевые кривые. Найденная Арнольдом геликоидальная форма спиральной пружины изготавливалась им с изгибом концов спирали во внутрь. Позже он нашел, что для обеспечения изохронного колебания спирали достаточно изготавливать концевые кривые над или под витками спирали при условии обеспечения достаточной длины волоска.

Нельзя не отметить одного курьезного совпадения: балансовые пружины геликоидальной формы еще до Арнольда были применены Гаррисоном в его морских часах № 1 (1735 г.) и № 2 (1739 г.). В них имелись концевые кривые и такое же свертывание спирали, на которые Арнольд позже получил патент. Правда, гаррисоновские геликоидальные пружины работали на растяжение, а не на кручение. Концевые кривые предназначались для сосредоточения силы растяжения на конце пружины.

Арнольд и его соперники по часовому искусству продолжали совершенствовать метод изготовления концевых кривых спиралей, но достигнутые на этом пути успехи держались в большом секрете и ничего не сообщалось о том, как и почему были достигнуты те или иные результаты.

А. Д. Бреге (1747—1823) в 1802 г. впервые применил в часах плоскую

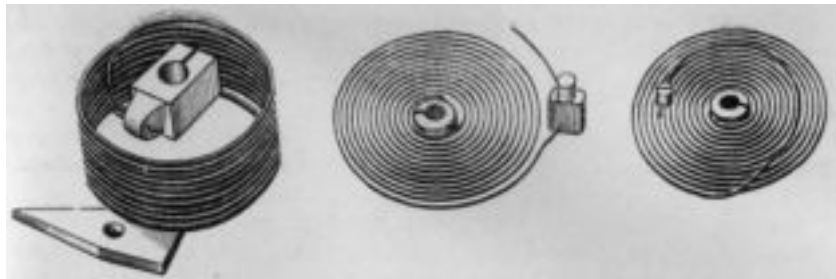


Рис. 225. Брежетированные спирали

балансовую пружину с наружными концевыми кривыми. В его честь плоские спирали с такими кривыми получили название брежетированных («Spiral Breguet»). В этой спирали внешний виток приподнят на 0,3—0,5 мм и расположен над плоскостью спирали; конец концевой кривой, работающей в штифтах градусника, является дугой окружности, проведенной радиусом из центра оси баланса.

Брежетированные спирали (рис. 225) отличаются простотой и легкостью изготовления и до сих пор применяются в карманных часах. Некоторая трудность имеется лишь в определении длины, которую спираль должна иметь.

Применение концевых кривых позволило намного улучшить изохронность колебаний системы баланс — спираль. Благодаря применению концевых кривых удалось устранить погрешности в ходе часов, обусловленные перемещением центра тяжести спирали относительно оси вращения баланса при раскручивании и закручивании спирали. Спираль с концевыми кривыми могла теперь двигаться во все стороны совершенно равномерно.

Изобретения Арнольда и Бреге носили эмпирический характер и не имели теоретического обоснования. Теоретическое изучение и объяснение действия балансовой пружины и баланса при жизни Арнольда и Бреге только начиналось. Можно, в частности, назвать математические исследования этой проблемы, осуществленные Георгом Атвудом, результаты которых изложены в его труде [224].

Эта работа не касалась вопроса о концевых кривых, поэтому высококвалифицированные мастера и после появления этой работы вынуждены были производить изгиб концевых кривых путем проб и ошибок, пока у них не возникло стремление найти определенную закономерность в формах изгиба концов спирали. Для решения этой задачи один из часовщиков обратился к горному инженеру Эдуарду Филлипсу (1821—1889)—теоретику, обладавшему солидной физико-математической подготовкой. Он взялся за эту задачу и блестяще ее решил. Результаты исследований он в 1861 г. изложил в книге «Мемуары о регулируемой спирали» [280].

Разработкой теории концевых кривых Филлипс поставил искусство регулировки хода часов на научную основу. «Только начиная с работ Филлипса, т. е. с момента, когда математик, инженер высшей квалификации,—пишет Лосье,—перестал видеть в часовом деле особое специальное искусство и пытался применить к нему принципы прикладной механики, часовое дело становится наукой» [196, 65].

Филлипсу удалось установить математические условия, которым должны удовлетворять внешние концевые кривые Бреге, чтобы совершенно уничтожить смещение спирали и ее центра тяжести и обеспечить расположение центра тяжести спирали на оси вращения баланса как в свободном, так и в деформированном состоянии. Э. Филлипс установил, что концентрическое развертывание и свертывание спирали и изохронное колебание баланса возможны при определенных условиях.

Концевые кривые, кроме погрешности изохронизма, исправляют также и погрешности хода, обусловливаемые различным положением часов в пространстве. Определяя положение центра тяжести внешней концевой кривой, формулы Филлипса не отражают самих кривых. Он вычертил множество концевых кривых, отвечающих условиям, приведенным в его «Записках о регулируемой спирали». Эти кривые теоретически совершенно правильные, но не все одинаково удовлетворяют практическим требованиям регулировки системы баланс — спираль.

Э. Филлипс опубликовал свои «Мемуары» как ученый-математик для ученых. Ю. Гроссман на основе его теории разработал форму внутренней концевой кривой. Последняя вместе с колодкой оказывает на баланс не меньше влияния, чем внешняя концевая кривая. Директор часовой школы в Безансоне М. Л. Лосье изложил теорию концевых кривых так, чтобы она могла получить практическое применение в кругах часовых мастеров [276]. Теоретические правильные концевые кривые применяются только в самых точных часах. Причина, несомненно, заключается в том, что внутренняя концевая кривая, несмотря на все ее высокие достоинства и совершенства, трудна в изготовлении и регулировании.

Говоря не о теоретических, а о практических возможностях применения концевых кривых Филлипса, следует иметь в виду следующее замечание Лосье: «Филлипс установил теоретические условия, которым должна удовлетворять спираль, чтобы быть изохронной, но изохронная спираль не обуславливает изохронности самих часов. Случается, что регулировщик, устраняющий влияние изменения в «ходе», вынужден уничтожить изохронизм спирали, а следовательно, и изменить концевые кривые; при этом он отступает от теоретических данных, так как ему изохронная спираль не нужна. Но это далеко не умаляет значения теории Филлипса, напротив, подтверждает ее поразительным образом» [196, 35].

Нелинейность спирали объясняется неоднородностью упругих свойств материала спирали. Это вместе с добавочным моментом, создаваемым спиралью (когда точки крепления ее внутреннего и внешнего концов не лежат на одной прямой), является основной причиной неизохронности собственных колебаний системы баланс — спираль.

Значительная погрешность хода часов связана с самой колебательной системой, с характеристикой свойств спирали и с ее геометрическими размерами. Поэтому оценивать качества материала спирали требуется не только по технологическим свойствам и температурному коэффициенту, но и по ее упругим свойствам. Будучи нелинейной функцией угла закручивания, восстанавливающий момент может быть также различным. Однако следует подчеркнуть, что, как правило, система баланс — спираль является колебательной системой с малой нелинейностью.



Эдуард Филлипс

Для повышения точности хода часового механизма необходимо применять спирали с определенным числом витков, соблюдая угловое смещение точек крепления внутреннего и внешнего концов спирали, руководствуясь теорией спирали Ж- Гаага [263]. В своей работе он доказал, что: 1) выводы П. Леруа,- Э. Каспари, Э. Филлипса и Ю. Андрада представляют собой частные случаи этой теории; 2) подбором числа витков можно изменить траекторию центра тяжести спирали в нужном направлении; 3) подбором угла смещения спирали можно устранить погрешности хода при горизонтальном положении часов.

Неуравновешенность баланса вызывает изменение периода колебания баланса, особенно в тех случаях, когда ось баланса расположена горизонтально. Неуравновешенность баланса имеет место, когда он насажен на ось эксцентрично, либо когда ввернуты более тяжелые винты только с одной стороны,

либо обод в разных местах имеет разную толщину или ширину. Избыточный вес на той или иной стороне обода или смещение центра тяжести создает дополнительный момент, который в зависимости от величины амплитуды и положения центра тяжести будет различно влиять на ход часов. Погрешность в ходе часов при различном их положении оси баланса носит название позиционной погрешности. Она особенно значительна в тех часах, где внешняя концевая кривая выполнена неправильно или ее совершенно нет.

На основе экспериментальных и теоретических исследований Э. Филлипс установил, что период колебания при неуравновешенном балансе зависит от амплитуды. Например, при положении центра тяжести баланса выше оси вращения часы при амплитуде менее 220° будут отставать, при амплитуде, равной 220° , идти точно, а при амплитуде более 220° — спешить. При постоянной амплитуде, равной 220° , часы будут идти точно даже тогда, когда центр тяжести расположен ниже оси баланса, но в этом случае при амплитуде менее 220° часы будут спешить, а при амплитуде 220° — отставать. Результаты своих исследований Э. Филлипс опубликовал в специальной статье [281]; ее оценка дана в классическом труде Сонье [290, 784].

Особо следует остановиться на выводах, полученных Юлием и Германом Гроссманами в результате исследования ими влияния на ход часов изменения положения часов с горизонтального на вертикальное (на горизонтальное положение оси баланса). При этом условии, по их мнению, на изменение хода часов могут влиять две причины: изменение величины зазора между спиралью и штифтами градусника и изменение трения цапф.

«Если часы спешат в вертикальном положении,— утверждают Ю. и Г. Гроссманы,— то прежде всего надо убедиться, нет ли большого зазора между спиралью и штифтом градусника. Обнаружив такой зазор, нужно его устранить» [257, ч. 2, 141]. И далее: «В том случае, если наружный виток не имеет допустимого зазора между спиралью и штифтами градусника и часы все же в вертикальном положении имеют другой ход, чем в горизонтальном, из-за увеличения трения в цапфах баланса. Это имеет своим следствием уменьшение амплитуды колебания баланса и перемещение точки крепления конца пружинного витка. В связи с этим наблюдается замедление хода часов» [257, ч. 2, 189].

Для надежного обеспечения единообразия в ходе часов при всех изменениях их положения Бреге изобрел особый ход, известный под названием «турбион» (tourbillon), или «вихревой ход». Он снабжен механизмом, который при своем вращении каждый раз делает один оборот за минуту с неизменным постоянством и при всех положениях часов. Сходное устройство, называемое «каруселью» (carrusel), было изобретено Бониксеном; там за $52\frac{1}{2}$ минуты баланс со спуском поворачивается один раз. В часах с ходом турбион и карусель самой чувствительной частью является механизм хода, который несколько раз в сутки принимает различные положения, независимо от того, какое положение будет придано самим часам.

Хронометр с ходом турбион успешно изготовлял в конце XIX в. известный русский часовщик И. В. Толстой. Однако такой способ устранения влияния неуравновешенности на суточный ход часов очень сложен и в настоящее время применяется редко. Благодаря использованию специальных приборов контроля хода в настоящее время возможно быстрое и достаточное устранение неуравновешенности узла баланса.

На изохронные свойства системы баланс—спираль оказывают влияние не только факторы, непосредственно связанные с самим механизмом хронометров и часов, но и ряд факторов, внешних по отношению к механизму. Изучение их имело большое практическое значение в теории часов. Не зная характера взаимной связи между этими факторами, ученые астрономы с вполне достаточной для практики степенью приближения провели в XIX — начале XX в. большие исследования по изучению влияния каждого из этих факторов на ход хронометров в отдельности.

Результаты такого изучения были использованы не только для оценки погрешности хода, но и для корректировки показаний, для экстраполирования и интерполирования в условиях эксплуатации, в длительных хронометрических экспедициях. Проведение таких экспедиций имело особое значение для России, где в середине XIX в. в большом объеме выполнялись картографические работы и вместе с этим — работы по определению долготы с помощью хронометра. Пулковская обсерватория сделала, как правильно отметил в свое время В. Я- Струве, «всеобщим центром всех огромных работ, касающихся точной географии, которые активно выполняются на обширных территориях России на уровне, которого не знает история подобного рода работ». В связи с этим центр исследования хода хронометров с середины XIX в. перемещается из стран Западной Европы в Россию [19].

Глава V

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАРУЧНЫХ ЧАСОВ

Наручные часы также имеют свою историю, хотя и не такую долгую, как карманные и настенные. Малые размеры наручных часов, необходимость приспособить их механизм к ношению на руке вызвали ряд проблем, решение которых имело большое значение для дальнейшего развития часов с регулятором баланс—спираль.

Первые наручные часы. Первое известие об изготовлении часов с браслетом относится к 1809 г. В этом году парижский ювелир Нитон по заказу Жозефины — жены Наполеона I — изготовил два одинаковых браслета из золота, жемчуга и других драгоценных камней. На одном браслете были часы, на другом — календарь. Браслеты предназначались в качестве свадебного подарка для принцессы Августы Амелии Люксембургской по случаю ее венчания с сыном Жозефины — Евгением. Однако идея изготовления часов с браслетами не привлекла внимания часовщиков того времени. И только с 1850 г. (особенно в 1896—1906 гг.) часы с браслетом получили во Франции распространение.

В 1880 г. немецкое адмиралтейство начало переговоры с несколькими швейцарскими часовщиками об изготовлении наруч-

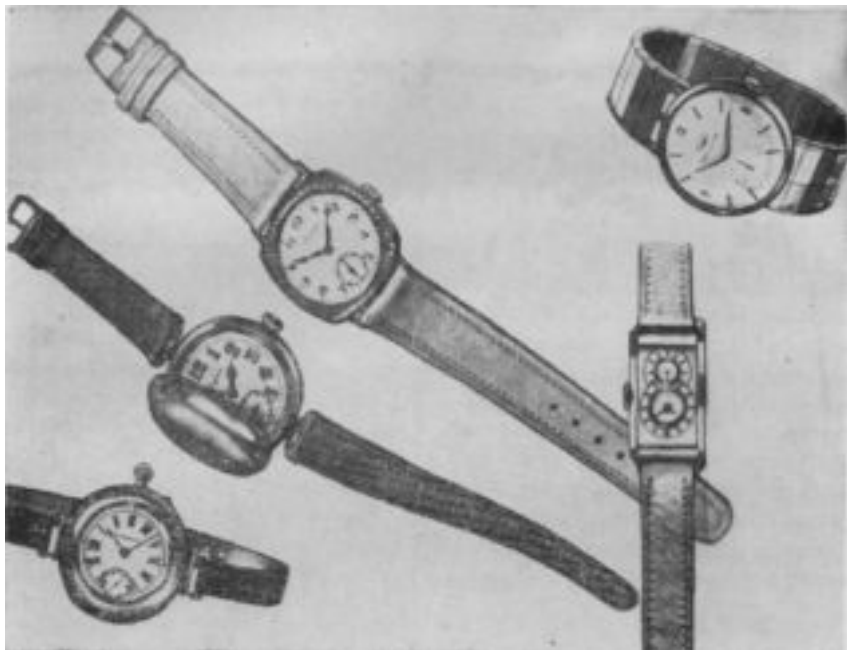


Рис. 226. Модели мужских наручных часов периода первой мировой войны

ных часов; заказ был выполнен. Часы предназначались для морских офицеров. Наручные часы уже не являлись новостью, новым было появление серийного производства этих часов (около 1901 г.). С 1905 по 1907 г. выпускались круглые наручные часы диаметром 32,7, 30,2, 25,2, 20,8 мм, а затем и 17,7 мм. Их механизмы отличались хрупкостью, и некоторые иностранные клиенты были разочарованы. В 1904 г. груз с наручными часами, отправленный из Европы в США, вызвал насмешки и был возвращен обратно. Не было проявлено интереса к наручным часам и в других странах. И только после 1910 г. такие часы стали более или менее успешно изготавливаться в Англии. В 1913 г. появляется множество так называемых фигурных часов. Началась первая мировая война. Артиллерийские офицеры и авиаторы раньше других почувствовали удобство и необходимость наручных часов. Вскоре заказы на их изготовление стали поступать в больших количествах, и все росли. Когда США вступили в мировую войну, они также почувствовали нужду в наручных часах и стали направлять заказы в Европу на их изготовление. 1918-й год был годом широкого распространения часов с прямоугольными корпусами. До этого наряду с прямоугольными корпусами были в ходу восьмиугольные, в форме бочонка и т. д.

На рис. 226 представлены модели мужских **наручных часов** времен **первой** мировой войны. Они напоминают маленькие кар-

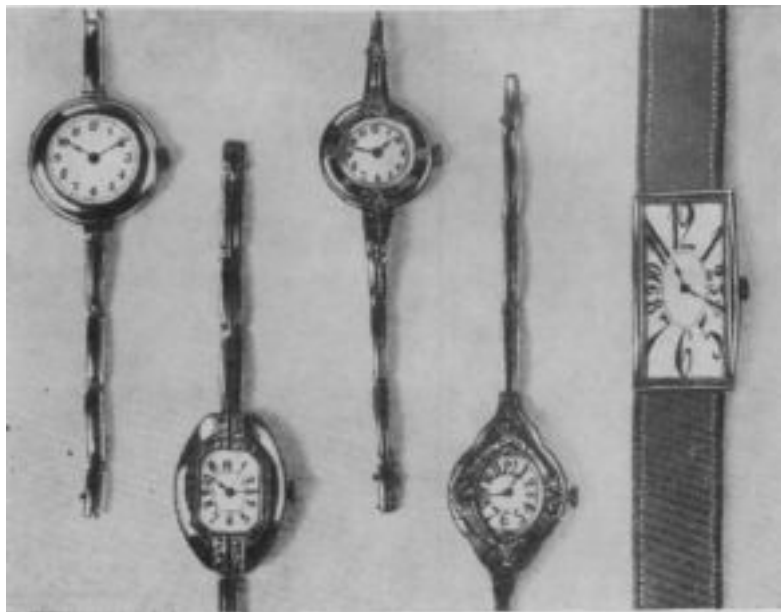


Рис. 227. Модели женских наручных часов 20-х годов XX в.

манные часы на ремешке. Когда Западная Европа переживала экономическую депрессию, *ПОЯВИЛИСЬ новые модели часов.*

На рис. 227 показаны ранние модели женских наручных часов, которые в Западной Европе были распространены в 20—30-х годах. В отличие от мужских часов в женских наручных часах элемент украшения явно преобладает над их практическим назначением. Не только браслет, но и корпус этих часов был изготовлен из драгоценных металлов и украшен бриллиантами. Форма часов круглая или прямоугольная (рис. 228).

Увлечение наручными часами до войны 1914 г, часовщикам казалось женской прихотью. Но война уничтожила всякую надежду на быстрое исчезновение новой моды, как того ожидали часовщики. У них, однако, сохранилось недоверие к конструкции наручных часов. Они утверждали, что если дамам не нужна особая точность хода, то это необходимо для мужских часов. Однако по техническим причинам необходимая точность не могла тогда быть достигнута. Часовщики считали, что этот неустранимый недостаток наручных часов рано или поздно будет способствовать возвращению к карманным часам и наручные часы в истории часов останутся лишь эпизодом, каких было уже много. Но эти предсказания не оправдались.

От наручных часов с «плохой репутацией» к высококачественным часам. Неожиданный интерес широкой публики к наручным часам сразу же был подхвачен часовыми предприятиями

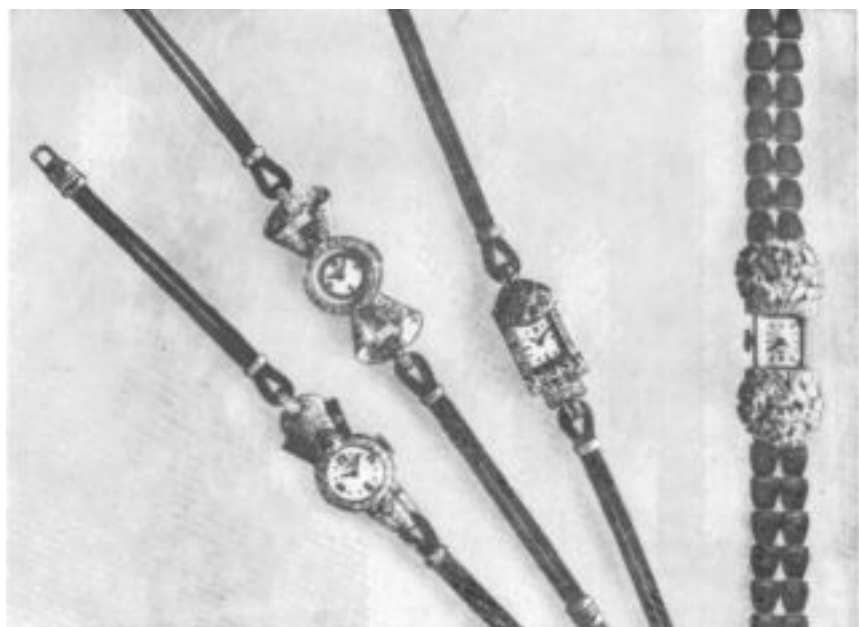


Рис. 228. Модели женских наручных часов 30-х годов XX в.

не только Европы, но и США. Стремясь использовать благоприятную конъюнктуру, созданную новой модой ношения часов на руке, часовщики и часовые предприятия начали выпускать наручные часы, не подготовив конструкции часов и производстве к этому. Подготовка производства, а также обработка самой конструкции для выпуска малогабаритных часов требовали времени и затрат, на что предприниматели и часовщики не шли, поскольку не верили, что спрос на наручные часы сохранится надолго. В результате неизбежным было появление часов низкого качества. Наручные часы начинали «свою жизнь» с плохой репутации. Это положение сохранилось, пока не была достигнута полная механизация и автоматизация производства наручных часов и взаимозаменяемость их частей, что стало характерным для современной часовой промышленности.

После преодоления экономической депрессии 1932 г. в Западной Европе и прежде всего в Швейцарии производство наручных часов с палетным и штифтовым анкерным ходом постепенно приобретает массовый и крупносерийный характер. Важной и необходимой предпосылкой для этого служило эффективное использование научно-технических достижений и проведение соответствующих организационно-технических мероприятий.

1. Расширение применения автоматов и полуавтоматов для изготовления деталей наручных часов. Если в 1880—1900 гг.

при производстве 2,5—3 млн. комплектов часов использовались только полуавтоматы, составлявшие лишь 15—20% общего парка оборудования, то после 1932 г. в Швейцарии возрастает применение полуавтоматов и автоматов и усиливается контакт часового и станкостроительного производства.

Для успешности проведения автоматизации часового производства большое значение имело широкое внедрение твердосплавных инструментов, по своей стойкости превосходящих обычные инструменты в 40—50 раз, а также материалов с заданными свойствами и размерами, необходимыми для их обработки на автоматах.

2. Совершенствование способов и средств регулировки и контроля хода наручных часов в условиях крупносерийного и массового их производства. Применение приборов оптического измерения и контроля, на много облегчавших регулировку хода часов и осциллографа, и других средств для измерения мгновенного хода часов, а также для контроля ударов и вибрации. С помощью этих средств стало возможным обнаруживать скрытые дефекты, которые не мог заметить в лупу самый опытный часовщик.

3. Использование мелко модульного зацепления в колесной передаче, соответствующего требованиям конструкции мужских и женских наручных часов. Особенно большое значение имело введение зубофрезерных автоматов для изготовления колес и трибов с мелко модульным зацеплением.

4. Всемерное ограничение количества базовых механизмов наручных часов наряду с расширением количества модификаций по каждому базовому механизму, что способствовало расширению автоматизации часового производства.

В наручных часах классического типа имеются четыре трибы в основном механизме и два — в стрелочной передаче. Трибы должны обеспечивать высокую стабильность передаваемого момента при возможно высоком значении КПД. В женских наручных часах применяются трибы высотой в 3—3,5 мм, диаметром 0,5 мм и шириной зубцов 0,08—0,09 мм. Колесная передача современных женских наручных часов составляет цепочку: барабан — центральное колесо с трибом — промежуточное колесо с трибом — анкерное колесо с трибом.

Кроме основной и стрелочной передач применялась отдельная передача для завода с помощью заводной головки. Применение в классических наручных часах отдельных механических устройств для календаря, хронографа, сигнального устройства и т. д. не было характерно для изделий до второй мировой войны.

Механизм наручных часов по сравнению с карманными в основном не изменился, но необходимо было наилучшим образом использовать объем корпуса и компактно разместить все части механизма так, чтобы можно было добиться еще большей миниатюризации часов. Эту задачу можно кратко сформулировать

так: разместить как можно больше элементов в наименьшем объеме. Потребовалось придать наилучшие пропорции ходовой пружине в барабане, системе колесной передачи и регулирующему устройству. Стал вопрос об изготовлении колес и трибов с мелкомодульным зацеплением.

После 1960 г. в конструировании и производстве наручных часов был достигнут особенно значительный прогресс. В этот период перед учеными-исследователями и часовыми фирмами Швейцарии, СССР, США, Японии и других стран с развитой часовой промышленностью особо остро встала проблема всемерного усовершенствования механизма наручных часов. Это было вызвано начавшимся развитием производства наручных часов с электрическим и электронным приводом.

Дальнейшее повышение точности и надежности хода механических наручных часов шло по линии все более широкого применения автоматического подзавода пружины, противоударных опор для балансов, нержавеющей заводных пружин, балансов с меньшим периодом колебания, антимагнитных защитных устройств, усовершенствованных компенсационных спиралей, безвинтовых балансов, подвижных колонок.

Применение 5-образной пружины вызвано необходимостью повышения постоянства крутящего момента пружины после ее укладки в барабан. Пружина при укладке несколько сжимается, и у нее появляется натяг. Регулируя первоначальное натяжение, можно частично стабилизировать крутящий момент пружины. С этой целью свободной заводной пружине придают форму буквы S, завивая наружный конец в обратном направлении.

Экспериментально и практически установлено, что балансы с периодом колебания 0,2—0,25 с обеспечивают значительно большее постоянство и точность хода, чем балансы с периодом 0,4 или 0,33 с, хотя и требуют применения более мощного пружинного двигателя или двух пружинных двигателей, соединенных последовательно или параллельно.

Безвинтовой баланс с тремя или четырьмя спицами обеспечивает большую жесткость баланса и значительно устраняет влияние центробежной силы на период колебания. Несмотря на некоторые трудности в его освоении, безвинтовые балансы стали широко применяться в наручных часах.

Для повышения точности и стабильности хода наручных часов исключительное значение имело использование спирали из элинвара, имеющего малый температурный коэффициент упругости.

Введение подвижных колонок вместо неподвижных повышает точность закрепления в колонке конца спиральной пружины и качество сборки. При неподвижной колонке установка спирали трудоемка и не гарантирует качества.

Технически проблема использования центральной секундной стрелки вместо боковой была уже решена в XVIII в. Использование этой стрелки в карманных часах началось со времени

Г. Грагама, а в хронометрах — со времени Д. Гаррисона. Впоследствии центральная секундная стрелка нашла применение в часах для подсчета пульса. Такие часы предназначались для врачей и назывались пульсомерами. В наручных часах центральная секундная стрелка получила широкое применение после второй мировой войны. Такая стрелка позволяет наблюдать за различными процессами, а расположение ее в центре циферблата придает часам более привлекательный внешний вид. Особое значение центральная секундная стрелка имеет для наручных часов малого калибра, где применение боковой секундной стрелки затруднено. Существует несколько конструктивных схем расположения основной колесной передачи в часах с центральной секундной стрелкой. Чаще всего осью секундной стрелки служит обычный триб, проходящий сквозь полый центральный триб и получающий вращение от оси промежуточного колеса, или конструктивно измененный секундный триб, помещенный в центре механизма и также проходящий сквозь центральный триб; оба конструктивных варианта имеют одинаковое значение.

Большинство наручных часов теперь снабжается автоподзаводом, что является дополнительным фактором, способствующим стабилизации хода наручных часов за счет постоянства импульса, передаваемого балансу. Начало применению автозавода в наручных часах было положено английским часовым мастером Джоном Гарвудом. Патент на свое изобретение он взял в 1924 г. Права на патент он заявил одновременно в Великобритании, Швейцарии, Франции и Германии. Конструируя самозаводящую систему для наручных часов, Гарвуд стремился решить две проблемы, а) исключить заводной валик в механизме часов, б) получить от малого колеблющегося груза под действием случайных и бессознательных движений запястья руки силу, достаточную для подзавода ходовой пружины.

Он изобрел оригинальный механизм перевода стрелок, который действовал от поворота ободка корпуса. Составляя одно целое с устройством автоподзавода, механизм перевода стрелок позволил удалить валик, проходивший сквозь корпус. Для автоподзавода использован большого размера грузовой инерционный сектор, подвешенный в центре механизма **часов**, который мог колебаться между ограничивающими остановами по обе стороны механизма. Размах колебаний сектора ограничивали два подпружинных упора. Ограничение размаха колебаний приводило к быстрому износу опоры сектора в результате ударных нагрузок.

Поскольку из механизма часов был **исключен** заводной валик, то, для того чтобы заставить **часы идти в начале или после того, как они остановятся, требовалось предварительное встряхивание.**

В наручных часах Гарвуда оставался тот же дефект, который был свойствен старой системе автозавода, основанного на

принципе шагомера. Применение инерционного сектора большого размера почти втрое увеличивало объем часов по сравнению с обычными наручными часами.

Для эксплуатации изобретений Гарвуда в Лондоне было создано коммерческое предприятие, и в течение первых лет изготовления часов с автоподзаводным устройством было выпущено и продано несколько тысяч таких часов. Они, однако, имели кратковременный успех. Потребители этих часов жаловались на трудность смазки, на постукивания, производимые колеблющимся грузом подзавода, и т. д. Но, по признанию самого Гарвуда, главными причинами неуспеха его дела были трудности коммерческого порядка, вызванные наступившей в то время экономической депрессией, а также новизна самого дела.

Тем не менее начинание Гарвуда не прошло бесследно для последующего развития конструкции наручных часов с автоподзаводом. В течение двадцати последующих лет немало изобретателей работали над усовершенствованием конструкции автоподзавода, не изменяя, однако, принципиальной схемы устройства автоподзавода Гарвуда. В это время лишь одна из швейцарских фирм выпускала наручные часы с автоподзаводом, имеющим неограниченные движения инерционного (грузового) сектора.

Во время второй мировой войны исследовательские отделы многих швейцарских фирм работали над проблемой заводящих механизмов. В 1942 г. часовой фирме «Фелс» удалось сконструировать первый механизм автоподзавода, инерционный груз которого вращался в обе стороны без ограничения угла поворота. Конкурентная борьба между различными фирмами способствовала новым исследованиям, необходимым для усовершенствования часов с автоподзаводом.

Часовая фирма «Эбош» в 1948 г. приступила к выпуску первых женских часов с автоподзаводом. Десять лет спустя фирма «Барен Ватч» сконструировала механизм автоподзавода с планетарным ротором, конструкция которого заинтересовала специалистов часовой промышленности.

До 1960 г. наручные часы с подзаводом занимали, однако, незначительную долю в общем выпуске наручных часов. Конструкция механизмов автоподзавода имела разнообразное оформление, среди них преобладали механизмы с центральным расположением грузового сектора, но с ограниченным углом его поворота и с различными способами передачи момента от грузового сектора на барабанное колесо.

С 1962—1963 гг. резко возрос выпуск наручных часов с автоподзаводом в связи с затянувшимся освоением наручных электронных часов. Стали выпускать элегантные на вид часы, имеющие повышенную точность и надежность хода. После 1963 г. в Швейцарии ежегодный прирост выпуска наручных часов с автоподзаводом достигал 13%; более двадцати **швейцарских фирм** стали выпускать такие часы. В Японии с течением време-

ни 40% всех наручных часов выпускались с автопод заводом. Появилась необходимость в унификации конструкции автоматически заводящихся механизмов. В настоящее время основным типом автоподзавода является конструкция с центральным расположением грузового сектора, который вращается без ограничения и подзаводит пружину при любом направлении вращения.

Механизм автоподзавода с вращением грузового сектора на 360° состоит из четырех основных узлов: грузового сектора, переключателя (или реверсивного устройства), редуктора и подзавода пружины.

Грузовой сектор свободно вращается как по часовой, так и против часовой стрелки. Его ось вращения расположена в центре механизма часов. Грузовой сектор должен создавать вращающий момент, достаточный для подзавода пружины. В существующих конструкциях автоподзавода применяют камневые, шариковые и втулочные опоры. В последнее время наряду с опорами скольжения для уменьшения трения и повышения прочности узла стали применять опоры качения, т. е. ставить шарикоподшипники.

Переключатель предназначен для преобразования двустороннего вращения грузового сектора в одностороннее вращение редуктора с помощью различных устройств — трензельного, храпового механизма и муфты. Переключатель имеет холостые ходы, возникающие при перемене направления вращения грузового сектора: одно колесо должно выйти из зацепления с колесами редуктора, а другое войти в зацепление. Холостой ход небольшой, когда ось вращения переключателя совпадает с осью вращения грузового сектора.

Редуктор состоит из серии зубчатых шестерен, предназначенных для увеличения момента вращения грузового сектора и передачи его на подзаводку пружины.

Подзаводка пружины фактически происходит тогда, когда двустороннее вращение грузового сектора преобразуется в одностороннее вращение барабанного колеса и вала барабана. Вращением храпового колеса, укрепленного на конце вала барабана, и самого вала осуществляется подзавод пружины.

Механизм автоподзавода работает с фрикционным двигателем, чтобы предохранить заводную пружину от перенапряжения и поломки при полной заводке. В этом случае внешний конец заводной пружины закреплен в барабане с помощью фрикционной накладке, упругость которой рассчитана так, чтобы при полной заводке внешний конец пружины мог вместе с фрикционной накладкой проскальзывать в барабане.

За рубежом применяется несколько систем автоподзавода, заслуживающих внимания.

а) Система «Лако-дюромат» с качающимся трензелем и храповой муфтой; б) система «Бурен-ротавинд» с трензелем, двумя храповиками и дополнительным трензелем, полностью

отключающим заводной ключ при автоматической заводке; в) система «Мидо-поверинд» без трензеля, с двумя зубчатыми колесами, находящимися в постоянном зацеплении с трибом инерционного сектора с двумя храповиками (правым и левым); г) система «Интернациональ ватч» с сердечником на оси инерционного сектора и качающимся рычагом с двумя храповыми собачками; в этой системе имеется амортизатор оси сектора; д) система «Этернаматик» с миниатюрным шарикоподшипником на оси инерционного сектора, двусторонним кликером и отключением заводного ключа при автоматическом заводе. Применение шарикоподшипника в часах позволило фирме «Этернаматик» создать узел автоматического завода толщиной не более 3 мм без ограничения колебаний. Это передается пружине при двустороннем движении грузового сектора. Передача завода имеет два колеса с собачками и обладает высоким КПД. Имеется и много других систем, отличных по своему механизму.

Наличие автоподзавода создает предпосылки к применению в наручных часах водопыленепроницаемого (герметического) корпуса. Этот тип корпуса — важное условие для хорошего сохранения качества регулировки хода часов. Наручные часы с герметическим корпусом в соединении с автоматическим заводом обладают большой равномерностью хода.

Влагопыленепроницаемые корпуса часов были впервые созданы в 1926 г. швейцарской фирмой «Ролекс ватч компани». Большое значение герметизации корпуса наряду с автоподзаводом часов придавал Д. Гарвуд. Устройства для герметизации корпуса часов от проникновения в часовой механизм пыли и влаги широко применяются в современных наручных часах. Герметизация осуществляется в трех местах: там, где крышка соединяется с корпусом и стекло с корпусом, а также в узле заводной головки.

Чаще всего для герметизации крышки с корпусом применяется резьбовое соединение. Под крышку ставится прокладка из особой пластмассы, а иногда из свинца. При затяжке крышки ключом достигается герметичность соединения. При завинчивании резьбовой крышки возможно отделение заусенцев и попадание их в механизм — крупный недостаток такого способа герметизации. Нередко в месте соединения крышки с корпусом герметизация достигается путем использования различных конструкций сжимаемых и пластмассовых прокладок. Герметизация соединения стекла с ободком осуществляется с помощью каучукового кольца, которое после постановки на место вулканизируется. Герметизация заводной головки, имеющей вращательное и осевое движение относительно корпуса часов, производится с помощью пластмассовых втулок, сжимаемых металлической арматурой.

Большое значение для улучшения хода **наручных часов** наряду с автоподзаводом имело применение **противоударных устройств** для амортизации ударов, какого бы действия или на-

правления они ни были, и для точного центрирования оси баланса до и после удара.

Отмечено, что с 1888 по 1922 г. в Швейцарии было выдано всего пять патентов на противоударные устройства. Внимание к ним повысилось после 1931 г., когда началось крупносерийное производство наручных часов. На практике получили применение две группы противоударных устройств: универсальные, предназначенные для амортизации всего механизма относительно корпуса часов, и различные комбинации амортизаторов, предохраняющих цапфы оси баланса и эллипс от поломки вследствие случайных ударов и толчков.

В случае применения универсального амортизатора механизм наручных часов вставляется в корпус с небольшим радиальным зазором и предохраняется стальным кольцевым амортизатором, заключенным между корпусом и механизмом. Обычно кольцевой амортизатор снабжен несколькими пружинящими лапками, упирающимися в крышку корпуса. При ударе (например, вследствие падения часов) происходит некоторое смещение механизма в корпусе за счет деформации пружинящихся лапок кольца.

Цапфы оси баланса — самая чувствительная часть часового механизма. При случайных ударах и толчках они часто ломаются. Для предохранения цапфы оси баланса от ударов и толчков используются соответствующие амортизаторы, в которых балансовые камни монтируют в подвижных опорах с соблюдением соответствующих осевых и радиальных зазоров по отношению к оси баланса. Противоударные устройства такого типа, известные за рубежом под названием «инкаблок» (inca-block), имеют накладные и сквозные камни, вставленные в специальную втулку (бушон). Коническим гнездом для него является накладка. Бушон снабжен коническими опорными фасками, для того чтобы обеспечить самоцентрирование при скольжении по внутренней конической поверхности накладки. Предохранение цапфы оси баланса в этом случае сводится к перемещению накладного камня и подвижной опоры и к изгибу лирообразной пружины. По окончании удара лирообразная пружина, выпрямляясь, возвратит подвижную опору в исходное положение относительно накладки.

Удары возможны в любом направлении. Ось баланса может смещаться одновременно в осевом и радиальном (боковом) направлении. При таком комбинированном ударе бушон передвигается по конической расточке накладки до упора и таким образом предохраняет цапфу оси баланса. При радиальном направлении удара накладка коснется утолщенной части оси баланса, которая и примет на себя всю силу удара и тем самым предохранит тонкие цапфы от поломки или изгиба. При ударе в осевом направлении накладной камень коснется оси баланса, а накладка коснется также уступа оси, отчего лирообразная

пружина изогнется, и тогда сработает предохранительная система.

Наличие центральной секундной стрелки, противоударного устройства и автоподзавода не считается уже в мужских наручных часах дополнительным устройством, они стали неотъемлемой частью этих часов. Новым является стремление снабжать часы репетицией, календарем и сигнальным устройством.

В связи с применением дополнительных устройств в наручных часах большое значение имеет проблема снижения общей высоты механизма часов путем сокращения прежде всего «этажности» в центре механизма. Речь идет об оптимально возможном уменьшении высоты, но не о выпуске ультраплоских часов. В Швейцарии их выпуск был вызван не столько потребностью, сколько модой.

Высоту механизма в зарубежных конструкциях плоских часов снижают в основном за счет уменьшения высоты платины мостов, барабана и других деталей, нередко даже путем устранения центральной секундной стрелки. Кинематическая схема этих часов в большинстве случаев классическая. В результате распространения таких наручных часов и автоматизации сборки все реже применяют некоторые конструктивные усовершенствования (например, брегетированную спираль). В прецизионных часах и хронометрах концевые кривые сохраняют свое значение.

Сотрясения, столь опасные прежде, после всех достигнутых усовершенствований механизма наручных часов и применения соответствующих предохранительных устройств стали оказывать незначительное воздействие на их суточный ход.

В современных конструкциях наручных часов широко применяются антимагнитные сплавы типа ниварокса (волоски), нивафлекса (пружины), бериллиевой бронзы (балансы) и т. д. Вследствие этого ход наручных часов практически не меняется в магнитных полях напряженностью от 100 до 200 Э. Однако имеются категории потребителей часов (инженеры ряда отраслей, пилоты, химики, рентгенологи, исследователи и др.), которые ежедневно в процессе работы подвергаются сильному воздействию магнитных полей, иногда достигающих 1000 Э, и тогда обычные антимагнитные часы оказываются непригодными. В этих случаях используются наручные часы, экранированные от самых сильных магнитных полей. Внутри обычного водонепроницаемого корпуса помещен особый кожух из мягкого железа, полностью экранирующий механизм с мостовой и циферблатной сторон.

Наручные часы с календарем, подачей сигнала и хронографом. Календарное устройство чаще всего применялось в старинных настенных, напольных и настольных часах. В карманных часах оно применялось реже и то только в часах со спусковым механизмом, вышедшим теперь из употребления. В карманных часах со свободным анкерным ходом, получившим широкое

распространение со второй половины XIX в., долгое время считалось нецелесообразным применять календарное устройство как ухудшающее точность хода. Наручные мужские часы с календарем вошли в употребление уже после второй мировой войны. Сначала применялось простое календарное устройство, показывавшее только числа месяца (даты), затем появились двойные календарные устройства, показывающие числа месяца и дни недели, названия месяцев и фазы Луны. Известны также календари универсальной конструкции, или «вечные» календари (например, в наручных часах фирмы «Филипп Патек»). Их описание приведено в книге Б. Л. Елисеева [194, 285—288].

Календари, показывающие только даты (числа месяца), требуют установки от руки каждого первого числа месяца, когда оканчивающийся месяц имеет меньше, чем 31, дней. Более сложные календари требуют такой установки *только* 3 марта, когда предыдущий месяц — февраль — оканчивается 28-м либо 29-м днем. В часах с вечным календарем все даты переставляются автоматически.

В настоящее время наиболее распространены календари с цифровым показанием (цифры видны сквозь окошко в циферблате). Сложные календари часто снабжаются дополнительной центральной стрелкой, показывающей числа месяца, дни недели по шкале, нанесенной на циферблате.

В простых календарях корректировку показаний осуществляют многократным нажатием кнопки, установленной рядом с заводной головкой. В часах с двойным календарем числа месяца и дней недели устанавливаются заводной головкой вручную; календарный механизм переключается автоматически раз в сутки. В часах с вечным календарем вследствие большого числа разнообразных календарных показателей практически невозможно использовать для коррекции заводную головку. Каждый календарный показатель имеет самостоятельную кнопку, выведенную сквозь корпусное кольцо.

Календарное устройство, предназначенное для показания числа месяца (даты), расположено поверх часового колеса, kinематически связанного с суточным колесом, совершающим один оборот за сутки. Оно снабжено ведущим пальцем, который раз в сутки входит в зацепление с зубцами диска и передвигает зуб числового колеса, имеющего 31 зуб (по наибольшему числу дней месяца). На наружной поверхности часового колеса нанесены числа от 1 до 31 включительно. Сделанное в циферблате окошко позволяет видеть, какое сегодня число.

Календарные устройства изготавливаются мгновенного и затяжного действия. Они описаны в книге С. В. Тарасова [208, 197—202].

Механизм календарного устройства не имеет автономного источника энергии, на его работу расходуется часть энергии заводной пружины, что отрицательно сказывается на амплитуде колебаний баланса и, следовательно, на точности хода.

Устройство для подачи звукового сигнала с давних времен использовалось в настенных, напольных, настольных и карманных часах. Новым и менее известным является применение его в наручных часах для подачи сигнала в заранее установленное время, как в будильниках. Такие часы состоят из двух самостоятельных, но кинематически связанных между собой механизмов — часового и сигнального. Оба они имеют свой собственный двигатель (пружинный завод), который заводится при помощи дополнительной (второй) заводной головки. Этой же головкой при ее вытягивании устанавливают сигнальную стрелку.

Заведенная пружина боя приходит в действие только при совпадении часовой и сигнальной стрелок, установленных на определенное время. Тогда палец часового колеса войдет в паз втулки сигнального колеса, а конец пружины-зашелки освободит стержень боя; затем механизм начнет быстро вращаться. Молоточек будет часто ударять в колокольчик. Допустимое отклонение сигнала от показаний минутной стрелки ± 5 мин.

Наручные часы с хронографом являются прецизионными часами с секундомерным устройством, позволяющим производить отсчет времени с точностью до сотых долей секунды. Секундомерное устройство хронографа приводится в действие нажимом заводной головки, а для отсчета долей секунды и целых секунд имеется кнопочное управление с секундомерным устройством. Период колебания баланса хроноскопов составляет 0,02; 0,04 и 0,06 с.

На рис. 229 представлены наручные часы сложного устройства (с календарем, хронографом, с индикацией фаз Луны и т. д.), выпускаемые известными швейцарскими фирмами («Патек — Филипп», «Мовадо» и др.).

Наручные часы по характеру их устройства можно подразделить на три группы. Первую группу составляют часы классического типа (мужские и женские) — исторически наиболее ранний тип таких часов. Они имеют схему компоновки и конструкцию основного механизма, аналогичные карманным часам. Секундная стрелка или отсутствует, или расположена сбоку. Вторую группу образуют карманные часы, усложненные наличием в них календарного, сигнального, секундного и других дополнительных устройств. Они часто снабжены автоподзаводом, герметическим корпусом, противоударным устройством. Эти устройства раньше всего нашли применение в мужских часах нормального калибра, а затем — и в женских наручных часах. Третью группу составляют наручные часы специального назначения, которые исторически являются самым поздним типом наручных часов. Сюда входят: а) наручные часы для занимающихся подводным спортом (они снабжены дополнительным устройством и шкалами для определения глубины погружения, высоты подъема, времени прилива и отлива и т. д.); б) антимагнитные часы для лиц, работающих в среде, подверженной



Рис. 229. Наручные часы швейцарских фирм с хронографом, календарем и указателем фаз Луны

сильному влиянию магнитного поля; в) наручные часы для врачей со специальной шкалой для определения пульса (пульсомер); г) часы для альпинистов и т. д.

Бытовые наручные часы имеют устройство, характерное либо для первой, либо для второй группы. До второй мировой войны наибольшее распространение имели наручные часы первой группы, но она постепенно выходит из употребления.

Корпусу и механизму наручных часов придают самую различную форму. Наиболее распространенной является дисковая (круглая) форма, нередко часы имеют форму прямоугольника со срезанными углами или квадратную форму, бочкообразную и т. д. Форма платины в известной мере определяет форму ме-

ханизма и корпуса. При круглой платине легче осуществлять герметизацию корпуса.

В зависимости от размеров механизма наручные часы условно подразделены на две категории: часы нормального калибра (мужские), у них посадочный диаметр платины лежит в пределах 21—30 мм; часы малого калибра (женские) с посадочным диаметром платины 13—20 мм. В настоящее время в часах нормального калибра преимущественно применяют центральную секундную стрелку. В часах малого калибра секундная стрелка часто отсутствует.

По точности хода наручные часы нормального калибра делятся чаще всего на три класса. Допустимая погрешность суточного хода для наручных часов 1-го класса — 20 с, 2-го класса — 30 с, 3-го класса — 45 с. Часы малого калибра (женские) делятся по точности хода на два класса. По 1-му погрешность суточного хода не должна превышать 45 с, по 2-му — 60 с.

Классы точности в некоторой мере взаимосвязаны с количеством камней, применяемых в часах. В часах нормального калибра с точностью хода по 1-му классу число камней должно быть не менее 19, по 2-му классу — не менее 17, по 3-му классу — не менее 15. Часы малого калибра, независимо от класса точности, всегда имеют не менее 15 камней. Применение камней более 20 практически хотя и не имеет преимуществ перед часами на 19 камнях, но допускается некоторыми зарубежными фирмами.

Наручные часы стали основной и наиболее важной продукцией, выпускаемой часовыми заводами как в СССР, так и за рубежом. Их типаж становится разнообразнее, а конструкция — все более усложненной. В настоящее время создаются электрические и электронные наручные часы, но подавляющее большинство часов являются механическими; область их применения не только не сокращается, а расширяется с развитием науки, техники, спорта, роста культурных потребностей населения. Повышение требования к качеству и разнообразию внешнего оформления часов успешно удовлетворяется путем создания на базе основного механизма различных модификаций. Они отличаются друг от друга только своим внешним оформлением. Как правило, оно должно соответствовать всем современным требованиям технической эстетики и моды.

На примере продукции, выпускаемой швейцарской часовой фирмой «Эникар», можно судить о типаже и производстве наручных часов Швейцарии. Эта фирма выпускает часы не только обычного типа, но и усложненной конструкции (с одинарным и двойным календарем, автоподзаводом, водонепроницаемым корпусом в различном конструктивном оформлении, часы для водолазов, часы с хронографом и т. д.). Большое внимание фирмой уделяется разнообразию и совершенству внешнего оформления часов. Достигается это не только высококачественной отделкой деталей внешнего оформления (шлифованием,

полированием, декоративным рифлением), но и золочением радинованным и плакированным золотом, а также светлым золотом (сплавом, содержащим 75% золота, меди и никеля), применением высококачественной стали, стекла из сапфира, стекла «дурит» и т. д.

Массовый выпуск наручных часов. В первой половине XIX в. Швейцария стремилась захватить первенство в массовом производстве часов, которого она и добилась в конце столетия, а в XX в. смогла наладить массовое производство наручных часов с палетным и штифтовым анкерным ходом. Выпуск часов с цилиндрическим ходом прекратился. Высоким качеством камневых наручных часов с палетным анкерным ходом Швейцария славится и теперь. Она стала самым крупным поставщиком мужских и женских наручных часов на мировой рынок.

Около 95% всех выпускаемых Швейцарией наручных часов предназначены для экспорта в другие страны. В этом экспорте 85% по стоимости и 64% по количеству составляют камневые мужские и женские часы с палетным анкерным ходом, а остальные приходятся на дешевые наручные часы со штифтовым анкерным ходом. Крупные часы всех видов составляют не более 2% часовой продукции, выпускаемой Швейцарией. Выпуск карманных часов неуклонно снижается из года в год и начинает занимать последнее место в объеме выпускаемой часовой продукции. Это нужно признать самой характерной тенденцией развития мировой часовой промышленности.

Производство часов со штифтовым анкерным ходом было налажено в Швейцарии в 1865—1867 гг. Раскопфом. Однако массовое производство этого типа часов получило развитие только в начале XX в. Ряд фирм, выпускающих наручные часы со штифтовым анкерным ходом, в 1969 г. отметили свое пятидесятилетие. Одна из них — «Базик ватч» — выпускает в год 3,8 млн. штук дешевых наручных часов; ее продукция составляет 14% общего выпуска Швейцарией часов со штифтовым ходом.

Все 60 предприятий, выпускающих в Швейцарии часы «Раскопф», объединены в отдельную ассоциацию. Из 63 млн. штук наручных часов, выпущенных Швейцарией в 1968 г., 23 млн. падает на долю часов «Раскопф». На этих предприятиях занято 14 тыс. рабочих, что составляет 17% от общего числа рабочих, занятых в швейцарской часовой промышленности. В производстве часов «Раскопф» достигнут значительный технический прогресс, что позволило в последние годы существенно улучшить их качество. В комплект механизма входит 90 деталей, при изготовлении которых должны быть соблюдены требования в отношении 3 тыс. размеров, иногда с точностью до 3 мкм.

Одна из ведущих фирм «Батлах» выпускает 12 базовых механизмов в 40 различных оформлениях, но одновременно — не более 5—8. Производство имеет высокий уровень автоматиза-

ции. Во всех случаях обеспечена автоматическая загрузка. Фирма «Батлах» добивается безупречного выполнения каждой производственной операции на автоматах. На производстве налажен статистический контроль качества выпускаемой продукции. В результате достигнут высокий уровень взаимозаменяемости деталей и узлов.

В настоящее время Швейцария выпускает часы со штифтовым ходом с применением небольшого количества (1—5) камней, с центральной секундной стрелкой, календарем, автопод заводом, с герметическим корпусом. Все больше начинают применять детали из пластмассы. Экспорт таких часов в разные страны, в том числе в США, растет из года в год.

Несмотря на огромный рост и улучшение качества и разнообразие ассортимента выпускаемой продукции, Швейцарии становится все труднее удерживать свое превосходство на мировом часовом рынке. Особенно уязвимым стало производство камневых наручных часов с палетным анкерным ходом в связи с усилением развития в самой Швейцарии производства дешевых часов и с ростом выпуска в последние годы производства электронных наручных часов с камертонными и кварцевыми осцилляторами. Фактором, ограничивающим рост швейцарского экспорта наручных часов с палетным анкерным ходом, стала также непрерывно растущая конкуренция на мировом часовом рынке со стороны стран, развивающих после второй мировой войны свое собственное часовое производство.

С 1957 г. Япония, стремящаяся стать «дальневосточной Швейцарией», сумела достигнуть огромных успехов в создании крупного высокоавтоматизированного производства часов с взаимозаменяемыми деталями и узлами как электронных, так и механических наручных часов с палетным анкерным ходом. Экспорт часов осуществляется не только в близлежащие азиатские страны, но и в США. Качество японских наручных часов мало в чем уступает качеству швейцарских, а по некоторым позициям начинает превосходить. Для наручных часов низшей категории в Японии допускается среднесуточное отклонение их хода ± 1 мин, для часов средней категории ± 30 с, высшей категории — не более 1—2 с. Как видим, требования к суточному ходу часов высшей категории соответствуют требованиям к наручным хронометрам, для бытовых часов вряд ли требуется такая точность и постоянство хода. В Японии налажено производство дешевых наручных часов со штифтовым ходом.

Япония сосредоточила свои усилия на массовом производстве наручных часов с календарем, автопод заводом, пылеводонепроницаемым корпусом и с уменьшенным периодом колебаний баланса (0,2—0,25 с). Весьма большие успехи достигнуты и в области производства электронных наручных часов.

СССР по производству камневых наручных часов с палетным анкерным ходом занимает в мировом часовом производстве одно из ведущих мест и является крупным экспортером своей

часовой продукции во многие страны. Качество нашей часовой продукции улучшается из года в год.

До второй мировой войны часовая промышленность Германии специализировалась на массовом выпуске крупных часов; после окончания войны ФРГ стала выпускать на экспорт 15—17-каменные наручные часы с палетным анкерным и штифтовым ходом. Техническая политика ФРГ в области часовой промышленности определяется ее стремлением конкурировать со Швейцарией.

До второй мировой войны Англия считалась одним из значительных импортеров швейцарских наручных часов. После войны ей удалось наладить собственное производство наручных часов. Достигнутый уровень их производства хотя еще недостаточен, но имеет тенденции к росту.

На новой технической и организационной основе развилась часовая промышленность Франции. В настоящее время последняя выпускает на экспорт большое количество наручных часов, по качеству приближающихся к швейцарским часам с палетным анкерным ходом.

Часть III

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОХРОНОМЕТРИИ, КВАРЦЕВЫХ И АТОМНЫХ ЧАСОВ

Историю электрохронометрии можно подразделить на два периода. В первый период (1840—1930 гг.) для усовершенствования техники измерения времени использовались достижения электромагнетизма в области классической колебательной хронометрии. Во второй период (с 1930 до наших дней) развитие электрохронометрии привело к созданию приборов времени с применением новых осцилляторов (атом, молекула, кристалл кварца, камертон и др.) в связи с тогдашними достижениями в области радиоспектроскопии, радиоэлектроники, полупроводниковой (и микроэлектронной) техники, равно как и в других областях науки и техники.

Первый период включает следующие этапы развития: а) появление маятниковых часов с электроприводом прямого и косвенного действия, а также электрических маятниковых часов Шорта с одним свободным и другим вспомогательным («рабским») маятником, б) появление электрических балансовых часов и хронометров, в) систем электрозавода и подзавода, г) электрочасовых систем унификации точного времени, а также синхронных часов. В это время развитие электрохронометрии находилось в теснейшей связи с достижениями классической колебательной хронометрии и электротехники. Важнейшие открытия, изобретения и усовершенствования, которыми обогатилась электротехника за вторую половину XIX в. и первые десятилетия XX в., нашли применение в области электрохронометрии.

Во второй период в развитии электрохронометрии был достигнут весьма значительный прогресс в создании новых приборов времени, технические характеристики которых были улучшены на целый порядок. Созданные в 1930 г. кварцевые часы превзошли по точности своего хода электрические маятниковые часы Шорта на один порядок. Дальнейшее повышение точности хода еще на один порядок было достигнуто благодаря созданию атомных часов.

«До появления атомных часов время измеряли, — как справедливо отмечает Л. Эссен, — на базе вращения Земли, — хотя обычные часы тоже играли важную роль. С появлением атомных часов все интервалы времени, включая продолжительность суток и года, измеряют в атомных единицах. Поэтому с полным основанием можно сказать, что в технике измерения вре-

мени произошла революция» [29, 172]. Этот новый эталон частоты и времени стал входить во всеобщее употребление с 1958 г.

После 1945 г. были достигнуты значительные успехи в применении электричества и электроники для создания новых приборов времени, таких, как контактные магнитоэлектрические и электромагнитные наручные часы, электронно-механические наручные часы, бесконтактные балансовые с транзистором, камертонные и кварцевые. Благодаря быстрому развитию микроэлектроники и прежде всего интегральных схем с 1967 г. получили развитие кварцевые наручные часы, которые постепенно становятся часами бытового назначения. Точность кварцевых наручных часов в 100 раз (на два порядка) выше точности обычных балансовых часов.

Эволюция интегральных схем в настоящее время находится на пороге радикальных технических достижений.

Атомные часы, электрические и электронно-механические наручные часы имеют много общего. Можно говорить об известной преемственности между этими видами часов, причем пройденная эволюция обязана развитию радиотехники, электроники и достижениям в различных областях науки.

Глава I

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАЯТНИКОВЫХ И БАЛАНСОВЫХ ЧАСОВ

Изобретение электрических часов. В самом конце XVIII в. были предприняты попытки использовать возможность передачи статического электричества на расстояние. Однако полученные результаты имели весьма малую практическую ценность, пока в 1800 г. Алессандро Вольта не изобрел элемент, получивший название Вольтова столба.

Самое раннее известие о создании электрических часов относится к 1830 г., когда профессор физики Веронского университета (Италия) Замбони создал часы, подробности устройства которых, к сожалению, не дошли до нас. Сохранились лишь сведения, что колебательное движение маятника часов поддерживалось при помощи последовательных электростатических притяжений и отталкиваний металлической линзы маятника между двумя полюсами элемента Замбони, обладающего большей эдс по сравнению с элементом Вольта. По свидетельству профессора де-ла-Рива, часы Замбони были выставлены в 1832 г. в промышленном отделе Societe des Arts в Женеве [350, 231].

В результате открытия Эрстеда в 1820 г., работ Ампера и других ученых было создано учение об электромагнетизме. Пер-

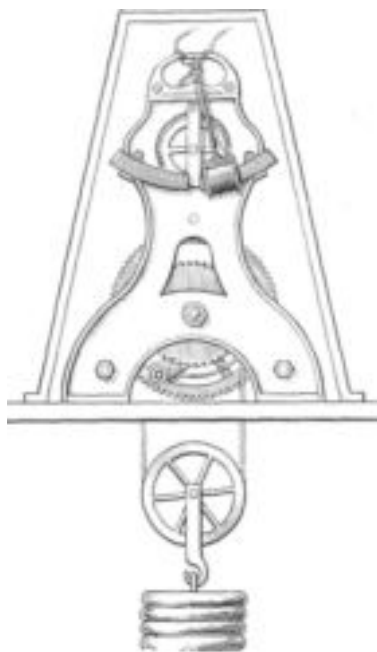


Рис. 230. Электрические часы Уитстона

вым практическим результатом применения электромагнетизма было изобретение электромагнитного телеграфа и электрических часов.

Инициаторами создания электрических часов на основе использования электромагнетизма были изобретатели электротелеграфа Штейнгель (1801—1870) и Уитстон (1802—1875). Работа над электромагнитным телеграфом привела К. А. Штейнгеля к созданию в 1839 г. электрических часов. Уитстон в 1840 г. сделал в Королевском обществе доклад об электрических часах. Их конструкция, приведенная в этом докладе, имеет лишь исторический интерес.

В первых электрических часах Уитстона (рис. 230) устройство передачи импульса вторичным часам (коммутатор) представляло собой катушку, качающуюся вдоль двух симметрично расположенных магнитных сердечни-

ков. Катушка, выполнявшая роль маятника, передавала импульс тока вторичным часам ежесекундно. Однако при этом ход часов нарушался, так как давление в момент контакта было значительным. Уитстон пытался преодолеть этот недостаток путем устройства цепи с электромагнитной связью.

В другом варианте его электрочасов маятник приводился в действие от завода ключом. Отличие этих часов от обыкновенных заключалось в том, что здесь маятник использовался еще в качестве электромагнитного генератора. В маятник вместо линзы был вставлен намагниченный цилиндрический стальной стержень. При передвижении стержня в магнитном поле в легких стальных дисках циферблата вторичных часов возбуждался ток. Вращение этих дисков вызывало вращение стрелок. Стальными дисками циферблата электрические импульсы посылались ежесекундно.

Таким образом, маятник выступал в роли генератора соответствующей частоты, а вторичные часы были как бы двигателем, приводимым в действие током. Маятник выполнял не своиственные ему функции, что создавало крайне неблагоприятные условия для его работы. Маятник, раскачивающийся в магнитном поле, испытывал сопротивление своему колебанию, и в нем не всегда получались достаточной силы электрические импуль-

сы, чтобы управлять стрелками часов. Эта система позволяла преодолеть трудности осуществления контакта, но чрезмерно нарушался свободный ход маятника.

Прав Хоуп-Джонс, давший отрицательную характеристику часам Уитстона. «Мы не сомневаемся в том, — пишет этот автор, — что Уитстон изучал Галилея, Гюйгенса, что он был знаком с теорией маятника, с достижениями Томпиона, Гаррисона, Мюджа и Арнольда, которые жили и работали до него, в веке, предшествовавшем его веку. Но такого безжалостного вмешательства в свободу маятника было бы достаточно для того, чтобы они перевернулись в своих гробах» [365, 20].

Часы Уитстона были установлены в Королевском обществе в 1873 г., но ими перестали пользоваться уже вскоре после смерти изобретателя [365, 22].

После Уитстона нерациональное использование маятника в электрических часах продолжалось в течение довольно долгого времени. Маятник рассматривался только как источник энергии, необходимой для замыкания цепи, и когда какой-либо изобретатель пытался осуществить лучшее контактное устройство, он использовал в этих целях маятник, хотя это было связано с нарушением элементарных законов его колебаний. Немалую роль в этих неудачах играло то, что многие изобретатели электрочасов на раннем этапе их развития не обладали достаточными знаниями в часовом деле. Первые значительные успехи в создании электрических часов были достигнуты тогда, когда за это дело взялись часовщики, знакомые с электротехникой, такие, как Александр Бен, Матиас Гипп и др.

Процесс развития электрохронометрии в XIX в. был весьма медленным и малообнадёживающим. Даже в начале XX в. имелось немало специалистов, связанных с часовым делом, которые не верили в возможность дальнейшего прогресса электрохронометрии. Лорд Гримторп писал, что у него нет «никаких оснований допускать, что можно прямо электричеством поддерживать точный ход часов в течение длительного времени» [256, 162].

В новом издании своей книги Гримторп указывает причину, вследствие которой электрические часы не обеспечивают необходимую точность: «Всякий, кто приступает к конструированию электрических часов, должен иметь в виду, что время от времени происходят изменения в напряжении тока, поступающего от источника тока. А это сказывается на точности хода часов» [256, 165].

Все эти затруднения были преодолены в ходе дальнейшего развития электрохронометрии.

Развитие маятниковых и балансовых часов с электрическим приводом прямого действия

Маятниковые часы Бена. Появление самых ранних часов с электрическим приводом прямого действия связано с именем английского часовщика Александра Бена (1811—1877). В 1837 г. он приехал в Лондон из Эдинбурга, чтобы поступить на работу в качестве часового мастера. Это случилось в тот самый год, когда Кук и Уитстон получили патент на электротелеграфный аппарат.

Александр Бен был не только квалифицированным часовщиком, но и талантливым изобретателем, интересовавшимся достижениями науки. После того как ему удалось устроиться на работу, он систематически посещал лекции в Политехническом институте и всецело отдался изобретательской работе. Знакомство с электромагнитными машинами направило мысль Бена на поиски того, как электричество может быть использовано в той области техники, которая была ему, как часовщику, ближе всего.

Бен стал работать над созданием электрического буквопечатающего телеграфа («печатание информации вместо указания ее знаками») и над созданием электрических часов. «К июню 1840 г. я столь продвинулся в обоих этих изобретениях, — писал Бен, — что пожелал встретиться с некоторыми из тех лиц, кто мог бы материально помочь мне в реализации моих изобретений» [329, 6]. Основная мысль Бена в области электрохронометрии заключалась в устройстве нескольких вторичных (с циферблатом) часов с единым управлением от первичных, или главных, часов так, чтобы они могли показывать одно и то же время в различных местах. В библиотеке Лондонского патентного бюро сохранились чертежи Бена вместе с подробными описаниями по меньшей мере десяти его изобретений, относящихся к созданию электрической системы часов, приводимой в действие последовательным включением и выключением тока, осуществляемых движением маятника и баланса. Наряду с этим известны изобретения Бена, связанные с созданием печатающего телеграфного аппарата и устройством железнодорожной электросигнализации через токопроводящие рельсы и контактные башмаки. Он набросал также план осуществления нового принципа передачи штриховых изображений и печатного материала на расстояние по проводам и без проводов, в котором предвосхищал некоторые идеи современного телевидения. По тому значению, какое имеют изобретения Бена, его имя может быть поставлено рядом с выдающимися деятелями техники.

В августе 1840 г. Александр Бен был представлен ученому и изобретателю Уитстону, которому изложил свои проекты электрических часов и буквопечатающего телеграфного аппарата. Проекты молодого изобретателя заинтересовали Уитсто-

на, и он дал средства, чтобы Бен окончил свои модели. Буквопечатающий аппарат он купил у Бена. Интерес, проявленный к изобретению электрических часов в Англии, показывает, что общественность придавала этому большое значение.

Бен получил патент на изобретенные им электрические часы в октябре 1840 г. На основании этого Бена считают первым изобретателем электрочасов в Англии, так как здесь до него подобный патент никому не выдавался.

Описание и характеристика патента Бена довольно подробны и охватывают вторичные импульсные часы и разные способы продвижения в них стрелок импульсами тока, реализуемыми движением качающегося маятника или колебательным движением баланса. Здесь также имеется описание маятниковых часов с электрическим приводом прямого действия, которые могут управлять вторичными (импульсными) часами.

Механизм первых главных часов, описанных в этом патенте, приводился в действие грузом, а регулятором хода служил секундный маятник.

На рис. 231 показана схема устройства одних из таких электрических часов. На ней изображены секундный маятник 2 и трое вторичных часов в цепи /. Часовой механизм на фигуре не показан. Стержень маятника несет хомутик с металлическим пальцем 4 для осуществления контакта. Палец с трущимся контактом проходит по изолятору с металлической вставкой 3, прикрепленной к раме. При каждом размахе маятника происходит замыкание контактов цепи, после чего посылается импульс тока в цепь вторичных часов, соединенных последовательно, чтобы передвигать стрелки импульс за импульсом.

Маятниковые часы Бена 1843 г. с электрическим приводом прямого действия, т. е. с маятником, сохраняющим свое колебание под действием электромагнита, можно видеть на рис. 232. В качестве источника электрической энергии в часах был применен так называемый земляной элемент /, 2, состоящий из медной и цинковой пластин, зарытых в сырую землю. Затем имеется два закрепленных циферблата вторичных часов 3, 4. Маятниковый груз 7 представляет собой многovitковую массивную катушку из изолированной проволоки. Катушка расположена между полюсами двух постоянных подковообразных магнитов 8, прикрепленных к раме. Электрический контакт осуществлялся маленьким шариком, установленным на стержне маятника. При качании маятника шарик попеременно касался левой или правой пластины 5, 6. При колебании маятника влево шарик падал на пластину 5, замыкая цепь; тогда маятник мог быть притянут вправо и получить импульс, который в то же время передавался на все циферблаты в цепи. Когда маятник двигался влево, шарик падал на другую металлическую пластину 6, которая, не имея электрического контакта, прерывала цепь. Этот цикл повторялся при каждом переменном размахе маятника. Часы Бена заслужили похвалу и за оригинальность, но устройство контакта и прерывателя было неудачным. Поэтому Бен вынужден был этот контакт усовершенствовать.

В 1845 г. он создал более совершенную конструкцию электрочасов (рис. 233, а). Основная их часть состоит из маятника с линзой и двумя сталь-

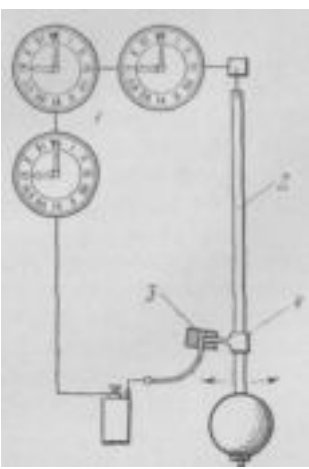


Рис. 231. Схема электрических часов Бена 1840 г.

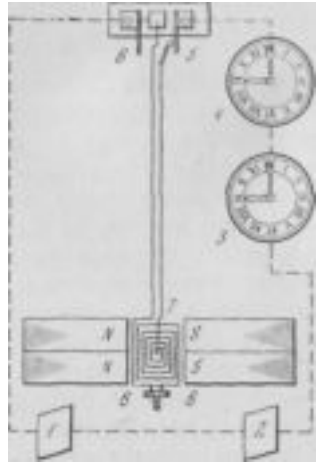


Рис. 232. Маятниковые часы с электрическим приводом прямого действия Бена 1843 г.

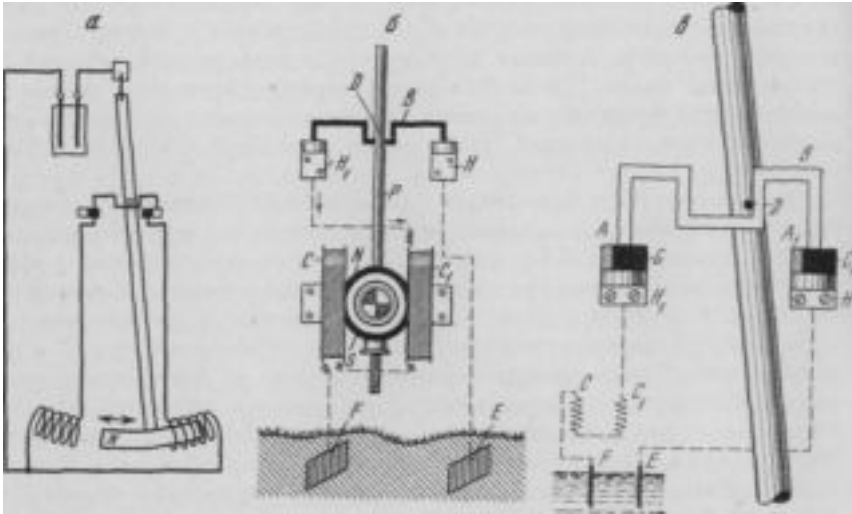


Рис. 233. Часы Бена 1845 г.

а — принципиальная схема; *б* — устройство часов; *в* — детали контакта

ными магнитами. Полюсы магнитов обращены к катушкам C и C_1 , которые соединены последовательно (рис. 233, *б*). Поэтому при пропускании через них тока одна катушка притягивает линзу, в то время как другая отталкивает ее.

На стержне маятника укреплен штифт D , назначение которого состоит в том, чтобы при колебании маятника передвигать по кронштейнам H и H_1 контактную скобу B .

Это устройство в увеличенном виде приводится на рис. 233, *в*. Кронштейны H и H_1 имеют сверху цилиндрические выступы-контакты G и G_1 из золота, A и A_1 из агата. На выступах имеются канавки, по которым Свободно движется контактная скоба B , соединяющая оба конца цепи в момент касания золотой части контактов.

В этих часах катушки, контакты и источники тока соединяются последовательно.

Разберем работу маятника. На рис. 233, *а* маятник находится в крайнем правом положении. Левая катушка в это время притягивает линзу, а правая отталкивает ее. В результате маятник получает импульс справа налево, скоба остается неподвижной до тех пор, пока штифт не толкнет ее левый изгиб. В это время контакт прервется, цепь разомкнется, и катушки не будут действовать на линзу. Маятник теперь будет свободно двигаться вправо, где опять передвинет скобу и замкнет цепь, и т. д. [213, 78—79].

Недостаток часов Бена заключался в том, что был большой ток, сильное трение в контактах и износ их; поэтому довольно скоро эти часы оказались достоянием истории. Маятник находился непрерывно под магнитным воздействием; сила притяжения магнита способствовала ускорению хода часов. Поскольку импульсы маятнику сообщались после каждого размаха, то ход часов Бена не был свободным. Изосинхронное колебание маятника могло достигаться только при совершенно неизменной и постоянной силе тока батареи, что, как известно, не так легко получить.

В маятниковых часах Бена с электроприводом прямого действия были заложены те основные принципы, на основе которых происходило дальнейшее усовершенствование такого типа электрических часов, т. е. усовершенствование контакта и механизма для периодического прерывания тока и изменения фаз. Идея Бена об устройстве маятниковых часов с электрическим приводом непосредственного действия была революционной, несмотря на то что ему не удалось создать надежного устройства контакта.

Кроме электрических часов Бена, существуют и более совершенные конструкции часов с приводом прямого действия, как, например, электрические часы Матиаса Гиппа (1813—1893), в которых посредством системы электромагнитов маятнику даются толчки только тогда, когда амплитуда его качаний становится меньше известной величины. Часы Гиппа, имевшие более совершенное устройство, и получили на европейском континенте наибольшее практическое применение.

Электрические часы Гиппа. По свидетельству Фаварже [350, 232—245], мысль о создании часов с электрическим приводом возникла у Гиппа еще в 1834 г., когда он в возрасте 21 года стал часовым мастером в Сант-Галле (Швейцария). Свое изобретение он представил в 1842 г., когда уже был часовым мастером в Рейтлингейне (Германия). Оно принесло ему славу. Есть основания полагать, что он не знал о работах своих современников, а последние не были в курсе достижений Гип-

па. В Англии самое раннее сообщение об электрических часах Гиппа относится к 1865 г., когда на это изобретение там был выдан ему патент [36, 106].

Создавая часы с электрическим приводом, Гипп исходил из ясных теоретических положений, относящихся к колебаниям свободного маятника, т. е. маятника, не связанного ни с ходом, ни с колесной системой. В этом случае маятник, преодолевая сопротивление окружающего воздуха, может качаться довольно долго под влиянием одного полученного им первоначального импульса. Если такому маятнику сообщить импульс через несколько секунд или даже минут, после того как он сделает большое число свободных колебаний, без нарушения изохронности этих колебаний, он будет колебаться столь же равномерно, как и раньше. В этом случае повторный импульс должен подаваться не после определенного числа свободных колебаний маятника, а тогда, когда уменьшение амплитуды этих колебаний дойдет до заранее определенного минимального размера. Эти импульсы должны восстанавливать потерянную силу маятника вследствие изменения соотношения между действующими силами и вредными сопротивлениями.

Принцип действия часов Гиппа и заключался в том, что свободно колеблющийся маятник L в момент затухания колебаний, когда его амплитуда достигает определенного минимального размаха, автоматически получает импульс от источника электрического тока.

Электрические маятниковые часы Гиппа представлены на рис. 234. Маятник устроен совершенно особенным образом: одним концом он подвешен на пендельфедере в точке A , а на другом его конце находится линза, ниже которой укреплен железный стержень e , выполняющий роль якоря электромагнита m , который установлен так, что расстояние между полюсами и якорем равно 1—2 мм. Стержень маятника над линзой имеет прямоугольный вырез (см. вид сбоку), где установлена агатовая призма a , которая представляет собой контрпалету, или гребенку с двумя или тремя зубцами. Над последней установлены две контактные пружины f, f' , левые концы которых свободно лежат на стержнях s, s' . К нижней контактной пружине f , немного правее ее середины, в точке o подвешен легко подвижный язычок, или палета, p из закаленной и отполированной стали. Положительный полюс батареи E соединен с одним концом обмотки электромагнита m , другой его конец присоединен к контакту k' пружины f' ; отрицательный полюс батареи присоединен к правому контакту k пружины f . Провод $s'd$ служит для того, чтобы предупредить появление искры в m при размыкании тока, так как прежде чем пружины f, f' разойдутся, f' на одно мгновение ложится на стержень s' , и ток пройдет по проводу ds' .

Для приведения маятника в состояние колебания необходимо отвести его влево так, чтобы гребенка оказалась левее язычка, и отпустить. При обратном движении гребенка a зацепит за язычок p и повернет его вправо, после чего язычок легко соскользнет с нее. Цепь электромагнита останется разомкнутой, и маятник колеблется без импульса, с постепенно уменьшающейся ампли-

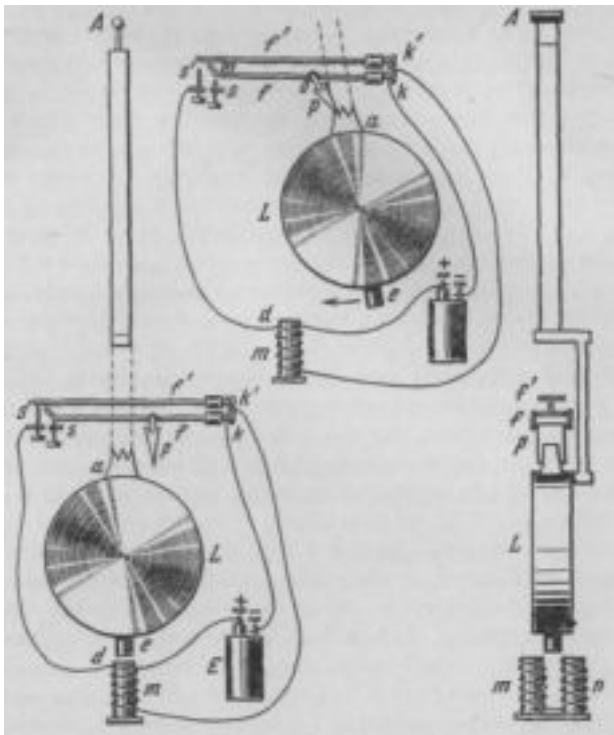


Рис. 234. Электрические маятниковые часы Гиппа

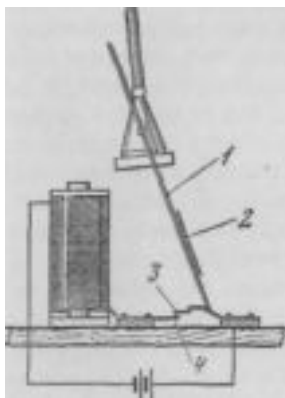


Рис. 235. Часы Гиппа, усовершенствованные Лемуаном

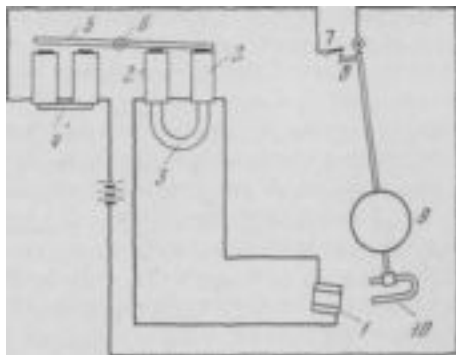


Рис. 236. Маятник с электрическим приводом Фери

тудой. Наконец, когда амплитуда уменьшится до некоторой определенной величины, язычок задержится между зубцами гребенки при отклонении маятника влево. Гребенка упрется в язычок, приподнимет его, и контакт замкнется. В результате соединения контактов обеих пружин через обмотку электромагнита пойдет электрический ток, и якорь притянется к электромагниту, т. е. вызовет импульс тока. Этот импульс дает маятнику толчок вблизи положения равновесия. Затем гребенка отпустит язычок p и маятник будет свободно продолжать свое колебание с увеличившейся амплитудой, поднимая и опуская легкий язычок. Это происходит до тех пор, пока амплитуда маятника не уменьшится настолько, что при колебании влево произойдет заклинивание язычка p . Тогда вновь замкнется контакт и маятник получит импульс от электромагнита.

В СССР маятник Гиппа применен в электропервичных часах (ЭПЧМ). Описанное выше электромеханическое устройство, которым Гипп снабдил свободный маятник, он назвал электрическим ходом (*l'chappement électrique*) [364]. Часы Гиппа со свободным ходом, так как маятник сцепляется с механизмом только во время получения импульса (примерно через 8—10 свободных колебаний).

Парижский изобретатель Лемуан в 1900 г. внес в изобретение Гиппа ценное изменение, присоединив к коленчато-рычажному устройству проволоку с легкой слюдяной флюгаркой в форме бабочки. По форме флюгарки это устройство стали называть «бабочкой». Лемуан заменил коленчато-рычажное устройство удлиненной легкой проволокой 1 со слюдяной лопаточкой 2 и с шарниром внизу основания груза маятника (рис. 235). Когда амплитуда колебания маятника уменьшалась ниже заданной нормы, проволока нажимала на пружинный контакт 3, и последний приводил в действие контакт 4, который замыкал цепь, а маятник получал импульс.

Наряду с устройством Лемуана коленчато-рычажное устройство Гиппа в той или иной форме продолжает использоваться до настоящего времени.

Маятниковые часы с электроприводом прямого действия, созданные после Гиппа. После Гиппа было немало изобретателей, проявивших большую находчивость в отношении использования идеи электрического привода прямого действия. Они при этом решали две задачи: 1) получить возможно более короткий импульс и передать его колебательной системе возможно ближе к положению равновесия и 2) передать этот импульс без механической связи.

Обе эти задачи, как показала практика, невозможно решить средствами механики, так трудно преодолеть силу инерции движущихся частей. Бреге был в числе первых, кто указал на возможность решить эту задачу, используя явление индукции, но не ему, а французскому профессору физики Чарльзу Ферри принадлежит инициатива создания на этом принципе маятника с электрическим приводом (рис. 236).

В нижней части маятника укреплен подковообразный постоянный магнит 10; его нижний полюс при колебании маятника входит в неподвижную катушку 1, которая соединена с катушками 2, посаженными на полюсы неподвижного постоянного магнита 3. При разомкнутой цепи электромагнита якорь притянут к полюсам постоянного магнита 3. Один полюс батареи присоединен к маятнику, а другой — к одному из концов катушки электромагнита 4. Второй конец катушки электромагнита присоединен к контакту 7. На стержне маятника укреплен рычаг с контактными винтами 8. При колебании маятника

влево контактный винт входит в соприкосновение с неподвижным контактом 7 и замыкает цепь электромагнита 4. Якорь 5 притягивается к электромагниту 4 и одновременно отрывается от постоянного магнита 3, вызывая изменение магнитного потока постоянного магнита. Вследствие этого в обмотках катушек 1 и 2 индуцируется электродвижущая сила, создающая кратковременный ток. Нижний полюс постоянного магнита 10 будет втягиваться в катушку 1, вследствие чего маятник получит импульс; при обратном движении маятника контакты 7 и 8 разомкнутся, якорь 5 притянется к полюсам постоянного магнита 3, снова вызывая изменение магнитного потока, но другого знака. Постоянный магнит 10 будет выталкиваться из катушки 1, и маятник получит очередной положительный импульс, поддерживающий его колебательный режим.

Продолжительность импульса весьма мала и определяется временем перемещения якоря 5 из одного положения в другое. Свой маятник Фери назвал маятником с электрическим приводом постоянной силы.

Явление самоиндукции, использованное Фери для устройства маятниковых часов с электрическим приводом прямого действия, послужило толчком для Грегори и Липмана к использованию для этой цели явления мгновенного заряда и разряда конденсатора. В 1899 г. ими на этом принципе были созданы электрочасы (рис. 237). В их схему включен конденсатор 5, который заряжается и разряжается через контакты 5 и 7, замыкаемые маятником. Возникающие при этом в катушках 3 и 4 импульсы тока и наведенное ими электромагнитное поле, взаимодействуя с постоянным магнитом 2, сообщает маятнику 1 необходимый механический момент [389].

Для того чтобы импульсы при заряде и разряде конденсатора были одинаковы, необходима хорошая изоляция обкладок конденсатора и отсутствие утечек тока через диэлектрик.

Электрические часы «Балл-Клок». Не малый интерес для электрохронометрии имеет изобретенный около 1920 г. профессором Марселем Мулином и М. Фавр-Баллом электрический привод прямого действия с подвижной катушкой, примененный ими в часах «Балл-Клок» (Bull Clock) (рис. 238).

Источником энергии этих часов является обычный сухой элемент. Груз маятника 7 представляет собой полую катушку. Она качается, не касаясь постоянного магнита 8 криволинейной формы. Катушка намагничена следующим образом: плюс — в середине, минусы — на концах. Для установки положения катушки предусмотрена регулировочная гайка 9. На стержне маятника имеется контактный штифт 1, под действием которого поворачивающийся на оси вилкообразный рычаг 2 может качаться. Рычаг прикреплен к корпусу часов. Он играет ту же роль, что и импульсная палета в спусковом механизме механических часов. На внутренней поверхности вилки с одной стороны имеется вкладыш из токопроводящего материала, а с другой — вкладыш из изолятора. Когда маятник совершает колебание справа налево, штифт касается токопроводящего вкладыша вилки и замыкает электрическую цепь.

При обратном колебании маятника штифт касается изолятора на вкладыше вилки, следовательно, цепь остается незамкнутой, но вилкообразный рычаг поворачивается так, чтобы быть подготовленным к замыканию цепи при следующем колебании маятника, т. е. справа налево.

Вилкообразный рычаг через коленчатый рычаг 3 воздействует на храповое колесо 4, которое при каждом периоде колебания маятника передвигается

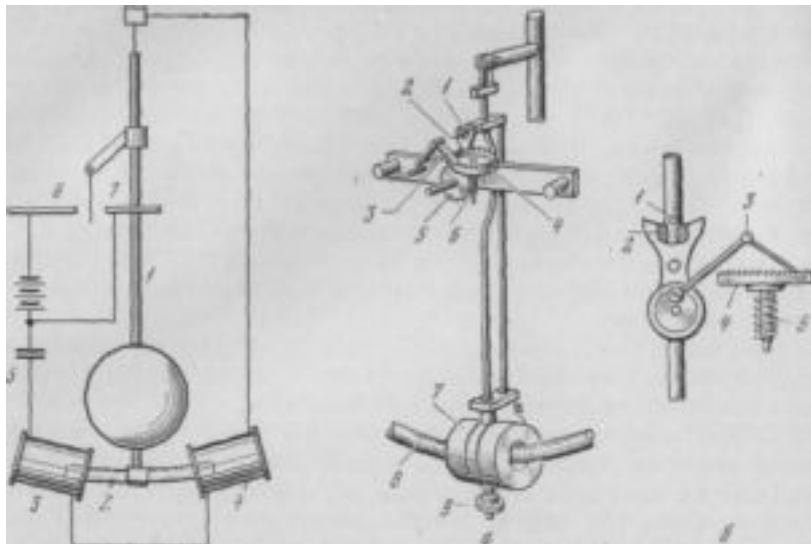


Рис. 237. Электрические часы Грегори и Липмана

Рис. 238. Устройство электрических часов «Балл-Клока»

а —общее устройство; б— детали контакта

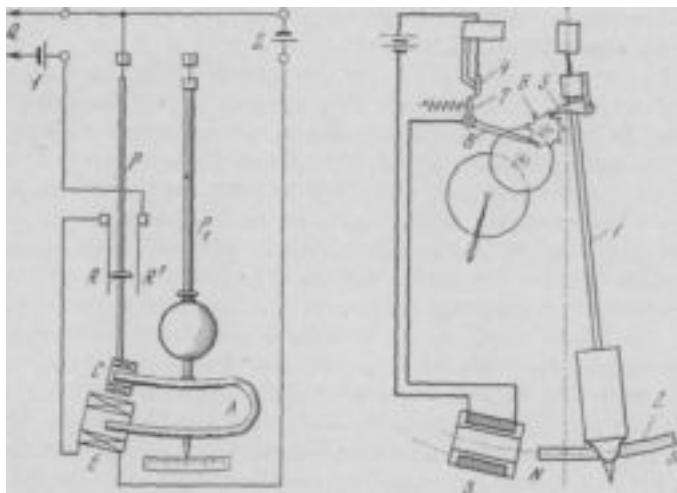


Рис. 239. Часы с магнитносвязяными маятниками

Рис. 240. Часы с приводом АТО

на один зуб. Движение стрелок осуществляется храповым колесом через посредством червячной передачи 6. В часах имеется устройство, не допускающее отклонения амплитуды колебания маятника от установленной величины.

Часы «Балл-Клок» потребляют весьма незначительный ток, так что одного сухого элемента хватает на год и более.

Следует отметить, что в этих часах маятник несет функцию, отличную от обычных маятниковых часов: он фактически используется для приведения в действие стрелок, поэтому может рассматриваться, как двигатель и источник движущей силы.

В разобранных конструкциях маятниковых часов Бена, Гиппа, Фери, Грегора и Липмана с электрическим приводом прямого действия маятник обычно замыкает в нужный момент тот или иной контакт, будучи чисто механически связан с контактным устройством. Избежать этого недостатка в устройствах электрических часов в некоторой степени удалось Чарльзу Фери.

В 1908 г. в Париже он доложил Физическому обществу о созданных им новых электрических часах. Предметом этого изобретения был свободный маятник, или, по словам Фери, маятник, который колеблется без единого механического контакта (рис. 239). В часах использовано колебание двух маятников P_1 (основного) и P (вспомогательного), связанных магнитной связью. Если отвести основной маятник, он будет качаться справа налево; при этом подковообразный постоянный магнит A , укрепленный внизу стержня этого маятника, своим нижним полюсом будет свободно входить в неподвижную катушку E , а верхним полюсом — в полость короткозамкнутой катушки C , укрепленной на стержне вспомогательного маятника. Благодаря электромагнитной индукции между короткозамкнутой катушкой маятника P и движущимся магнитом колебание маятника происходит с тем же самым периодом, что и основного маятника P_1 , но не в фазе с ним. Маятник P при качении поочередно касается контактных пружин R и R' с помощью планки, укрепленной на его стержне, и поочередно посылает ток то к основному маятнику P_1 , то к вторичным часам. Это осуществляется следующим образом. При движении справа налево основной маятник в силу закона электромагнитной индукции будет увлекать за собой короткозамкнутую катушку, так как основной маятник намного тяжелее вспомогательного и вызовет его отклонение также влево от положения равновесия. Маятник замкнет контакт R , через катушку E пройдет ток от батареи 2, и катушка начнет втягивать в себя магнит A , сообщая маятнику импульс.

Когда главный маятник дойдет до крайнего отклонения влево, сила тока в короткозамкнутой катушке вспомогательного маятника станет равной нулю и последний разомкнет пружинящий контакт R . Получив импульс, главный маятник начнет двигаться вправо и при этом опять-таки в силу закона электромагнитной индукции будет увлекать за собой короткозамкнутую катушку вспомогательного маятника, который, также отклоняясь вправо, замкнет контакт R' и пошлет от батареи 1 ток в сеть вторичных часов.

Изобретение Фери выдержало испытание временем. На использовании принципа устройства его часов были созданы часы с приводом АТО, получившие довольно большое распространение (особенно во Франции).

Маятник 1 часов АТО (рис. 240) снабжен согнутым по дуге постоянным магнитом 2, свободно входящим в катушку 3. При колебании маятника влево собачка 5 будет поворачивать храповое колесо 6, которое, во-первых, сооб-

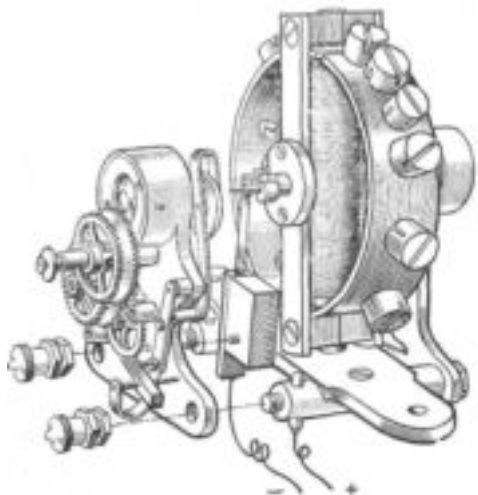


Рис. 241. Электрические балансовые часы «Эврика»

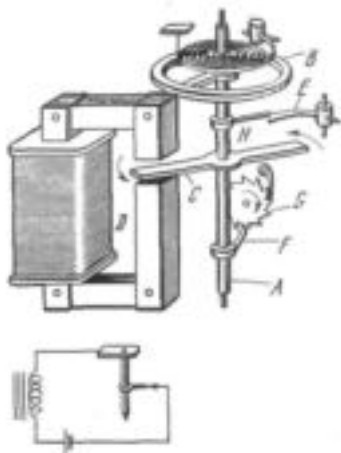


Рис. 242. Электрические балансовые часы «Орель-Мэжро»

щит движение колесной системе и стрелкам, а во-вторых, замкнет цепь катушки 3 через рычаг 8 и контакты 4, 7. Катушка 3 втянет магнит 2, и маятник получит импульс. При этом рычаг 8 соскочит с зуба колеса 6, и цепь будет разомкнута. Часы АТО работают от сухой батареи напряжением 1,5 В.

Особенность часов **Фери** заключается в использовании для замыкания тока того же самого храпового колеса, которое служит для вращения колесной системы и стрелочного механизма.

Электрические часы «Эврика» изобретены в 1906 г. в США Т. В. Пауэрсом и Г. Н. Кутковым; на это изобретение был выдан патент. Производство часов было организовано в США часовой компанией «Эврика». Часы «Эврика» отличаются от других электрических часов тем, что у них регулятором хода является не маятник, а баланс большого размера, который получает импульс вблизи положения равновесия. Они имеют электропривод прямого действия.

На рис. 241 показан механизм часов со снятым циферблатом и футляром. Обод баланса изготовлен из двух металлов (биметаллический), он разрезан в двух местах и снабжен обычными регулировочными винтами. Диаметр баланса 82 мм, ширина обода 6,4 мм. Ось баланса расположена на шариках. Электромагнит с обмоткой и сердечником размещен на перекладине баланса, а якорь представляет собой основание часов, на котором поддерживается весь механизм.

Когда баланс находится в покое, электромагнит не взаимодействует с якорем, контактный шпифт не касается контактной пружины и цепь разомкнута. Замыкание цепи осуществляется лишь тогда, когда полюс электромагнита приближается к железному якорю, что происходит при колебании баланса справа налево, т. е. при колебании баланса только в одном направлении. Та-

ким путем баланс получает необходимый для поддержания его колебаний импульс.

На оси баланса сидит диск, который на своей поверхности имеет кулачок. При каждом колебании баланса он отводит вправо посредством колесика верхнюю часть рычага. При этом нижняя часть рычага, изогнутая и снабженная собачкой, при каждом полуколебании поворачивает храповое колесо с 40 зубцами на один зуб. На оси храпового колеса сидит секундная стрелка и трибка с восемью зубцами, от которой движение передается через соответствующую зубчатую передачу к минутной и часовой стрелкам.

Часы «Эврика» изготовлялись также и в Англии; производство их было прекращено во время первой мировой войны.

Электрические часы фирмы «Орель-Микро». В электрических часах «Орель-Микро» (рис. 242) вместо маятника используется также баланс; он выполняет те же функции, что и маятник в часах «Балл-Клок», т. е. служит источником движущей силы. Часы «Орель-Микро» благодаря применению в качестве двигателя баланса (вместо маятника) более портативны, и ход их менее зависит от положения часов.

Движение балансу *B* передается посредством якоря *C*, одно плечо которого качается в прорези магнитопровода электромагнита *D*. Поводок *Я*, расположенный на оси баланса, приходит в контакт с пластинчатой пружиной *E*, осуществляя замыкание цепи через электромагнит. Это происходит только во время колебания баланса в одном направлении — вправо. Тогда поводок на оси баланса касается изогнутой изнутри пружины *E* и отгибает ее кверху, чтобы осуществить контакт. При обратном размахе баланса поводок, ударяя пружину, отгибает ее книзу, и цепь размыкается. Контакт осуществляется несколько ранее того, как рычаг якоря войдет в прорезь электромагнита.

Передвижение стрелок часов происходит следующим образом. На **оси** баланса сидит пружинящая собачка *F* специальной формы, которая действует на храповое колесо *G* с 15 зубцами; это колесо ведет шестеренку, приводящую в движение зубчатую передачу от секундной к минутной и часовой стрелкам.

Баланс обладает большой кинетической энергией, продвижение храпового колеса легкое и надежное. Обыкновенная батарея карманного фонаря в 4,5 В может обеспечивать ход часов «Орель-Микро» в течение 9 месяцев.

Основным недостатком рассмотренных конструкций маятниковых и балансовых часов с электрическим приводом прямого действия является наличие в них механических контактов. Недостатки контактных устройств побудили изобретателей электрических часов изыскать иные пути для создания бесконтактных часов. Изобретение и усовершенствования часов такого **устройства сначала** были связаны с появлением трехэлектродных вакуумных радиоламп, но получили свое развитие только благодаря практическому применению полупроводниковых приборов — транзисторов. Вопрос о развитии бесконтактных электрических часов будет рассмотрен ниже.

Развитие маятниковых часов с электрическим приводом косвенного действия

В часах с электроприводом косвенного действия маятник или баланс получает импульс от падающего груза (рычага) или от изогнутой пружины. Роль электромагнита состоит лишь в том, чтобы возвращать груз или пружину в исходное положение. Особенностью этих часов является постоянство импульса и независимость его от напряжения источника питания электромагнита. В дальнейшем мы рассмотрим конструкции электрических часов с приводом косвенного действия в той исторической последовательности, в какой они фактически развивались.

Сначала были изобретены электрические часы с импульсными грузами. В 1849 г. Чарльз Шеферд (Англия) изобрел электрический маятник с постоянным импульсом, подаваемым маятнику грузом на плече рычага (рис. 243). Когда маятник L совершает колебание налево, винт 1 отодвигает рычаг 2 , загнутый под прямым углом, и вместе с тем отключает его от загнутого под прямым углом грузового рычага 3 , который, освободившись от него, начинает давить на штифт 4 , закрепленный на выступе маятника, и передает ему импульс. После этого маятник совершает колебание в обратном направлении (направо); тогда противовес рычага 3 опустится на рычаг 5 , где он и останавливается. В конце своего колебания направо маятник замыкает контакт 6 , и ток от батареи 7 возбудит электромагнит 8 , который притянет к себе рычаг 5 и приподнимет грузовой рычаг 3 в его исходное положение, где снова зашелкнется выступом $2a$.

Эти часы имели недостаток, связанный с тем, что маятнику приходилось при колебании осуществлять усиленное механическое воздействие, что существенно отражалось на его нормальной работе.

В 1855 г. Фроман (Франция) создал электрические часы, в которых контакт стал осуществляться с меньшим давлением (рис. 244).

На стержне маятника L имеется выступ с установочным винтом $/$, который при каждом левом колебании маятника вступает в контакт с небольшим грузиком, расположенным на конце гибкой пружины 4 . На правом конце рычага 3 укреплен якорь магнита 2 , а левый его конец изогнут; на него опирается пружина 4 , когда якорь не притянут к электромагниту. Рычаг 3 вращается на оси, неподвижно прикрепленной к платине механизма.

При колебании маятника налево установочный винт $/$ замыкает цепь, производя давление на грузик пружины 4 , ток проходит через обмотку электромагнита, и сердечник намагничивается; электромагнит 2 притягивает якорь на рычаге 3 . Тогда изогнутый конец рычага 3 опускается вниз, а грузик на конце рычага 4 создает дополнительное давление на установочный винт 1 , сообщая таким образом маятнику энергию, необходимую для поддержания колебаний.

При правом нисходящем полуколебании маятника грузик опускается на винт $/$ до тех пор, пока пружина 4 не ляжет на изогнутый конец рычага 3 . Тогда контакт разомкнется, электромагнит отпустит якорь и грузик будет снова поднят в исходное положение изогнутым концом рычага 3 .

Для характеристики действия часов Фромана весьма важное значение имеет то обстоятельство, что грузик поднимается винтом при восходящем колебании влево на значительно меньшую величину, чем он опускается вме-

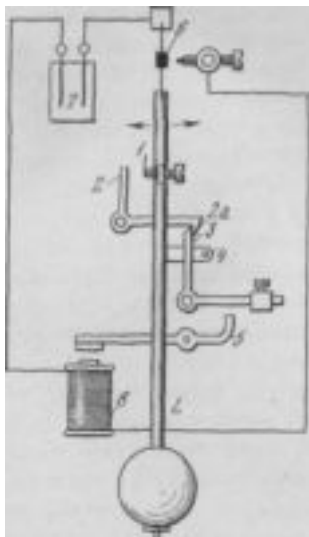


Рис. 243. Схема работы часов Шефферда

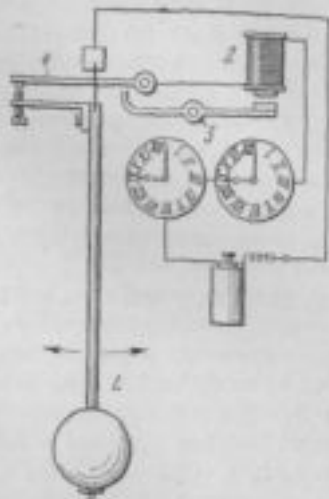


Рис. 244. Электрические часы косвенного действия Фромана

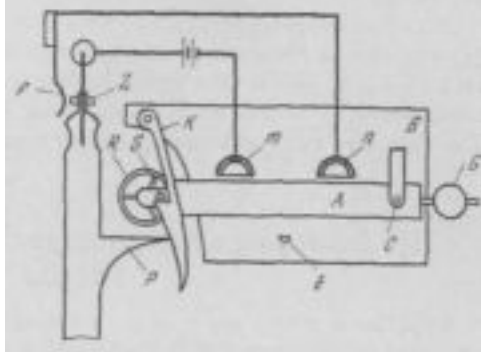


Рис. 245. Электрические часы косвенного действия Гейста

сте с установочным винтом при нисходящем правом полуколебании. Благодаря этому и возникает та энергия, которая поддерживает колебания маятника.

Кроме часов Фромана, на континенте Европы были известны часы с электрическим приводом косвенного действия, изобретенные в 1905 г. Гейстом (Вюрцбург). В этих часах (рис. 245) приподнимается груз, который всегда падает с одинаковой высоты на плечо рычага, прикрепленное к стержню маятника. .

Сердечники *m* и *n* электромагнита прикреплены вертикально к латунной пластинке *B*. В нижней части сердечников электромагнита помещается якорь *Л*, вращающийся вокруг точки *C*, несущий слева фрикционный (трущийся) ролик *Р*.

Маятник снабжен сверху платиновым штифтом *Z*, который при качании влево касается пружины *f* и замыкает цепь тока, так что якорь, притягиваемый полюсами электромагнита, приподнимается. На правой стороне маятника находится рычаг *Р*, который при падении якоря вниз встречает фрикционный

ролик R . Посредством его передается импульс маятнику. При притяжении якоря отодвигается пружинящая собачка K с помощью находящегося на левом конце штифта 5 до тех пор, пока штифт дойдет до выступа собачки и она зацепится. Если же прерывается контакт между платиновым штифтом Z и пружиной f , то якорь освобождается, однако не может падать вниз, так как штифт S находится в зацеплении с собачкой K . При качании маятника вправо плечо рычага P отодвинет собачку в сторону, якорь упадет вниз до штифта t и приподнимется вверх при последующем замыкании контакта.

Для компенсации действия силы, вызванной остаточным магнетизмом, Гейст в своих часах на конце якоря A расположил перемещаемый груз G . В других конструкциях, для того чтобы исключить действие остаточного магнетизма, на якорь падает тело, которое приподнимается при притяжении якоря, а в соответствующий момент освобождается.

В электрических часах системы Гуде-Детуша сверху по обеим сторонам стержня маятника прикреплены дугообразные плечи, над каждым плечом расположены пружины. При качании маятника влево левое плечо касается находящейся над ним пружины и замыкает цепь тока. Якорь притягивается к электромагниту. Приподнимается правая пружина. При качании маятника вправо эта пружина освобождается правым плечом маятника и сообщает маятнику толчок.

В России первые маятниковые часы с приводом косвенного действия были представлены на Московской выставке промышленных изделий Ф. С. Буткевичем в 1865 г. В 1870 г. Обществом любителей естествознания при Московском университете Буткевичу за эти часы была вручена Большая серебряная медаль. Описание их устройства приведено в нашей книге [19, 188—191].

Предыстория электрических маятниковых часов Шорта

Крупным достижением в области электрохронометрии были электрические маятниковые часы английского ученого В. Х. Шорта с двумя (свободным и рабочим) маятниками, с подачей импульса через каждые полминуты при помощи рычагов-грузиков.

Часы Шорта имели электрический привод косвенного действия. Созданию этих часов в 1921 г. предшествовал ряд изобретений других авторов, в которых содержались уже не только отдельные элементы конструкции, нашедшие затем воплощение в часах Шорта, но и предвосхищалась идея создания таких часов. Технические решения, соответствующие этой идее, нашли наиболее удачное и полное отражение в устройстве часов В. Х. Шорта.

Электрические часы со свободным ходом, с подачей импульса маятнику в пределах больших и в то же время постоянных интервалов времени. В электрических часах Гиппа подача импульса происходит в пределах большого, но не всегда постоянного интервала времени. После Гиппа было немало часовщиков-изобретателей, искавших средства и возможности подавать импульс в пределах продолжительного и неизменного интервала времени. Можно отметить ряд таких изобретений, на которые были выданы патенты, в Англии.

В 1893 г. британский патент был выдан двум часовщикам М. А. и Н. Камприче на применение счетного колеса для осуществления ежеминутного контакта (рис. 246). Импульс подается маятнику посредством плоской пружины *BD*. Эти часы считаются первыми, в которых счетное колесо было использовано таким образом. Энергия, требующаяся для контакта, поступает от маятника *L*. Подача импульса осуществляется так. На оси счетного колеса *1* имеется рычаг *2*, который каждую минуту замыкает пружинный контакт *3*; магнит *M* притягивает якорь *A*, и через систему рычагов *C*, *F*, *E* импульс передается маятнику. Между импульсами маятник совершает свободные колебания.

Рис. 246. Счетное колесо Камприче
а — счетное колесо; б — устройство для передачи импульсов

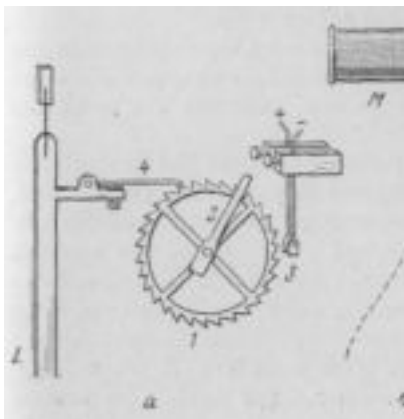
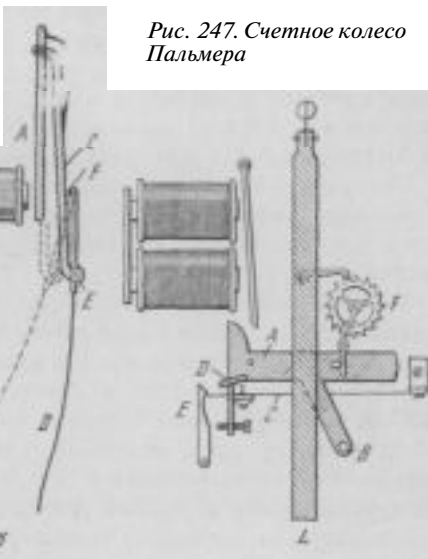


Рис. 247. Счетное колесо Пальмера



В 1906 г. Лауну был выдан британский патент на применение счетного колеса с целью замера полуминутных интервалов от одного импульса до другого. Импульс маятнику сообщался непосредственно; он был постоянным, не зависящим от мощности батареи. Собачка на маятнике поворачивала счетное колесо — зуб за зубом — в течение одной минуты. При каждом полуобороте колесо замыкало электрические контакты, пока маятник совершал колебание налево. От действия электромагнита изгибалась пружина, а затем зацеплялась защелкой. При следующем размахе маятник освобождал защелку и получал импульс от пружины. После этого маятник мог продолжать качаться свободно до следующего контакта. Маятник при этом не испытывал никакой помехи, кроме действия на него, оказываемого счетным колесом.

Итак, в часах конструкции Камприче и Лауна имелся длительный интервал времени между импульсами, но, в отличие от часов Гиппа, этот импульс осуществлялся в постоянных интервалах. Кроме того, в часах Лауна импульс был постоянным по величине.

В 1902 г. часовому мастеру Пальмеру был выдан британский патент на применение грузового рычага *A*, который подавал импульс маятнику посредством штифта *B* на коротком плече рычага (рис. 247). Маятник *L* двигал счет-

ное колесо F , освобождавшее грузовой рычаг A через каждые полминуты. При падении рычаг подавал импульс маятнику и освобождал от зашелки плоскую пружину D . Она осуществляла контакт, необходимый для возбуждения магнита, под действием которого рычаг снова устанавливался на прежнее место. В 1904 г. Парсонс и Балл в своих электрических часах применили отдельные элементы конструкций, которые были изобретены ранее, в том числе счетное колесо Камприче, грузовой рычаг Пальмера, действующий на маятник, подобно второй палете хода Грагама, некоторые элементы из предшествующих конструкций часов Хоуп-Джонса и т. д.

Выбор отдельных элементов из известных устройств и создание на их основе новых устройств не только вполне законный, но, можно сказать, единственный путь для технического прогресса.

Устройство Парсонса и Балла было прогрессивным, однако пока они производили расчеты и составляли чертежи для заявки на патент, Франк Хоуп-Джонс в марте 1905 г. сделал заявку на изобретение, очень похожее на устройство Парсонса и Балла, и получил британский патент.

Полуминутный интервал подачи импульса стал с тех пор стандартным для часов; в этом же интервале времени производится подача импульса и в часах Шорта, т. е. так же, как и в часах Хоуп-Джонса, известных под названием «синхроном».

Вклад Хоуп-Джонса в хронометрию. Большое значение для успеха электрохронометрии в Англии имела работа Франка Хоуп-Джонса (1863—1950), направленная на усовершенствование электрического привода косвенного действия. Первые результаты его изобретательской работы стали уже известны в 1895 г. К этому времени относится создание им привода, основанного на использовании спускового механизма гравитационного типа Гримторпа с тем отличием, что грузовые рычаги в устройстве Хоуп-Джонса возвращаются в свое первоначальное положение действием электромагнита. В часах Хоуп-Джонса импульсы секундному маятнику подаются при каждом его размахе двумя грузовыми рычагами.

Электропривод состоит из двух электромагнитов D и D' (рис. 248, а), которые при замыкании цепи притягивают якоря A или A' , сидящие на одной и той же оси вращения, что и грузовые рычаги G и G' . Эти рычаги снабжены регулируемыми грузами и выступами в форме крючков. Штифты P и P' являются ограничителями падения якорей вниз и поднятия грузовых рычагов вверх. На стержне маятника закреплены два контакта напротив концов грузовых рычагов.

Когда маятник совершает колебание вправо, рычаг G' вступает с ним в контакт и находится в совместном движении до определенного момента. Электрическая цепь, показанная на рисунке, идет от батареи вдоль линии 3 к магниту D , затем вдоль линии 4 к грузовому рычагу G' до контакта, расположенного на правой стороне маятника 1; отсюда через пружинный подвес 5 к циферблату и далее обратно к батарее. Под действием этой электрической цепи возбуждается электромагнит D и притягивает якорь A , который при своем движении к магниту захватывает крючок грузового рычага G и поднимает его в положение, показанное на рисунке.

Когда маятник совершает колебание влево, штифт P останавливает дальнейшее падение якоря A' и освобождает крючок грузового рычага от совместного движения с маятником. Маятник вступает в контакт с рычагом G . Элек-

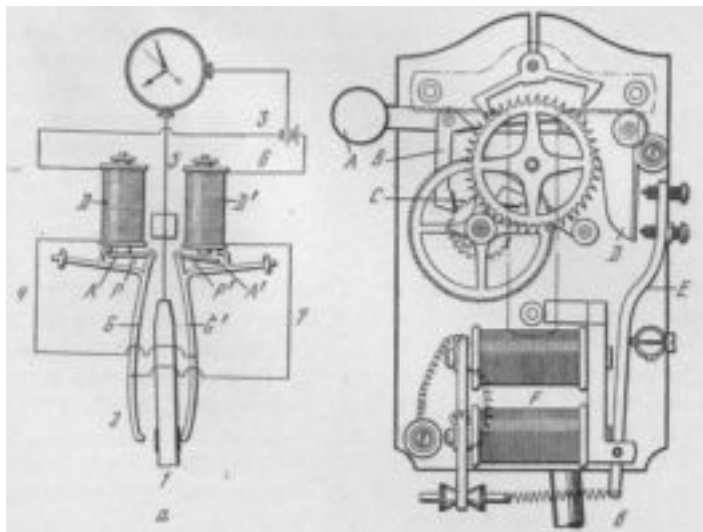


Рис. 248. Схема электрического привода косвенного действия Хоуп-Джонса
а — с использованием хода гравитационного типа; б — с использованием хода Грагама

трическая цепь пойдет теперь от батареи по проводу *б* к магниту *Д'* и по проводу *7* к рычагу *Г*, к контакту на левой стороне маятника, а через пружинный подвес маятника к циферблату и обратно к батарее. Цикл действия одинаков на обеих сторонах и повторяется при каждом колебании маятника действием симметрично расположенных механизмов. Грузовые рычаги *Г* и *Г'* поднимаются электромагнитом на значительно большее расстояние, чем при совместном движении с маятником. За счет разности этих двух работ получается та энергия, которая поддерживает колебание маятника.

В своем следующем изобретении Хоуп-Джонс для создания электрического привода косвенного действия использовал спусковое устройство маятниковых часов Грагама (рис. 248, *б*). В этом устройстве спусковой механизм поддерживает колебание маятника, а грузовой рычаг использован для осуществления контакта с якорем. Спусковой механизм Грагама приводится в действие от грузового рычага *А* через собачку *В*, действующую на храповое колесо *С*. Задняя часть *Д* грузового рычага падает постепенно, т. е. при малом перемещении к якорю *Е*, и таким образом замыкает электрическую цепь; электромагнит *F* притягивает якорь.

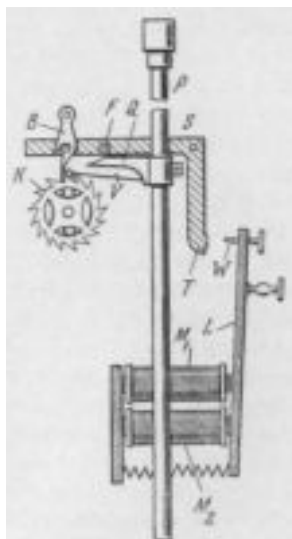


Рис. 249. «Синхронный переключатель» Хоуп-Джонса

Последний поднимает грузовой рычаг в его наивысшее положение. Для непрерывного хода часов в момент подъема грузового рычага в наивысшее его положение храповое колесо соединено с зубчатым колесом привода и шестеренкой спуска посредством пружины, которая и сообщает часам движение. Стопорная собачка предусмотрена для того, чтобы не допускать противоположного движения храпового колеса.

Эти часы фактически являются обычными механическими часами с приводом от груза, который замыкает цепь электрического завода. Энергия завода передается спусковому колесу.

Электрический переключатель служит для последовательного включения в цепь вторичных часов, чтобы переводить минутную стрелку каждые полминуты и для передачи импульса маятнику через каждые 15 полных колебаний (что при секундном маятнике составляет 30 с). Посредством этого устройства контакты замыкаются через каждые 30 с; в промежутки между контактами маятник совершает свободные колебания.

В 1905 г. Хоуп-Джонс запатентовал особое устройство («синхронный переключатель»), которое в 1907 г. было значительно усовершенствовано (рис. 249). Здесь спусковой механизм совсем устранен.

Маятник P при каждом колебании влево захватывает посредством собачки с полуспиленным корнеолевым штифтом новый зуб храпового колеса K , а при каждом правом колебании поворачивает это колесо на один зуб вправо (по направлению стрелки). На оси храпового колеса укреплен рычажок B , который, вращаясь вместе с колесом, подходит к защелке V через определенные промежутки времени и освобождает ее. Тогда левый конец F обратного рычага S начинает опускаться вниз под действием силы тяжести. При этом ролик F будет катиться по наклонной плоскости Q , которая укреплена на штанге P маятника, сообщая ему импульс. Рычаг S будет поворачиваться влево до тех пор, пока контактная пружина T не коснется винта W , укрепленного на верхнем конце железного якоря L .

Тогда ток батареи, питающей электромагниты, пойдет через обмотки M , и M_2 , якорь L , винт W , пружину T , тело рычага S и через гибкий проводник к минусу батареи. Якорь притянется, подбросит коленчатый рычаг S в прежнее положение и подхватится защелкой V . После этого маятник будет поворачивать колесо K до тех пор, пока рычажок B снова не подойдет к защелке V , и т. д.

Маятник получает импульс после 15 полных колебаний, и если он секундный, то два раза в минуту. В цепь батареи последовательно включены вторичные неполяризованные часы, которые перебрасывают стрелку каждые полминуты, причем число подключенных часов определяется напряжением питающей батареи.

Размеры и форма наклонной поверхности Q и ее взаимное расположение с импульсным роликом F подбираются с таким расчетом, чтобы импульс был кратковременным, равномерным по всей длине импульсной поверхности и начинался до прохождения маятником положения равновесия. Это необходимо для того, чтобы импульс не мог сказаться на периоде колебания маятника. В конструкции «Синхронома» все это предусмотрено и составляет несомненное преимущество устройства.

В заключение следует отметить, что основной принцип синхронного переключателя был найден Хоуп-Джонсом уже в 1895 г., но успешно применен толь-

ко в 1905 г. и переключатель, показанный на рис. 249, имеет уже ряд усовершенствований. Этот переключатель дал возможность сконструировать вполне удовлетворительные часы, приводимые в движение только электрическими импульсами. Переключатель Хоуп-Джонса («Синхронной компании») положен в основу работы Шорта над созданием электрических часов со свободным и «рабским» маятником.

Развитие электрических часов с двумя маятниками. В середине XIX столетия астрономические обсерватории стали испытывать потребность в усовершенствовании прецизионных часов. В связи с этим все более актуальной становилась проблема создания электрических маятниковых часов со свободным ходом. Эта проблема привлекла внимание многих изобретателей, и в течение 65 лет было предложено немало вариантов конструкций часов со свободным ходом маятника, с применением для этого средств механики и электротехники. Во всех этих ранних проектах оказалось немало устройств и деталей, которые потом были использованы для создания астрономических часов с двумя маятниками: одним — рабским и другим — свободным.



Франк Хоуп-Джонс

В 1879 г. цель этой работы была ясно сформулирована Дэвидом Джиллом в его рекомендациях комитету, которому ассоциацией поощрения науки было поручено изучение вопроса улучшения хода астрономических часов. Джилл ясно себе представлял, что точное измерение времени возможно только при применении маятника, совершающего колебания при неизменной амплитуде, при постоянстве атмосферного давления и температуры, а также в случае передачи функции отсчета колебаний вспомогательному устройству. Разрабатывая в обсерватории на мысе Доброй Надежды астрономические часы с таким вспомогательным устройством, он стремился к созданию совершенно свободного хода маятника часов. Однако ему не удалось довести эту работу до конца, часы оказались недостаточно надежными и дальнейшие работы по их усовершенствованию были приостановлены после отставки Джилла, но в отчете обсерватории за 1904 г. сохранилось описание отдельных механизмов его часов. В этом отчете вспомогательному маятнику присвоено наименование «рабского» (slave pendulum), которое не вышло из употребления в технической литературе по часам до сих пор. Основные черты механизма часов Джилла были уже намечены в работе Рэдда, которая, по-видимому, не была известна Джиллу, когда он создавал свои часы. Свое изобретение Рэдд описывает в

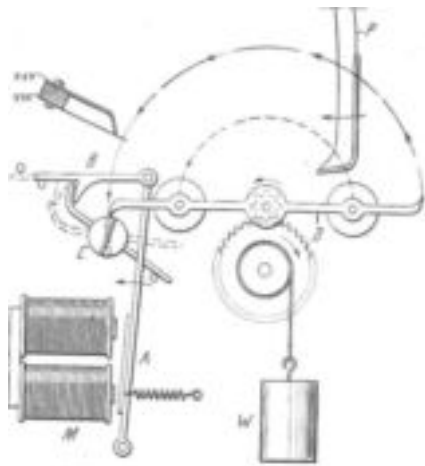


Рис. 250. Часы Рэдда с применением двух маятников

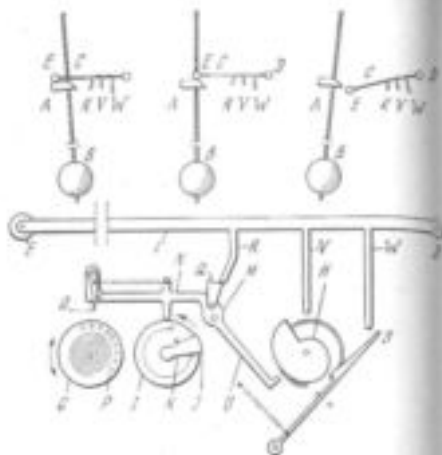


Рис. 251. Схема часов О'Леру

двух статьях, опубликованных в «Британском часовом журнале» (1898 и 1899 гг.).

Рэдд сумел практически решить задачи свободного маятника с помощью вспомогательного устройства (рабского маятника), необходимого для обеспечения свободы и приводимого в действие электромагнитом (рис. 250).

Маятник *P* свободно колеблется; для счета этих колебаний нет особого счетного колеса. Вспомогательное устройство своим главным назначением имеет осуществление электромагнитных контактов притяжением якоря *A* к электромагниту *M*. Якорь *A*, будучи связан с рычагом *B*, а через него с устройством *C* и *D*, может освобождать механизм подачи импульса свободному маятнику, который приводится в действие гирей *W*. Сигнал для подачи импульса исходит от свободного маятника, который и согласует его действие со вспомогательным устройством.

Важность нововведений, содержащихся в статьях Рэдда, не сразу была понята и признана, хотя в то время велось много работ над часами, приводимыми в действие от электромагнита, и по синхронизации хода часов. Успешное применение электрического привода к маятнику взамен груза требовало коренного отступления от прежней конструкции ходового механизма. Наконец, было установлено, что импульсы не должны быть частыми, а должны повторяться с 30-секундными интервалами, причем импульс должен подаваться без возмущающего действия на маятник, т. е. при минимально возможном усилии. Выявилась в связи с этим необходимость подавать энергию отдельно для подачи импульсов и для осуществления контакта, синхронизирующего ход часов с главными часами.

В этой связи небезынтересно остановиться на имевших место уже после Рэдда и Джилла попытках ряда изобретателей (О'Леру, Парсонса, Бартрума

и др.) создать механические и электромеханические устройства, нужные для обеспечения свободного хода маятниковых часов.

О'Леру, специалист в области сейсмографии, использовал обычные балансовые часы, приводимые в действие от ходовой пружины в качестве вспомогательного средства (рабский маятник), для измерения интервалов времени между подачами импульса свободному маятнику (рис. 251). Вспомогательные часы имеют некоторое опережение хода, чтобы этот ход подравнивать с главными часами.

Свободный маятник *B* совершает колебание без связи с механизмом часов до очередного импульса. Вспомогательные часы, отмерив минуту счетным колесом /, ударяют по выступу рычага *N* рычагом *K*, расположенным на оси с колесом /. Тогда палета *R* соскакивает с контрпалеты *Q*, при этом выступ *N* попадает в выемку / рычага *K*, а пружинный палец *O* опускается в промежуток между любыми двумя штифтами *P*, размещенными на балансовом колесе *G*, таким образом сразу же останавливая ход вспомогательных часов. Освобожденный рычаг *C* с импульсным роликом *E* на левом конце падает на поверхность покоя палеты *A* маятника для подачи импульса.

После подачи импульса маятнику рычаг *C* с импульсным роликом *E* спадает с палеты *A* маятника и свободно падает. При этом стойка *W* рычага *C*, ударяясь о рычаг *S*, приводит в действие кулачок *H*, связанный через пружину с рычагом *S*. В свою очередь кулачок *H* воздействует на рычаг *U* и стойку *V*. При этом поднимается *N*, и рычаг *C* снова возвращает *Q* под *R*. Ход вспомогательных часов освобождается и отмеряет следующую минуту до подачи импульса.

На свое изобретение О'Леру в 1918 г. получил в Англии патент.

Электрические часы со свободным маятником Бартрума впервые были описаны в 1917 г. самим автором [331]. В них в новом исполнении воплощен принцип устройства свободного маятника с применением вспомогательных часов, впервые использованный в устройстве часов Рэдда. Часы Бартрума, по видимому, были первыми часами такого типа, которые оказались надежными в работе.

Между импульсами маятник этих часов совершает колебание налево совершенно свободно. Импульс подается один раз в минуту в продолжение незначительной доли секунды. После получения импульса свободный маятник подает синхронизирующий сигнал вспомогательным часам. Последние приводятся в действие грузом и имеют ход Граама.

Импульс сообщается свободному маятнику силой тяжести, падающей с одной и той же высоты, т. е. силой, постоянной по величине. Освобождение импульсного рычага осуществляется действием электромагнита вспомогательных часов. После импульса рычаг отходит и замыкает контакт, чтобы свободный маятник мог сообщить синхронизирующий сигнал вспомогательным часам. Возврат в прежнее положение импульсного рычага происходит также под действием электромагнита вспомогательных часов. Затем вспомогательные часы отмеривают интервал времени для подачи следующего импульса свободному маятнику ближе к концу 60-й секунды, т. е. перед освобождением импульсного рычага для подачи последующего импульса свободному маятнику. Любая погрешность в синхронности работы вспомогательных часов с ходом свободного маятника устраняется автоматически изменением величины амплитуды колебания маятника вспомогательных часов, продолжающимся до тех пор, пока их

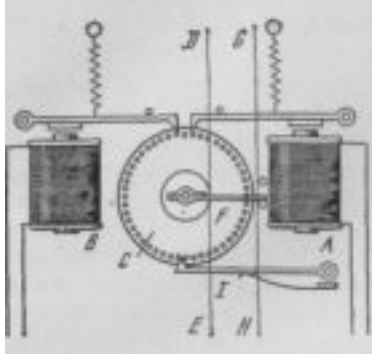


Рис. 252. Схема часов Бартрума

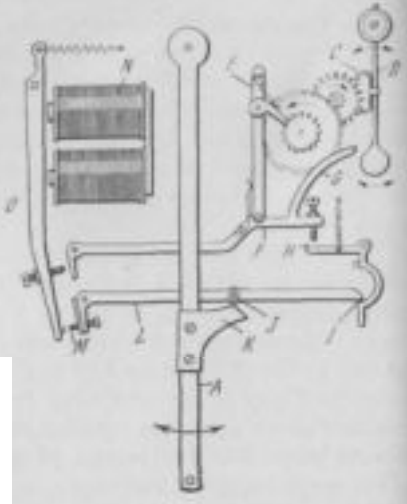


Рис. 253. Схема электрических часов Парсонса и Белла

действия не придут в полное согласие и погрешность таким образом не будет устранена. Синхронизатор обладает тем достоинством, что он может оказывать синхронизирующее действие не только на ход маятника вспомогательных часов, но и на фазу его колебания.

Если в часах О'Леру вспомогательные часы немного спешат и для того, чтобы сравнить ход этих часов с главными часами, они останавливаются на время этого опережения, то в часах Бартрума синхронизация хода вспомогательных часов с ходом свободного маятника осуществляется путем автоматического регулирования хода вспомогательных часов (рис. 252).

Легкий рычаг /, присоединенный к маятнику вспомогательных часов *GH*, сцеплен со счетным колесом *C*, которое приходит в движение один раз в минуту. Штифт *F* на счетном колесе проходит между двумя контактными пружинами и ежеминутно замыкает контакт на небольшую долю секунды, согласованно с ходом вспомогательного маятника. Этот контакт приводит в действие электрическую цепь *A*, которая освобождает импульсный рычаг свободного маятника *DE* и позволяет камневому колесу рычага падать на горизонтальную поверхность импульсной палеты свободного маятника.

Если вспомогательные часы спешат, камневое колесико может находиться дольше на этой горизонтальной поверхности, если они отстают — более короткое время. Электрическая цепь *A* может также включать электромагнит для освобождения рычага, регулирующего колесо синхронизатора, находящегося подле маятника вспомогательных часов, с тем чтобы это колесо могло начать вращаться.

Если маятники первичных и вспомогательных часов находятся в одной и той же фазе колебания, регулирующее колесо (timing wheel) поворачивается на $\frac{1}{4}$ оборота, когда синхронизирующий сигнал от первичных часов дойдет до вспомогательных часов. Звездчатое колесико, установленное ниже регулирующего колеса, не может начать вращаться, пока прерыватель имеет возможность проходить между двумя регулирующими палетами. Если вспомогательные часы отстают, регулирующее колесо сделает четверть оборота в момент подачи синхронизирующего сигнала. Тогда левосторонняя палета будет сцеп-

лена с прерывателем. Благодаря этому звездчатое колесико продвинется на один зуб против часовой стрелки. Если вспомогательные часы спешат, регулирующее колесо сделает точно $\frac{1}{4}$ оборота, тогда как звездчатое правостороннее переместится палетой на один зуб в направлении часовой стрелки.

На барабан, сидящий на общей оси с звездчатым колесом, намотана нить, которая присоединена к нижнему концу геликоидальной пружины, связанной с маятником вспомогательных часов. Само собой разумеется, что, когда звездчатое колесо вращается против часовой стрелки, происходит растяжение пружины, вследствие чего вспомогательные часы в конце секунды будут спешить, вращение колеса по часовой стрелке вызовет уменьшение напряжения пружины и ход часов будет относительно медленным. Таким образом достигается устранение погрешности в ходе вспомогательных часов.

Электрические часы Парсонса и Белла 1919 г. (рис. 253), если их оценивать с технической точки зрения, являются часами того же типа, что и часы О'Леру. Если и существует между ними различие, оно заключается в том, что переустановка импульсного рычага гравитационного типа и подзавод осуществляются магнитным путем, а не механическим, как в часах О'Леру.

A — маятниковая вилка, *B* — штифт для сцепления маятника, *C* — спусковое устройство с малым маятником (балансиrom) *D* вспомогательных часов. Это спусковое устройство и балансир опускают стержень *E* и рычаг *F* каждые полминуты. При этом отросток *G* останавливает вспомогательные часы, а путем нажатия рычага *F* на *H* освобождается импульсный рычаг *L* от рычага *J*. Тогда, при колебании маятника налево ролик *J* падает на дугообразную наклонную поверхность (если это падение было преждевременным) или на импульсную поверхность (в случае своевременного падения). По завершении колебания маятника импульсный рычаг *L* замкнет контакт *M*, электромагнит *N* притянет якорь *O*, который передвинет рычаги *L* и *H* в прежнее положение. Отросток *G* освободит вторичные часы, и они начнут отмерять следующие полминуты.

Размыкание тока в положении *M* происходит механически. Освобождение *L* от *I* происходит на $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ часть ранее, чем *J* от *K*.

Часы Шорта с двумя маятниками

Астрономические часы В. Х. Шорта имеют два маятника, причем в основу их работы положен своеобразный «принцип разделения труда». Новым и важным в данном случае является распределение обязанностей между этими двумя маятниками, из которых один, так называемый свободный маятник, фактически поставлен в наилучшие условия работы с точки зрения получения высокой степени точности хода. Этот маятник вступает во взаимодействие с прочими частями часов только один раз в 30 с и то на ничтожную долю секунды, притом в такой момент, когда маятник проходит через положение равновесия, т. е. когда он менее всего чувствителен к внешним возмущающим толчкам. Он выполняет только работу по хранению времени и по корректировке хода рабского маятника (один раз в 30 с).

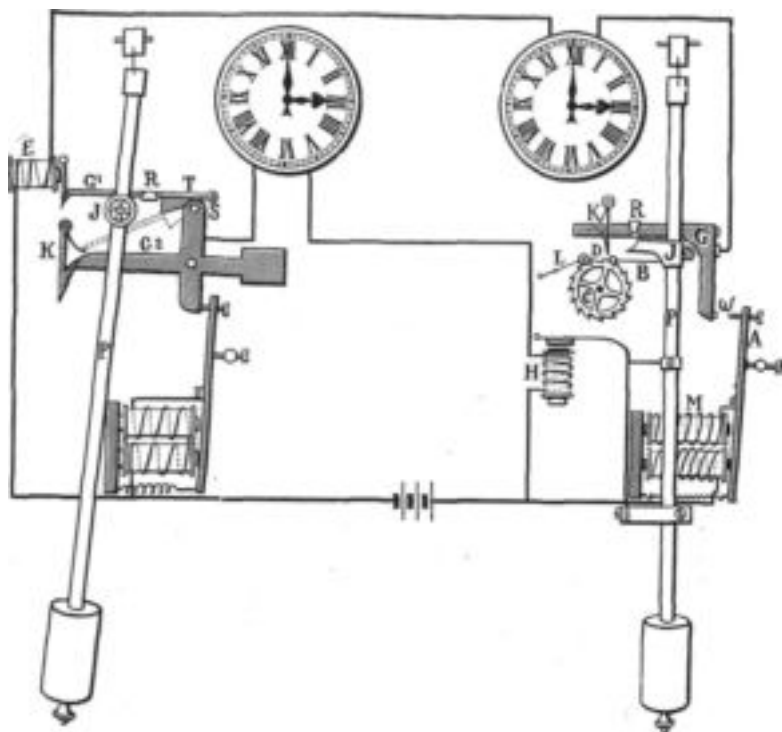


Рис. 254. Схема часов Шорта с двумя маятниками

Рабский маятник несет всю работу по пуску в действие импульсных рычагов, передвижению стрелок, посылке электрических секундных сигналов и т. д. Благодаря этому достигается освобождение главного (свободного) маятника от какой бы то ни было механической работы, как бы мала и ничтожна она ни была. Колебания как свободного, так и рабского маятника поддерживаются при помощи рычагов, раз в 30 с падающих на соответствующие части маятников и тем самым сообщающих необходимые импульсы. Завод для подъема рычагов и функционирование всех механизмов в целом обеспечиваются небольшой электрической батареей.

Маятники изготовлены из инвара, подвесная пружина — из элинвара. Свободный маятник устанавливается обычно отдельно от «рабского» в помещении с постоянной температурой и заключен в цилиндр из красной меди, закрытый сверху и снизу стеклянными крышками из толстого стекла. Из цилиндра выкачивается воздух, чтобы атмосферное давление оставшегося воздуха было порядка 35 мм. Рабский маятник и его механизм не нуждаются в такой тщательной установке.

Схема совместной работы механизмов, управляющих обоими маятниками, приведена на рис. 254. Слева изображен механизм свободного маятника, справа — механизм рабского маятника.

Механизм рабского маятника ничем не отличается от описанной выше обычной конструкции часов Хоуп-Джонса фирмы «Синхроном», за исключением того, что освобождение рычага свободного маятника происходит не при помощи храпового колеса, а при помощи электромотора E , включенного в цепь электрического привода рабского маятника.

Синхронизация одновременно работающих двух маятников осуществляется прежде всего посредством синхронного переключателя, основанного на патенте Хоуп-Джонса. Этот переключатель выполняет в часах Шорта три функции: 1) поддерживает движение маятника, передавая ему импульсы через каждые 30 с; 2) приводит в действие храповое колесо, имеющее 15 зубцов. При каждом колебании маятника это колесо передвигается на один зуб и совершает полный оборот за 30 с; 3) осуществляет электроконтакты, возвращает гравитационный рычаг в первоначальное положение после каждого импульса.

Опишем действие этого переключателя. Когда свободный маятник совершает свое колебание, то рабочий (рабский) маятник при каждом колебании слева направо поворачивает при помощи легкого крючка B небольшое храповое колесо C с 15 зубцами, которое фактически выполняет функцию счетного колеса. Фиксатор L удерживает храповое колесо от поворота в обратном направлении при захватывании крючком следующего зуба.

Импульсный Г-образный рычаг G имеет на своем длинном плече стальной полированный ролик R и пружинную пластинку K , которая входит в сцепление с держателем D , удерживающим импульсный рычаг от поворота на его оси.

После того как колесо C совершит полный оборот, происходит освобождение импульсного рычага G от держателя D . Рычаг после своего освобождения поворачивается на оси, при этом ролик R скользит либо по цилиндрической, либо по наклонной поверхности обоймы, расположенной на маятнике, и тем самым сообщает последнему импульс.

Своим вертикальным плечом рычаг G касается контактного винта на якоре A электромагнита M и замыкает электрическую цепь. В этот момент срабатывает электромагнит контрольного циферблата рабочего маятника и его минутная стрелка делает полуминутный скачок. Затем якорь A притягивается электромагнитом M и левый конец рычага G подбрасывается на защелку K , которая задержит его на 30 с, пока снова не наступит освобождение.

От электромагнита E проходит ток со стороны рабского маятника и притягивает якорь. При этом импульсный рычаг C



Вильгельм Х. Шорт

освободится и, вращаясь во круг своей оси, передаст импульс свободному маятнику по ролику P . В конце движения рычаг G_1 упадет на защелку K , которая отпустит рычаг C_2 . Затем этот процесс повторяется применительно к рабскому маятнику.

Если колебания маятников синхронны, описанный процесс будет повторяться каждые 30 с. Однако нет возможности добиться полной синхронизации и синфазации колебаний этих маятников. Поэтому колебание рабочего маятника регулируется с отставанием на 6 с в сутки, затем при большем отставании он ускоряется посредством коррекционного электромагнита $Я$ и устройства, известного под названием ускорителя,

или «удара — пропуска». Они укреплены на стержне рабского маятника и показаны отдельно на рис. 255.

Устройство «удар—пропуск» состоит из гибкой латунной пружины ускорения, прикрепленной нижним концом к нижней обойме рабского маятника, а верхним концом свободно проходит через вырез верхней обоймы, который служит направляющей. Конец пружины ускорителя направлен к якору A магнита M . Когда якорь электромагнитом M не притянут, острый конец его расположен выше верхнего свободного конца пружины, а когда он притянут, то оказывается на одном уровне с изогнутым верхним концом пружины ускорителя. Тогда конец этой пружины упрется в якорь коррекционного электромагнита и сообщит рабскому маятнику добавочный импульс, необходимый для ускорения его хода. Ускорение рассчитано так, что зацепление пружины ускорителя может происходить не только за один полный оборот, но и за большее количество оборотов храпового колеса. Именно этим и обусловлено название «удар—пропуск» этого устройства; оно также может быть названо пружинным ускорителем хода часов Шорта.

Для синхронизации со свободным маятником ход рабского маятника регулируется так, чтобы рабские часы отставали приблизительно на 6 с в сутки, что соответствует $\frac{1}{240}$ с $\frac{1}{2}$ мин

до фазе колебаний свободного маятника. Вследствие этого конец пружины — ускорителя — будет отставать в своем приближении к якорю электромагнита *М*. Работа ускорителя рассчитана так, чтобы величина ускорения рабского маятника вдвое превосходила величину его отставания по фазе от свободного маятника. Тогда ускорение должно выразиться в 12 с при отставании в 6 с или на $\frac{1}{240}$ С за 30 с. Работа ускорителя должна совершаться каждую минуту. В этом случае надежная работа коррекционного приспособления обеспечена и рабский маятник будет постоянно контролироваться и подгоняться свободным маятником.

Особо следует отметить, что цепь коррекционного электромагнита замыкается только тогда, когда окончился импульс свободного маятника. В этом и заключается контроль работы рабского маятника со стороны свободного.

Все функции счетчика и передаточно-го механизма выполняет рабский маятник; свободный маятник только измеряет время, колеблясь совершенно свободно, за исключением тех коротких промежутков времени, когда он получает импульс.

Первые часы Шорт создал для Эдинбургской обсерватории в 1921 г. Они несколько отличались от позднейшей более совершенной конструкции передачей импульса свободному маятнику. Три экземпляра часов Шорта были закончены для Гринвичской обсерватории в 1924—1927 гг., а в 1939 г. для различных обсерваторий мира было изготовлено 50 часов Шорта.

До Великой Отечественной войны в СССР было изготовлено несколько часов Шорта во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии (ВНИИМ) Героем Социалистического Труда заслуженным метрологом И. И. Кваренбергом. Первый экземпляр советских часов Шорта был принят в эксплуатацию и установлен в ноябре 1936 г. в часовом подвале ВНИИМ.

Анкерный ход Грагама для маятниковых часов, введенный в XVIII в., обеспечил измерение времени с точностью до 0,1 с. Часы Шорта дают погрешность хода не более 0,002—0,003 с. Они по крайней мере на два порядка точнее, чем часы с ходом Грагама, а по сравнению с часами Рифлера — на один порядок. Успех в точности хода часов, достигнутый Шортом, совпал по времени с крупными достижениями в технике астрономических наблюдений по определению времени астрономическими сред-

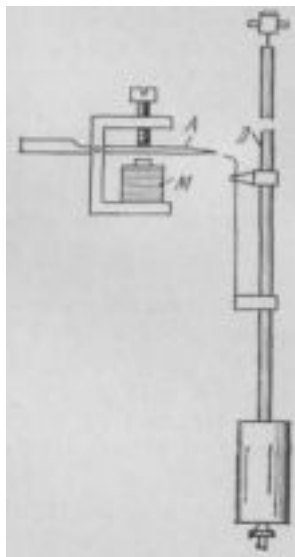


Рис. 255. Ускоритель хода часов Шорта («удар — пропуск»)

ствами. Тогда стало возможным при помощи микрографа производить отсчет интервалов времени в 0,001 с.

Часы Шорта впервые стали применяться в астрономической практике в 1925 г. и быстро завоевали всеобщее признание.

Сначала предполагалось, что ход часов значительно изменится с течением времени. Однако исследования, проведенные Джексоном в Гринвичской обсерватории, дали возможность обнаружить, что часы Шорта столь точны, что способны измерить непостоянство вращения Земли вследствие нутации земной оси. За 14-дневный период вращения Земли это непостоянство выражается в 0,02 с, а наибольшее изменение за сутки исчисляется в 0,003 с. Значительно легче обнаружить наличие флуктуации, продолжающихся несколько лет. Короткий цикл нутации был долгое время камнем преткновения для астрономов. После того как удалось определить величину нутации с помощью часов Шорта, оказалось возможным вносить поправку в определении среднего звездного времени. В 1931 г. Гринвичская обсерватория опубликовала цифры, полученные в результате определения среднего звездного времени с учетом влияния на них нутации.

Эволюция маятниковых часов от Гюйгенса до Шорта шла от несвободного хода к свободному, т. е. к такому ходу, при котором кинематическая связь маятника с механизмом является периодической и весьма кратковременной, если не сказать мгновенной. После Шорта наибольшего успеха на этом пути удалось добиться советскому ученому Ф. А. Федченко.

Идея Ф. А. Федченко состоит в создании для маятниковых часов хода, аналогичного хронометровому, или такого хода, при котором колебания маятника поддерживаются короткими односторонними импульсами, подающимися в положении равновесия. Реализовать эту идею применительно к маятниковым часам удалось прежде всего благодаря созданию новой оригинальной конструкции изохронизирующего пружинного подвеса. Он состоит из трех пружин, причем две крайние короче средней. Благодаря особому креплению средней пружины создается добавочный компенсирующий момент, позволяющий маятнику качаться по кривой, приближающейся к циклоиде. После соответствующей настройки подвес сохраняет эти свои свойства.

Ф. А. Федченко удалось также создать механизм, подающий маятнику короткие импульсы в положении равновесия без какого-либо нарушения изохронности колебания маятника, достигаемой при помощи изохронизирующего подвеса. Такой механизм, сначала с механическим, а потом с электромагнитным импульсом был создан Ф. А. Федченко (АНФ-3). Описание его устройства дано ниже (см. с. 415). Маятниковые астрономические часы АЧФ-3 отличаются простотой конструкции и высокой точностью, в 10 раз превышающей точность хода часов Шорта. Вариации их хода находятся в пределах 0,2—0,3 мс в сутки, т. е. $(2-3) \cdot 10^{-4}$ с.

Глава II

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ

Применение электроники для создания приборов времени и системы единого времени. Научно-технический прогресс с 30—40-х годов XX в. до наших дней характеризуется, в частности, бурным развитием квантовой механики и радиоэлектроники, что наложило отпечаток почти на все сферы науки и техники. Не осталась в стороне от этой общей линии развития и хронометрия.

Благодаря применению в приборах времени квантовых осцилляторов хронометрия породнилась с квантовой механикой и электроникой. Последние дали возможность поддерживать высокочастотные колебания таких осцилляторов, как атом, молекула, для создания атомных часов, и камертон, кварц — для современных наручных часов. Со времени появления ламповых усилителей фотоэлемент превратился в техническое средство, используемое и в электрохронометрии. Применение здесь фотоэлектрических схем, работающих на проходящем и отраженном свете, началось еще до второй мировой войны. В Париже, в Международном бюро времени, по предложению Фери, в маятниковых часах была применена одна из таких схем. Ток от фотоэлемента после усиления поступал в импульсную катушку и поддерживал колебания маятника, на конце которого был закреплен постоянный магнит.

Макс Шулер в 1932 г. предложил использовать фотоэлемент в часах с двумя маятниками (главным и вспомогательным) как дополнительное средство для синхронизации действия по подаче импульса вспомогательными часами главным часам [36, 118—120].

После окончания Великой Отечественной войны М. П. Павлов создал часы, в которых для управления импульсным механизмом свободного маятника использовался фотоэлектрический эффект вместо второго рабочего маятника, используемого в часах Шорта [201, 165—166].

В электрических маятниковых часах со свободным ходом имеется счетное колесо, которое непосредственно влияет на ход маятника при каждом его размахе, подобно тому как влияет изменение атмосферного давления и плотности воздуха. Со счетным колесом связано изменение величины трения — в опорах колеса и от действия собачки и защелки. Освободиться от отрицательного их действия невозможно, если используются только средства механики.

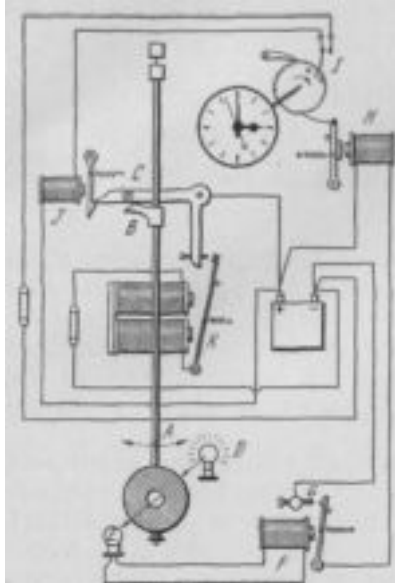


Рис. 256. Часы с применением фотоэлемента

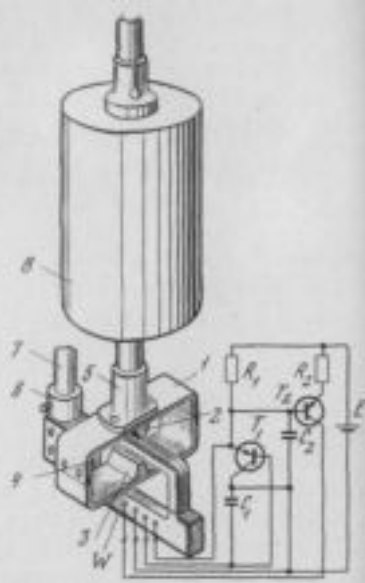


Рис. 257. Магнитоэлектрический привод в часах Федченко (АЧФ-3)

Раньше всего эту трудность удалось преодолеть путем использования фотоэффекта для счета колебаний маятника *A*. Свет от лампы *D* (рис. 256) проходил через отверстие в маятнике и падал в соответствующий момент на фотоэлемент *E*. Ток, выдаваемый фотоэлементом, после его усиления действовал на магниты *F* и *H* и вместо маятника шаг за шагом поворачивал счетное колесо *I*. Освобождение грузового рычага *C* также может непосредственно управляться таким же элементом.

Весьма перспективно использование фотоэлемента для зарядки аккумулятора или батареи с целью увеличения ресурсов источника питания генератора незатухающих колебаний балансового осциллятора.

За рубежом фотоэлектрические часы выпускаются фирмами «Филипп Пате», «Кинцле», «Юнганс» и «Сейко». В часах используются селеновые (первые три фирмы) и кремниевые (японская фирма «Сейко») фотоэлементы. Фотоэлектрические часы фирмы «Сейко» на 11 камнях выпускаются с 1964 г. Имеют восемь кремниевых фотоэлементов, никель-кадмиевый щелочной аккумулятор на 1,2 В, балансовый осциллятор и транзисторный генератор.

Несмотря на высокие качества современных электронных ламп и их постоянную миниатюризацию, возможности их применения ограничены. Эти ограничения в электронике были сня-

ты с появлением и развитием полупроводниковой техники, основу которой составляет устройство, называемое полупроводниковым триодом, или транзистором. Средства полупроводниковой техники в хронометрии используются как для дальнейшего усовершенствования маятниковых часов, так и для создания электронно-механических часов с камертонным и кварцевым осциллятором. В конструкции электрических маятниковых часов АТО (1953 г.), по предложению М. Лева и Ж. Литча, устранено контактное устройство *G*. Это стало возможным благодаря использованию в электронной схеме этих часов транзистора. При движении маятника левый конец дугообразного постоянного магнита индуцирует ток в управляющей катушке. Ток усиливается в полупроводниковом триоде и поступает в рабочую катушку, в которой усиливается магнитное поле, втягивающее правый конец постоянного магнита. Таким образом, при помощи управляющей катушки и одностороннего усиления тока в транзисторе покрываются потери механической энергии при движении маятника и обеспечивается постоянство его амплитуды колебаний [324, 31—39].

Широкое использование получили полупроводниковые приборы для повышения надежности и долговечности действия крупногабаритных контактных часов. В этих часах германиевые диоды применяются для предохранения контактов от разрушающего действия искры при их размыкании.

В электронно-механических маятниковых астрономических часах Ф. А. Федченко (АЧФ-3), упомянутых выше, применен специальный бесконтактный импульсный механизм магнито-электрического действия, который позволяет, вместе с изохронизирующим подвесом, осуществлять в маятниковых часах аналогию хронометрового хода. Магнитоэлектрический привод состоит из двух частей—подвижной и неподвижной. Подвижная часть (рис. 257) состоит из замкнутого симметричного магнитопривода *1* и двух постоянных призматической формы магнитов *2*, *3*. Подвижная часть привода крепится с помощью втулки *5* к нижнему концу штанги маятника *5*. Для создания однородного концентрированного магнитного поля сходящиеся противоположные полюсы магнитов сделаны достаточно узкими. Магнитопровод разборный. Нижняя его часть заводится в катушку и лишь после этого соединяется с верхней частью.

Неподвижная часть привода состоит из прямоугольной катушки *W* и электронной схемы. Схема смонтирована в специальном вырезе на пластмассовой пластине, на которой укреплена катушка. Обмотка катушки имеет две секции. Одна — секция освобождения, с нее снимается сигнал, отпирающий схему. Другая — импульсная, на нее подается импульс тока от внешнего источника. Электронная схема механизма собрана на кристаллических триодах T_1 , T_2 . Неподвижная часть механизма крепится с помощью втулки *6* на конце отдельной инварной штанги *7*, опускающейся параллельно маятнику. Между полю-

сами магнитов с одинаковыми зазорами устанавливается открытая часть катушки на неподвижном маятнике. Наличие двух штанг из одного и того же материала гарантирует постоянство этих зазоров.

В секциях катушки во время движения маятника возникают противоположные токовые импульсы. Они почти совмещены во времени, так как оба появляются в момент пересечения поля магнитов проводниками катушки. Несколько раньше имеет место отрицательный импульс, заканчиваются они одновременно. Взаимодействие магнитного поля катушки, определяемое величиной разности положительного и отрицательного импульсов, с полем постоянных магнитов создает необходимый подталкивающий импульс. Он подается только при движении маятника в одном направлении. Часы смонтированы в барокамере. Для установления необходимой амплитуды одно из сопротивлений схемы расположено вне барокамеры и окончательно подбирается после создания в барокамере давления $(10,64-13,3) \cdot 10^2$ Па. Нормальная амплитуда для часов АЧФ-3 находится в пределах 90—110 дуговых минут. Источником питания часов служит окиснортутный элемент напряжением в 1,4 В.

Развитие полупроводниковой техники создало условия для появления наручных часов с использованием новых высокочастотных осцилляторов, отличных от традиционной системы баланс — спираль. В 1959 г. появились камертонные наручные часы, где был применен магнитоэлектрический транзисторный привод с катушкой освобождения и с импульсной катушкой. Катушка освобождения служит для отпираания транзистора, после чего ток, проходящий через транзистор, передается на импульсную катушку для поддержания незатухающих колебаний камертона. В 1967 г. благодаря развитию и совершенствованию микроэлектроники, приведшей к созданию интегральных схем, появились наручные часы с кварцевым осциллятором.

С развитием полупроводниковой техники связано также применение миниатюрного электродвигателя для подзавода пружинных наручных часов. Электродвигатель питается от сухого ртутнозакисного гальванического элемента Меллори и имеет ротор, представляющий собой постоянный магнит с диаметральной расположением полюсов. Ротор вращается между полюсными наконечниками двух электромагнитов, образующих статор, сердечники которых связаны между собой, но имеют разные обмотки: правую — рабочую и левую — возбуждения. После определенного времени раскручивания пружины (например, один раз в час) ротор поворачивается и возбуждает правую обмотку, вследствие чего срабатывает транзисторная схема и включается электродвигатель для подзавода.

Применение кварцевых и атомных часов в комплексе с астрономическими маятниковыми часами открыло возможность их использования в качестве первичных часов для передачи вы-

сокоточного времени ко вторичным часам. Такие комплексы неоднократно демонстрировались на периодически устраиваемых в Базеле и Брюсселе выставках. Так, в комплексе, демонстрировавшемся на Брюссельской выставке 1960 г., использовались двое молекулярных часов. Была применена следующая схема синхронизации частоты кварцевых часов (частота 100 кГц) с частотой молекулярных генераторов (частота 24 млн. кГц). Вспомогательный кварцевый осциллятор вырабатывает частоту 8,5 мГц, которая преобразуется с помощью нескольких каскадов до значения, близкого к частоте молекулярных осцилляторов. Сигнал рассогласования (частота биений) подается на экран катодного осциллографа; подстройка кварцевых часов проводится до тех пор, пока сигнал рассогласования не исчезнет. Одновременно производится измерение частоты вспомогательного кварцевого осциллятора с помощью декадных счетчиков. В кварцевых часах применен кварцевый брусок с частотой колебаний 100 кГц. Показания часов могут корректироваться с помощью фазовращающего устройства. Кварцевые часы каждые 2 с подают импульс первичным маятниковым часам и синхронизируют колебания маятниковых первичных часов, питающих сеть вторичных часов. Блок молекулярных осцилляторов и кварцевых часов позволяет добиться точности порядка 10^{-10} с.

Известна попытка использовать в качестве первичных часов электрические часы, состоящие из кварцевого генератора и прецизионных часов с секундным маятником, помещенным вместе с органами управления в общем корпусе. Специальная электрическая система синхронизовала импульсы кварцевого генератора с импульсами маятниковых часов, подаваемыми на вторичные часы.

Прогресс, достигнутый в области хронометрии, открыл новые возможности для создания систем единого времени, отвечающих высоким требованиям точности, надежности и долговечности. Наличие в настоящее время, например, в Москве нескольких самостоятельно работающих станций электрочасофикации (время по телефону, сеть трамвайных часов, часы метрополитена, мелкие часы сети различных учреждений), создало неудобства из-за отсутствия общего стандарта времени, не говоря уже о неизбежных значительных эксплуатационных расходах при децентрализованном обслуживании.

Корректирование хода синхронных часов с двигателем Уоррена может осуществляться различно, но самым радикальным средством является электронное управление этими часами. В настоящее время известна система электрочасофикации, обеспечивающая постоянство хода синхронных часов наложением на несущую промышленную частоту коротких управляющих импульсов тока с частотой 3500 Гц. Подача этих управляющих импульсов осуществляется от первичных маятниковых часов с пружинным двигателем, имеющим автоматическую

электроподзаводку. Погрешность хода первичных часов не превышает ± 15 с в месяц. Сигнал с частотой 3500 Гц продолжительностью 4 с подается в течение 58-й минуты каждого часа через усилитель, входной трансформатор и емкостную связь на каждую фазу низковольтной стороны трансформатора. Кроме того, первичные часы имеют барабан, совершающий один оборот за 6 ч и снабженный 360 пазами, позволяющими посылать дополнительные сигналы по любому регламенту, установленному вперед на целую неделю.

Вторичные синхронные часы, помимо двигателя Уоррена, снабжены электронной лампой с холодным катодом, служащей для детектирования и усиления сигнала. Усиленный сигнал включает электромагнитное реле и механическое устройство для корректирования хода — переброски минутной стрелки вперед на одно деление каждый час или в случае ухода часов вперед для блокирования механизма на 1 мин в конце часа.

Центральная часовая станция также может работать наложением частот 4, 200, 5000 и 6000 Гц для подачи различных световых и звуковых сигналов, включения механизмов автоматического открывания и закрывания дверей.

Нет сомнения, что такое сложное и дорогое средство корректирования хода синхронных часов, как электронное управление, не может иметь всеобщего распространения. Поэтому широкое внедрение синхронных часов предполагает как непременное условие обеспечение контроля и постоянства частоты тока в распределительной сети.

Появились устройства для автоматической установки часов по сигналам точного времени, подаваемым с центральной станции по телефонным проводам на определенной частоте и воспринимаемым специальными частотно-управляемыми электромагнитными реле. Реле воздействует на механизм коррекции показания стрелок часов, принудительно приводя их к эталонному времени. Предусмотрено автоматическое включение самими первичными часами частоты корректирующего канала, например в полночь, а также вариант схемы для включения этого канала ручным набором условного числа на обычном телефонном шаговом искателе.

Хотя вопрос о создании радиоэлектрической системы наручных часов является проблемой будущего, однако возможность ее осуществления не следует отрицать. Применение интегральных элементов обеспечивает размещение миниатюрного радиоприемника в корпусе наручных часов. Тогда система баланс — спираль будет синхронизироваться посредством принимаемых сигналов точного времени [361, 41].

В настоящее время запатентовано устройство, позволяющее вытягиванием заводной головки часов останавливать центральную секундную стрелку на нулевой отметке секундной шкалы и пускать ее в момент подачи радиосигнала точного времени возвратом головки в положение заводки [306].

Кварцевые часы

Точность астрономических часов Шорта была превзойдена кварцевыми часами, условия для появления которых были подготовлены развитием радиотехники и электроники.

История применения пьезоэлектрического кристалла кварца. Изучение физико-технических свойств кварца и их использование в технике (в частности, в области хронометрии) имеют свою небольшую, но интересную и во многом поучительную историю. Изучение свойств кварца привело к открытию пьезоэлектрического эффекта, который заключается в появлении на поверхности кристалла кварца при его сжатии или растяжении одинаковых по величине, но разноименных электрических зарядов. Этот эффект впервые обнаружили и изучили в 1880 г. братья П. и Ж. Кюри на кристаллах турмалина и кварца; он получил название прямого пьезоэлектрического эффекта. В 1881 г. немецкий ученый Липпман, ознакомившись с работами Кюри, предположил существование обратного пьезоэлектрического эффекта, или механической деформации кристалла кварца, пропорциональной напряженности электрического поля. В том же году братья Кюри экспериментально подтвердили существование такого эффекта. В настоящее время он используется в системе кварцевых часов.

Первая серьезная попытка использовать пьезоэлектрический эффект в электрической цепи была сделана в 1917 г. А. М. Никольсоном. Он применил сегмент сегнетовой соли (пьезоэлектрик), чтобы создать устройство для превращения электрической энергии в звук и обратно. На этой основе он создал громкоговоритель и микрофон. Никольсон был одним из первых, кто сумел использовать пьезоэлектрические свойства кварца для контроля частоты. В 1918 г. французский физик П. Ланжевен применил пьезоэлектрический эффект кварца для подводной сигнализации при помощи ультразвуковых колебаний.

Исследовательские работы по использованию пьезоэффекта кварца в технике в качестве эталона частоты и времени были начаты в 1921 г. американским ученым Кеди, однако лишь в 1927—1930 гг. В. А. Маррисону — сотруднику телефонной лаборатории Белла (США)—первому удалось применить высокочастотные колебания кварца для создания часов. С этой целью был вырезан кусок кварца в форме кольца из кристалла таким образом, чтобы изменения частоты его колебаний с изменением температуры были возможно малы. Кристаллическое кольцо было установлено в камере с управляемой температурой, ее колебания допускались только в пределах $\pm 0,01^\circ \text{C}$. В камере, где помещался кварц, атмосферное давление поддерживали на постоянном уровне. Камера находилась под герметическим колпаком. Колебания кристалла были отрегулированы на частоту 100 кГц.

В 1937 г. большая работа по усовершенствованию конструкции кварцевых часов была проведена в Германии А. Шейбе и У. Адельсбергом, обратившими особое внимание на выбор наиболее рационального способа изготовления кварцевой пластинки. Они доказали существование зависимости частоты резонанса от ориентации и форм волн упругих колебаний кварца относительно кристаллографических осей. Выводы из этих исследований позволили установить нужные направления среза кусков кварца для уменьшения влияния изменения температуры на резонансные частоты колебаний кварца.

В кварцевых часах, созданных Шейбе и Адельсбергом, применены кварцевые бруски длиной 91 мм со сторонами сечения 11,4 мм; частота их продольных колебаний составляла 60 кГц. Кварцевый стержень помещался в трубку с разреженным водородом, где прикреплялся в узлах упругих волн. Опытами было установлено, что если вырезать стержни так, чтобы их ось была параллельна электрической оси кварца, то можно добиться весьма малого температурного коэффициента, меняющего при температуре 36°C свой знак.

Когда первый каскад установки помещали в совершенный термостат при температуре 36°C , то удавалось значительно снизить влияние колебания температуры на частоту колебаний кварца. Благодаря этому и другим усовершенствованиям кварцевые часы Шейбе и Адельсберга оказались высокого качества.

Исключительное значение для дальнейшего усовершенствования конструкции кварцевых часов имели результаты исследований Дайя и Эссена, проведенные в Англии в Национальной физической лаборатории над кварцем, вырезанным из кристаллического кварца в виде кольца. Эти исследования позволили английским инженерам в 1934 г. создать весьма совершенные кварцевые часы с осциллятором в виде кварцевого кольца, плоскость которого перпендикулярна оси Z . В том же году они были применены в Гринвичской обсерватории в качестве эталона частоты и времени вместо маятниковых часов Шорта.

Отличительные свойства кварца как осциллятора. Кварц является веществом физически и химически весьма стойким. Он имеет твердость, почти равную рубину и сапфиру. Кроме физической и химической стойкости, кварц обладает малым упругим гистерезисом и малым внутренним трением. Поэтому для поддержания его колебаний требуется небольшая энергия. Обладая слабым затуханием колебаний, кварц, как осциллятор, имеет высокую добротность (Q), равную 10^{-6} и более. В настоящее время нет другой колебательной системы, которая могла бы обладать такой остротой и стабильностью резонанса, как кварц.

Кристалл кварца имеет сложную структуру, которая характеризуется рядом кристаллографических осей: оптической (Z), трех электрических (X) и трех механических (Y). Они расположены в системе координатных осей так, как показано на рис. 258.

По форме кристалл кварца представляет собой шестигранную призму, оканчивающуюся шестигранными пирамидами. Оптическая ось, проходящая через геометрическую ось, соединяет вершины пирамид. Перпендикулярно к ней расположены три электрические оси, проходящие через ребра призмы. Также перпендикулярно к оптической оси через середины противоположных граней призмы проходят три механические оси.

Кристаллический кварц в качестве осцилляторов используется в форме колец, пластин, дисков, брусков. Они вырезаются из больших кусков кварца под разными углами по отношению к осям кристалла. Значение этих углов для разных типов среза с учетом соблюдения определенных размеров, ориентации относительно кристаллических осей приведены на рисунке. Путем таких срезов можно получить кварцевые осцилляторы, соответствующие определенным требованиям.



В. А. Маррисон

Практически требуемое для возбуждения колебаний кварцевого осциллятора переменное электрическое поле образуется в нем при размещении осциллятора между электродами, к которым прикладывается переменное напряжение. Тогда возникают упругие колебания кварца, пропорциональные напряжению электрического поля. Амплитуда этих колебаний достигает наибольшего значения при резонансе, т. е. при равенстве частоты электрического поля и частоты колебаний кварца.

Сущность механического резонанса в пластине состоит в том, что в ней устанавливаются стоячие упругие волны, причем размер пластинки, в направлении которой распространяются волны колебания, пропорционален половине длины этих волн. Длина упругой волны при данной частоте колебаний пропорциональна скорости распространения, которая, в свою очередь, определяется упругостью и плотностью кварца. Последние в кристаллическом кварце таковы, что размеры кварцевых пластин измеряются в сантиметрах и миллиметрах.

В зависимости от размеров и формы пластин кварца в резонаторе могут использоваться поперечные упругие колебания, называемые еще колебаниями по толщине. Колебания по толщине используются обычно на частотах в несколько сот килогерц, а колебания по длине — на более низких частотах. Ис-

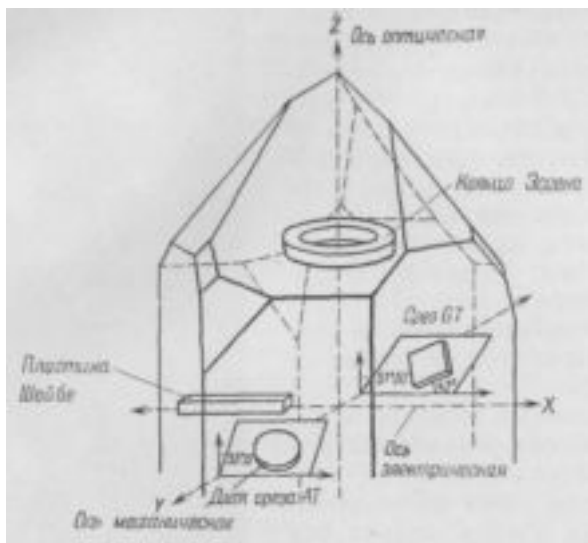


Рис. 258. Структура кристалла кварца



Рис. 259. Схема использования кристалла кварца в качестве осциллятора

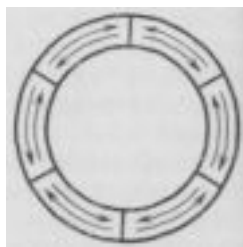


Рис. 260. Колебания кварцевого кольца Эссена

пользовать поперечные колебания на частотах ниже 300 кГц невыгодно, так как на этих частотах размеры пластин, колеблющихся по толщине, будут велики. Продольные колебания неудобно использовать на высоких частотах, поскольку размеры пластин, колеблющихся по длине, на этих частотах малы.

Во Франции, Швейцарии и ФРГ кварц используется чаще всего в виде квадратных и прямоугольных брусков требуемого размера. Бруски вырезаются так, что у них большие грани параллельны электрической оси X , а малые соответственно параллельны механическим осям Y и оптическим Z (см. рис. 258). Колебания волн совершаются в продольном направлении под действием центрального и двух конечных электродов, соединенных электрически между собой так, как показано на рис. 259. Первоначально брусок или пластина зажимались между двумя накладными электродами. Теперь от этого способа отказались и их роль стало выполнять металлическое покрытие, нанесен-

ное непосредственно металлизацией на поверхность кварца в виде тонкой пленки (золота, серебра или никеля). Металлический слой электрода обеспечивает равномерное распределение электрических зарядов по всей поверхности пьезоэлемента. Металлические провода спаяны с «язычком», продолженным до узла колебательных волн. По мнению А. Шейбе, которому принадлежит разработка конструкции кристаллического кварца в форме бруска, они могут употребляться для получения колебаний с частотой в пределах 60—100 кГц.

Стандарт кристаллического кварца в форме кольца (см. рис. 258) разработан Л. Эссеном в Британской физической лаборатории. Внешний диаметр кольца 6 см, внутренний 4,5 см. Обод имеет квадратное сечение. Кольцо вырезано так, что его ось направлена по оптической оси *Z*. Когда электродам сообщены переменные заряды, образуются три сегмента сжатия, которые расположены под углом 120° друг к другу, и шесть узлов колебательных волн.

Кристаллический кварц в форме прямоугольной пластины (1X1,25X2,5 мм) применяется преимущественно в США. Он имеет срез *GT* (рис. 258) по плоскости, проходящей через ось *X*, и с оптической осью образует угол 51°; к механической оси ребра наклонены под углом 45°. Electroды расположены на больших гранях. Частота колебаний 100 кГц.

В последнее время известно применение в США срезов на тонких пластинках для получения колебаний с частотой 5 мГц вместо 1 мГц. Это достигается путем среза пластинки по толщине так, чтобы можно было получать узловые точки колебательных волн в определенных местах, например в трех. Разрез *AT* (см. рис. 258) проходит по плоскости, параллельной оси *X* с наклоном 35° к оси *Z*. Electroды находятся на лицевых сторонах на небольшом расстоянии друг от друга. Колебания поперечные.

Пределом для получения высоких частот на основной гармонике пьезоэлементов является их механическая прочность, так как толщина высокочастотных пьезоэлементов всего несколько десятков микрон и их обработка представляет большие трудности.

Путем точной ориентации срезов кварцевых пластин относительно кристаллографических осей, применения рациональной системы подвески кварца в баллонах и автоматического термостатирования можно добиться уменьшения ухода частоты от номинального значения.

Кварцевая пластинка или кольцо помещаются в специальный держатель между металлическими электродами, к которым подводится переменное напряжение. Конструкция держателя и способ крепления кварца имеют существенное значение для качества работы генератора, его стабильности. Если в осцилляторах с пластинчатым или брусковым кварцем пластина или брусок удерживаются в герметизированном баллоне на

металлических призмах, к которым они привязаны шелковой нитью, то кольцевой кварц закрепляется в специальной обойме на трех шариковых опорах и поддерживается над ними пружиной. Кольцо располагается в обойме таким образом, что опоры находятся точно в узлах колебания. Кольцевой кварц защищен металлическим цилиндром, герметически сопрягающимся с базой обоймы.

В кварцевых часах осциллятор обычно находится в двухступенчатом термостате или в сосуде Дьюара, где поддерживается температура с точностью до $0,001^{\circ}\text{C}$. Благодаря постоянству температуры обеспечивается стабильность частоты колебаний кварца. Термостатическое устройство контроля и управления представляет собой мост, неуравновешенность которого возникает вследствие изменения температуры и служит сигналом для устранения этого рассогласования.

На Женевской обсерватории кварцевый эталон частоты помещен в термостат, работающий в системе мощного генератора низкой частоты, собранного по мостовой схеме Уитстона, причем плечи моста образованы обмотками из никелина и константана, размещены на алюминиевом корпусе, в котором находится кварц. Вместе с кварцем в качестве термометрического устройства помещена мостовая схема.

До настоящего времени весьма актуальной остается проблема «старения» кварца, могущая оказывать дестабилизирующее действие на ход кварцевых часов. Когда кварц стареет, его кристаллическая структура с течением времени подвергается случайным изменениям и создается возможность немедленного ухода частоты колебания кварца. Исследования, однако, показали, что стабильность кварца повышается, если его помещать в условия сверхнизкой температуры. В США в Национальном комитете стандартов велись опыты по исследованию поведения кварца в жидком азоте (78°K) и в жидком гелии (4°K). Эти опыты дают надежду на возможность повышения стабильности кварца, когда будут найдены способы создавать кристаллы специально для этих температур. Устранение причин, вызывающих старение кварца (тепловые действия, рекристаллизация, испарение и т. д.), имеет большое значение для повышения качества осциллятора. Старения добротных кварцевых осцилляторов носят регулярный характер и во многих случаях приводят к монотонному экспоненциальному изменению частоты со временем. В этом случае в ход кварцевых часов может быть введена соответствующая поправка.

Первые кварцевые часы появились в 20-х годах нашего века и получили распространение с 30-х годов. Они были построены на многоламповых схемах и представляли собой сложное, громоздкое радиотехническое устройство. С 60-х годов стала успешно решаться проблема создания малогабаритных кварцевых часов с использованием полупроводниковой техники.

Кварцевые часы с многоламповой схемой. Кварцевые часы состоят из следующих основных блоков: задающего генератора с термостатом, делителя частоты с усилителями и выходными каскадами, блоков питания и электромеханической системы для движения стрелок. В ламповом генераторе кварцевых часов (рис. 261) пьезоэлемент выполняет роль опорной колебательной системы. Выключение кварцевого осциллятора из схемы приводит к прекращению генерации. Генератор, работающий в таком осцилляторном режиме, можно рассматривать как обычный ламповый генератор с двумя колебательными контурами. Схема генератора, в котором кварц заключается между сеткой и катодом триода, является одной из первых схем генератора с кварцевой стабилизацией.

Кварцевый генератор переменного тока обладает высокой частотой (100 кГц), но несет слишком малую энергию, чтобы можно было непосредственно приводить в действие синхронный двигатель, управляющий секундным и минутным контактами или стрелочным механизмом. Поэтому возникает необходимость усилить этот переменный ток посредством ламповых усилителей и затем при помощи трансформаторов частоты (мультивибраторов) обращать в ток низкой частоты— 1000 Гц.

Кварцевый осциллятор при включении в колебательный ламповый генератор ведет себя как резонансный контур с индуктивностью и емкостью, какие обычно используются в радиотехнике. Кристалл кварца соединен с сеткой триодной электронной лампы.

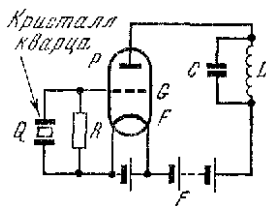


Рис. 261. Простейшая схема генератора с кварцевой стабилизацией

Для обеспечения незатухающих колебаний генератора, работающего в осцилляторном режиме, необходимо к нему подключать источник электродвижущей силы и эту энергию передавать на кварцевый осциллятор. На рис. 261 показана схема передачи этой энергии кварцевому генератору с помощью триодной электронной лампы.

Электроны, вылетающие из раскаленной нити F катода, на своем пути к аноду проходят через сетки G лампы. Наличие управляющей сетки между катодом и анодом P дает возможность автоматически управлять потоком электронов, движущихся от катода к аноду. Интенсивность этого потока зависит от потенциала сетки. Если она имеет положительный потенциал, то помогает аноду притягивать электроны, летящие из раскаленной нити. Все электроны, прошедшие через сетку, участвуют в образовании анодного тока, который в итоге увеличивается. Наоборот, при достаточно большом отрицательном напряжении сетки анодный ток может совсем прекратиться. Сетка по своему действию аналогична клапану.

Разность потенциалов между сеткой и катодом определяет напряжение сетки. Если оно не изменяется, анодный ток остается постоянным. Если же на сетку попадают пьезоэлектрические заряды, освобожденные колеблющимся кварцем в результате пьезоэлектрического эффекта, то они ей сообщают переменный потенциал; вместе с этим сила анодного тока будет изменяться [313, 460]. В анодной цепи возникает пульсирующий ток.

Когда пьезоэлектрические заряды попадают по обмотке на пластинку конденсатора C то приходят в состояние колебательного движения с определен-

ной частотой, зависящей от индуктивности и емкости конденсатора. При равенстве этой частоты с частотой колебательного контура LC возникают сильные электрические колебания на пластинках конденсатора, потенциалы которого могут быть резко увеличены.

Благодаря связи анодной цепи с цепью сетки убыль энергии в колебательном контуре LC полностью компенсируется. Электрические колебания будут продолжаться до тех пор, пока действует анодная батарея. Переменная составляющая анодного тока, проходя через колебательный контур, создает переменное напряжение на сетке, уже усиленное электронной лампой. Оно подается с обратным знаком на анод P , который вместе с сеткой G образует добавочный конденсатор, с которого заряды попадают в осциллятор. Они должны быть соответствующего знака; это условие обеспечивается путем настройки колебательного контура LC на частоту несколько большую, чем собственная частота колебаний кварцевого осциллятора. Поскольку кристалл кварца соединен с сеткой и между ними имеется обратная связь через емкость между анодом и сеткой на частоте, близкой к собственной частоте кварца, последний имеет возможность регулировать свое электрическое питание, подобно тому как маятник управляет импульсами, подаваемыми спусковым механизмом.

Для того чтобы частоты колебаний кварцевого генератора и генератора с триодом были одинаковы, их контуры должны быть настроены в резонанс с частотой кварцевого осциллятора. Поэтому генераторы кварцевых часов собирают по схеме с параллельным резонансом [8, 89].

Цепь, показанная на рис. 261, может, таким образом, рассматриваться как генератор переменного тока при частоте, которая всецело определяется частотой кварцевого осциллятора. Если она постоянна, то постоянна будет и частота генерируемого переменного тока, и, говоря иначе, будет эквивалентна резонансу механических напряжений кварца.

Стабилизирующее действие кварца в виде пластинки, кольца или бруска заключается в том, что в случае ухода частоты лампового генератора кварц продолжает колебаться со своей собственной частотой, подобно маятнику, вынуждая ламповый генератор вернуться к номиналу частоты. Наличие флуктуации в ламповом генераторе, обусловленное дробовым эффектом, тепловыми явлениями в проводниках и элементах схемы, колебаниями эмиссии катода, и прочие влияния на частоту колебания генератора значительно меньше благодаря стабилизирующему действию кварца.

Способность кварца, находящегося в высокочастотном электрическом поле, стабилизировать генератор и поддерживать постоянство частоты передаваемых электрических волн была известна задолго до появления кварцевых часов и широко применялась в радиотехнике.

Вместо описанной выше простой цепи триода нередко применяется схема моста Уитстона (рис. 262), который изображен слева, а кристалл кварца и переменный конденсатор — на одной из сторон этого моста. На противоположной стороне находится электронная лампа с вольфрамовой нитью, являющейся контуром, состоящим из единственного витка при всех частотах, и действующая как чистое сопротивление. На двух других противоположных сторонах имеются постоянные и меняющиеся сопротивления. Когда частота колебаний в его цепи такая же, как и частота собственных колебаний кварца, мост находится в равновесии. Таким образом, кристалл кварца определяет частоту колебания в цепи моста. Хорошо отрегулированный кварцевый осциллятор не

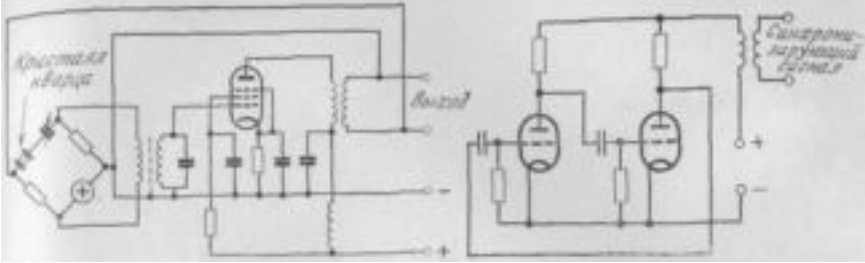


Рис. 262. Схема генератора с применением моста Уитстона

Рис. 263. Схема делителя частоты с усилителями

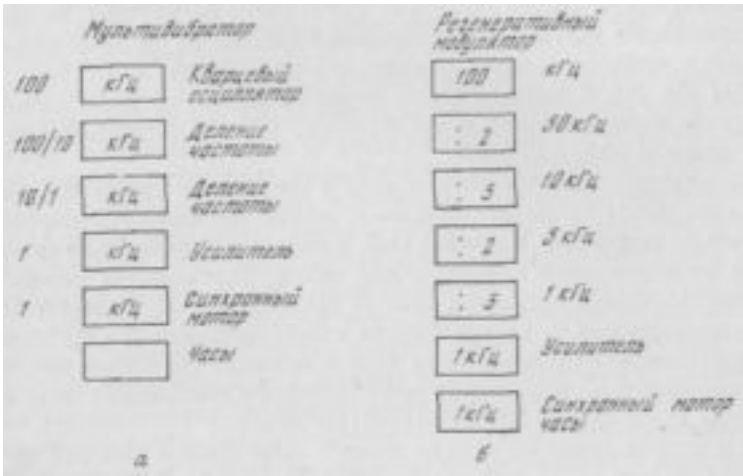


Рис. 264. Схема последовательного снижения частоты посредством мультивибратора (а) и регенеративного модулятора (б)

допускает внезапных отклонений частоты более чем на $1 \cdot 10^{-10}$. Применение мостовых схем особенно необходимо в кварцевых часах, используемых в качестве эталона времени.

Деление частоты колебаний кварцевого осциллятора осуществляется для получения колебаний, частота которых в n раз меньше его резонансных колебаний. Главный переходный этап в последовательных делениях начальной частоты (100 кГц) составляет 1000 Г.

Деление частоты от 100 до 1 кГц осуществляется устройством, известным под названием преобразователя частоты (мультивибратора), или делителя частоты. Он состоит из дополнительной цепи триода, действующего синхронно с электрической цепью (рис. 263). Замечательным свойством цепей электронных ламп является то, что их действия могут быть легко согласованы. Таким образом, две цепи, спаренные между собой и настроенные на одну и ту же частоту, действуют в унисон. Лампы в этом случае работают как сопротивление с усилителем. Так как анод второй лампы присоединен к сетке первой, то

те или иные изменения потенциала на сетке первой лампы, передаваясь на вторую лампу, действуют как усилитель, после чего ток проходит обратно к первой лампе. Этот цикл повторяется снова и снова, таким образом обеспечиваются автоколебания кварцевого генератора.

Кроме образования своей основной частоты, мультивибратор создает и много гармоник. Следовательно, он может быть настроен с основной частотой 10 кГц, а частота его десятикратной гармоники будет примерно такая же, как частота кварца (100 кГц). Когда эта основная частота (10 кГц) управляется и поддерживается кварцем, то она может попадать в такт с его частотой 100 кГц. Имея, таким образом, пониженную частоту до 10 кГц, можно затем повторить действие с тем, чтобы понизить с 10 до 1 кГц, т. е. до частоты, при которой синхронный двигатель уже будет действовать.

Другой метод деления частоты основан на использовании генератора дробной частоты, или делителя, с регенеративным делением частоты, который может делить начальную частоту сначала на 2, а затем на 5 (рис. 264). Таким образом достигается понижение первоначальной частоты на 10. Этот процесс повторяется, чтобы осуществить следующую стадию деления от 10 кГц.

На рис. 261, б показаны этапы последовательного снижения частоты посредством мультивибратора двумя ступенями $1/10$ и посредством регенеративного делителя ступенями 2 и 5.

Коэффициент деления должен быть в пределах от 10^3 до 10^6 . На всем диапазоне частот необходимо обеспечить полную независимость коэффициента деления от напряжения источника тока, температуры окружающей среды, старения элементов схемы и от различных помех. Колебания на выходе схемы должны появляться только при наличии входного сигнала. Делители должны быть экономичными по расходу энергии и не громоздкими. В ряде случаев не требуется высокой стабильности по фазе, в частности при подаче тока на синхронный двигатель, поскольку точность последнего относительно невелика: поворот на 1° при частоте 50 Гц соответствует 55 с.

На выходе делителей частоты имеется напряжение с частотой 1000, 500 или 250 Гц; оно подводится к синхронному электродвигателю, который приводит в движение механизм стрелок. Выходная ось двигателя делает один оборот в секунду. На оси укреплен кулачок, замыкающий контакты, дающие секундные импульсы. Они, однако, обладают меньшей стабильностью, чем полученные путем деления частоты до 1 Гц с применением декатрона. Помимо секундных импульсов, кварцевые часы имеют выходы высокостабильных синусоидальных сигналов с частотами 100, 10, 1 кГц, 100, а иногда и 10 Гц. Эти частоты используются для работы синхронных моторов и других устройств в различной измерительной аппаратуре и формируются на промежуточных ступенях делителей.

Синхронные двигатели, как и шаговые двигатели, срабатывают от импульсов электрического тока, которые возникают в электронной схеме часов по сигналу осциллятора. Колебательное движение кварцевого осциллятора преобразуется во вращательное движение двигателя с помощью электронной схемы.

Попутно — некоторые сведения о синхронных часах. Американец Генри Уоррен в 1918 г. изобрел для этих часов малогабаритный синхронный двигатель гистерезисного типа. Он питается от переменного тока с частотой 50 Гц. Число оборотов синхронного двигателя $d = 60 f/p$, где f — частота и p — число

пар полюсов. Синхронный двигатель Уоррена имеет одну пару полюсов. При частоте 50 Гц он делает 3000 об/мин. Скорость синхронного электродвигателя зависит только от частоты переменного тока и пар полюсов и не зависит от напряжения. Применение такого электродвигателя, в частности, для передачи движения на стрелки часов требует понижения скорости при помощи зубчатой передачи с передаточным числом $1/3000$ -

Электродвигатель Уоррена с самопуском, так как его ротор через $1/25$ с после включения в электрическую цепь сам начинает вращаться и не требует каких-либо пусковых приспособлений. Он плавно входит в синхронизм и устойчиво работает в режиме синхронного вращения.

Необходимость применения электродвигателей с меньшими, чем 3000 об/мин, скоростями вызвала создание многополюсных реактивных синхронных двигателей. Они, в отличие от двигателей Уоррена, без самопуска, и для включения их в действие нужны особые пусковые устройства.

Подробное техническое описание конструкции синхронного двигателя Уоррена и многополюсных реактивных двигателей приведено в книге Л. П. Шишелова [323, 177—207].

Синхронные часы по своей конструкции совершенно отличны от механических и других часов. В них нет ни завода, ни регулятора, и если чем-либо они напоминают механические часы, то разве только наличием в их устройстве зубчатой передачи и стрелки на циферблате. На синхронные часы можно смотреть как на вторичный механизм, регулятором которого служат генераторы переменного тока центральной электростанции, питающей сеть, в которую включены часы. Для правильной работы синхронных часов необходимо строгое постоянство питающего их переменного тока.

Появление часов с синхронным двигателем знаменует совершенно новое направление в истории хронометрии. Его революционное значение заключается в том, что конструирование и создание часов перешло из рук часовщиков к людям науки и техники. По верному замечанию Хоуп-Джонса, прежнее преклонение «перед энтузиазмом часовщиков отпало» [365, 237]. Со времени появления кварцевых и атомных часов именно конструирование и изготовление часов стало всецело базироваться на достижениях науки и техники. И это стало основной тенденцией в развитии хронометрии.

В качестве источника энергии, необходимой для функционирования кварцевых часов, чаще всего используется сеть переменного тока. Благодаря трансформации и выпрямлению можно получить все необходимые стабильные напряжения. Однако в случае перерывов в работе сети надо иметь некоторый дополнительный источник энергии, и в качестве такового применяются аккумуляторы. Батарея, создающая различные необходимые напряжения, заряжается через выпрямитель. Трансформация постоянного тока в переменный достигается через вибропреобразователи, а также от статических преобразователей (умформеров, преобразователей частоты) на полупроводниковых триодах.

Малогабаритные кварцевые часы на полупроводниковых приборах. Начиная с 60-х годов нашего столетия в ряде стран (Швейцария, Франция, США) велись работы по созданию малогабаритных кварцевых хронометров взамен кварцевых часов, построенных на ламповых схемах. Габариты и вес кварцевых часов удалось довести до таких минимальных размеров, что они стали выполнять функции переносных приборов времени. Особое значение имели успехи, достигнутые в развитии техники микроминиатюризации радиоаппаратуры в

полупроводниковой техники, в частности в области новых полупроводниковых приборов на туннельных диодах. На этом фоне немаловажное значение имели открывавшиеся возможности в применении: а) автономных источников электропитания, обеспечивающих их автономную работу в течение длительного периода (до 1 года и более) и узлов электрической схемы, экономичных по потреблению тока; б) низкочастотных кварцевых осцилляторов (на частоте 10 кГц и ниже); в) схем температурной компенсации, где роль термозависимого реактивного элемента выполняет подстроечный конденсатор, ротор которого вращается при деформации биметаллической пластинки или спирали; г) высокоэкономичных синхронных и шаговых электродвигателей.

Первый кварцевый хронометр, собранный на туннельных диодах, был разработан и изготовлен в США в 1960 г. Р. Уоттерсом. Схема собрана на четырех туннельных диодах и на одном транзисторе.

Шаговые электродвигатели в часовой технике заменили в электромеханических и электронно-механических приборах времени работу анкерных и храповых спусков для передачи импульсов на стрелку часов или на индикаторное устройство. Эти функции стал выполнять шаговый двигатель. В этом случае исполнительное устройство не имеет кинематической связи с кварцевым осциллятором, и потому последний не расходует кинетической энергии для приведения в действие исполнительного механизма. Колебания осциллятора становятся более свободными, а ход часов — более точным и стабильным. Вращение выходного вала в этом электродвигателе носит дискретный (шаговый) характер.

На Швейцарской выставке образцов 1960 г. впервые экспонировались малогабаритные кварцевые часы швейцарской фирмы «Филипп Патек». Они имеют объем всего 830 см³, включая батарею источников питания. Габариты часов 134X94X66 мм, вес 3,5 кг. Точность хода порядка 10^{-6} ($\pm 0,1$ с в сутки), температурный диапазон работы 4—36°. Источник питания — аккумуляторная батарея на 70 часов без подзарядки. Потребление тока 15 мВт. Напряжение источника питания 1,25 В постоянного тока. Электрическая схема смонтирована по блочной системе на 14 транзисторах. Часы состоят из четырех блоков: кварцевого осциллятора, делителя частоты, усилителя и синхронного электродвигателя со стрелочным механизмом. Погрешность кварцевого осциллятора (имеющего температурную компенсацию) не превышает $\pm 0,1$ с в сутки в интервале изменения температуры от 0 до 50°.

Малогабаритные кварцевые хронометры выпускаются в разных странах не только радиотехническими фирмами, но и традиционными часовыми фирмами, занятыми изготовлением механических хронометров, такими, как «Патек—Филипп» и «Нарден» (Швейцария), «Гамильтон» (США), «Лип» (Франция) и т. д. Они нашли применение в ряде областей науки и техники.

На Базельской ярмарке 1961 г. был представлен электронный хронометр с периодом колебаний 0,5 с. Прибор предназначен для морского флота. Основным элементом хронометра является транзисторная схема с кварцем и микродвигателем. Размер часов 200X150 мм.

Центральной электронной лабораторией (США) в 1961 г. создан хронометр с точностью хода ± 5 с в год. Хронометр, как и все кварцевые часы, выполнен на основе кварцевого осциллятора с собственной частотой 100 кГц. Делитель частоты собран на трех туннельных диодах. На выходе делителя получают напряжения со стабильной частотой 50 кГц, поступающие на питание

синхронного двигателя. Питание схемы осуществляется от батарейки, имеющей размеры элемента для карманного электрического фонаря. Работа туннельных диодов отличается высокой стабильностью, а вся схема обладает малой чувствительностью к температурным колебаниям.

Двумя швейцарскими фирмами «Улис Нарден» и «Эбош» создан кварцевый морской хронометр габаритом 250X180X130 мм с приводом стрелочного механизма от синхронного двигателя с самопуском. Этими же фирмами выпущен малогабаритный морской хронометр (200X150X150 мм) с миниатюрным шаговым двигателем, обеспечивающим полминутные скачки секундной стрелки.

Швейцарская фирма «Лонжин» выпускает наиболее малогабаритный кварцевый хронометр: размер его всего 104X72X82 мм. В нем применен кварцевый осциллятор с частотой 12 кГц. Он снабжен специальной схемой термокомпенсации. Делитель частоты состоит из предварительного делителя с каскадом деления на 5 и двух параллельных каналов с коэффициентами деления соответственно 5,5 и 6,4. С выхода делителя частоты поступают сигналы времени с частотой 96 и 100 Гц, а сигнал с частотой 4 Гц, снимаемый с выхода схемы совпадения, подается на шаговый двигатель стрелочного механизма. Хронометр обладает большой точностью хода. При постоянной температуре +20° С он обеспечивает отклонение суточного хода в пределах $\pm 0,005$ с, а в диапазоне температур от 4 до 36° С отклонение хода не превышает $\pm 0,1$ с.

Английская фирма «Автоматик телефон энд электрик компани» выпускает малогабаритный кварцевый хронометр АТЕ на транзисторах. Осциллятор имеет форму бруска прямоугольного сечения и работает на колебаниях изгиба. Собственная частота колебания кварцевого осциллятора равна 4,096 кГц. Кварцевый регулятор собран по схеме с термокомпенсацией. Отклонение частоты колебаний не выходит за пределы 0,2 с по суточному ходу, что превышает точностные требования к механическим морским хронометрам первого класса.

Во Франции выпускаются кварцевые хронометры для астрономических наблюдений в экспедициях и для определения траекторий ракет и самолетов с синхронным двигателем. Скорость вращения выходной оси двигателя 60 об/мин.

Применение кварцевых часов в астрономических обсерваториях. Высокое постоянство частоты кварцевого осциллятора позволило создать астрономические кварцевые часы и использовать их в обсерваториях вместо астрономических маятниковых часов. Они применяются группами по двое, трое и более. Поэтому блок-схема кварцевых часов, объединенных в группы, может быть представлена в несколько усложненном виде (рис. 265) по сравнению с обычной схемой кварцевых часов. В связи с этим возникает необходимость применения добавочных устройств, как то: умножителя частоты, контактного устройства для подачи сигналов точного времени, схемы сравнения между собой частоты кварцевых часов, образующих группу, и т. д.

Комплексный характер использования кварцевых часов в обсерваториях имеет следующие преимущества: 1) группа кварцевых часов продолжает работать, если даже один из них выйдет из строя (например, при перегорании лампы); 2) имеет-

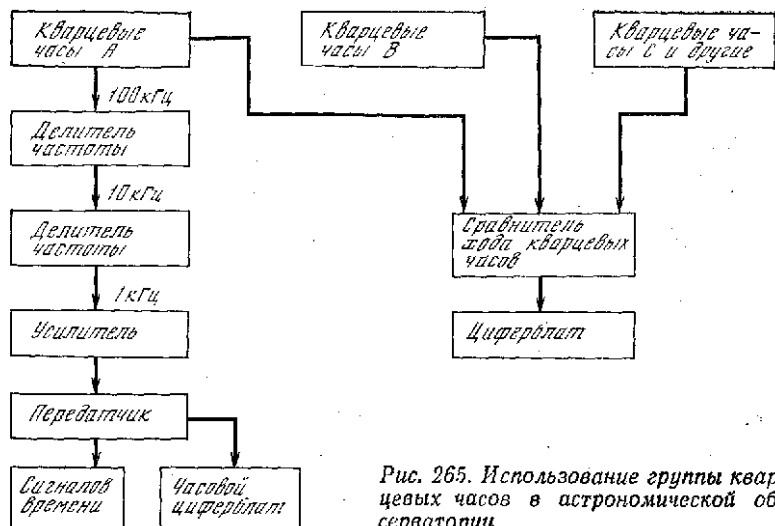


Рис. 265. Использование группы кварцевых часов в астрономической обсерватории

ся возможность обнаружения неправильности в работе любых кварцевых часов; 3) обеспечивается высокая точность в течение долгого промежутка времени.

При Бюро стандартов (США) имелось семь кварцевых часов, из них шесть имеют пластинки среза GT на 100 кГц в мостовой схеме стабилизации и один — брусок специальной формы на 200 кГц . Кристалл — в небольшом герметически закупоренном металлическом ящике в термостате. Для лучших образцов кварцевых часов при нормальных условиях работы кратковременные отклонения частоты меньше, чем $\pm 2 \cdot 10^{-9}$; сползание частоты за месяц меньше, чем $2 \cdot 10^{-9}$, а за день — меньше, чем 10^{-10} .

Стабилизируемый кристаллом стандарт при Национальной физической лаборатории в Англии содержит кольцо на 100 кГц . В вакууме при постоянной температуре нестабильность составляет $\pm 4 \cdot 10^{-10}$ за час и $1 \cdot 10^{-8}$ за месяц. Длиннопериодная устойчивость, согласно Л. Эссену, составляет $2 \cdot 10^{-8}$.

В Гринвичской обсерватории группа кварцевых часов состояла из 16 штук. Осциллятор — в виде кольца на 100 кГц . В четырех кварцевых часах Физико-технической палаты мер (ГДР) применены кварцевые бруски с длиной, параллельной X или Y . Частота 69 кГц . Бруски отделяются от электродов зазором в 1 мм и монтируются в вакуумном термостате. Для этих часов дневное изменение составляет меньше $2 \cdot 10^{-10}$, месячное — около $3 \cdot 10^{-9}$.

В кварцевых часах «Дженерал радио» используется 50-килогерцевый кварцевый брусок среза X с длиной, параллельной X или Y . Температура коэффициента частоты составляет от $0,7 \cdot 10^{-6}$ до $1,5 \cdot 10^{-6}$. Электроды состоят из химически нанесен-

ного серебра, защищенного слоем меди или золота (или того и другого).

Многолетняя практика применения кварцевых часов в астрономических обсерваториях убедительно свидетельствует о необходимости учитывать при выборе схемы кварцевого генератора то, что срок работы таких часов должен быть максимальный, а вариация их хода — минимальной. В астрономических кварцевых часах генератор должен работать непрерывно в течение многих месяцев в условиях, обеспечивающих высокую стабильность частоты.

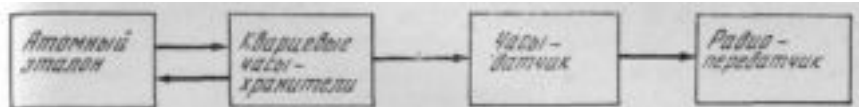


Рис. 266. Схема работы передающей системы

Для уменьшения влияния внешней среды на работу кварцевого генератора его помещают в стеклянный вакуумированный баллон. Этим практически исключается вредное влияние изменения атмосферного давления и влажности на стабильность частоты кварцевого резонатора. Стабильность повышается, когда кварцевые генераторы помещены в специальных подвалах на массивных столбах. Если подвалы глубоки, они играют еще и роль дополнительных термостатов. Постоянство температуры и стабильность напряжения питания — два важных условия для нормальной работы кварцевого генератора.

Поскольку резонансная частота кварцевого осциллятора заметно меняется при неустойчивой температуре, необходимо поддерживать постоянную температуру кварца. Для этого кварцевый резонатор помещается в термостат, где и поддерживается постоянная рабочая температура с точностью до $0,0001^\circ$. Усилитель, включенный в диагональ моста, должен обладать высокой стабильностью и значительным коэффициентом усиления.

В астрономических кварцевых часах высокое требование предъявляется и к источникам питания. Источники питания термостата, делителей и генератора должны быть независимы, при этом питание отдельных блоков должно обладать высокой стабильностью. Особенно это относится к генератору, так как стабильность его частоты зависит от качества источника питания. Применение специальных электронных стабилизаторов позволяет поддерживать напряжение питания с постоянством до долей процентов [8, 93].

Если регулировать температуру с указанной точностью и строго контролировать напряжение питания и амплитуду колебаний, можно достигнуть стабильности частоты, которая для коротких промежутков времени равна 10^{-10} , а для длинных —

От 10^{-7} до 10^{-8} (причем ограничивающим фактором служит старение кварца). Это значит, что через год такие часы отстают или уйдут вперед приблизительно на 1 с. Старение кварца является основным недостатком кварцевых часов, не позволяющим использовать их в качестве постоянного эталона времени и частоты.

Сигналы времени теперь передаются службой времени, имеющей в своем распоряжении группу первоклассных кварцевых часов и атомный эталон. Схема работы передающей системы приведена на рис. 266. Передача сигналов точного времени производится по определенным программам через радиостанции.

Атомные часы

До 40-х годов XX в. приборы времени были основаны только на использовании колебаний механических осцилляторов — маятника, баланса со спиральной пружиной и кристалла кварца. У этих и других осцилляторов, имеющих макроразмеры, собственная частота колебаний в значительной степени зависит от ряда дестабилизирующих факторов (температуры, барометрического давления, степени старения материалов и т. д.). Поэтому они не могут обладать такой высокой стабильностью, какая нужна для точного измерения времени.

Эталон времени и частоты, основанный на астрономическом определении его, также оказался величиной непостоянной. Было установлено, что угловая скорость вращения Земли изменяется, в результате чего продолжительность суток в течение года может отличаться от средней их продолжительности за год на $\pm 0,001$ с. Поэтому пришлось отказаться от меры времени — секунды как основного эталона времени (1/86 400 доли солнечных суток).

В последние десятилетия развитие атомной физики и микроволновой радиоспектроскопии привело к созданию принципиально нового эталона частоты и времени на атомных постоянных, разработанного на основе изобретения молекулярных и атомных часов. Последние основаны на применении таких осцилляторов, как атом и молекула, частота колебаний которых в микромире строго стабильна и не зависит от внешних воздействий и для которых справедливы законы квантовой механики. В молекулярных часах в качестве осцилляторов используются группы молекул, в атомных часах — группы отдельных атомов. Кроме того, эти квантовомеханические приборы времени можно разделить, в зависимости от выбранного вида осциллятора, на аммиачные, цезиевые, водородные, рубидиевые и др.

Появление и развитие этих приборов времени произвело революцию в области измерения времени. Она явилась одним из важных направлений научно-технической революции XX в.

В развитии квантовой колебательной хронометрии до наших дней можно выделить два периода, из которых начальный приходится на подготовку и создание в 1948 г.: первый — молекулярных (на аммиаке) часов, а второй падает уже на наши дни, так как именно за последние тридцать лет были созданы все модели молекулярных и атомных часов.

Первые молекулярные часы, 1948 г. В молекулах возможны такие энергетические состояния, для которых изменение энергии ($E_n - E_m$), входящей в уравнения Бора, настолько мало, что частоты, соответствующие этим энергетическим разностям, лежат в области миллиметровых и сантиметровых волн.

В сантиметровом диапазоне радиоволн систематические исследования начались с 1946 г., после освоения этого диапазона в результате развития радиолокации. Особенное значение для создания первых молекулярных часов имело изучение радиоспектра газообразного аммиака в области сантиметровых и миллиметровых радиоволн. В газообразном аммиаке имеет место сильное избирательное поглощение на волне 1,25 см и существует еще ряд частот, при которых оно происходит. В разреженном газе эти области поглощения настолько узки, что образуют спектральные линии поглощения. Совокупность спектральных линий дает радиоспектр газа.

В 1947 г. спектральные линии поглощения аммиака были применены для стабилизации частоты отражательного клистрона — широко распространенной электронной лампы для генерации радиоволн сантиметрового диапазона, а в 1948 г. — для создания молекулярных (аммиачных) часов. Колебания атомов в молекуле происходят с относительно меньшей частотой, поэтому их легче было связать с механической или электрической системой, показывающей время. Этим и объясняется то, что раньше всего появились молекулярные, а не атомные часы.

Первые практические результаты, показавшие возможность создания молекулярных часов, постоянных в качестве эталона времени и частоты, были достигнуты в Национальном комитете стандартов в Вашингтоне на основе использования принципа, разработанного Гарольдом Лайонсом — сотрудником научно-исследовательской лаборатории по изучению микроволн.

Опытным путем было обнаружено, что в волноводных трубках, заполненных аммиаком при атмосферном давлении 10^{-2} , т. е. в сильно разреженном состоянии, на волне 1,25 см можно получать довольно узкие спектры поглощения аммиака. Впервые это явление было замечено в отношении газов в 1934 г. Клеетоном и Вильямсом (336,234—237).

Когда стало очевидным, что такой спектр поглощения может служить надежной основой для новых эталонов частоты и времени, ученые Комитета стандартов в Вашингтоне начали искать пути применения этого спектра для осуществления контроля над радиотехническим генератором, который в свою очередь мог быть использован в качестве двигателя часов.

Таким образом, была сделана попытка заменить коррекцию хода кварцевых часов по астрономическим наблюдениям автоматической коррекцией по спектральной линии поглощения аммиака. Этому устройству было дано претенциозное, но не совсем точное название «атомные часы».

Квантовая система, использованная в первых молекулярных часах, состоит из газообразного аммиака NH_3 . Его атомы располагаются в пространстве по вершинам воображаемой трехгранной пирамиды с атомом водорода по углам ее основания и атомом азота у ее вершины. Атом азота по отношению к трем атомам водорода может занимать два крайних положения. Эти два положения молекулы отличаются знаком проекции электрического момента диполя на ось вращения молекулы, находящейся в магнитном поле. Частота, с которой атом водорода совершает свои колебания, зависит от энергии вращающихся молекул.

Собственная частота колебания молекулы аммиака 23870,14 МГц. Это соответствует длине волны 1,25 см. Следовательно, период ее колебания длится всего одну двадцатичетырехмиллионную долю секунды. Эта частота в миллион раз превышает частоту осветительного переменного тока и в тысячу раз превосходит частоты, применяемые при обычных радиовещательных передачах, приближаясь к области световых волн.

Первые молекулярные часы состояли из высокочастотного кварцевого генератора со схемой автоматической подстройки ее частоты к частоте автоколебаний опорного — в данном случае молекулярного — осциллятора. Частота сигнала подстроенного кварцевого генератора предварительно умножается на число n , чтобы она была примерно равна частоте собственных колебаний аммиака. Устройство, корректирующее частоту колебаний кварцевого генератора, именуемого дискриминатором, производит сравнение частоты генератора с собственной частотой колебаний молекул аммиака и при наличии различия этих частот вырабатывает «сигнал погрешности». Сигнал ошибки с выхода дискриминатора подается на подстроенный генератор и с помощью особых устройств корректируется его частота колебаний таким образом, чтобы они сравнялись с частотой молекулярного осциллятора, деленной на n . В итоге получается временный сигнал, частота которого в n раз ниже частоты сигнала опорного осциллятора, а мощность значительно выше.

В конечном счете в молекулярных часах роль «маятника», т. е. устройства, отмеряющего время, играют молекулы аммиака.

Все части (агрегаты) часов размещены в стандартном шкафу, имеющем вид стеллажа. На верху двухъящичного стеллажа смонтированы синхронные часы и волновод. Последний представляет собой медную прямоугольного сечения (12,7Х6,35 мм) трубку длиной 9,14 м в виде спирали. В полости волновода находится аммиачный газ в сильно разреженном состоянии. Колебания молекул в нем возбуждаются и поддерживаются действием

электромагнитного поля, создаваемого задающим кварцевым генератором, имеющим частоту в 100 Гц. Эта частота предварительно умножается и усиливается посредством цепей вакуумных ламп и диодов с кристаллами кремния. Одна из гармоник частоты кварца подается в волновод.

Если частота этого источника электромагнитных волн соответствует частоте одной из спектральных линий аммиака, т. е. линий с частотой 23 870 130 190 Гц, то в волноводе они будут усиленно поглощаться аммиаком. Наоборот, радиоволны, частота которых отличается от этой частоты хотя бы даже на 1000 Гц, уже не будут иметь достаточного поглощения.

Когда микроволновой сигнал, полученный путем умножения и усиления частоты кварцевого генератора, будет настроен по частоте спектра поглощения, генератор блокируется с неизменной частотой спектра поглощения аммиака. Мощность радиоволн, доходящая до приемника, зависит как раз от поглощения электромагнитных волн на пути к этому приемнику, и поэтому можно судить, имеют ли приходящие туда радиоволны частоту колебаний 23 870 130 190 Гц или иную.

Блок-схема молекулярных аммиачных часов показана на рис. 267. Сигнал частоты, возникающий в кварцевом генераторе *A*, питает цепь умножителей частоты *B*. Частота кварцевого генератора, умноженная несколькими степенями в 2700 раз, т. е. до 270 МГц, смешивается с частотой 13,8 МГц, модулированной по частоте генератором пилообразных колебаний на $\pm 0,12$ МГц. Это смешивание и дальнейшее умножение в 11 раз производится с помощью клистрона *D*, на выходе которого создается модулированное по частоте напряжение с частотой $2983,8 \pm 0,12$ МГц. Далее это напряжение подводится к диоду с кристаллом кремния *D*, создающим гармоники подводимого напряжения. Восьмая гармоника подводимого напряжения имеет частоту $23\,870 \pm 0,96$ МГц и подается в волновод *F*, где будет происходить усиленное резонансное поглощение. От этого возникает резкий импульс, который выдается после детектора, расположенного на конце волновода. Второй импульс возникает от ответвления первого умножителя напряжения с частотой в 12,7 МГц, а также от частотно-модулированного напряжения с частотой в $13,8 \pm 0,12$ МГц и снимается после смесителя и другого детектора. Оба импульса поступают к дискриминатору; на его выходе образуется напряжение постоянного тока, величина которого пропорциональна сдвигу во времени между обоими импульсами.

В зависимости от принятой схемы эти импульсы могут во времени совпадать или иметь определенную разность. В том и другом случае они служат мерой степени выравнивания умножительно-частотной цепи кварцевого генератора с собственной частотой аммиака. Напряжение постоянного тока, пропорциональное сдвигу, подводится к реактивной лампе, автоматически управляющей частотой кварцевого генератора. Таким образом, частота колебаний, вырабатываемых кварцевым генератором, приводится в соответствие с собственной частотой колебаний молекулы аммиака.

Показанный на блок-схеме делитель частоты служит для понижения высокой частоты с помощью ряда каскадов, чтобы иметь частоту тока, равную 1 Гц, нужную для приведения в действие синхронного мотора.

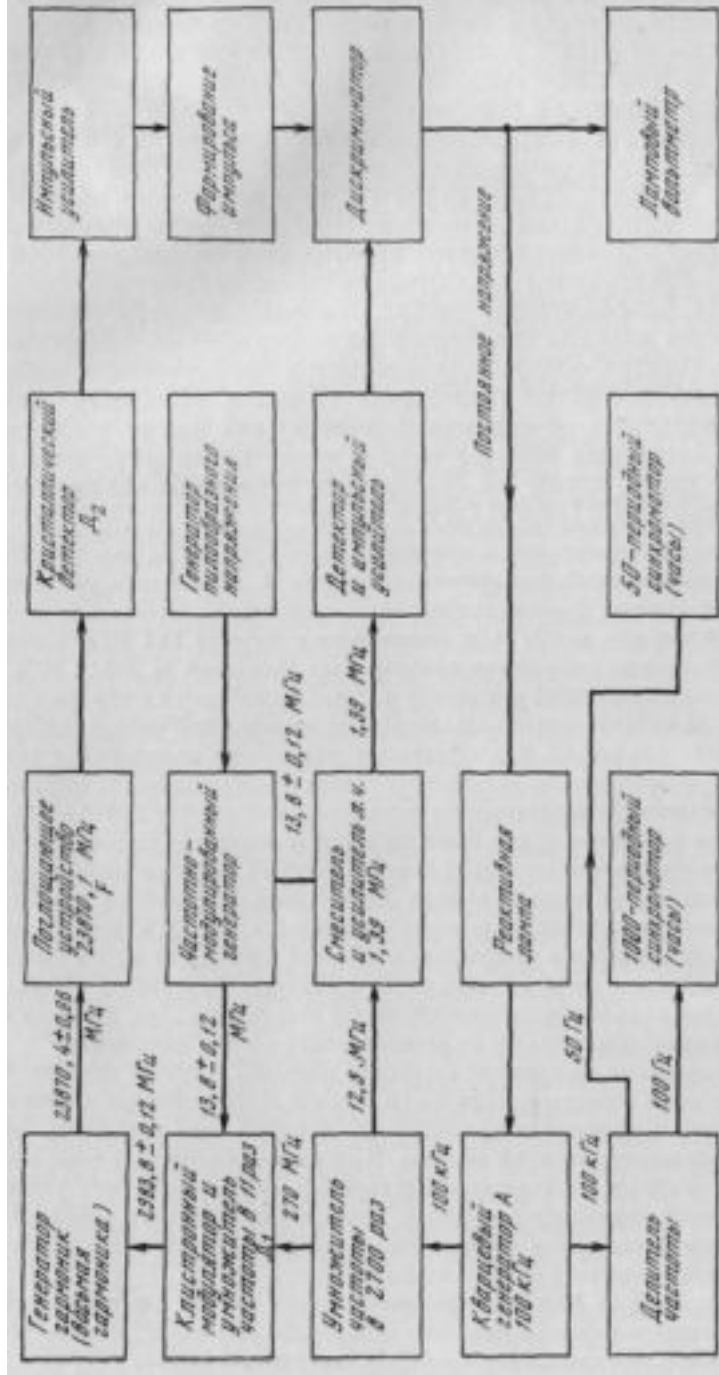


Рис. 267. Блок-схема молекулярных (аммиачных) часов 1948 г.

В молекулярных аммиачных часах 1948 г. в принципе было достигнуто согласование собственных колебаний молекул аммиака с собственными колебаниями кварца. Однако для газообразного аммиака трудно получить ширину линии менее 100 кГц при частоте спектральной линии порядка 24 тыс. МГц. Соответственно добротность спектральной линии

$$Q = (24 \cdot 10^6) / 100 = 2,4 \cdot 10^5.$$

Это числовое значение добротности аммиачных часов не превосходит добротности кварцевых часов без синхронизации, что подтверждается данными сравнения параметров точности различных эталонов времени, произведенного Невшаттельской обсерваторией (Швейцария) в 1956 г. (см. таблицу). В таблице $\Delta f/f$ — нестабильность частоты, выраженная как отношение изменения частоты к номинальному значению частоты.

Эталон	f	Q	$\Delta f/f$ -10в
Кварцевые часы	10^{-9}	10^6	1
«Молекулярные» аммиачные часы	$2 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^5$	0,48
Маятниковые астрономические часы	10^{-7}	10^4	1
Хронометр	10^{-5}	10^2	1

Практически достигнутая точность хода аммиачных часов ($2 \cdot 10^{-9}$) соответствует ошибке в 1 с за 230 дней. Хотя этот показатель не превосходит точности хода кварцевых часов, но все же у аммиачных часов имеется одно преимущество. Ход их остается стабильным в течение неопределенно долгого времени, в то время как у кварцевых часов с течением времени ход претерпевает изменение.

Известно, что кварцевая пластина «стареет», период ее колебания изменяется. Молекулы аммиака не стареют и своих свойств не меняют, поэтому их колебания являются надежным средством для подстройки, стабилизации и контроля кварцевого генератора. Пусть частота кварца 100 000 Гц уменьшилась на 1 колебание в секунду, тогда после умножения число колебаний станет на 238720 колебаний меньше и вследствие этого никакого поглощения радиоволн происходить не будет. Даже если колебания кварца будут иметь отклонения от заданной частоты на 1 колебание в 100 с, то эту величину можно заметить, так как в специальной части прибора — дискриминаторе — появляется «сигнал погрешности».

В первых молекулярных часах (1948 г.) не удалось полностью устранить причины, вызывающие уширение спектральных линий поглощения аммиака; особенно большое влияние на это оказывал эффект Допплера. Последний возникает из необходимости использования в качестве осциллятора не единичной молекулы аммиака, а одновременно большого их количества. Взаимодей-

ствии этих молекул (соударение) как между собой, так и со стенками прибора вызывает уширение спектральной линии и вместе с тем изменение собственной частоты колебания осциллятора. Это взаимодействие приводит к тому же эффекту, что и наличие трения в механических осцилляторах — падает добротность осциллятора и вместе с тем снижается стабильность суточного хода реальных молекулярных часов.

Если бы можно было единичную молекулу надежно связать с прибором, то она имела бы весьма стабильную частоту, не подверженную изменению под влиянием различных внешних условий. Тогда частота колебаний аммиака зависела бы только от строения и свойств молекулы, а не от влияния внешних факторов. Часы с таким осциллятором могли бы обладать точностью хода, превышающей на несколько порядков точность хода обычных молекулярных часов.

Однако создать молекулярные часы с использованием единичной молекулы в качестве осциллятора фактически невозможно. Не найдено было и средств для эффективного уменьшения ширины спектральной линии аммиака.

Создание современных атомных и молекулярных часов. Путем создания современных атомных часов на пучке атомов и молекулярных часов на пучке молекул (вместо газообразного аммиака) удалось избежать имевшихся недостатков в молекулярных часах 1948 г. Был устранен доплеровский сдвиг частоты и уничтожено уширение спектральной линии, связанные с соударениями молекул. Атомы и молекулы в атомном молекулярном пучке практически изолированы от взаимодействия между собой и от действия на них стенки прибора. В атомных и молекулярных пучках поэтому предел разрешающей их способности ограничивается не свойствами прибора, а только шириной наблюдаемых у них спектральных линий.

Метод резонансного исследования атомов и молекул, пролетающих в вакууме в виде атомных и молекулярных пучков, стал разрабатываться в США с 1937 г. И. И. Раби. Впоследствии этот метод развивался в важную область науки, приобретшую значение и для ряда технических применений [378, 318]. В 1940 г. Раби и Куш получили спектральную линию поглощения редкого элемента цезия, частота которой соответствовала длине волны 3,26 см. На этой основе Куш в Комитете стандартов создает на пучке атомов цезия атомно-лучевой радиоспектроскоп.

Продолжая исследования П. Куша, И. Р. Захариас в Массачусетском технологическом институте разработал конструкцию атомных часов, используя для этого элемент цезия величиной с булавочную головку. Эти исследования послужили основой для изготовления цезиевых часов, известных под названием «Атомикрона»; он стал объектом производства одной из национальных промышленных компаний США.

Л. Эссен и П. Перри в Британской физической лаборатории изготовили в 1955 г. превосходные цезиевые атомные часы для

контроля частоты кварцевого генератора, образующие вместе эталон времени и частоты. С 1958 г. он был принят в качестве эталона в службе времени во всех обсерваториях мира.

Создание современных молекулярных часов на пучке молекул аммиака основывается на результатах исследований, проведенных Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым в Физическом институте АН СССР и в Колумбийском университете (США) Ч. Таунсом, Дж. Гордоном и Х. Цайгером в 1954—1955 гг. Им впервые удалось получить спектральную линию индуцированного излучения и на этой основе создать генератор на пучке молекул аммиака. За эти исследования им была присуждена Нобелевская премия. До этого открытия принято было считать невозможным или исключительно трудным получить эффект индуцированного излучения, поскольку в обычных условиях процесс поглощения радиоволн заслоняет процесс индуцированного излучения. Для получения такого эффекта нужно было нарушить термодинамическое равновесие и обеспечить преобладание молекул на верхнем энергетическом уровне, т. е. преобладание так называемых активных молекул. А это было связано с переходом молекул из состояний с более высокой энергией в состояние с меньшей энергией. В этом случае имеет место увеличение внешнего поля за счет излучения энергии и перехода из высшего уровня E_n на низший энергетический уровень E_m .

Для создания атомных часов, наоборот, требуется интенсивное поглощение радиоволн на определенных частотах, вызванное переходом атомов из состояний с меньшей энергией. Такой процесс приводит к уменьшению внешнего поля и носит название резонансного поглощения.

Современные устройства, применяемые для обеспечения резонансного поглощения и индуцированного излучения, известны под названием резонатора, осциллятора и генератора.

Резонатор — прибор пассивный, хотя и является неотъемлемой частью атомных и молекулярных часов. Он играет роль высокостабильного частотного дискриминатора, когда туда направлены пучки атомов или молекул и там возникает электромагнитное поле под действием задающего кварцевого генератора, а затем и взаимодействие этого поля с осциллятором — пучком атомов.

Резонатор позволяет сравнивать измеренную резонансную частоту пучка атомов, включенных в цепь автоподстройки, с частотой задающего кварцевого генератора и сохранять связь и преемственность между отдельными сравнениями. Резонатор настраивается на работу с радиоволнами таким образом, чтобы он мог служить в качестве колебательного контура в области сверхвысоких частот. При условии настройки резонатора на определенную длину волн распространение в нем электромагнитной энергии будет происходить с незначительным затуханием. Обычный контур, состоящий из катушки самоиндукции и конденсатора, не может быть использован в области высокочастотных колебаний в качестве колебательного контура.

Осциллятор. В современных атомных и молекулярных часах в качестве осциллятора служит атомный или молекулярный (квантовый) эталон частоты. Источник эталонной частоты у атомных цезиевых, рубидиевых, таллиевых часов имеет пассивный характер, так как ход их регулируется с помощью спектральной линии поглощения при резонансном переходе соответствующих пучков атома из одного квантового состояния в другое. Источник другого типа эталонной частоты имеет активный характер, и они известны как квантовые генераторы. Из них наиболее разработаны водородный квантовый генератор на пучке атомарного водорода и молекулярный квантовый генератор на пучке молекул аммиака, наделенные способностью (эффектом) индуцированного испускания.

Для выявления собственной частоты атомов цезия используется эффект резонансного поглощения, возникающий под действием электромагнитного поля, создаваемого задающим кварцевым генератором. Эффект резонансного поглощения оказывается наибольшим при совпадении собственной частоты колебаний атома цезия и частоты переменного тока, задаваемого радиотехническим генератором, стабилизированным кварцем. Если частота магнитных колебаний далека от собственной частоты атома цезия, пучки атомов не взаимодействуют.

Собственная частота колебаний атома цезия обладает весьма высокой стабильностью и поэтому может быть использована для автоподстройки и стабилизации кварцевого генератора, частота которого под действием дестабилизирующего фактора — старения — может существенно изменяться.

Генератор. Создание генератора предполагает получение тем или иным путем молекулярной системы с преобладанием в ней так называемых активных молекул или молекул, находящихся на верхнем энергетическом уровне. Тогда можно получить систему, возбуждающую колебания вследствие эффекта индуцированного испускания. Эта задача раньше всего была решена путем построения мазера на пучке молекул аммиака NH_3 . Используя в молекулярной системе эти пучки, удалось устранить в ней ряд дестабилизирующих взаимодействий, вызываемых прежде всего эффектом Допплера.

Создание молекулярных и атомных часов является весьма сложной технической проблемой, так как при этом приходится иметь дело со сложной и недолговечной аппаратурой — электрическими лампами особого назначения, с устройствами для поддержания вакуума и температуры на определенном уровне, с необходимостью ограждения от возможных неуправляемых физико-химических реакций со стенками или с элементами монтажа.

Большим неудобством в молекулярных часах является необходимость поддержания вакуума в камере регулятора путем постоянного вымораживания аммиака и применения непрерывно действующих форвакуумных систем.

Цезиевые атомные часы. Название «атомные часы» первоначально было дано аммиачным часам 1948 г., хотя они по своей сущности были молекулярными часами. Собственно же атомные часы появились в 1955 г. Они были основаны на применении спектральной линии магнитной сверхтонкой структуры цезия и получили название цезиевых атомных часов, а в США — «Атомикрона». «Маятником» в этих часах служат атомы цезия,

Устройство атомных часов не связано с использованием атомной энергии, т. е. с распадом атома. Эти атомы обладают малым количеством энергии по сравнению со световыми волнами. Отсюда возникла проблема—как получить сигналы из недр вещества от атома цезия без его распада. Выход из затруднения был найден благодаря использованию специфических свойств атома цезия.

Атом цезия состоит из ядра, окруженного множеством электронов, а во внешнем слое имеется только один электрон. Ядро атома цезия обладает естественным магнетизмом, магнитными свойствами обладает и электрон во внешнем его слое. От взаимной ориентации магнитных моментов, спинов ядра и электрона и зависит энергия атома цезия.

В неоднородном магнитном поле каждый атом начинает вести себя, как маленький магнит. В зависимости от взаимной ориентации между спином ядра и электрона будет меняться и характер поведения атома цезия. Когда имеет место излучение или поглощение кванта электромагнитного поля, ориентация спина изменяется на противоположную, тогда внешнее магнитное поле будет отклонять атом тоже в противоположную сторону. Для квантовой радиотехники наибольший интерес представляют такие переходы атома из одного состояния в другое, которые дают частоты, не зависящие от магнитного поля.

Используя магнитные свойства пучка атомов цезия, удалось получить эффект резонансного поглощения на основе настройки электронной цепи синхронно с собственной частотой колебания этого пучка. Так и были созданы цезиевые атомные часы.

На этом пути наибольшие трудности состояли не столько в настройке электрической цепи средствами, электроники, сколько в возможности найти эффективные средства для использования магнитных свойств атома цезия для получения эффекта резонансного поглощения. Созданию адекватной этому требованию вакуумной трубки с атомным пучком предшествовали продолжительные изыскания в ряде стран, которые завершились блестящими работами в Колумбийском университете. Эти исследования имели отношение к изучению поведения молекул и атомов в различных их состояниях. Л. Эссен [348, 224] отмечает интернациональный характер всех этих работ. Результаты их могут быть переданы простой по виду схемой (рис. 268). Эта схема лежит в основе устройства атомной лучевой трубки с атомным пучком, использованной в атомных часах в качестве резонатора. Она, будучи включена в цепь автоподстройки частоты, играет роль высокостабильного дискриминатора с эквивалентной добротностью колебательного контура $5 \cdot 10^6$.

Атомно-лучевая медная трубка с глубоким вакуумом имеет длину 1524 мм; своими концами она установлена на двух пьедесталах (рис. 269). В начале трубки (см. рис. 268) помещен источник атомов цезия, расположенный в миниатюрной электрической печи /. Здесь атомы цезия находятся в состоянии нагрева (до

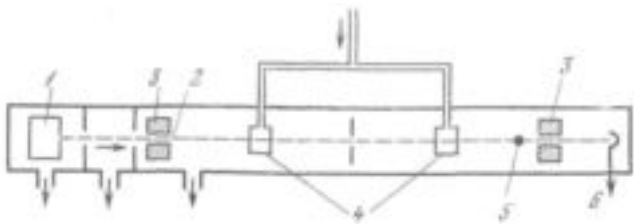


Рис. 268. Атомно-лучевая трубка цезиевых часов

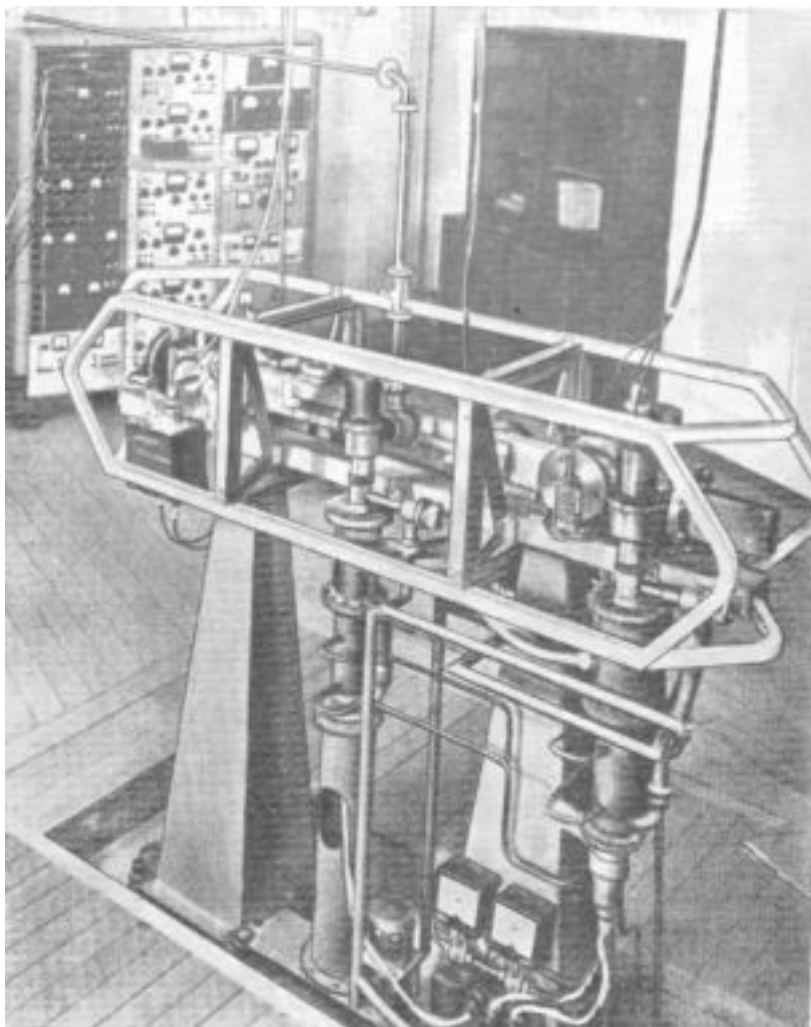


Рис. 269. Схема цезиевых атомных часов

200°); затем они проходят через щель 2, разделенную на множество каналов. Так обеспечивается формирование весьма узкого пучка атомов цезия.

Покидая печь, атомный пучок продолжает сохранять те же направление и скорость, какие он имел до этого, т. е. обладает обеими возможными ориентациями магнитных моментов электронов относительно ядер. Однако после прохождения поля магнита 3 пучок разделяется на два: атомы, обладающие большей энергией, притягиваются северным полюсом магнита и оседают на стенки трубки, в то время как атомы с меньшей энергией, отталкиваются от северного полюса магнита 3 в направлении объемных резонаторов 4 и проходят между двумя резонаторами. Наличие двух разнесенных на некоторое расстояние резонаторов необходимо для обеспечения узкой спектральной линии пучков атомов цезия.

Если частота электромагнитных колебаний в резонаторах далека от собственной частоты атома цезия, то атомы пучка не взаимодействуют. Частота линии цезия лежит вблизи 9192 МГц, так что необходимо возбуждать переменное магнитное поле этой частоты. Более того, если требуется разрешающая способность порядка 10^{-10} , то возбуждающая частота должна быть монохроматична с точностью до 1 Гц. Для этого частота 5 МГц подстраиваемого кварцевого генератора преобразуется в сложном преобразователе, чтобы она была равна 9 192 631 840 Гц.

Для осуществления таких преобразований служит ряд электронных цепей. Сначала частота 5 МГц кварцевого генератора с помощью умножителя частоты доводится до значения 9180 МГц (5-2-3-3-3-2-17), однако с недостаточной мощностью. Мощность сигнала увеличивается в клистроне, который придает дополнительную энергию, но с частотой 9147 МГц. Эта частота на 33 МГц отлична от первой ступени преобразования. Затем сигнал смешивается с сигналом частоты 12 631 184 МГц, который получен от преобразования частоты 5 мГц следующим образом:

$$12631184 = \left(5 + \frac{5}{5} + \frac{5}{5 \cdot 10} \cdot 3 + \frac{5}{5 \cdot 10} \cdot 4 \cdot 7 - \frac{5}{5 \cdot 10} \right) \cdot \frac{9}{10} \cdot 2$$

336. 1101

В результате такого синтеза получается новый сигнал с частотой 45,63184 МГц. После усиления и фильтрации эта частица снова усиливается в клистроне (9147 МГц), после чего получается окончательная частота 9 192 631 840 Гц. Полученное высокочастотное напряжение, будучи модулировано по фазе напряжения с частотой 100 Гц, подается на трубку.

При совпадении частоты электромагнитных колебаний с собственной частотой цезия достигается эффект резонансного поглощения: атомы пучка поглощают кванты поля. Поле второго магнита 5 выбрано так, что оно обладает способностью собирать такие пучки атомов на детектор с поверхностной ионизацией.

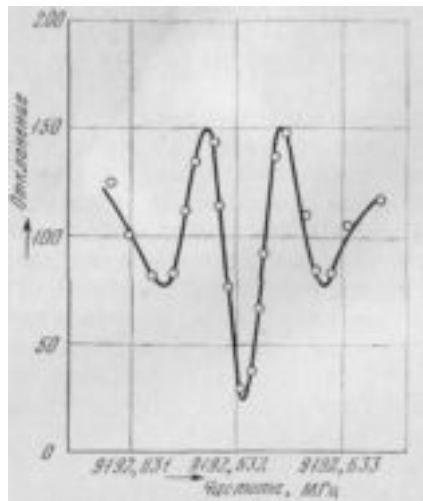


Рис. 270. Острота настройки цезиевого резонанса

Последний имеет вид узкой вольфрамовой ленточки, нагретой примерно до 1000° . Когда атомы цезия попадают на поверхность раскаленного вольфрама, они отдают ему свои внешние электроны и покидают его в виде положительных ионов. Собирая эти ионы на коллектор, окружающий детектор и включенный в схему для измерения ионного тока, можно измерить ионный ток и количество атомов цезия, попавших на вольфрам.

Этот чрезвычайно удобный и чувствительный метод регистрации в значительной мере облегчил создание атомных часов, так как позволил по изменению величины ионного

тока выявлять совпадение частоты повышенной гармоники задающего кварцевого генератора с собственной частотой цезия. Совпадение должно быть осуществлено с точностью $1/9\,000\,000$, для того чтобы могло иметь место резонансное поглощение и атомы цезия могли двигаться в направлении детекторов (рис. 270). Эта точность настройки была уже достигнута в первой модели цезиевых атомных часов. Погрешность их хода составляла всего 1 с за 300 лет.

Обратная связь с кварцевым генератором осуществляется через детектор, ионный умножитель и блок автоматической подстройки частоты. В случае ухода частоты блок вырабатывает сигнал ошибки (пропорциональный отклонению частоты гармоники задающего кварцевого генератора от частоты спектральной линии атомов цезия). Выходной вал серводвигателя поворачивается в ту или другую сторону в зависимости от фазового сдвига сигнала на умножителе относительно модулирующего напряжения. Этот сдвиг определяется величиной и знаком ухода кварцевого регулятора относительно частоты цезия. Вместе с поворотом вала серводвигателя поворачивается в ту или другую сторону ротор регулятора, корректирующего частоту кварцевого генератора вплоть до точного совпадения частоты на выходе преобразователя с частотой собственных колебаний цезия. Корректировка частоты кварцевого генератора происходит так, чтобы сигнал ошибки стал возможно минимальным. Чувствительность блока автоматической подстройки такова, что отклонение умноженной частоты кварца от заданного значения на одну миллиардную, т. е. на 10 Гц, уже может быть замечено и легко

исправлено автоматически, а при особых мерах можно достичь точности в 10 раз большей.

Построенные английскими учеными Л. Эссеном и Д. Перри цезиевые атомные часы работают в службе времени с 1958 г. Они применяются для периодического контроля частоты группы кварцевых часов, образующих английский эталон частоты и времени. Наибольшая же стабильность частоты, которая достигнута в настоящее время в цезиевых часах, имеет порядок $3 \cdot 10^{-12}$.

Частоту кварцевого генератора можно делить обычным путем и получить низкочастотный сигнал для управления индикаторным или исполнительным устройством.

Принципиальная схема атомных часов «Атомихрон» (рис.271), созданных в США, в принципе не отличается от схемы цезиевых часов, но они имеют иное конструктивное выполнение. Исследовательская и конструкторская работа по усовершенствованию атомных часов в настоящее время сводится к дальнейшему повышению точности их хода и к созданию переносных малогабаритных атомных часов.

Наиболее перспективными в этом отношении являются не «Атомихрон», а новые модели атомных часов, появившихся в последнее время. По свидетельству Бернарда Каньяна, точность хода рубидиевых часов измеряется величиной 10^{-10} . «Чтобы обнаружить атомный переход рубидия, в этих новых часах использована техника оптической накачки, разработанная во Франции Кастнером и Бросселем. «Атомихрон» занимает целый шкаф, а рубидиевые часы, благодаря новым техническим устройствам и успехам миниатюризации, размещаются в небольшом чемодане» [12,75].

Водородный мазер. Получить квантовый генератор (мазер) на атомном пучке долго не удавалось. Поэтому большой интерес представляет осуществление водородного лазера, в котором используется пучок атомов водорода. Впервые он был разработан в Гарвардском университете (США) в 1960 г. Гольденбергом, Клеппером и Рамзаем. Первый образец водородного лазера Н-1 был создан Швейцарской исследовательской лабораторией (ZSRH) в 1961 г. В результате его усовершенствования в 1965 г. был изготовлен второй мазер Н-2, а в 1966 г. — третий образец водородного лазера Н-3. Эти атомные часы считаются весьма перспективными для применения их в качестве эталона единицы времени. Потенциальные возможности лазера изучаются многими лабораториями мира.

Водородная линия, на которой работает мазер, принадлежит к тому же классу (так называемых свертонких линий), к которым относится и спектральная линия цезиевых часов. Однако частота водородной линии меньше, она равна 1420, 40577 МГц. По своим магнитным свойствам атомы водорода близки к атомам цезия или к атомам щелочных металлов. Они обладают эффективным магнитным моментом, проекция которого может иметь два противоположных знака в зависимости от состояния водо-

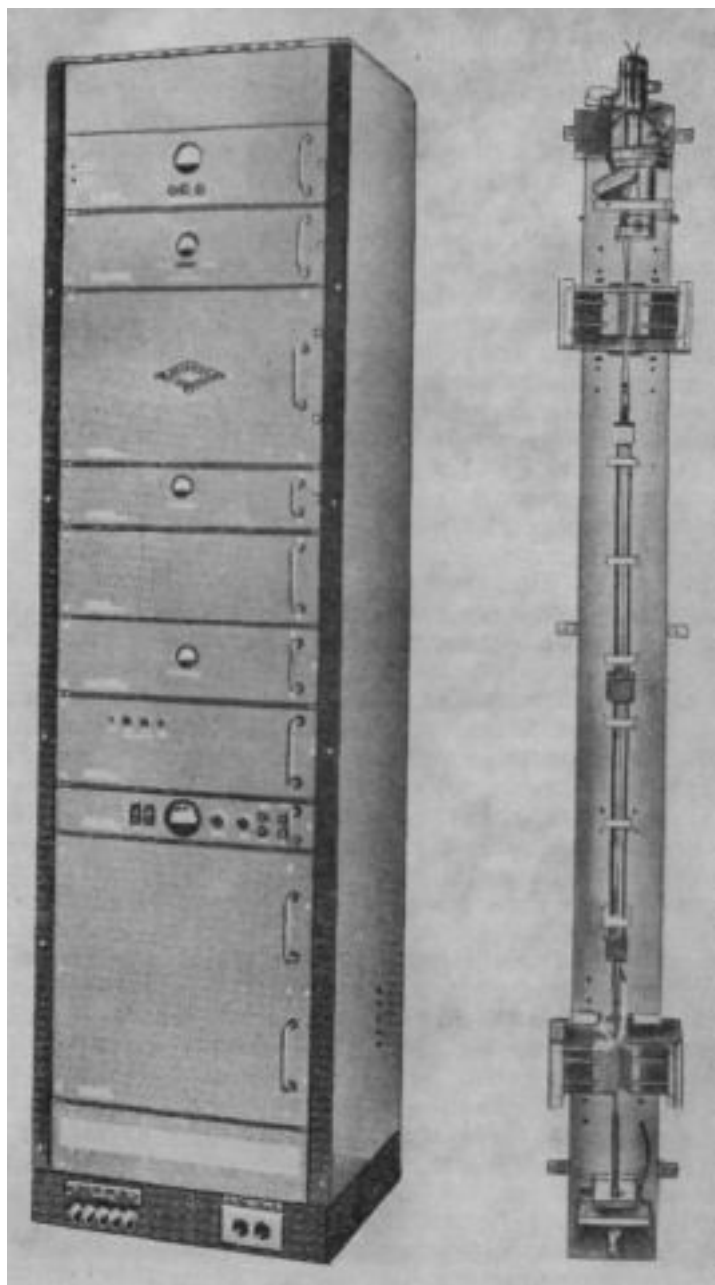


Рис. 271. Внешний вид атомных часов «Атомихрон»

рода, и поддаются сортировке в неравномерном магнитном поле. Количество атомов, находящихся в этих двух состояниях, разбивается в атомном пучке почти поровну, причем активных атомов или атомов с более высокой энергией несколько меньше. Задачей магнитного сепаратора является выделение этих последних. Магнитная трубка сепаратора устроена по аналогии с квадрупольным конденсатором так, чтобы активные атомы направлялись по оси прямо в резонатор, а остальные рассеивались.

После сортировки на верхнем сверхтонком уровне атомный пучок вводится в колбу из кварцевого стекла, помещенную в резонатор, настроенный на основную частоту спектральной линии водорода. Внутри колбы, куда попадает атомный пучок, поддерживается высокий вакуум. Внутренняя поверхность колбы покрывается инертным веществом — политетрафторэтиленом. Это высокомолекулярное вещество имеет то свойство, что при взаимодействии с ним атомы водорода, не меняя энергетического состояния, могут изменять траектории своего движения. Каждый атом водорода совершает множество столкновений со стенками, поэтому время пролета в резонаторе соответственно удлиняется. Таким образом, атомы движутся по случайным направлениям внутри колбы до тех пор, пока не излучат квант электромагнитной энергии и не вылетят из колбы и из резонатора. В нормальных условиях при переходе атомов на более низкий энергетический уровень выделяется достаточно энергии для поддержания в резонаторе стабильных колебаний на основной частоте спектральной линии водорода.

Благодаря тому, что на стенках колбы имеется покрытие, происходит небольшой сдвиг частоты, но требуется принимать меры для обеспечения постоянства магнитного поля и точной настройки объемного резонатора. Эти трудности постепенно были преодолены. В последних швейцарских образцах водородного мазера осуществлен ряд усовершенствований, которые сводились в основном к улучшению магнитного экрана и повышению эффективности термостатирования. Магнитный экран состоит из шести концентрических цилиндров из муметалла, а температура рабочей зоны контролируется пятью термостатами. В швейцарских образцах мазера в настоящее время достигнута нестабильность частоты порядка $1-10^{-13}$ [374,5].

Действительная частота спектральной линии цезия и водорода слишком высокая, и измерить ее непосредственно нельзя. Линия используется для контролирования частоты кварцевого осциллятора. В системе водородного мазера применен кварцевый резонатор с частотой 5001, 428 МГц.

В качестве базы единицы времени, по свидетельству Л. Эссена, принят цезиевый эталон с атомно-лучевой трубкой; потенциальным эталоном является водородный мазер, а рабочим — рубидиевый элемент.

Рубидиевые мазеры с «оптической накачкой» предложены в 1956 г. Д. Карвером. На их основе созданы атомные часы, обыч-

но называемые эталонами с газовым осциллятором. Атомный пар — в этом случае рубидиевый — заключают в небольшую кварцевую камеру диаметром около 5 см. Камера содержит также инертный газ под давлением 10 мм рт. ст. Этот буферный газ не допускает расширения спектральной линии из-за доплеровского эффекта и столкновений и увеличивает продолжительность заданного состояния атомов. Камера освещается рубидиевой лампой, которая увеличивает плотность атомов на верхнем сверхтонком уровне вследствие процесса, известного под названием «оптической накачки». При дополнительном освещении камеры радиоволнами линейной частоты создаются переходы к низкому сверхтонкому уровню; тогда света поглощается больше, вследствие чего уменьшается количество света, прошедшего через колбу. Уменьшение переданного света используется для индикации, или оптического управления, резонансным состоянием и кварцевым осциллятором. Между кварцевым генератором и спектральной линией атомов рубидия, как и в цезиевых часах, имеется довольно сложный частотный преобразователь. Инертный газ создает нежелательный эффект — сдвиг частоты, который зависит от давления газа и точно рассчитать который трудно. Поэтому окончательную регулировку частоты приходится производить по цезиевому эталону путем изменения магнитного поля, в котором находится камера.

Для предотвращения ухода частоты от действия магнитных полей в одном из патентов, выданных недавно во Франции, предусмотрена система, основанная на смещении двух типов различных элементов. В резонаторный баллон, например, помещают смесь рубидия и цезия. В этом случае элементом, задающим частоту, является цезий. Резонансный баллон часов при этом защищен от влияния внешних магнитных полей, а внутри баллона строго поддерживается поле заданного напряжения, что позволяет значительно повысить стабильность частоты.

Рубидиевый мазер послужил основой для создания сравнительно малогабаритных переносных атомных часов и портативных датчиков времени высокой частоты.

Рубидиевые мазеры с оптическим управлением дают стабильность порядка 10^{-11} и могут быть созданы в габаритах, пригодных для авиации.

Мазер с оптическим управлением. Весьма перспективным для создания малогабаритных переносных атомных часов является мазер с оптическим световым управлением (рис. 272). Свет от натриевой лампы 1 фокусируется оптической системой 2 и пропускается через кварцевую колбу 4, изнутри покрытую высокомолекулярным парафином и содержащую пары натрия в смеси с аргоном; последний служит в качестве буферного газа. Атомная ячейка помещается в настроенный объемный резонатор 3, в который подаются электромагнитные колебания через входной волновод 6. Весь резонатор 3 находится в печи 7, создающей температуру, необходимую для испарения натрия. Фотоэлемент

5 регистрирует изменения в интенсивности света и управляет соответствующим образом частотой кварцевого генератора, уменьшая ее отклонение. Частота сигнала кварцевого генератора делится обычным образом, и сигналы с выхода делителя управляют индикаторным устройством.

Подобные регуляторы обеспечивают точность порядка $1-10^{-10}$ относительных единиц. В настоящее время выпускаются миниатюрные мазеры объемом до 3 дм³.

Атомные часы на пучке таллия. Не менее перспективным является создание наряду с часами цезиевыми, водородными, рубидиевыми также и часов на атомном пучке таллия.

Первый, кто указал еще в 1957 г. на то, что часы на пучке таллия могут обладать рядом преимуществ даже по сравнению с цезиевыми часами, был профессор П. Куш (США). Опыты, проведенные в этом направлении за последние шесть лет, оказались довольно успешными. В 1962 г. Вонаномии были созданы часы на пучке таллия в Невшательской обсерватории. Несколько месяцев спустя таллиевые атомные часы были установлены и приведены в действие Р. Бехлером и Д. Газе в Национальном бюро стандартов (США). А совсем недавно Р. Лицею удалось разработать специальную малогабаритную атомно-лучевую трубку с таллиевым атомным пучком, на основе которой фирмой «Гаулетт паккард» созданы портативные таллиевые часы [368, 70—78].

Таллий может быть использован в атомно-лучевых трубках с пучком этого элемента таким же образом, как цезий, но по сравнению с ним имеет ряд преимуществ: относительная чувствительность таллия к воздействию магнитного поля при переходе с основного энергетического уровня на другой в 48 раз меньше, чем у цезия. Предполагают, что при известном совершенстве резонаторного устройства в таллиевых часах можно получить более высокую долговременную стабильность частоты, чем та, которая достигнута в цезиевых часах и даже в водородных мазерах. Это подтверждается тем, что уже в первых, еще недостаточно совершенных экспериментальных образцах таллиевых часов достигнута точность, не уступающая точности лучших цезиевых часов и водородных мазеров.

Молекулярный мазер на пучке аммиака. Развитие техники мазера началось с 1953 г. и раньше всего — на использовании

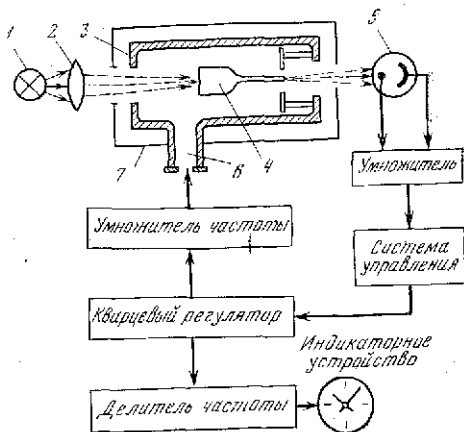


Рис. 272. Схема мазера с оптическим световым управлением

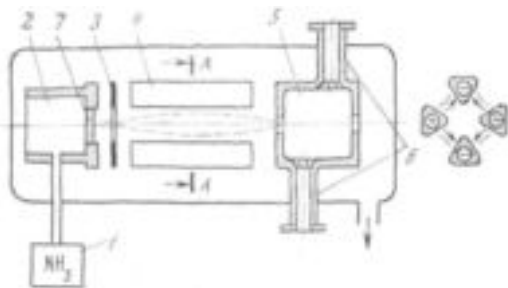


Рис. 273. Схема молекулярного (аммиачного) генератора «Мазер»

пучка молекул аммиака. Мазер подобного типа был изобретен, как уже отмечалось, в Колумбийском университете Ч. Таунсом и независимо от него Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым в Физическом институте АН СССР. Таунс вместе с Дж. Гордоном и Х. Цайгером в 1953 г. детально изучали характеристики частотных колебаний мазера на пучке аммиака.

Первая работающая модель молекулярных часов на пучке аммиака была создана в швейцарской лаборатории ZSRH в 1956 г. с относительной точностью порядка 10^{-9} . Эти часы были на 250 электронных лампах, весили 370 кг и имели довольно большие размеры. В 1960 г. эта швейцарская лаборатория на новых образцах часов довела их до стабильности 10^{-11} в то время как в молекулярных аммиачных часах 1948 г. долговременная стабильность была лишь порядка $1 \cdot 10^{-7}$ в первой модели и $2 \cdot 10^{-8}$ во второй. Но при всем старании и несмотря на интенсивные исследования в этой области, продолжавшиеся в Швейцарии, США, СССР, Японии, до сих пор не удалось полностью устранить имеющиеся трудности в эксплуатации этих мазеров; теперь стало очевидным, что водородный мазер обладает рядом крупных преимуществ по сравнению с аммиачным мазером и может успешно с ним соперничать.

Молекулярный мазер на пучке аммиака до настоящего времени имел малый срок непрерывной работы (в основном это срок зарастания диафрагмы кристаллами аммиака). Поэтому применять его в схемах непрерывно работающих часов было затруднительно и их применяли в качестве реперов частоты, т. е. для контроля за изменением частоты регуляторов кварцевых часов.

Молекулярные часы «Мазер» (рис. 273) состоят из источника аммиака 1 с жиклером 2, диафрагмы 3, «ловушки» 4, резонатора 5, волновода 6. Аммиак тщательно очищенный и обезвреженный, находится в резервуаре при комнатной температуре. Посредством крана с градуированной шкалой давление газа в источнике может регулироваться в пределах $1,3 \cdot (10^{-5} - 10^{-4})$ Па. Газ поступает в жиклер, представляющий собой отверстие, перекрытое ме-

таллической сеткой 3 с ячейками диаметром 0,1 мм. Через сечение жиклера в секунду проходит 10^{18} молекул аммиака. Газообразный аммиак подается через жиклер узким пучком посредством тонкого вводного канала (капилляра). Для этого потока молекул не требуется применять печку, как в цезиевых часах.

Молекула аммиака в разных состояниях обладает разными энергетическими уровнями, поэтому посредством электрических полей можно управлять пучком, производить сепарацию и фокусировку молекул путем создания фокусирующего устройства в виде квадрупольного конденсатора 4. Он выполнен из 12 параллельных металлических стержней толщиной 1 мм и длиной 200—300 мм, закрепленных концами в двух металлических цилиндрах: один из них имеет положительный, другой — отрицательный статический заряд. Шесть стержней через один заряжены положительно, а шесть — отрицательно. Внутри этого устройства образуется неоднородное электрическое поле, с помощью которого производится отбор молекул аммиака одного направления и рассеивание молекул другого направления. Такой отбор возможен потому, что молекулы аммиака отличаются знаком электрической поляризуемости, благодаря чему молекулярный пучок можно разделить на два пучка, разнородных по составу. Молекулы, обладающие свойством излучать, фокусируются вдоль оси цилиндра, где напряженность поля практически равна нулю, а молекулы с обратным свойством удаляются в «ловушку». Молекулы на выходе фокусирующего устройства, или квадрупольного конденсатора, обладают избыточной энергией. «Ловушка» представляет собой сосуд Дьюара в виде полого цилиндра, окружающего фокусирующее устройство. Благодаря применению жиклера и вакуумной камеры с электростатическим фокусированием молекул в основном одного направления достигается упорядоченное движение молекул аммиака и заметное уменьшение ширины спектральной линии молекул аммиака (с 200 до 6 кГц).

Все части установки, где распространяется пучок молекул аммиака, находятся под глубоким вакуумом.

Пройдя через фокусирующее устройство, или длинную электрическую линзу, молекулярный пучок попадает в полый резонатор, куда излучаются радиоволны со стандартной частотой 23 870 МГц. Резонатор выполняется в виде отрезка прямоугольной трубы со стенками, обладающими хорошей электропроводностью в расчете на частоту соответствующей спектральной линии аммиака со стандартной частотой, указанной выше. Он изготавливается из инвара и всегда термостатирован. Здесь поддерживается температура с точностью до сотой доли градуса. Поток молекул аммиака, попадая в резонатор, сразу же вступает во взаимодействие с ею переменным электромагнитным полем. Возбужденный резонатор, действуя электромагнитным полем на влетающие молекулы пучка аммиака, индуцирует излучение, и по мере того как оно усиливается, возбуждение резонатора также усиливается. Обратное воздействие ре-

зонатора на молекулы играет роль обратной связи, необходимой для всякого генерирования, чтобы могли совершиться автоколебания. Поток молекул оказывает постоянное воздействие на эту автоколебательную систему, подобную, по удачному сравнению профессора Л. Л. Мясникова, «действию смычка на скрипку, струи воздуха на свисток или электрической батареи в ламповом генераторе» [315, 39].

В 1959 г. в одной из швейцарских лабораторий были проведены исследовательские работы по сравнительному изучению работы атомных цезиевых часов и молекулярных часов «Мазер». Выводы, полученные в результате этих исследований, имели практическое значение. В цезиевых атомных часах удалось усовершенствовать конструкцию атомно-лучевой трубки, что позволило довести стабильность частоты в этих часах до $3 \cdot 10^{-11}$. Опытами подтверждена воспроизводимость этой величины. В этой же лаборатории была измерена ширина спектральной линии аммиачного эталона. Установлено, что наилучшие результаты дает применение вместо обычного аммиака NH_3 его изотопа $\text{N}_{15}\text{H}_{31}$. Собственная частота эталона «Мазер» измеряется с точностью $3 \cdot 10^{-11}$.

Практический опыт создания и эксплуатации атомных часов показывает, что теперь наибольшее значение для точного измерения времени получили атомные часы с применением пучка цезия, водородные часы, в которых используется эффект мазера, и рубидиевые часы (либо с газовым осциллятором, либо с оптическим управлением). Мазеры на пучке аммиака имеют меньшее распространение. Мазеры с оптическим управлением являются новым типом мазеров. Регулятор этого типа открывает новые возможности для создания как сравнительно малогабаритных переносных атомных часов, так и портативных датчиков времени высокой точности.

Дальнейшее повышение точности атомных часов предполагается осуществить за счет усиления сигнала по сравнению с шумами помех. Перспективным в этом отношении считается применение атомных пучков повышенной плотности и применение для этого метода оптической подкачки, или «двойного резонанса», путем создания среды с оптимальной температурой и защищенной от влияния магнитного поля и химически активных газов.

В настоящее время наибольшую нестабильность (порядка 10^{-13}) имеют водородные часы. Резонансные частоты водородных, рубидиевых и цезиевых часов равны 1420, 6835 и 9193 МГц. Объем современных атомных часов (в той же последовательности) составляет: 0,4; 0,015 и 0,04 м³, масса — 350, 20, 30 кг, потребляемая мощность — 200, 40 и 60 Вт.

Предельно возможная точность современных атомных часов — порядка 10^{-23} с [352, 23].

Атомное время

Первым эталоном, с которым сравнивали показания часов службы времени, был период вращения Земли вокруг своей оси относительно звезд, т. е. звездные сутки. Астрономические наблюдения были важнейшей задачей службы времени: от частоты и точности этих наблюдений фактически зависела равномерность шкалы времени. Хранение времени между астрономическими наблюдениями, осуществлявшимися с помощью различных типов астрономических часов, приводило к тому, что шкала времени сильно искажалась. С изобретением в 1930 г. кварцевых часов и использованием их в службах времени появилась возможность надежно хранить время в перерывах между наблюдениями. Кварцевые часы быстро совершенствовались и стало возможным использовать их как независимый эталон времени для небольших, в несколько месяцев, отрезков времени: на больших интервалах сказалось старение кварца, заметно изменившее ход часов. По этой причине кварцевые часы нельзя было использовать в качестве постоянного эталона времени. Поэтому с 1956 г. поправки часов стали вычисляться в системе всемирного времени (TV_2) по эфемеридному времени (ET). В качестве эталона была принята секунда, равная $1/31556925,9747$ части тропического года эпохи 1900 г. Однако эфемеридное время тоже нельзя считать идеально равномерным из-за ошибок наблюдений и неточности теории движения Луны.

Коренной перелом в вопросах хранения времени произошел с изобретением атомных и молекулярных стандартов частоты, с помощью которых физикам удалось создать независимые от вращения Земли эталоны времени исключительно высокой стабильности. Мы свидетели окончившегося соревнования между незримыми атомами и молекулами с небесными светилами за право быть хранителем времени. Если теперь и существует такое соревнование, то уже только между двумя системами: одна основана на применении атомов **в эталонах времени**, другая — на применении молекул. Обе эти системы свели погрешность определяемого времени к величинам меньшим 10^{-10} с, однако для обеих систем это еще не предел и, по-видимому, погрешность будет уменьшаться на один-два порядка. Задача ученых и конструкторов — создать такую систему атомных и молекулярных часов, в которых зависимость их хода от внешних условий была бы возможно минимальной. Независимая шкала времени, задаваемая с помощью атомных и молекулярных стандартов частоты, получила название атомного времени и условно обозначена TA-1. Результаты сравнения шкал атомного времени некоторых обсерваторий показывают, что на интервале в несколько лет продолжительность секунды атомного времени у различных обсерваторий изменяется на величину около 10^{-10} с.

Наличие атомного времени дает астрономам возможность производить самые тонкие исследования неравномерности вращения Земли, так как можно сравнить астрономическую секунду с другой, более точной и независимой от вращения Земли единицей времени. Астрономические наблюдения по-прежнему будут производиться, а их результаты использоваться для решения научных и практических задач, связанных с вращением Земли, для уточнения долгот и исходных данных, необходимых для геофизических исследований, и т. д. Атомную шкалу времени бессмысленно непрерывно контролировать с помощью астрономических наблюдений, так как точность этих наблюдений зна-

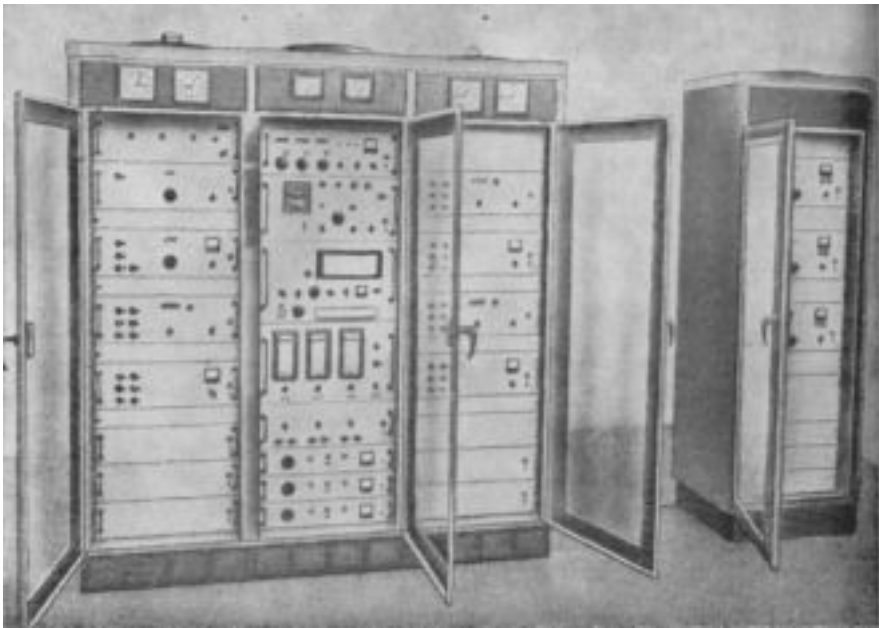


Рис. 274. Общий вид атомных часов

чительно ниже из-за ошибок наблюдений и неучтенных флуктуации во вращении Земли.

Атомное время хранится и поддерживается в результате непрерывной работы атомных часов, основа которых — атомный (квантовый) эталон частоты. Наилучшим способом построения атомных часов (рис. 274) является, как известно, управление ходом непрерывно работающих кварцевых часов с помощью атомного стандарта частоты. Поэтому молекулярные и атомные часы используются в комбинациях с кварцевыми часами.

XII Международная конференция мер и весов (Париж, 1964 г.) рекомендовала признать за величину атомной секунды продолжительность 9 192 770 колебаний излучения, соответствующего резонансной частоте энергетического перехода $F = 4, mF = 0 \leftarrow F = 3, mF = 0$ между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133, не возмущенного внешними полями. В дальнейшем XIII Генеральная конференция по мерам и весам (Париж, 1967 г.) утвердила это новое определение единицы времени.

В основу атомной секунды были положены результаты экспериментов, выполненные в Национальной физической лаборатории (Англия) над цезиевыми часами. Шкала атомного времени может основываться на одном эталоне или на осреднении показаний нескольких атомных эталонов отдельных лабораторий мира. Интегрирование частот атомных эталонов и вывод шкалы атомного времени проводит Международное бюро времени.

Теперь шкала атомного времени используется не только для научно-технических целей, но и во всей промышленности и в народном хозяйстве. В свя-

зи с этим стало возможным точное сравнение всех вторичных мер времени к, частоты с государственным эталоном, сопоставлять результаты выполненных измерений с единой шкалой времени.

Хотя шкалы атомного и астрономического времени являются независимыми, тем не менее взаимосвязь между ними необходимо поддержать с высокой степенью точности как относительно единицы времени, так и эпохи; 1900 г. Астрономические и атомные шкалы времени будут существовать параллельно и дополнять друг друга. В том случае, когда накопится расхождение между шкалой атомного времени, в которой транслируются сигналы точного времени системы всемирного координированного времени, и шкалой; астрономического всемирного времени, эта секунда атомного времени будет введена скачком — добавлением и вычитанием целой секунды. Иначе говоря,, если через несколько месяцев обнаружится «лишняя» секунда, то после сигнала точного времени $23^h59^m58^s$ наступит момент 0^h . Каких-либо принципиальных трудностей в преобразовании атомного времени в другую шкалу с установленным смещением или в обратном преобразовании с незначительной ошибкой не имеется [8,436].

В СССР шкалу атомного времени контролируют с помощью государственного эталона времени и частоты, который основан на группе кварцевых часов, подстраиваемых по стабильной частоте водородного мазера и молекулярных квантовых генераторов. Ведущие лаборатории служб времени других стран, имеющих атомные часы, формируют свои шкалы атомного времени,, например в Англии, на применении цезиевых часов.

Сигналы точного времени передаются службой времени, имеющей в своем распоряжении группу первоклассных кварцевых часов и атомные эталоны. На рис. 266 показана схема работы службы времени при подаче сигналов.

При подаче сигналов точного времени используется высокостабильная секунда, получаемая с помощью атомного эталона. Продолжительность этой секунды остается постоянной в течение всего года. От года к году продолжительность секунды может быть изменена, если шкала эфемеридного времени TV_z будет расходиться со временем, задаваемым сигналами. Значение расхождения определяется ежегодно в Международном бюро времени после предварительной консультации с различными службами времени. Чтобы система подач сигналов, производимая с помощью атомного эталона, была хорошо согласована с астрономической шкалой времени, ежегодно определяется среднегодовое значение частоты атомного эталона по шкале времени TV_2 .

Сигналы передаются радиопередатчиками с кварцевых часов-датчиков. Разнообразие программ передачи сигналов времени обусловлено требованиями, предъявляемыми к сигналам точного времени промышленностью и наукой. Часы-датчик снабжены программным устройством для подачи сигналов времени в определенные моменты и фазовращателем для установки на точное время с учетом поправки основных часов — хранителей времени.

Фазовращатели представляют собой специальные установочные механизмы, позволяющие изменять фазу частоты 100 кГц, подаваемой на вход делителя частоты. При этом повороте фазы на 360° соответствует сдвиг секундного импульса на выходе делителя на 0,00001 с. Поэтому ставить часы на точное время при помощи фазовращателя можно с высокой точностью. Чтобы изменить показание часов на 0,5 с, нужно, чтобы экраный диск сделал 50 тыс. оборотов, для чего ставят мотор. Направление вращения мотора можно из-

менять. Это позволяет как увеличивать, так и уменьшать показания часов. Фазовращатели могут быть изготовлены на различные частоты: 1, 10, 100 кГц, [8,436].

Когда изменение суточного хода контролируется по атомному эталону и с его учетом производятся сигналы времени, точность подачи их резко повышается. В этом случае изменение суточного хода контролируется с точностью порядка $\pm 0^s,00001$.

Электрические и электронные наручные часы

В последние десятилетия в развитии наручных часов отчетливо наметились две основные тенденции. Одна связана с дальнейшим усовершенствованием традиционных механических наручных часов с целью повышения точности и стабильности их хода, другая направлена на создание новых конструкций электрических и электронных наручных часов.

Основная идея совершенствования механических наручных часов заключается в стабилизации импульса, сообщаемого часовым механизмом, и в обеспечении изохронизма колебательной системы в различных положениях. Так, часы с автоматическим заводом, непрерывно подзаводящим пружину, часы со стабилизатором, выравнивающим момент на оси анкерного колеса, отличаются более стабильным режимом работы, чем часы, не имеющие их. Однако на этом пути трудно ожидать каких-либо кардинально новых технических решений, поскольку за длительный период существования механические часы в большей мере исчерпали ресурсы своего развития. Поэтому особый интерес представляет быстро развивающаяся область электрохронометрии. Электрические наручные часы способны работать в течение года (и более) от одной батареи. Увенчались успехом и усиленные поиски путей и средств для замены классической системы баланс—спираль новыми высокочастотными осцилляторами (камертон, кварц). Наручные камертонные часы выпускаются в США фирмой «Бюлова» миллионами штук. В настоящее время кварцевые наручные часы могут считаться уже вполне освоенными, серийное их производство налажено во многих странах (Швейцария, Япония, СССР и др.). Добротность новых осцилляторов значительно выше, чем добротность системы баланс—спираль. Необходимость преобразования относительно высокой частоты таких осцилляторов в сравнительно медленное движение стрелок связано с рядом трудностей. Они стали причиной того, что малогабаритные часы с такими осцилляторами появились с большим запозданием. Однако в настоящее время основные проблемы, стоящие на пути создания электронно-механических часов, получили более или менее удовлетворительное решение.

Электрические наручные часы. Отдельные попытки использовать достижения электротехники для создания электромехани-

ческих хронометров (с балансовым регулятором) имели место еще во второй половине XIX в. Именно к 1872 г. относится создание электромеханических хронометров И. А. Данишевским и к 1882 г.—И. А. Тимченко [19, 192—197] на основе работ русской электротехнической школы, во главе которой тогда стояли Р. Н. Яблочков, А. Н. Лодыгин и др. В 1904 г. в Женеве был выдан Н. А. Комприче патент на электрический морской хронометр [339]. К концу XIX в. среди изобретателей разных стран появляется интерес к созданию карманных часов с электрическим приводом. В 1899 г. патент на электромеханические часы обычного типа был выдан Д. Бютхеру (США), а в 1900 г.— на электромеханический спусковой регулятор И. Купцову (Россия) [19, 200]. В 1920 г. два французских изобретателя изготовили электрические карманные часы [33, 6, 68]. Хотя в данной области было заявлено множество патентов, их реализация задерживалась из-за непреодолимых в то время Трудностей, связанных с отсутствием миниатюрных батарей и с проблемой осуществления контактов и надежного спускового регулятора.

Исследования с целью создания наручных часов с электрическим приводом становятся более интенсивными начиная с 1945 г. В США и Франции на проведение этих исследований были вложены значительные средства. В печати того времени высказывались оптимистические прогнозы о том, что в 1953 г. появятся электронные наручные часы и часовая промышленность переключится на их изготовление взамен механических часов. К сожалению, производство таких наручных часов вызвало большие трудности; их выпуск был на время прекращен. Тем не менее в производстве электрических часов крупного калибра были достигнуты значительные успехи; эти часы стали вытеснять даже механические часы.

Производство нового типа наручных часов началось не с электронных, а с электромеханических контактных часов. Они были созданы на основе традиционной, хорошо освоенной часовщиками системы баланс—спираль с применением в качестве источника энергии миниатюрной батареи. Первые промышленно изготовленные образцы наручных электрических часов появились во Франции в 1954 г., а серийное их изготовление впервые осуществила в январе 1957 г. американская фирма «Гамильтон». Особенно интенсивно производство наручных электрических часов стало развиваться с 1965 г.

Кинематическая схема электрических контактных часов существенно отличается от кинематической схемы обычных механических наручных часов. В механических часах движение стрелок осуществляется за счет энергии, подаваемой от заводной пружины, а в контактных электрических наручных часах — за счет энергии миниатюрной батареи, обладающей свойством сохранять длительное время электродвижущую силу на одном уровне. Соединение батареи с механизмом часов осуществля-

ется при помощи гибкого провода, проходящего сквозь ушки корпуса.

Энергия от батареи непосредственно сообщается системе баланс—спираль без использования для этой цели колесной передачи и спускового устройства. Преобразователем и распределителем этой энергии является электромагнитный или магнитоэлектрический привод. Взаимодействие между магнитным полем, возникающим в импульсной катушке, когда через нее вследствие замыкания электрического контакта проходит ток, и полем постоянного магнита обеспечивает передачу импульса балансу.

Баланс у контактных электромеханических часов имеет значительно большую свободу колебания, чем в механических часах. Однако поскольку в этих часах сохраняется система баланс—спираль, то и сохраняются свойственные этой системе недостатки. Одним из недостатков является то, что в кончиках оси баланса — цапфах (несмотря на наличие рубиновых камней) — имеет место весьма значительное трение. Баланс трудно уравновесить таким образом, чтобы центр его тяжести был приведен строго к оси вращения, а это безусловно необходимо для обеспечения устойчивости колебания баланса.

Кроме того, система баланс—спираль выполняет одновременно функцию передачи движения колесной системы для счетного или индикаторного механизма, что также нежелательно с точки зрения точности часов.

Но наиболее уязвимым местом в контактных электрических часах являются сами контакты. Они замыкаются до 150 раз в минуту, т. е. около 80 млн. раз в год, и часы довольно быстро выходят из строя.

Все выпускаемые в настоящее время электрические наручные часы можно разделить на две основные категории: часы с подвижной катушкой (или с магнитоэлектрическим приводом) и часы с подвижным сердечником (или с электромагнитным приводом). Система с подвижным сердечником более проста, но менее эффективна. Система с подвижной катушкой более сложна, в ней использован принцип отталкивания одноименных магнитных полей. Но она имеет ряд преимуществ: ее импульсный режим менее подвержен действию блуждающих магнитных полей, она не требует для искрогашения ни диода, ни сопротивления. Недостаток системы—довольно высокая стоимость производства.

Электрические наручные часы с подвижной катушкой изготавливаются в настоящее время фирмой «Гамильтон», «Таймекс», «Электрик», часы с подвижным сердечником — фирмами «Лип», «Эбош» и «Эльджин» [356, 22, 24].

В деле разработки конструкции наручных часов с магнитоэлектрическим приводом большую роль сыграла фирма «Гамильтон»; в вопросе же разработки часов с электромагнитным приводом такую же роль сыграла французская фирма «Лип».

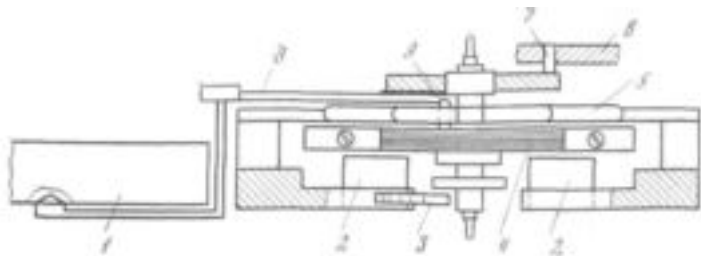


Рис. 275. Схема импульсной системы электрических наручных часов «Гамильтон-500»

1 — источник питания; 2 — постоянный магнит; 3 — стрелочный механизм; 4 — баланс; 5 — шунт-пластина; 6 — мост баланса; 7 — штифт; 8 — контактная пружина; 9 — спусковой контакт

Работы были начаты в 1952 г., а серийный выпуск первой модели контактных часов с электромагнитным приводом и питанием от двух источников тока был освоен в 1956 г. [56, 27].

Магнитоэлектрические контактные наручные часы. Первой моделью магнитоэлектрических контактных наручных часов, выпущенных американской фирмой «Гамильтон» в 1957 г., была модель «Гамильтон-500». Часы называются магнитоэлектрическими потому, что они снабжены магнитоэлектрической системой привода, а контактными — поскольку в этой системе привода импульс вызывается путем электрического контакта. Часы «Гамильтон-500» были использованы в качестве конструкционной базы многими зарубежными фирмами.

По габаритам «Гамильтон-500» не отличается от обычных механических наручных часов. Механизм часов собран в три этажа: верхний занят балансом, средняя часть — магнитной системой, а низ — стрелочным механизмом. Ось баланса проходит все три этажа; для ее защиты от поломки применены амортизаторы. Для обеспечения устойчивости работы магнитоэлектрического хода в этих часах используется баланс большего диаметра, чем в механических часах равного калибра.

Источником энергии является сухой миниатюрный гальванический элемент типа Лекланше. Импульсная система часов «Гамильтон-500» приведена на рис. 275. Магнитная система образована двумя постоянными магнитами 2 из платиново-кобальтового сплава и магнитопроводом, детали которого изготовлены из магнитно-мягкого материала. На балансе 4 из бериллиево-бронзы внутри обода эксцентрично расположена плоская катушка из провода диаметром 12—14 мк и имеющая 2800 витков. Контактная система состоит из спусковой 9 и контактной 8 пружин, связанных рамкой, прикрепленной к спусковой пружине.

Положительный полюс батареи соединен через пластину и волосок с ободом баланса, к которому припаян один конец ка-

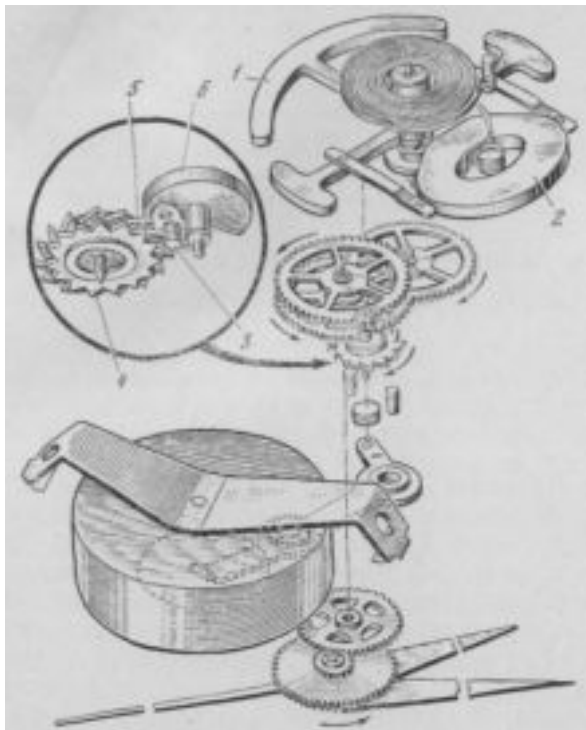


Рис. 276. Модернизированная конструкция магнитоэлектрических наручных часов «Гамильтон-505»

/ — баланс; 2 — катушка; 3 — штифт; 4 — колесо стрелочного механизма; 5 — латунное колесо; 6 — ролик

тушки. Второй конец припаян к золотой пластинке, приклеенной эпоксидной смолой к импульсной рольке 7. Отрицательный полюс батареи соединяется с контактной пружиной 8.

Баланс 4 служит ротором реактивного электродвигателя постоянного тока. Статором служат уже упомянутые цилиндрические постоянные магниты. Возбуждение катушки импульсами тока от источника энергии (батареи) осуществляется упругой контактной пружиной 5, замыкающей цепь источника тока один раз за период колебания баланса. При взаимодействии магнитного поля постоянных магнитов с магнитным полем тока, протекающего по катушке, баланс будет получать механические импульсы, поддерживающие его колебания. Передача механического момента производится ходовым камнем к зубцам ходового колеса и далее на колесную систему стрелочного механизма 3.

Катушка от источника цепи возбуждается 75 млн. раз в год и столько же осуществляется контактов. Регулировка хода ча-

сов выполняется обычным способом посредством градусника и, в случае необходимости, винтами баланса.

Последующие опыты, проводившиеся фирмой «Гамильтон» в течение пяти лет, привели к созданию модернизированной модели магнитоэлектрических контактных наручных часов «Гамильтон-505» (рис. 276).

В этой модели вместо пружинного контактного устройства применено жесткое контактное устройство и изменена конструкция баланса. Храповой механизм и контактное устройство объединены и составляют как бы один узел. Благодаря применению жесткого контактного устройства в модели «505» обеспечивается стабильная работа контактного устройства, достигается взаимозаменяемость элементов и отпадает необходимость в регулировке контактов. В часах использовано противоударное устройство — антимагнитный волосок из ставара. Баланс делает 18 тыс. полуколебаний в час, контакты замыкаются 9 тыс. раз.

Другой интересной разновидностью наручных электромеханических часов с магнитоэлектрическим приводом является модель наручных электрических часов «Таймекс электрик». Источником энергии служит окисно-ртутная батарея в герметическом корпусе. Эти батареи изготавливаются фирмой «Юнион карбидо» (США); без замены батареи часы могут работать в течение года.

Механизм имеет большое сходство с электрическими наручными часами «Гамильтон-500». Однако, в отличие от последних, импульс балансу сообщается не один раз за период колебания, а два раза. Это создается изменением конструкции магнитной системы. В часах «Таймекс электрик» магнитная система выполнена в виде полукольца, причем намагничивание осуществлено таким образом, что в выпуклой части находится северный полюс, а на концах — южные полюсы. Когда по катушке проходит ток, то в результате взаимодействия поля катушки с полем постоянного магнита возникает механический момент импульса, поддерживающий колебательное движение баланса. При обратном движении баланса взаимное направление тока в плечах катушки и соответствующих магнитных потоков изменяется на обратное. При этом замыкание контактов происходит в тот момент, когда импульсная катушка находится в правой части магнитной системы. Таким образом, в часах «Таймекс электрик» баланс получает два импульса за период колебания..

Недостатком часов является повышенное потребление тока, которое составляет 20—30 мкА, в то время как, например, в часах «Гамильтон» потребление тока — в пределах 5—7 мкА. Такое повышенное потребление тока в часах «Таймекс электрик» объясняется конструкцией электропривода, создающего повышенные вихревые токи в ободу баланса.

Электромагнитные наручные часы. Одна из самых ранних, конструкций наручных часов с электромагнитным приводом.

баланса описана Уайзем [394, 94—95]. Эта конструкция, как свидетельствует автор, находилась в действии уже более 25 лет. Электромагнитный привод состоит из катушки (диаметр проволоки 0,025 мм, 3000 витков) и электромагнита. С сердечником из кремниевой стали этого магнита связан полюсный башмак, имеющий радиусную выемку. На одном конце импульсного рычага имеется дугообразный якорь, на другом — обычная анкерная вилка. К торцевой поверхности башмака может притягиваться стеллитовый якорь второго рычага, снабженного собачкой. Противоположный конец рычага отжимается легкой пластинчатой пружиной. Собачка взаимодействует с храповым колесом, которое через колесную зубчатую передачу связано со стрелочным механизмом. Угол поворота второго рычага весьма мал и ограничивается двумя упорными штифтами.

Работа механизма происходит следующим образом. При соприкосновении стального импульсного штифта баланса с анкерной вилкой замыкается цепь питания электромагнита. Башмак электромагнита притягивает якорь импульсного рычага, вследствие чего другой конец рычага с вилкой передает штифту баланса механический импульс. Одновременно к башмаку притягивается якорь второго рычага, а собачка поворачивает храповое колесо на один зуб. После выхода импульсного штифта из вилки цепь размыкается, рычаги возвращаются в исходное положение, а баланс совершает свободное колебание. При движении баланса в обратном направлении весь цикл повторяется.

Конструкция электрических наручных часов фирмы «Лип» проста, хотя и сложна в изготовлении (рис. 277). Катушка на балансе отсутствует, поскольку в часах использована система с подвльным сердечником из магнитно-мягкого материала. Провод, из которого намотаны катушки 1, имеет диаметр 25 мкм; сердечники снабжены полюсными наконечниками 2. Обе катушки с переключателями (из магнитно-мягкого материала) составляют электромагнитный привод, который может быть либо нейтральным, либо поляризованным. Во втором случае полюсные наконечники соединены между собой постоянным магнитом 6; в первом варианте этот магнит отсутствует. В образцах, выпущенных фирмой «Лип», как более экономичный, применен второй вариант привода.

Баланс этих часов является ротором электродвигателя постоянного тока. Статором служат две указанные катушки, поляризованные магнитом. Передача импульса осуществляется следующим образом. Рубиновый штифт 7, жестко связанный с балансом 5, при движении последнего по часовой стрелке вблизи от положения статического равновесия входит в соприкосновение с золотой пружинкой 4, изгибает ее до соприкосновения со штифтом 8, в результате чего электрическая цепь замыкается. Возникающее при этом электромагнитное поле между полюсами статора сообщает балансу, изготовленному из муметалла, необходимый импульс. При дальнейшем движении ба-

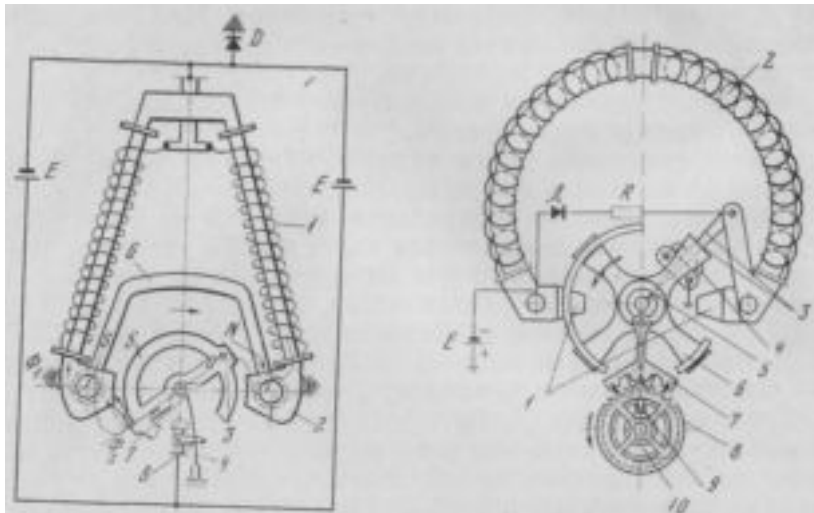


Рис. 277. Схема электромагнитных наручных часов французской фирмы «Лип»

1 — сердечники катушки; 2 — полюсные наконечники; 3 — выступы на балансе для усиления магнитного воздействия катушек на баланс; 4 — золотая пружинка; 5 — баланс; 6 — постоянный магнит; 7 — рубиновый штифт; 8 — штифт; Φ_1 — магнитный поток сердечника катушки; Φ_2 — магнитный поток баланса; D — диод для предохранения контактов

Рис. 278. Схема спускового регулятора электромагнитных наручных часов «Эбош»

1 — полюсные наконечники; 2 — сердечники катушки; 3 — контактные пружины; 4 — контактные штифты; 5 — рубиновый штифт; 6 — крестообразные перекладки; 7 — анкерная вилка; 8 — ходовое колесо; 9 — хвостовик; 10 — подковообразный постоянный магнит

ланса в том же направлении контактная пружина 4 освобождается из-под штифта, электрическая цепь разрывается и импульс прекращается. При движении баланса в обратном направлении не происходит замыкания тока и только пружина 4 слегка изгибается и совершается самоочищение контактной поверхности. Следовательно, регулятору передается односторонний импульс, как и при хронометровом ходе. Период колебания баланса 0,4 с. Баланс является не только регулятором хода, но и двигателем, сообщая движение стрелкам через храповой механизм и колесную передачу.

Источником тока служат два сухих гальванических элемента в виде цилиндров диаметром 11,3 мм и высотой 3,2 мм, соединенных параллельно. В начале эксплуатации напряжение тока 1,5 В, в конце гарантийного срока, т. е. через год, 1,3 В.

Посадочный диаметр платины часов 27,8 мм, максимальная высота 9,4 мм. Секундная стрелка — центральная. Механизм часов на 17 камнях. Спираль антимагнитная, из ниворокса. Механическая часть часов упрощена, так как отсутствует ремонтур, пружинный двигатель, колесная передача к балансу,

нет и механического спускового устройства. Из-за отсутствия заводного ключа достигнута практически полная герметичность механизма.

Ход часов отличается хронометровой точностью: отклонение суточного хода не превышает 4 с.

Кроме описанных выше первых наручных часов, фирма «Лип» с 1963 г. стала выпускать модель часов «R-148» с электромагнитным приводом нейтрального типа. В этих часах источником тока служит одна батарея более малого габарита, чем в первых часах. Баланс получает один импульс за период колебания (0,4 с),—как и в ранних часах. Продолжительность импульса 3 мс. Во избежание искрения предусмотрен диод *D*.

В этой модели используется двойная контактная пружина, что является удачным решением. Первая пружина отходит от контакта раньше другой. Пружина, которая отходит от контакта последней, подвергается разрушительному воздействию искрения до тех пор, пока не сработается. Тогда первая пружина берет на себя функцию второй. Это удваивает срок службы контактной системы.

Передача от баланса к стрелкам производится магнитным храповым устройством. Предохранение от пристука и останова баланса при переводе стрелок осуществляется анкерной вилкой специальной конструкции, не допускающей замыкания контактов.

В начале 1960 г. в Швейцарии появились электромагнитные часы фирмы «Эбош»; в конце 1961 г. там же несколько фирм начали серийное их изготовление. В настоящее время наручные электрочасы выпускают более 15 швейцарских фирм на основе базового механизма «Эбош». Принципиальная схема спускового регулятора часов «Эбош» показана на рис. 278. Часы имеют нейтральную электромагнитную систему привода. Колебательная система регулятора представляет собой обычную систему баланс—плоская спираль. Особенностью баланса является наличие на нем двух крестообразно расположенных перекладин 6, изготовленных из муметалла. Баланс играет роль ротора двигателя и часового регулятора; перекладки выполняют роль якоря приводного электромагнита. Статор двигателя имеет подковообразную форму и состоит из сердечника с полюсными наконечниками (башмаками) 1, изготовленными из муметалла и двухсекционной катушки с 17 тыс. витками, намотанными из провода диаметром 0,04 мм.

Если в часах фирмы «Лип» баланс получает импульс при колебании в одном направлении, то часы фирмы «Эбош» получают этот импульс при колебании баланса в обоих направлениях. Конструкция контактов часов «Эбош» является поэтому более сложной.

Контактное устройство содержит две контактные пружины 3, прилегающие друг к другу наружными концами, и два кон-

тактных штифта 4. Рубиновый контактный штифт 5, установленный в ролике баланса, попеременно прижимает пружины 3 то к правому, то к левому штифту (в зависимости от направления движения баланса), замыкая цепь питания катушек от батареи. Таким образом вначале возникает проводимость в одной цепи, а затем во второй. Импульсный ток, протекающий по обмотке импульсной катушки, создает магнитное поле в рабочем зазоре электромагнита. В результате взаимодействия магнитного поля с перекладиной якоря возникает механический момент, подтягивающий перекладину к башмакам. Это значит, принцип работы часов «Эбош» подобен принципу работы часов «Лип». Разница лишь в том, что в часах «Эбош» импульс сообщается балансу в обоих направлениях его колебания, т. е. дважды за период. Контакты размыкаются, и импульс прекращается еще до прохождения балансом положения равновесия.

Для уменьшения искрения при размыкании контактов применена специальная искрогасящая схема, представляющая собой цепочку из последовательно соединенных диода и сопротивления.

Преобразование колебательного движения баланса во вращательное движение стрелочного механизма производится с применением своеобразного механического анкерного преобразователя. Анкер похож на старый анкерный спуск, работающий в обратном направлении, т. е. движение передается не от ходового колеса на анкер, а наоборот. При каждом качании анкерной вилки 7 ходовое колесо 8 поворачивается на половину шага по часовой стрелке. В тех положениях анкера, когда палеты не фиксируют ходовое колесо, фиксация колеса осуществляется слабой плоской пружинкой, прижатой к оси ходового колеса.

Источник питания — гальванический элемент — расположен в крышке часов, что облегчает его замену. Батареи хватает на 12—15 месяцев, ее напряжение 1,25 В. Механизм часов — на 13 камнях; имеется инкабл. Точность хода — в пределах ± 5 с.

Электрические наручные часы модели «725» фирмы «Эльджин» в настоящее время являются часами самого малого калибра (23 мм). В ходе разработки этой конструкции фирма «Эльджин» сотрудничала с фирмой «Лип». Поэтому вторая модель «R-148» фирмы «Лип» и часы фирмы «Эльджин» имеют много общего.

В часах используется нейтральная электромагнитная система баланса, существенной частью которой является электромагнит, состоящий из катушки с сердечником из железоникелевого сплава и из насадки, расположенной на ободе баланса. Передача импульса балансу происходит тогда, когда электромагнит подтягивает насадку. Импульс подается при движении баланса только в одном направлении.

Баланс — диаметром 7,7 мм, высотой 1,05 мм из бериллиевой бронзы. В ролике баланса имеются два камня: один — для замыкания контакта, другой — для передачи движения на стрелки от храпового колеса.

Контактная система похожа на контактную систему первой модели часов «Лип». Контактная пружина из сплава золота с платиной довольно гибкая и тонкая.

Для передачи движения на стрелки служит храповой преобразователь, в который входит камень-толкатель на ролике баланса и храповое колесо, положение которого фиксируется миниатюрным постоянным магнитом. С храпового колеса через промежуточную колесную передачу движение передается на минутное колесо.

Питание часов «Эльджин» обеспечивается микроминиатюрным окисно-ртутным элементом. Несмотря на небольшие размеры, часы «Эльджин» обладают точным ходом: средний суточный ход ± 10 с. Однако из-за малых размеров их регулировка хода намного более сложна и трудна, чем в других электрических часах.

В 1967 г. выпуск электрических и электронных наручных часов во всем мире составил 2,5 млн. штук; наиболее перспективным считались электронные (транзисторные) часы, хотя значительную часть выпускаемых часов составляют электрические контактные часы. Наиболее крупные работы по усовершенствованию бесконтактных наручных часов в настоящее время проводят фирмы «Элеаш» (Швейцария), «Дженерал таймекс» (США), «Юнганс» (ФРГ) и «Лип» (Франция), а также японские фирмы «Цитизен» и «Рикок». Весьма большие успехи в выпуске электронных камертонных часов «Аккутрон» достигнуты фирмой Бюлова (США).

Для ведения научно-исследовательской работы в области электронных наручных часов и для разработки конструкции и технологии таких часов в Швейцарии в 1962 г. организован специальный центр по электронным наручным часам (Centre Electronique Horloger — СЕН). Его возглавляет М. Хетцель, ранее разработавший конструкцию камертонных наручных часов и электронных часов для фирмы Бюлова.

Электронно-механические наручные часы

Рассмотренные конструкции электромеханических часов из-за наличия контакта не могут обеспечить надежность в работе в течение длительного срока службы. Другим принципиальным их недостатком является значительное рассеивание магнитного потока, что приводит к большим энергетическим потерям. Это вызвало поиски других конструктивных решений, в первую очередь таких, где не требовались бы электрические контакты.

Дальнейший прогресс и заключался в применении в наручных часах бесконтактного спускового механизма на транзисторах.

В 1918 г. В. Экклс и Ф. Джордан в Англии и в 1919 г. Г. Абрахам и Э. Блох во Франции применили трехэлектродные вакуумные радиолампы для бесконтактного управления импульсной катушкой маятника. Одновременно же они предложили первую схему электронно-механического камертонного регулятора. Но такая схема привода не нашла широкого применения из-за малого срока службы электронных ламп и других причин. Положение изменилось после изобретения транзисторов — кристаллических триодов точечного типа.

Джон Бардин и Уолтер Бреттейн 23 декабря 1947 г. обнаружили, что германий может выполнять функции выпрямителя [334, 74, 230]. В 1951 г. им удалось осуществить разработку конструкции германиевого плоскостного триода — транзистора как основного элемента современной полупроводниковой техники. В 1956 г. эти изобретатели за открытие способности транзистора осуществлять все функции приемно-усилительных ламп получили Нобелевскую премию. Это открытие имело своим следствием возникновение и развитие полупроводниковой техники и, в частности, применение германиевых транзисторов для создания электронно-механических часов. В электронно-механических часах имеется электронная система формирования импульса для приведения осциллятора в колебательное состояние. В качестве осциллятора раньше всего был применен маятник и баланс, а затем камертон.

Система привода в электронно-механических регуляторах представляет собой электронно-механическое устройство, преобразующее электрическую энергию тока источника питания в механическую энергию импульса привода.

В настоящее время основное отличие электромеханических часов от электронно-механической практики сводится к способу переключения цепи источника тока в момент передачи энергии часовому осциллятору. В электромеханических часах это переключение осуществляется путем замыкания обычных контактов, а в электронно-механических — переключением транзистора, т. е. процесс формирования импульса в этих часах осуществляется не с помощью контакта, а с помощью транзистора. Соответственно этому электромеханические часы называют контактными, а электронно-механические — бесконтактными.

Первые сведения об электронно-механических регуляторах на транзисторах, предложенных в 1953 г. французскими инженерами М. Лаве и Ж. Дитчем, появились в печати в 1957 г. На этом принципе в течение 1953—1956 гг. французская фирма «Ато» сконструировала электронно-механический хронометр типа «Хроностат», который стал выпускаться серийно фирмой «Леруа». В нем в качестве регулятора применена система баланс—спираль с магнитно-электрической системой привода,

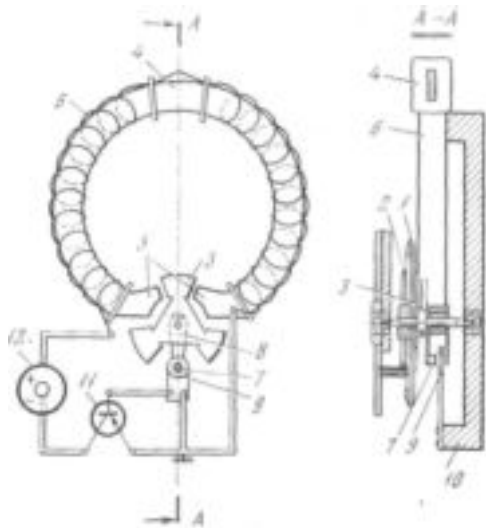


Рис. 279. Схема электронно-механических наручных часов фирмы «Эбош»

- 1- - баланс;
- 2- - спираль;
- 3- - трехлопастной якорь;
- 4- - сердечник;
- 5- - башмаки;
- 6- - обмотка;
- 7- миниатюрный постоянный магнит;
- 8- магнитопровод, установленный на оси баланса;
- 9- - миниатюрная катушка возбуждения;
- 10- - мост;
- 11- - транзистор;
- 12- - источник питания

каскад формирования импульса собран на плоском германиевом триоде.

В наручных электрических часах первоначально транзисторы были применены в качестве весьма эффективных средств для защиты контактов от искрового износа. В настоящее время наручные транзисторные часы известны в виде нескольких конструктивных вариантов. Рассмотрим принципиальную схему таких часов фирм «Эбош» и Юнганс».

Часы фирмы «Эбош» (рас. 279) снабжены нейтральным электромагнитным приводом, а в качестве регулятора хода и двигателя стрелочного механизма имеют систему баланс—спираль /, 2. Якорь 3, сердечник 4 и его башмаки 5 изготовлены из муметалла. Якорь расположен в зазоре сердечника между башмаками. Обмотка 6 выполняет функции импульсной катушки. Миниатюрный постоянный магнит 7 закреплен в магнитопроводе 8, установленном на оси баланса. На мосту 10 закреплена миниатюрная катушка возбуждения 9, включенная между базой и эмиттером транзистора 11.

В состоянии равновесия баланса транзистор не проводит ток между коллектором и эмиттером (заперт). Как только баланс выходит из положения равновесия, наступает изменение магнитного потока. Это изменение наводит в катушке освобождения ЭДС. При каждом отрицательном значении напряжения транзистор отпирается и в коллекторной цепи возникает ток импульса, протекающий по обмотке 6. Магнитное поле, возникающее в зазоре между башмаками 5, взаимодействует с якорем 3, сообщая импульс балансу.

В транзисторных электрических часах движение от баланса на стрелочный механизм передается аналогично устройствам,

используемым для названной цепи в контактных электрических часах.

Фирма «Юнганс» в ФРГ в 1967 г. выпустила электронно-механические наручные балансовые часы марки «Атокрон». Источником тока служит окисно-ртутный элемент Меллори WN_3 напряжением 1,3 В, емкостью 150 мА·ч. Батарея обеспечивает ход часов в течение 12—16 месяцев. Механизм размером 30,8 мм, высотой 5,5 мм, на 17 камнях. В часах применено следующее устройство электромагнитного привода.

На двойном балансе укреплены четыре дисковых ферритобариевых постоянных магнита; в воздушном зазоре между магнитами расположены две неподвижные плоские катушки освобождения и привода. Плоская катушка освобождения включена в базовую цепь транзистора, а катушка привода — в цепь коллектора, в которой возникает ток импульса.

Незатухающие колебания баланса поддерживаются импульсами электромагнитного поля плоской катушки привода. Вес баланса 0,45 г, момент инерции $0,55 \cdot 10^{-4}$ г·см². Частота колебаний баланса 3 Гц (21 тыс. ударов за один час). Спираль баланса — из сплава ниварокса (11 витков).

Преобразование колебаний баланса в одностороннее прерывистое вращение колесной системы осуществляется анкерной вилкой и храповым колесом.

Механизм калибра 30,8 мм, высотой 5,5 мм, на 17 камнях. От внешних магнитных полей он защищен экраном из магнитно-мягкой фольги.

Ход часов по своей точности соответствует требованиям для наручного хронометра 1-го класса [345, 347].

Появление электронных бесконтактных систем формирования импульса сняло ограничение по частоте, в результате чего оказалось возможным применение сравнительно высокочастотных механических осцилляторов, таких, как камертоны, вибрирующие пластинки, стержневые системы, струны и т. д. Их нельзя было применять при сохранении в часах инерционного механического спускового устройства.

Раньше всего удалось создать камертонные наручные часы с электронной схемой. Применение камертона для регулирования хода имеет свою историю.

Он был изобретен в 1711 г. трубачом оркестра Генделя Д. Шором, и до совершенства его довел выдающийся парижский инструментальный мастер и физик Рудольф Кениг только в 1867 г. Используя опыт создания камертонных часов Н. Ниаде, Кениг разработал так называемый абсолютный метод калибровки камертона путем создания необходимого для этого стандарта. Для счета колебаний камертона в течение любого интервала времени он использовал камертон, совершающий 64 колебания в секунду, которые механически поддерживались устройством, сходным со спусковым механизмом часов, контактно соединенным со стрелками часов. Пока камертон совершал

колебания в пределах собственной номинальной частоты, часы могли поддерживать точное время.

В 1857 г. физик Ж. Лиссажу опытным путем доказал, что колебания камертона можно поддерживать чисто электрическими средствами, используя электромагнит и прерыватель на одной из ветвей камертона. Идея устройства прерывателя вела умами еще до Лиссажу. Известно, что в 1837 г. К. Педж вынашивал идею устройства прерывателя электрической цепи. Независимо от него этим же занимались Байрд и Нифф. Они были врачами и интересовались устройством прерывателя не столько для научной, сколько для врачебной цели.

Лиссажу, будучи выдающимся экспериментатором в механике и акустике и инициатором в деле изучения периодически повторяющихся движений, разработал схему камертонного регулятора, которая была аналогична схеме электрических часов Александра Бена. Разница лишь в том, что часы Бена регулировались маятником, а регулятор Лиссажу — упругостью камертона.

Применение контактных устройств в камертонных регуляторах было сопряжено с рядом несовершенств, связанных хотя бы с непостоянством трения в контактах. В 1900 г. А. Гийе пытался освободиться от этих несовершенств путем применения в камертонном регуляторе угольного микрофона вместо контактного прерывателя. Электрическое сопротивление микрофона изменялось пропорционально отклонению ветви камертона. Для преобразования колебаний камертона во вращательное движение выходной оси служил храповой механизм.

В 1919 г. Х. М. Дадурриан сделал попытку использовать двигатель фониического колеса для устройства камертонного регулятора и вместе с хронографом создать стандарт для регулирования хода других камертонов. Первый патент в США на изобретение двигателя фониического колеса был выдан в 1878 г. датскому телеграфному инженеру П. Лакуру.

Однако настоящую историю камертонного регулятора следует начать с 1919 г., когда, как отмечалось выше, В. Экклс и Ф. Джордан, Г. Абрахам и Э. Блох предложили первую схему электронно-механического камертонного регулятора. При применении радиоламп для поддержания колебания механических систем, в том числе колебаний камертона, отпадала необходимость применения механических контактных устройств. Кроме того, важным преимуществом нового метода было то, что стало возможным значительно расширить диапазон используемых частот, а колебания осуществлять при малых амплитудах. Освободив колебания камертона от влияния других дестабилизирующих факторов, можно было фактически реализовать в камертонном регуляторе идею так называемого свободного маятника.

В 1921—1922 гг. Эккерт, Каршер и Кайзер уже имели возможность описывать прецизионный камертон как возможный источник звука, либо как стандарт при измерении коротких

интервалов времени, либо как прерыватель тока и синхронизатор. Но наибольшее внимание привлекало второе назначение камертона. Эккарт в 1922 г. описал осциллограф, в котором камертон использовался в качестве синхронизатора. Изучение и усовершенствование камертона как осциллятора не прекращалось и в скором времени позволило использовать его в нескольких национальных физических лабораториях и исследовательских институтах в качестве стандарта частоты и при измерении коротких интервалов времени.

О дальнейшем прогрессе можно судить по двум статьям, появившимся в 1923 г. Одна из них написана Д. В. Дайем в Национальной физической лаборатории в Теддингтоне, другая — Д. В. Хартоном, Н. Х. Риккером и В. А. Маррисоном в телефонной лаборатории Белла (Нью-Йорк). В этих статьях сообщались результаты работы, проделанной указанными лицами в течение двух или трех предшествовавших лет по созданию камертонного регулятора хода часов. Д. В. Дай применил стальной камертон с частотой 1000 Гц вместе с двигателем фониического колеса; их действия были синхронизированы посредством редуктора. Подававшиеся электрические сигналы сравнивались посредством хронографа с маятниковыми часами. Хартон, Риккер и Маррисон применяли стальной камертон с частотой 100 Гц и синхронный мотор с редуктором для производства электрических импульсов, действовавших непосредственно на ход часов.

В 1925—1935 гг. были достигнуты наибольшие успехи (особенно в Англии в Теддингтонской физической лаборатории) в усовершенствовании камертонного осциллятора как стандарта частоты и времени. Также были продолжены работы в этой области, начатые профессорами Экклсом и Даем [343]. В отчетах Дая и Эссена приведены результаты десятилетней работы по усовершенствованию и применению камертона. Среди других усовершенствований там отмечается применение для камертона элинвара с целью достижения максимально возможной температурной его компенсации. Эта проблема, а также определение надлежащей формы камертона или его геометрических размеров, способов его крепления интересовали многих ученых и изобретателей за рубежом (Берг, Эйзенхаур, Август, Каролис, Герланд и др.). Среди подобных задач немалое место занимал вопрос о стабилизации электронной цепи с применением электронных ламп (триода) для поддержания незатухающих колебаний камертона. Данный вопрос, однако, оставался нерешенным должным образом, пока в 50-х годах не был изобретен транзистор. Наручные часы, в которых в качестве регулятора колебаний использован миниатюрный камертон и магнито-электрический транзисторный привод, явились крупным достижением новой техники в области создания приборов времени [373, 343—345].

Камертон является механическим осциллятором, который при сравнительно высокой частоте колебаний обладает высокой

му освобождения, показана на рис. 280. Миниатюрный камертон /, длина которого 25,5 мм, несет на концах своих ветвей два магнитопровода чашеобразной формы 4, изготовленных из магнитно-мягкого материала типа армко. В днище магнитопроводов запрессованы постоянные магниты 2 конической формы из материала альникс. Камертон жестко закреплен на платине часов винтом, где также закреплены пластмассовые каркасы, введенные в зазор между постоянными магнитами и магнитопроводами камертона. В зазор между магнитопроводом правой ветви камертона и магнитом входит катушка 6 освобождения, содержащая 2 тыс. витков, и часть катушки 5, содержащая 6 тыс. витков, намотанных коаксиально на одном и том же каркасе. Вторая часть катушки 3, намотанная на аналогичном каркасе, входит в зазор второго магнитопровода и соединена последовательно с катушкой 5. Катушка возбуждения включена между эмиттером и базой транзистора, а импульсная катушка — между коллектором и эмиттером транзистора; в эту же цепь включен микроминиатюрный окисно-ртутный элемент с емкостью порядка 80 мА·ч при напряжении 1,3 В, питающий схему часов. Импульсные катушки 3, 5 получают периодические импульсы от источника тока и колебательного контура с емкостью и сопротивлением через транзистор.

Когда камертон колеблется, его магниты с магнитопроводами перемещаются вдоль катушек. При этом в катушке возбуждения возникает ЭДС, приложенная к базе транзистора. Транзистор открывается и на какую-то долю секунды становится проводящим. Тогда ток от батареи по коллекторно-эмиттерному переходу транзистора поступит в импульсную катушку. Поле этой катушки, действуя на камертон, сообщает ему импульс, необходимый для поддержания его колебания с частотой 360 Гц.

Передача движения на дополнительное устройство (стрелочный механизм) происходит следующим образом. На одной из ножек камертона расположена маленькая пальцеобразная пружина с камневым наконечником 7, называемая храповым пальцем. Ее функция — толкать храповое колесо 9 ежесекундно, т.е. один раз за каждое колебание камертона. Усилие, передаваемое этой пружиной, вращает храповое колесо посредством мелких зубцов; шаг храпового колеса составляет несколько сотых миллиметра, а диаметр меньше булавочной головки, толщина же равна половине толщины человеческого волоса. Колесо 9 закреплено на оси триба 10, от которой движение передается на стрелки часов.

Вторая фиксирующая пружинка 8 с камневым наконечником выполняет функцию собачки, которая удерживает храповое колесо от поворота в обратную сторону и гасит свободное колебание храпового колеса.

Конструкция храпового механизма позволяет камертону совершать колебания в широком диапазоне амплитуд, а вместе с этим вызывать перемещение храпового пальца также в широком

диапазоне. В результате движение стрелок может быть слишком быстрым или слишком медленным. Когда амплитуда колебаний камертона начинает обнаруживать тенденцию к отклонению от установленной величины, электронная схема немедленно реагирует на это и сразу же возвращает камертон к нужному диапазону амплитуды. Следовательно, в данном случае имеет место автоматическое регулирование заданной амплитуды стационарных автоколебаний камертона на основе принципа обратной связи.

Стрелки часов «Аккутрон» перемещаются равномерно, поскольку центральное колесо жестко соединено с храповым колесом. Часы «Аккутрон» не имеют необходимости в особой регулировке их хода с участием регулировщика, что является большим их преимуществом по сравнению с механическими наручными часами. Регулировка по частоте и уравниванию камертона осуществляется с помощью электронного прибора и не требует специальных знаний. С помощью электронного прибора производится также и контроль температурного коэффициента сплава камертона [362, 666—679].

Камертонные наручные электронные часы «Аккутрон» имеют средний суточный ход в пределах ± 2 с, при максимальном отклонении от среднего суточного хода ± 5 с. По точностной характеристике они намного превосходят обычные механические или электрические контактные наручные часы, особенно при работе в течение длительного периода.

Остановимся теперь на эксплуатационных особенностях часов «Аккутрон» [361, 33—43]. Позиционные погрешности уменьшаются с увеличением частоты колебаний камертона. Однако в часах «Аккутрон» применен камертон с относительно низкой частотой (360 Гц), невыгодный с точки зрения добротности и точности часов. Ограничение в выборе для этих часов большей частоты обусловлено принятой передачей движения на стрелки непосредственно одной из ветвей камертона. Когда камертон занимает горизонтальное положение, суточный ход остается на одном уровне; когда ветви камертона направлены вниз, позиционная погрешность достигает ± 5 с, и особенно значительна эта погрешность, когда ветви камертона повернуты вверх. Но в этом положении (цифрой 6 вниз) часы оказываются редко. Их ставят так, чтобы они давали опережение в $1 \frac{1}{2}$ с за сутки в положениях «циферблатом вверх», «циферблатом вниз», цифрой 3 вниз и цифрой 9 вниз. Если в среднем у человека часы в положениях «цифрой 12 вниз» находятся в течение 73 суток, то отставание в этом положении компенсирует опережение в других положениях.

Изохронизм. При изменении амплитуды на 50% показания часов изменяются на $\frac{3}{4}$ с; за сутки ход часов может измениться на $1 \frac{1}{2}$ с при изменении температуры на 1°C , но путем соответствующего подбора материала температурный коэффициент камертона может быть значительно уменьшен.

Действие магнитного поля. Часы могут выдерживать магнитное поле в 60 Гс, не вызывая нарушения хода свыше 7 с в сутки.

Гарантия. Фирма Бюлова гарантирует постоянную точность хода часов порядка ± 1 мин в месяц.

В камертонных часах камертон, как осциллятор, выполняет, кроме своей основной функции, работу по передвижению стрелок, поэтому его «свобода» несколько ограничена. Этот недостаток присущ и всем другим высокочастотным осцилляторам, которые теперь получают широкое применение в хронометрии. В связи с этим большую актуальность приобретает проблема создания автономных стрелочных механизмов. В настоящее время она решается путем создания весьма экономичных шаговых двигателей, преобразующих электрические импульсы в перемещении шага.

Электрические наручные часы «Аккутрон» работают довольно надежно и в условиях невесомости в космосе, в сильных магнитных полях, при ударах и вибрациях. В часах, использованных в навигационном устройстве, предназначенном для космических исследований, точность хода была увеличена до 1 с в сутки путем электрического соединения работы трех часовых механизмов «Аккутрона».

Наручные кварцевые часы. Все более усиливающаяся миниатюризация радиоэлектронной аппаратуры, или уменьшение ее размера и веса, привела в конечном счете к появлению в электронике нового научно-технического направления — микроэлектроники. Решающей предпосылкой возникновения микроэлектроники явился научно-технический прогресс физики твердого тела и полупроводниковой техники, основанных на решении фундаментальных теоретических проблем. В настоящее время микроэлектроника является генеральным направлением всей электронной техники.

На развитие микроэлектроники оказало влияние открытие полупроводниковых свойств кремния и развитие техники осаждения полупроводников на стекле в керамических пластинах. С помощью техники интегральных схем, называемой также молекулярной электроникой, возможно, например, на кремниевой пластинке размером 2X2 мм и толщиной 0,1 мм разместить всю элементарную электрическую схему, релаксационную схему или логические ячейки в схемах счетных машин. Современная прецизионная техника и ставит своей основной задачей добиться наиболее выгоднейшего объемного расположения интегрированных элементов, дальнейшего сокращения их размеров и увеличения плотности размещения элементов конструкции, т. е. увеличения числа элементов на каждом кубическом сантиметре.

Решающей предпосылкой появления кварцевых наручных часов и были достижения в области микроэлектроники по созданию интегральных схем, а также в области точной механики. Подготовительные работы по созданию этих часов велись в ис-

следовательском центре часовых фирм (СЕН) в Швейцарии с 1960 по 1967 г. под руководством Макса Хецеля.

В часах СЕН использован кварцевый осциллятор с частотой 8192 Гц; на выходе после 5-каскадного бинарного делителя частота равна 256 Гц. Храповой преобразователь, в котором использована вибропластинка, синхронизированная выходным сигналом делителя, приводит в движение стрелочный механизм часов.

В 1967 г. кварцевые наручные часы при испытаниях в Невшательской обсерватории получили оценочное число 0,152 (рекорд по балансовым часам по этому оценочному числу 1,64).

В часах швейцарской фирмы «Лонжин», которая одна из первых наладила выпуск кварцевых наручных часов, использован кварцевый осциллятор с такой же частотой, как в часах СЕН, но в качестве преобразователя служит постоянный резонатор с частотой 170 Гц.

Наручные кварцевые часы с 1969—1970 гг. выпускались серийно восьмью швейцарскими фирмами, японской фирмой «Сейко» и американской фирмой «Гамильтон».

Кварцевые наручные часы состоят из двух основных узлов: электронного блока (осциллятор в виде кварца, формователи, делители частоты и схема привода) и механического узла, включающего в себя вибромотор, или шаговый двигатель, и ангренаж. Исключение составляют часы «Пульсар» фирмы «Гамильтон» с цифровой индикацией вместо стрелочной.

В системе индикации в этих часах использованы диоды, преобразующие электрическую энергию в световую. При нажатии кнопки, расположенной на верхней части корпуса часов, на циферблате загораются цифры, показывающие время в часах и минутах. Чтобы часы показывали и секунды, нажатие на кнопку должно быть более длительным. Изображение гаснет через 1,5 с. Яркость изображения автоматически регулируется в зависимости от внешней освещенности.

Источником питания в часах «Гамильтон» служит батарейка напряжением 4,5 В (срок службы 6 месяцев). При замене батарейки часы автоматически подключаются к запасному источнику питания. Точность часов 2—3 с в месяц. Часы содержат 40 интегральных схем и 3500 транзисторов. Осциллятором здесь служит кварц с частотой колебаний 32 768 Гц, которая делится до 1 Гц.

Кварцевые часы и проблемы, связанные с ними, были предметом дискуссии на Всемирном конгрессе по хронометрии в 1969 г. Наряду с признанием перспективности новых кварцевых часов обращалось внимание на их высокую стоимость. Например, японские часы фирмы «Сейко» стоили около 500 фунтов стерлингов.

В настоящее время ведутся интенсивные исследовательские работы по использованию высокочастотных кварцевых резонаторов, шаговых двигателей, интегральных схем различных систем электронной индикации, атомных батареек, Целью эксперимен-

тов в области пьезоэлектрической хронометрии является определение оптимальной геометрии и направлений колебаний кварца. Ведутся также исследования барометрического коэффициента кварцевых резонаторов.

Быстрое развитие технологии изготовления электронных схем позволило улучшить не только технические показатели кварцевых наручных часов, но и снизить цену, что очень важно с точки зрения повышения их конкурентной способности на мировом рынке часов.

Эта конкуренция для механических наручных часов невелика до тех пор, пока кварцевые наручные часы будут содержать значительную механическую часть, изготовление которой происходит по одной технологии для механических и электронных часов.

Отдавая должное перспективности электрических и электронных наручных часов, нельзя вместе с тем упускать из виду, что механические наручные часы сохраняют свое значение как общераспространенный прибор времени бытового назначения не только в настоящее время, но которые будут употребляться в качестве таковых и впоследствии. Поэтому проблема повышения точности и надежности их хода имеет не меньшее значение, чем создание часов с новым высокочастотным осциллятором с электронной схемой. Возможности для этого несомненно имеются как в отношении применения новых сплавов для баланса, спирали и ходовой пружины, так и эффективных средств для автоматизации завода и герметизации корпуса, противоударных устройств и т. д. Имеются и необходимые предпосылки для дальнейшего снижения продажной цены этих часов, если учесть выдающиеся успехи и дальнейшие возможности в области автоматизации часового производства, для внедрения автоматических линий, усовершенствования технологических процессов, для внедрения электронной техники в производство и для контроля и регулирования хода часов.

В настоящее время на страницах печати все чаще обсуждается вопрос, каким требованиям должны отвечать механические наручные часы, чтобы в будущем они могли конкурировать с электронными наручными часами. Имея в виду эту проблему, Э. Франкенштейн находит¹, что механические наручные часы смогут конкурировать по точности хода лишь в том случае, если средний их суточный ход будет составлять ± 20 с в течение многих лет. Гарантия на часы должна быть не менее 3—5 лет. Между тем если иметь в виду ближайший период, то речь может идти лишь о размежевании сфер использования тех и других часов, но отнюдь не о наступлении эры безраздельного господства одних часов (электронных) и о вытеснении из всех областей других часов (механических). Механические наручные часы еще

¹ *Frankenstein E.— Uhren und Schmuck, 1968, N II, S, 340.*

долго и прочно будут сохранять свое значение как часы бытового назначения, если удастся разумно использовать все потенциальные возможности для усовершенствования их хода. Электронные наручные часы бесспорно станут незаменимым средством для измерения времени во всех областях науки и техники.

В этой связи не лишне привести высказывания такого авторитета, как М. Хетцель, о том, что «система баланс—спираль в качестве осциллятора в классических наручных часах давно оправдала себя и будет совершенствоваться далее». Вместе с тем Хетцель считает, что регулятор хода совершенно не подходит для электрических и электронных часов из-за низкой собственной частоты ее колебаний. В настоящее время, по его мнению, «наметилась определенная тенденция применения высокочастотных механических осцилляторов и чисто механических делителей частоты для индикации времени. Электроника ставится лишь на службу поддержания колебаний высокочастотных механических осцилляторов. Кроме того, нельзя утверждать, что камертон является практически единственным высокочастотным осциллятором будущего. Уже в настоящее время можно предвидеть создание таких конструкций, которые по качеству будут во много лучше современных камертонных часов» [361, 33]. Лучшим подтверждением этой перспективной возможности является появление в 1968 г. в Швейцарии кварцевых наручных часов.

Швейцарский часовой электронный центр представил на Международный 102-й хронометровый конкурс в Невшателе (Швейцария) наручные кварцевые часы, которые по точности хода установили новый рекорд по наручным часам, показав за 45 суток испытания вариацию хода в пределах нескольких десятых секунды при сверке с атомными часами. В объеме 0,5 см³ размещены: кварц на 10 Гц, делитель, микродвигатель с механической передачей, источник постоянного тока. Наручные кварцевые часы были разработаны коллективом специалистов (химики, физики, электронщики, часовщики) в течение 6 лет.

Электронные часы — часы будущего и представляют качественно новую ступень развития приборов времени. Вместе с кварцевыми, атомными, молекулярными часами наручные часы, основанные на применении высокочастотных осцилляторов с электронной схемой, начинают новейший период истории часов.

ЛИТЕРАТУРА

ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЩИМ ВОПРОСАМ ИСТОРИИ; ЧАСОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

1. *Маркс К.* Капитал, т. 1.—Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 23.
2. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд. Т. 3.
3. *Энгельс Ф.* Диалектика природы.—Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 20.
4. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд. Т. 30.
5. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд. Т. 47.
6. *Барбаро Д.* Комментарии к десяти книгам об архитектуре Витрувия. М.: Всесоюз. Акад. архитектуры, 1938.
7. *Бакулин П. И., Блинов С. Н.* Служба точного времени. М.: Наука, 1968.
8. *Бек Т.* Очерки по истории машиностроения. М.; Л.: Гостехиздат, 1933. Т. 1.
9. *Бернал Дж.* Наука в истории общества. М.: ИЛ, 1956.
10. *Берри А.* Краткая история астрономии. М.; Л.: Гостехиздат, 1946.
11. *Витрувий.* Десять книг об архитектуре. М., Всесоюз. Акад. архитектуры, 1936.
12. *Время и современная физика: (Сб. статей). Пер. с фр.* М.: Мир, 1970.
13. *Даннеман Ф.* История естествознания. М., 1932—1936. Т. 1—3.
14. *Завельский Ф. С.* Время и его измерение. М.: Наука, 1977.
15. *Канн Г.* Краткая история часового искусства. Л., 1926.
16. *Лауэ М.* История физики. М.: Гостехиздат, 1956.
17. *Льоцци М.* История физики. М.: Мир, 1970.
18. *Оже П.* Современные тенденции в научных исследованиях. М.: ЮНЕСКО, 1963.
19. *Пипуныров В. Н., Чернягин Б. М.* Развитие хронометрии в России. М.: Наука, 1977.
20. *Розенбергер Ф.* История физики. М.: ОНТИ, 1935. Ч. 1, 2.
21. *Beckmann I. A.* History of invention, discoveries and origins, L., 1864, vol. 1/2.
22. *Bessermann-Jordan E.* Uhren. B., 1920.
23. *Bibliographic generale de la mesure de temps.* P., 1943.
24. *Chamberlain P. M.* It's about time. N. Y., 1941.
25. *Defosser L.* Les savants du XVII siecle et la mesure du temps. Lausanne, 1946.
26. *Delambre I. B. I.* Histoire de l'astronomie ancienne, P., 1917, p. 1—2.
27. *Delambre I. B. I.* Histoire de l'astronomie du moyen age. P., 1819, t. 1—2.
28. *Dubois P.* Histoire de l'Horlogerie. P., 1849.
29. *Essen L.* Revolution in Timekeeping.—Electron, and Power, 1967, vol. 13, N5.
30. *Feldhaus F. M.* Die Technik der Vorzeit der geschichtlichen Zeit und der Naturvolker. Miinchen, 1965.
31. *Lubke A.* Die Uhr von der Sonnenuhr zur Atomuhr. Dflsseldorf, 1958.
32. *McCarthy J.* Remington: A matter of time. N. Y.; L., 1947.
33. *Milham W. J.* Time and timekeepers. N. Y., 1945.
34. *Mumford L.* Technics and civilisations. L., 1934.
35. *Planchon M.* Le Horloge son histoire retrospective: Pitto resque et artistique. P., 1899; 2nd ed. 1912.
36. *Rawlings A. L.* The science of clocks and watches. L., 1948.

37. *Sarton G.* Introduction to the history of science. Baltimore, 1927, vol. 1; Baltimore, 1931, vol. 2 (pt 1—2); Carneque Institution, 1947, vol. 3.
38. *Singer Ch., Horlmyard E. I., Hall R.* A history of technology. Oxford, 1957, vol. 1, 2, 3.
39. *Ungerer A.* Les Horloges astronomiques et monumentales les plus remarquables de l'antiquite jusqu. Strasbourg, 1931.
40. *Ungerer A.* Anleitung zur Aufstellung von Turmuhren. 'B., 1920.
41. *Ungerer A.* L'horloge astronomique de la cathedrale du Strasbourg. P., 1922.
42. *Usher A. P.* A history of mechanical invention. Boston, 1959.
43. *Ward F. A. B.* Time Measurement. L., 1958, pt 1—2.
44. *Ward F. A. B.* How timekeeping mechanisms became accurate.—Charter. Mech. Eng., 1961, N 12.
45. *Ward F. A. B.* Physics in time measurement—J. Sci. Instrum., 1966, vol. 43, N 8.
46. *Wolf A. A.* A history of science, technology and philosophy in the eighteenth century. L., 1950.
47. *Wolf A. A.* A history of science, technology and philosophy in the sixteenth and seventeenth centuries. L., 1952.

Часть I

ИСТОРИЯ ЧАСОВ С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО ИЗОБРЕТЕНИЯ МАЯТНИКОВЫХ ЧАСОВ

48. *Агафонов В. К.* Современная техника. М., 1915. Т. 3. Ч. II.
49. *Ахилл Татий.* Левкиппа и Клитофонт. Лонг. Дафнис и Хлоя. *Петроний.* Сатирикон. *Апулей.* Золотой осел. М.: Худож. лит., 1969.
50. *Беляев Д. Ф.* Byzantina: Очерки, материалы и заметки по византийским древностям. М., 1891. Кн. 1.
51. *Бузескул В.* Открытия XIX и начала XX в. в области истории древнего мира. Пг.: Academia, 1923. Ч. 1, 2.
52. *Буткевич А. В., Зеликсон М. С.* Вечные календари. М.: Наука, 1969.
53. *Велишский Ф. Ф.* Быт греков и римлян. Прага, 1878.
54. *Веселовский И. Н.* Звездная астрономия в Вавилонии. М., 1960.
55. *Винер Н.* Кибернетика. М.: Сов. радио, 1958.
56. *Витковский В. В.* Лекции по сферической астрономии. Пг., 1915.
57. *Володарский А. И.* Очерки истории средневековой индийской математики. М.: Наука, 1977.
58. *Гейберг И. А.* Естествознание и математика в классической древности. М.: ОНТИ, 1936.
59. *Геродот.* История в девяти книгах. Л.: Наука, 1972.
60. *Гоббинс Г.* История торговли Европы. СПб., 1900.
61. *Данте Алигери.* Божественная комедия. Рай. СПб., 1903.
62. *Данилевский В. В.* Русские навигационные приборы первой четверти XVII-в.— В кн.: Исторический памятник русского арктического мореплавания XVII в. М.; Л.: Главсевморпуть, 1951.
63. *Дильс Г.* Античная техника. М.; Л.: ОНТИ, 1934.
64. *Добиаш-Рождественская О. А.* Oppletum oppidum est solairas: По вопросу о часах в раннем средневековье.— В кн.: Из далекого и близкого прошлого: В честь 50-летия научной жизни Н. И. Кареева: (Сб. этюдов). Пг.; М.: Мысль, 1923.
65. *Добиаш-Рождественская О. А.* Как люди научились узнавать время? Берлин, 1924.
66. *Добиаш-Рождественская О. А.* Мастерские письма на заре западного средневековья и их сокровища в Ленинграде. Л.: Изд-во АН СССР, 1930.
67. *Крачковский И. Ю.* Избранные сочинения. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. Т. 4.
68. *Кулишер И. М.* История хозяйственного быта Западной Европы. М.; Л.: Соцэкгиз, 1926. Т. 2.

69. *Лависс З., Рамбо А.* Всеобщая история с IV столетия до нашего времени. М., 1897. Т. 1.
70. *Лагранж Ж. Л.* Аналитическая механика. М.; Л.: 1950. Т. 1.
71. *Лю Сянь-чжоу.* Об изобретении в Китае приборов для измерения времени.— *Вопр. истории естеств. и техн.*, 1957, вып. 4.
72. *М. Б.* История часов,—*Природа и люди*, 1901, № 12.
73. *Мортон А. А.* История Англии. М.: ИЛ, 1950.
74. *Найгебауэр О.* Точные науки в древности. М.: Наука, 1968.
75. *Неру Д.* Открытие Индии. М.: ИЛ, 1955.
76. *Нетушил И. В.* Обзор римской истории. Харьков, 1916.
77. *Низе Б.* Очерк римской истории и источниковедения. СПб., 1908.
78. *Осипов М.* Астролябия, планисфера или персидско-арабская астролябия. Ташкент, 1910.
79. Очерки по истории техники докапиталистических формаций/Под ред. В. Ф. Миткевича. Л., 1936.
80. *Пипуныров В. Н.* Византия — родина механических часов.—В кн.: *Тр. XIII Междунар. конгр. по истории науки. Секция «История средневековой науки и техники».* М., 1974.
81. *Пипуныров В. Н.* Развитие теории часов. История машиностроения.— *Тр. Ин-та истории естеств. и техн.*, 1962, т. 45.
82. Промышленность и техника. Силы природы и их применение в промышленности и технике. СПб., 1904. Т. 2.
83. *Рело Ф.* История и современное положение часового дела.— В кн.: *Промышленность и техника.* СПб., 1909, т. 6.
84. *Робертсон Дж. С.* История христианской церкви. СПб., 1890.. Ts 1.
85. *Рожанская М. М.* Механика на средневековом Востоке. М.: Наука, 1976.
86. *Розенфельд Б. А., Рожанская М. А., Соколовская З. К.* Абу-р-Райхан ал-Бируни. М.: Наука, 1973.
87. *Розенфельд Б. А., Сергеева Н. Д.* Стереографическая проекция. М.: Наука, 1973.
88. *Ростовцев М. И.* Очерк истории древнего мира. Берлин, 1924.
89. *Сажерс Ж.* Измерение времени и угловых движений.— *Науч. обозрение*, 1911, № 52.
90. *Спекторский Е.* Проблема социальной физики в XVII ст. Киев, 1917. Т. 2.
91. *Старцев П. А.* Очерки истории астрономии в Китае. М.: Физматгиз, 1961.
92. *Страбон.* География. Л.: Географгиз, 1964.
93. *Таннери П.* Исторический очерк развития естествознания в Европе (с 1300 по 1900 г.) М.; Л.: Гостехиздат, 1934.
94. *Таннери П.* Первые шаги древнегреческой науки. СПб., 1902.
95. *Трубецкой С. Н.* Курс истории древней философии. М., 1912. Ч. 1.
96. Труды Государственного Исторического музея: Из истории торговли и промышленности России конца XVII в. М.: Госкультпросветиздат, 1956.
97. *Франк Ф.* Философия науки. М.: ИЛ, 1960.
98. *Хокинс У.* Разгадка тайны Стоунхенджа. М.: Мир, 1973.
99. *Шалто Н. А.* Два фрагмента египетских водяных часов.— *Труды отдела Востока Гос. Эрмитажа.* Л., М.: 1939. Т. 1.
100. *Юшкевич А. П.* История математики в средние века. М.: Наука, 1961.
101. *Antike Uhren.* München, 1959.
102. *Antoniadi E. M.* L'astronomie égyptienne: Depuis les temps les plus reculés jusqu'à la fin de l'époque Alexandrine. P., 1934.
103. *Antoniadi E. M.* Clepsydras et anciennes horloges.— *Astronomie*, 1928, vol. 42, N 4.
104. *Archeologia Aeliana*, 1857, vol. 1.
105. *Baillie G. H.* Watches: Their history, decoration and mechanism. L., 1929.
106. *Baillie G. H.* Clocks and watches: A historical bibliography. L., 1951.
107. *Baillie G. H.* Evolution de l'horlogerie du cadran solaire à l'horloge atomique. P., 1968.
108. *Bede.* Libellus de Mensura Horologio. 1612.
109. *Bedim S. A., Maddison F. R.* The Astrarium Giovanni de'Dondi.— *Trans. Amer. Phil. Soc.*, 1966, vol. 56, pt 5.
110. *Bergholz P.* Das Jaypur Observatorium.— *Volt, und Abh. Arch.*, 1917, N 19.

111. *Boyle R.* Tractatus de ipso natura. Geneva, 1668.
112. *Brake T.* Astronomie instauratae mechanica. Wandsburg, 1598.
113. *Breamsted J. H.* The beginnings of time measurement and the origins of our calendar.—In: Time and its mysteries. Ser. 1. N. Y.; L., 1936.
114. *Britten F. J.* Old clocks and watches their makers. L., 1911.
115. *Cassiodorus M., A.* Variarum (epistolarum).—In: Monumenta Germaniae historica/Ed. W. Mommsen. B., 1894. T. 12.
116. *Charon L.* Greek and Roman Sundials. Yale Univ., 1972.
117. *Cambridge J. H.* The celestial balance.—Horol. J., 1962, vol. 104, N 1214.
118. *Cumont F.* Babylon und griechische Astronomie.—In: Neue Jahrb. Klass. Altetum, 1911.
119. *Drachmann A. G.* Ktesibius, Philon and Heron: A study in ancient pneumatic. Copenhagen, 1948.
120. *Drachmann A. G.* The plane astrolabe and anaphoric clock,—Centaurus, 1954, N 3.
121. *Drecker D.* Zeitmessung und Sterndeutung in geschichtlicher Darstellung. B., 1925.
122. *Drover C. B.* An early monastic alarm clock.—Horol. J., 1953, vol. 95, N1139.
123. *Du Cange Ch.* Classarium ad. scriptores mediae et infimal latinitatis. P., 1671.
124. Enciclopedia italiana. Milano, 1935, t. 35.
125. *Evans D. W.* The first hundred years of the marine chronometer.—Horol. J., 1953, N 4.
126. *Evans L.* Portable sundials.—In: The book of sundials. L., 1900.
127. *Ferbes R. I.* Man the maker: A history of technology and engineering. N. Y., 1950.
128. *Gatty A.* The book of sundials. L., 1900.
129. *Gould R. T.* The marine chronometer: Its history and development. L., 1923.
130. *Guillame B.* Gnomonique on traite theorique et pratique de la construction de cadrans solaires. P., 1956.
131. *Hanloser R.* Villard de Connecourt. Kritische Gesamtausgabe des Bauhiittenbuches Schroll. Wien, 1935.
132. Handbuch der Schweizerischen Volkswirtschaft. Bern, 1911. Bd. 2.
133. *Howgrave-Graham R. P., Lighfoot P.* Monk Glasstonbury and the old clock at Wells. Glasstonbury, 1922.
134. *lunger E.* Das Sanduhrbuch. Frankfurt a. M., 1957.
135. *Khan M. A., R.* A brief survey Muslin contribution to science and culture. Lahore, 1946.
136. *Kiely E. R.* Surveying instruments their history and classroom asl. N. Y., 1947.
137. *Labart J.* Histoire des arts industriels au mouen age et a l'epoque de la Renaissance. P., 1864, vol. 3.
138. *Lehmann C. F.* Über die Beziehungen zwischen Zeit und Raummessung in Babylon Lexagesemal-System. B., 1882, Bd. 1.
139. *Lloyd H. A.* Mechanical timekeepers.—In: A history of technology. L., 1957, vol. 3.
140. *Lockyer N.* Stoneenge and other British monument astronomically considered. L., 1906.
141. *Maswani A. M. K.* Islam's contribution to astronomie and mathematics,—Islam Cult., 1936, vol. 11, N 3.
142. *Moinet L.* Nouveau traite general astronomique et civil Horlogerie theorique et pratique. P., 1875, t. 1—2.
143. *Moore R. M., Tarn W. W., Suterland C. H. V.* The root of Europe studies in the diffusions of Greek culture. L., 1952.
144. *Needham J.* Science and civilisation in China. Cambridge, 1959, vol. 3.
145. *Needham J., Wan Ling, Price D. I.* Heavenly clockwork: The great astronomical clock of medieval China a missing ling in history. Cambridge, 1960.
146. *Neugebauer O.* Early history of the astrolabe.—Isis, 1949, vol. 40, N 10.

147. *Noble I. V., Price D. I.* The water clock in the tower of the winds.—*Amer. J. Archaeol.*, 1968, vol. 72, N 4.
148. *Prescott W. H.* History of the conquest of Mexico. L., 1925.
149. *Prescott W. H.* History of the conquest of Peru. L., 1907.
150. *Price D. I.* Clockwork before the clock.—*Horol. J.*, 1955, vol. 97, N 1167.
151. *Price D. I.* Clockwork before the clock.—*Horol. J.*, 1956, vol. 98, N 1168.
152. *Price D. I.* Portable sundials in antiquity, including and account of new examples from Aphrodisian.—*Centurus*, 1969, vol. 14, N 1.
153. *Price D. I.* Precession instrument to 1500.—In: *A history of technology*. L., 1957, vol. 3.
154. *Price D. I.* Science since Babylon. New Haven, 1961.
155. *Price D. I.* The prehistory of clocks.—*Discovery*, 1956, N 4.
156. *Rayet O.* Sur les cadraus coniques.—*Ann. chim. phys.*, 1875, vol. 1.
157. *Robertson J. D.* The evolution of clockwork. L., 1931.
158. *Rohr (Rene R. I.)* Les Cadrans Solaires. P., 1965.
159. *Sarton G. A.* History of science ancient science through the golden Age of Greece. Cambridge: Harvard Univ., 1952.
160. *Sayli A.* The observatory in Islam. Ankara, 1960.
161. *Schmidt M. C* Kulturhistorische Beitrage II: Die antike Wasseruhr. Leipzig, 1912.
162. *Schoy C.* Arabische Gnomonik.—*Arch. Dtsch. Seewarte*, 1913, N 1.
163. *Sheridan P.* Les inscriptions sur Ardurse de l'Abbaye de Wiellers.—*Ann. Soc. archeol. Bradelles*, 1896, vol. 10.
164. *Siddiqi A. S.* Construction of clocks and Islamic civilisation.—*Islamic Cult*, 1927, vol. 1, N 2, 3.
165. *Simoni A.* Orologi dal'500 all'800'. Milan, 1965.
166. *Soonavala M. F.* Maharaja Savai Jai Singh II of Jaypur and his observatories. Jaypur, 1952.
167. *Souchon A.* La construction des cadrans solatres (Ses principes sa pratique) precedes d'une historie de la gnomonique. Paris, 1905.
168. *Technicke Noviny*. Bratislava, 1970, N 5/6.
169. *The Archaeological Journal*, 1854, vol. 11.
170. The Dondi clock magnificent reproduction of the World's. First astronomical clock made in London and on Show at the Science Museum.—*Horol. J.*, 1961, vol. 103, N 1233.
171. *Thorndike L.* The invention of the mechanical clock about A. D. 1271.—*Speculum*, 1941, vol. 16, N 242.
172. *Thorndike L.* The sphere of Sacrobosco and its commentators. Chicago, 1949.
173. *Van der Waerden B. L.* Basic ideas and methods of Babylonian and Greek astronomy.—In: *Scientific change*. L., 1963.
174. *Ward F. A. B.* Time measuring instruments before the Pendulum clock.—*Horol. J.*, 1947, vol. 89, N 1062.
175. *Warren C. S.* The persecution of Huguenots and French economic development 1680—1720. L., 1960.
176. *Wiedemann E.* Uber die Uhren im Bereich der islamischen Kultur. Halle, 1915.
177. *Wiedemann E.* Ein Instrument das die Bewegung von Sonne und Mond darstellt nach al Beruni.—*Das Islam*, 1913, N 4.
178. *Wiedemann E., Hauser F.* Uber eine dem Archimedes zugeschrieben Uhr.—*Nova acta Acad. Caesareab leopold. carol, germ, natura curios.*, Halle, 1918. Bd. 103, N 2.
179. *Wiedemann E.* Zur Mechanik und Technik bei den Arabern.—*Soc. Gen. Phys.-med. Soz. Erlangen*, 1906. Bd. 38.
180. *Willard I. M.* A history of Simon Willar: Inventor and clockmaker. Boston, 1911.
181. *Winter H. J. J.* Muslim mechanics and mechanical appliances.—*Endeavour*, London, 1956, vol. 15, N 57.
182. *Zinner E.* Leben und Wirken des Iohannes Miiller von Konisberg genennt Regiomantanes. Munch, 1938.

183. *Аксельрод З. М.* Часовые механизмы: Теория, расчет и проектирование. М.; Л.: Машгиз, 1947.
184. *Андронов А., Витт А., Хайкин С.* Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
185. Астрономические часы Страсбургского собора.— *Всемир. иллюстрация.* 1870, т. 4, № 100.
186. *Баутин Н. Н.* Нелинейные задачи теории автоматического регулирования, возникающие в связи с динамикой часовых регуляторов хода. Москва; Горький: Изд-во АН СССР, 1956.
187. *Богданов Ю. М.* Приборы точной механики. М.: Машгиз, 1960.
188. *Васильев М. Ф.* Основы теории часовых механизмов. Л.: Арт. акад. РККА им. Ф. Э. Дзержинского, 1934.
189. *Галлей Г.* Избранные труды: В 2-х т. М.: Наука, 1964.
190. *Гюйгенс Х.* Три мемуара по механике. М.: Изд-во АН СССР, 1956.
191. Две новонайденные рукописи Леонардо да Винчи.— *Курьер ЮНЕСКО*, 1974, ноябрь.
192. *Делоне Н. Б.* Лекции по прикладной механике. СПб., 1901.
193. *Дроздов Ф. В.* Приборы времени: Расчет регулятора баланс—спираль. М.: Оборонгиз, 1940.
194. *Елисеев Б. Л.* Ремонт часов. М.: Легкая индустрия, 1968.
195. *Каспари Е.* Исследование о механизме и ходе хронометров.— *Мор. сб.*, 1878, № 5, 6.
196. *Лоссье Л.* Теория регулировки часов. М.: Станкпром, 1938.
197. *Мандрыка А. П.* Эволюция механики в ее взаимной связи с техникой. М.: Наука, 1972.
198. *Мармери Дж. В.* Прогресс науки, его происхождение, развитие, причины и результаты. СПб., 1896.
199. Оценка хронометров или морских часов.— *Отеч. зап.*, 1858, № 7. Отд. VII. Смесь.
200. Очерки истории техники докапиталистических формаций/Под общ. ред. акад. В. Ф. Миткевича. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
201. *Павлов М. П.* Техника измерений скоростей и времени. М.: Машгиз, 1950.
202. *Панов В. О* хронометре.— *Мор. сб.*, 1881, № 10, 11, 12.
203. *Пипуныров В. Н.* Из истории часов: Начальный этап развития классической колебательной хронометрии.— В кн.: *Физика на рубеже XVII—XVIII вв.* М.: Наука, 1974.
204. *Пипуныров В. Н.* Изобретение хронометра: (Предпосылки, этапы, результаты).— В кн.: *Механика и физика XVIII в.* М.: Наука, 1976.
205. *Романов А. Д.* Проектирование приборов времени. М: Высш. школа, 1975.
206. *Смыслов П. М.* Репсольдов круг, хронометры, хронометрические экспедиции. СПб., 1863.
207. *Струве О. В.* Исследование о компенсации хронометров.— *Мор. сб.*, 1856, т. 21, № 4.
208. *Тарасов С. В.* Приборы времени. М.: Машиностроение, 1976.
209. *Тимошенко С. П.* История науки о сопротивлении материалов. М.: Гостехиздат, 1957.
210. *Хайкин С. Э.* Незатухающие колебания, М.; Л.: Госэнергоиздат, 1953.
211. *Черепнев А. И.* Истоки автоматизации М.: Наука, 1975.
212. *Чернягин Б. М.* Температурная компенсация часов и хронометров: Дис. ... канд. техн. наук. М.: НИИЧаспром, 1956.
213. *Шишелов Л. П.* Механика часового механизма. Л.: Кубуч, 1933. Ч. 1; Л.: ОНТИ, 1935. Ч. 2.
214. *Шполянский В. А.* Хронометрия. М.: Машиностроение, 1974.
215. *Штулькерц П.* Температурные исследования хронометров.— В кн.: *Записки по гидрографии.* Л.: Гидрогр. упр. 1929, т. 16, вып. 6.

216. *Airy G.* Sur George Biddle Calculation of escapement Errors.—B KH.: Cambridge Philosophical Transactions, 1827, v. 2.
217. *Andrade J.* Chronometrie. P., 1908.
218. *Andrade J.* Horlogerie et chronometrie. P., 1924.
219. *Andrade J.* Organes reglants des chronometres. Bienne, 1925.
220. An account of the going of Mr. Harrison's watch by the Rev. Nevil Masce-lyne Astronomer-Roy. L., 1767.
221. [*Arnold J. R.*] Explanation of timekeepers constructed by Mr. J. Arnold. L., 1805.
222. *Arnold J.* An account kept during 13 Months at Greenwich observatory of a pocket chronometer. L., 1780.
223. *Arnold J. R.* An account... L., 1823.
224. *Atwood G.* Investigation founded on the theory of motion for determi-ning the times of vibration of watch balances. L., 1794.
225. *Bedini S. A.* Galileo Galilei and time measurement. Florenz, 1963.
226. *Bell A. E.* Christian Huygens and the development of the science in the seventeenth century. L., 1947.
227. *Bishop J. F. W.* The physics of clocks and watches.—J. Sci. Instrum., 1955, vol. 32, N 8.
228. *Bouasse H.* Pendule, spiral, diapason. P., 1920, vol. 1, 2.
229. *Britten F. I.* The watch and clockmakers-handbook. L., 1938.
230. *Britten F. I.* Britten's Old clocks and watches and their makers. L., 1923.
231. *Bruton L.* Clock and watches 1400—1900. N. Y., 1967.
232. *Caspari E.* Les chronometres de marine du chronometre et theorie de son mecanisme perturbation qui Arterent so marche. P., 1894.
233. *Caspari E.* Theorie der Uhren.— In: Encyclopedie der Mathematischen Wis-senschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen. Leipzig, 1905.
234. *Cescinsky H.* English domestic clocks. L., 1913.
235. *Chalet R.* Theorie generale d'escapement ancre.— Ann. franc, chronometer, 1959, vol. 14, N 3, 4.
236. *Chapuis A.* Urban Iurgensen et les continueurs. Neuchatel, 1924.
237. *Chapuis A., Jaquet E.* The history of self-winding watch (1770—1931). L., 1956.
238. *Cipolla C. M.* European culture overseas expansion. Harmondsworth (Mdx): Penguin Books, 1970.
239. *Cuillaume C. E.* La compensation des horloges et des montres. Neuchatel, 1923.
240. *Cuss T. R.* Camerer The story of watches. L., 1952.
241. *Dcaux B.* La mesure precise du temps en fonction des exugences nouvelles de la science. P., 1959.
242. *Defosser L.* Theorie generale de l'Horlogerie. La Chaux de Fonds, 1950—1952, T. 1—2.
243. *Delamarche et Ploix.* Note sur les marches d'un chronometre a balancier non compense.— Compt. rend. Acad, sci., 1859, t. 48, N 4.
244. *Dent E. I.* On the errors of chronometers. L., 1842.
245. *Derham W.* The artificial clockmaker., L., 1696.
246. *Ditisheim P.* Spiral elinvar er balancier de chronometrie a affixi compen-sateur.— J. Suisse horlogerie, 1921, vol. 43.
247. *Ditisheim P.* Variations des chronometer avec la pression atmosphere,— J. Suisse horlogerie, 1904, vol. 26.
248. *Ditisheim P.* Le spiral reglant et le balancier depuis huygens jusqu'a nos jours. Lausanne, 1945.
249. *Ditisheim P., Lallier R., Revershon L.* Le commandant Vivielle. Pierre le Roy et la chronometre, P., 1940.
250. *Espinasse M.* Robert Hook. L., 1965.
251. *Fremont Ch.* Origine de l'horloge a poids. P., 1915.
252. *Glasser G.* Die Begriffe-Stand, Gang-Ganganderung, Gangschwankung, Ganggenauigkeit, Gangunsicherheit und deren Bestimmung.— Uhr, 1967, Bd. 21, N 8.
253. *Gordon G. F. C* Clockmaking past and present. L., 1949.

254. *Gragam G. A.* Contrivance to avoid the Irregularities in Clock's motion occasioned by the Action of Head and Cold.—Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1762, N 392.
255. *Grebs B.* Contribution aux calculs du pouvoir reglant d'un systeme oscillant balancier-spiral et de divers elements agant une incidence sur la precision de la marche de la montre.—J. Suisse horlogerie, 1971, N 3, 4.
256. *Grimthorpe (Beckett E.).* Rudimentary treatese on clocks watches and bells. L., 1903, 1874.
257. *Grossmann J.* et H. Horlogerie theorique. Bern, 1908, t. 1; P., 1912, t. 2.
258. *Guillaume C. E.* Les Aciers au Nickel et leurs applications a l'Horlogerie.—In: Grossmann J. et H. Horlogerie theorique. P., 1912, t. 2.
259. *Guyot E.* Histoire de la determination des longitudes. La Chaux de Fonds, 1955.
260. *Haag J.* La chronometrie. Besancon, 1936.
261. *Haag J., Chaleat R.* Problems de theorie generale des oscillations et de chronometrie. P., 1960.
262. *Haag J.* La theorie du spiral et ses applications a la Chronometrie.—Bull. Soc. math. France, 1930, t. 58.
263. *Haag J.* Theorie generale de l'echappement a cylindre.—Ann. franc., chronom., 1932, vol. 1.
264. *Harrison J.* Portsmouth to port experiment with Harrison's timekeeper. L., 1762.
265. *Haswell I. E.* Horology: The science of time measurement and the construction of clocks, watches and chronometers. L., 1928.
266. *Huygens Ch.* Horologium, The Hague, 1658 (Пер. с англ.—Horol. J., 1954, vol. 96, N 1150, 1151).
267. *Huygens Ch.* Horologium oscillatorium. P., 1673.
268. *Jaquet E., Chapuis A.* Histoire et technique de la montre Suisse. Bale et Olten, 1945.
269. *Karstner A. G., Kruger S.* Vorschlag den Unterschied der Meridiane zwischen Danzig und Konigsberg zu finden... Weimar, 1789, Bd. 1.
270. *Kelhoff G.* La formule d'Airy.—Mem. Acad. roy. Belg., 1897, vol. 5, N 11.
271. *Kendal J. E.* A history of watches and other timekeepers. L., 1892.
272. Le opere di Galileo Galilei. Florencia: Ed. Naz., 1718, vol. XV, XVI, XIX.
273. *Lepaute I. A.* Traite d'horlogerie. P., 1767.
274. *Le Roy P.* Memoire sur la meilleurs maniere de mesurer le temps en Mer, qui a remporte le prix double ou jugement de l'Academie royale des sciences. Contenant la description de la montre a longitudes presentee a sa Majeste le 5 Aout. P., 1766.
275. *Lieussou P.* Recherches sur les variations qui affectent la marche des montres marines. P., 1851.
276. *bossier M. L.* Etude sur la theorie du reglage des montres. Geneve, 1907.
277. *Massy (of Amsterdam):* His essay on the best means of preservay equality of movement in a clock gained the prize offered by the Academie Royale des Sciences in 1720. P., 1722.
278. *Morquet F.* Histoire de la longitude a la mer en France. P., 1917.
279. *Mudge T. J.* A description of the timerkeeper invented by the late Thomas Mudge. L., 1799.
280. *Phillips E.* Memoire sur l'application de la theorie du spiral reglant. P., 1861.
281. *Phillips E.* Memoire sur le reglage de chronometres et des Montres dans les positions verticale et inclinee. P., 1864.
282. *Planchon M.* L'evolution du mecanisme de l'horlogerie. Bourges, 1916.
283. *Plantamour E.* A short history of the various methods of measuring time. L., 1895.
284. *Quenvres complites de Christian Huygens.* The Hague, 1890, vol. 3, 1895, vol. 6.
285. *Resal H.* Des applications de la mecanique a l'horlogerie, P., 1868.
286. *Resal H.* Traite de mecanique generale. P., 1876. T. 3. Application de la mecanique a l'horloge, p. 387 — κ 500.
287. *Robinson T. R.* Tompion's equation clock in the bath pump room.—Horolog. J., 1952, vol. 94, N 1131,

288. *Robinson T. R.* The Great Westminster Clock ticks off a century.— *Horol. J.*, 1959, vol. 101, N 1208.
289. *Sampson R.* A series of classical papers on precision clocks by the late Astronomer Royal of Scotland.—*Prec. Roy. Soc. Edinburgh*, 1918, vol. 38; 1924, vol. 44; 1936, vol. 57.
290. *Saunter C.* Treatise on modern horology in theory and practice. L., 1952.
291. *Schubert H. R.* History of British iron and steel industry. L., 1947.
292. *Short J.* An account of the preceedings in Order to the discovery of the longitude. L., 1763.
293. *Simon-Vermot A.* Synthese du groupe des montres a balancierspiralet frequence elevee. P., 1969.
294. *Simon-Vermot A.* Societe Suisse de Chronometrie Symposium du 3 juin 1967 sur: Evolution de la montre mecanique: Introduction.— *Suisse horlog.*, 1967, N 9/10.
295. *Simon-Vermot A.* ^experimentation base de mocrotechnique horlogerie.— *Ind. Organes*, 1968, vol. 37, N 8.
296. *Solomons D. L.* Brequet. L., 1923.
297. *Spenser H.* Jones Highlights in horology.—*Horol. J.*, 1954, vol. 96, N 1150.
298. *Struve W.* Expedition chronometrique entre Poulkov et Altona. Petersburg, 1844.
299. *Sully H.* Description abregee d'une horloge d'une nouvelle construction pour le plus ust de tempe en mer. P., 1726.
300. *Symonds R. W.* Thomas Tompion: His life and work. L., 1951.
301. *Tardy (Lengelle H.).* La pendule francaise des origines a nos jours. P., 1974.
302. Up- and down'indicators.—*Horol. J.*, 1950, v. 92, N 1096.
303. *Woodbury R. S.* History of the gear-cutting machine: A historical study in geometry and machines. Cambridge, 1958.

Часть III

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОХРОНОМЕТРИИ, КВАРЦЕВЫХ И АТОМНЫХ ЧАСОВ

304. *Аксельрод З. М.* Электромеханические часы. М.; Л.: Машгиз, 1952.
305. *Басов Н. Г.* и др. Молекулярные часы.—*Изв. вузов. Радиофизика*, 1958, № 3.
306. *Богданов Ю. М.* Часы и часовые механизмы. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1964.
307. *Елисеев Б. Л.* Электромеханические и электронные приборы времени. М.: ВИНТИ, 1959.
308. *Жаботинский М. Е.* К теории кварцевых генераторов.—*Радиотехника*, 1946, т. 1, № 3/4.
309. *Жаботинский М. Е.* Молекулярные генераторы и усилители. М.: Госэнергоиздат, 1958.
310. *Жаботинский М. Е., Радунская И. Л.* Время, по которому мы живем: (Об атомных и молекулярных астрономических часах). М.: Знание, 1962.
311. Записки Русского технического общества, 1906, № 1. (Об электрической системе часов Сименса и Гальске).
312. *Иваботенко Б. А., Ратмиров В. А.* Шаговые двигатели для систем автоматического управления. М: Госэнергоиздат, 1962.
313. *Кеди У.* Пьезоэлектричество и его практическое применение. М.: ИЛ, 1949.
314. *Кокушкин Н. Н.* Электрические часы. Саратов, 1913.
315. *Мясников Л. Л.* Атомные часы. Л.: Знание, 1969.
316. *Мясников Л. Л., Булыгин А. С.* Атомные часы и система времени. Л.: Знание, 1972.
317. *Радунская И. Л.* Радиоспектроскопия. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958.
318. *Рамонов А. Л.* Современное состояние и тенденции развития кварцевых часов. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1977.
319. *Токарский М. А.* Электрические часы системы Меллера. СПб., 1905.

320. *Трояновский В. В.* Электрические часы. М.: Машгиз, 1950.
321. *Трояновский В. В.* Электрочасовые системы и механизмы. М.: Машгиз, 1951.
322. *Федченко Ф. М.* Астрономические часы с электромагнитным возбуждением колебаний маятника.— В кн.: Исследование в области измерений времени. М.: Стандартиз, 1962, вып. 58.
323. *Шишелов Л. П.* Механика часового механизма. Л.: ОНТИ, 1937. Ч. 3. Электрохронометрия.
324. *Шполянский В. А., Чернягин Б. М.* Электрические приборы времени. М.: Машгиз, 1964.
325. *Шполянский В. А.* Электрочасовые системы. М.: Машгиз, 1950.
326. Электрические часы и электрочасовые системы: (Сб. статей). М.: ОНТИ приборостроение, 1967.
327. *Эссен Л.* Национальный стандарт частоты национальной физической лаборатории в Англии.— Радиотехника, 1960, т. 15, № 3.
328. *Bain A.* An account of some application of the electric fluid to the useful arts. L., 1843.
329. *Bain A.* Short history of electric clocks. L., 1852.
330. *Barwise J., Bain A.* Improvements in the application of moving power to clocks and timekeeper. Brit. Pat. N 8733, 1841.
331. *Bartrum C. O.* A clock of precision.— Proc. Phys. Soc. London, 1917, vol. 29, p. 2.
332. *Berner G. A.* L'horloger — electricien. Bienne en Besanson, 1926.
333. *Boeddicker O.* On the influence of magnetism on the of a chronometer.— In: Trans. (The Scientific) Roy. Dublin Soc, Ser. 11, 1942, vol. 3.
334. *Brattain W. H., Bardern J.* The transistor, a semi-conductor triode.— Phys. Rev., ser. 2, 1848, vol. 74, N 2.
335. *Cady W. G.* The piezoelectric resonator.— I. R. E. Proc, 1922, vol. 10, N 2.
336. *Cleeton C. E., Williams N. H.* Electromagnetic waves of 1,1 cm. wavelength and the absorption spectrum of ammonia.— Phys. Rev., 1934, vol. 45, N 2.
337. *Cleeton C. E., Williams N. H.* The shortest continuous waves.— Phys. Rev., 1936, vol. 50, N 11, 12.
338. *Dadourian H. M.* On the characteristic of electrically operated tuning forks.— Phys. Rev., 1919, vol. 13, N 5, 6.
339. *Dye D. W.* The valve maintained tuning fork is a precision time standard.— Proc. Roy. Soc. London, 1923, vol. 103, N 722.
340. *Dye D. W., Essen L.* The valve maintained tuning fork as a primary standard of frequency.— Proc. Roy. Soc. London, 1934, vol. 143, N 848.
341. *Eccles W. H.* The use of the triode valve in maintaining the vibration of a tuning fork.— Phys. Soc. London Proc, 1919, vol. 31, pt 5.
342. *Eccles W. #., Jordan F. W.* Sustaining the vibration of a tuning fork by a triode valve.— Electrician, 1919, vol. 82, N 23/26.
343. *Eckhardt E. A., Karcher J. C., Keiser M.* Electron tube for tuning fork.— Phys. Rev., 1921, vol. 17, N 4.
344. *Eckhardt E. A., Karcher J. C., Keiser M.* An electron tube tuning fork drive.— J. O. S. A., 1922, N 6.
345. Elektrische Armbandung mit Transistor.— Schweiz. Uhr, 1967, N 14/15.
346. Electric clocks.— Horol. J., 1920, vol. 42, N 744.
347. Electric clocks.— Sci. Amer., 1910, vol. 103, N 8.
348. *Essen L.* Atomic clock and frequency standarts.— Horol., J., 1960, vol. 102, N 1219.
349. *Essen L.* The Dye quartz ring as a standard frequency and time.— Proc. Roy. Soc. London, 1936, vol. 155a, N 886.
350. *Favarger A.* L'Electricite et ses application a la chronometrie. Neuchatel, 1924.
351. *Frankenstein E.* Elektrische und elektronische Armbanduhren ihre Bauart und Wirkungsweise.— Feingaretetechnik, 1957, Bd. 6, N 2.
352. *Gabry A.* L'horloge atomique.— Usine nouv., 1967, vol. 23.
353. *George P.* Mit Quartz gesteuerte tragbare Uhren.— Uhren und Schmuck, 1967, Bd. 4, N 4.

354. *Gerber E- A., dykes R. A.* Quartz frequency standarts.—Proc. 1.ÈÈÈ, 1967, N 1.
355. German quartz clocks.—B. I. O. S. Rept N 1316. H. M. Stationary Office. L., 1947.
356. *Good R.* The development of the electric watch.—Horol. J., 1964, vol. 106, N 1253—1255.
357. *Good R.* The analysis of the lip electric watch.—Horol. J., 1960, vol. 102, N 1216.
358. *Good R.* An analysis of the electric watch.—Horol. J., 1957, vol. 99, N 1186.
359. *Guye R. P., Bossart M.* Horlogerie électrique. Lausanne, 1948.
360. *Hetzel M.* Die Elektronik im Dienst der Feintechnik.—Techn. Rdsch., 1964, N 6.
361. *Hetzel M.* Die elektrische Uhr.—Techn. Rdsch., 1964, N 49.
362. *Hetzel M.* Le diapason et son influence sur l'horlogerie.—Bull. annu. Soc. Suisse chronom., 1962, vol. 4.
363. [*Hipp M. H.*] Notice relating to the electric clock manufactured by M. H. Hipp. Neuchatel, 1876.
364. *Hipp M. H.* La pendule électrique de precision. P., 1884.
365. *Hope J. F.* Electrical timekeeping. L., 1949.
366. *Horton J. W., Marrison W. A.* Precision determination of frequency.—I. R. E. Proc., 1928, vol. 16, N 1.
367. *Jones H. S.* The measurement of time.—Endeavour, 1945, vol. 4, N 16.
368. *Lacey R. F.* Thallium beam frequency standarts.—Metrologia, 1967, v. 3, N 3.
369. L'observatoire cantonal de Neuchatel consacre les efforts de ebauches SA dans le domaine de l'horlogerie électronique.—Rev. franc, bijout horlog., 1967, N 322.
370. *Loomis A. L., Marrison W. A.* Modern development in precision clocks.—AIEE Trans., 1932, vol. 51, N 2.
371. *Marrison W. A.* The evolution of the quartz crystal clock.—Horol. J., 1948, vol. 90, N 1078/1081.
372. *Marrison W. A.* The cristal clock.—Proc. Nat. Acad. Sci., 1930, vol. 16, N 7.
373. *Marrison W. A.* A high precision standard of frequency.—I. R. E. Proc., 1929, vol. 17, N 7.
374. *McCourbey A. O.* The relative merits of atomic frequency standard.—Proc. IEEE, 1967, vol. 55, N 6.
375. *McLean Nicolson A. Mel.* The piezoelectric effect in the composite Rochelle salt crystal.—AIEE Trans., 1919, vol. 38, p. 2.
376. *Perucchi N.* La montre — bracelet a quartz.—Suisse horlog et rev. intern, horlog., 1970, vol. 85, N 1.
377. *Pierce G. W.* Piezoelectric crystal oscillators applied to the precision measurement of the valosity of sound in air and carbon dioxide at high frequencies.—Proc Amer. Acad. Arts and Sci., 1925, vol. 60, N 11.
378. *Rabi I. I., Zacharias I. R., Millman S., Kusch P.* A new method for measuring nuclear magnetic moments.—Phys. Rev., 1938, vol. 53.
379. *Ritchie F. J.* Electric clock system.—Roy. Scott. Soc. Arts, Edinburgh, 1873, vol. 9, p. 1.
380. *Rousseau I.* L'horloge atomique a resonateur a jet de cesium «oscillatom».—Rev. frang. astronaut., 1967, N 6.
381. *Scheibe A., Adelsberger U.* Eine Quartzuhr für Zeit- und Frequenzmessung sehr hoher Genauigkeit.—Phys. Ztschr., 1932, Bd. 33, N 21.
382. *Schaller H.* La Bulova Accutron et quelques aspects de la fabrication.—J. Suisse horlog., 1964, N 11/12.
383. *Schieron E.* Bulovas Marschrichtung.—Uhr, 1971, N 22.
384. *Schieron E.* Technique et application des transistor. P.: Soc. ed. radio, 1961.
385. *Shortt H. W.* The Shortt Clock.—Horol. J., 1929, vol. 71, N 872/873.
386. *Stuper I.* Das heutige angebot und Quarzarmbanduhren.—Neu Uhrmacher Ztg., 1972, N 11.
387. The Lip Electronic watch is now on Sale.—Horol. J., 1958, vol. 100, N 1203.
388. Time and frequency: Theory and fundamentals. Wash.: Byron E. Blair, 1974.
389. *Tobler.* Die elektrische Uhren.
, 1909.

390. Townes Ch. H. The ammonia spectrum and line shape near λ 2,25 cm wavelength.—Phys. Rev., 1946, vol. 70, N 9, 10.
391. Vigoureux P. Quartz oscillators and their applications. L., 1939.
392. Walti A. Nouveantes en electrochronometrie. Bienne, 1921.
393. Wise S. I. Electric clocks. L., 1948.
394. Wise S. I. Electrical watch balances.—Watchmaker, Jeweller and Silver-smith, 1955, N 4.
395. Wood A. B., Ford I. M. Tuning fork and phonic wheel.—J. Sci. Instrum., London, 1924, vol. 1, N 6.
396. Zacey R. F. Thallium Blam frequency Standarts.—Metrologia, 1967, vol. 1, N 4.

НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ

Амплитуда—максимальный угол отклонения от положения статического равновесия маятника или баланса при их колебаниях.

Анкер {вилка, якорь}—деталь, передающая движение от спускового колеса к балансу или маятнику.

Амортизатор — противоударное устройство, или приспособление для защиты цапф оси баланса от ударов и вибраций.

Анкерное колесо — деталь, передающая движение от основной колесной системы на анкерную вилку.

Анкерная вилка — деталь, передающая движение от анкерного колеса к балансу.

Баланс — регулятор часового механизма, представляющий собой кольцо, закрепленное на оси при помощи поперечины.

Баланс биметаллический — баланс с ободом из биметалла или из двух слоев металлов с различными коэффициентами термического расширения; у поперечины обод разрезан в двух местах.

Баланс монометаллический — баланс с ободом из какого-нибудь одного металла.

Градусник — устройство для регулирования периода колебаний баланса путем изменения длины действующей спирали.

Заводной вал — деталь, выведенная из корпуса часов и снабженная головкой для вращения от руки при заводе пружины или перевода стрелок.

Заводное колесо — колесо, передающее движение от заводного триба к балансовому колесу.

Заводная муфта {кулачковая муфта, кулачковый триб, боценок} — деталь, осуществляющая переключение зацепления заводного вала от механизма заводки пружины к механизму перевода стрелок и наоборот.

Импульсный камень — составная часть анкера, имеющая различный наклон плоскости импульса на анкере.

Инварный маятник — маятник, у которого стержень изготовлен из ферро-никелевого сплава.

Колодка — деталь для крепления внутреннего витка спирали на оси баланса.

Колонка — деталь для крепления наружного витка спирали в балансовом мосту.

Копье — деталь анкерной вилки типа штифта, предохраняющая анкерную вилку от произвольных перемещений.

Мост — деталь для крепления осей трибов со стороны, противоположной платине.

Осциллятор — регулятор (стабилизатор) колебания.

Палета — импульсный камень анкера. Различают входную и выходную палеты.

Пендельфедер — пружинный подвес маятника.

Период колебания осциллятора — длительность (в секундах) одного полного колебания осциллятора (например, баланса или маятника).

Платина — основание часового механизма.

Рементуар — устройство в часовом механизме, включающее узлы заводки пружины и перевода стрелок.

Решетчатый маятник — устройство для температурной компенсации маятника, состоящее из стержней с различными коэффициентами температурного расширения, скрепленных перекладами, и напоминающее решетку.

Ртутный маятник — устройство для температурной компенсации маятника. Состоит из тонкого металлического стержня, к нижнему концу которого подвешена подставка, где вместо линзы (груза маятника) помещен сосуд, наполненный до известного уровня ртутью.

Система «баланс—спираль» — узел часового механизма, обеспечивающий равномерно-прерывистое движение колесной передачи часов.

Спираль (волосок) — спиральная пружина, обеспечивающая возвратные колебания баланса. Она вместе с балансом используется в качестве регулятора хода балансовых часов.

Стрелочный механизм — колесная передача от минутного триба к часовому колесу.

Суточный ход часов — изменение поправки показаний часов за сутки.

Температурный коэффициент суточного хода часов — изменение суточного хода при изменении температуры окружающей среды на 1°C.

Трензель — устройство, автоматически переключающее зацепление при изменении направления вращения ведущего вала.

Триб — зубчатое колесо, изготовленное вместе с осью; число зубцов не превышает 20.

Ходовое колесо — колесо, передающее усилие от колесной передачи (агр-нажа) на анкер.

Цапфа — конечная опорная часть оси.

Штифт — крепежная деталь в виде слабokonического стержня, вставляемого в отверстие соединяемых деталей.

Эллипс (колонштейн) — импульсный камень, закрепляемый в ролике баланса для передачи импульса от анкерной вилки к балансу.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ	АВТОРА	3
Введение		
ПЕРИОДИЗАЦИЯ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЧАСОВ.		6

Часть I

ИСТОРИЯ ЧАСОВ ДРЕВНЕГО МИРА И СРЕДНИХ ВЕКОВ

Глава I	
ЧАСЫ ДРЕВНЕГО ВОСТОКА	18
Солнечные и водяные часы Древнего Вавилона	18
Солнечные, звездные и водяные часы Древнего Египта	21
Солнечные и водяные часы в древних Иудее, Китае, Индии, Перу и Родезии.	28
Глава II	
АНТИЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ И ВОДЯНЫЕ ЧАСЫ	34
Солнечные и водяные часы Древней Греции.	34
Часы александрийско-римской эпохи.	42
Глава III	
ЧАСЫ СРЕДНИХ ВЕКОВ.	65
Развитие солнечных и водяных часов в ранней средневековой Европе	65
Развитие гномоники, солнечных и водяных часов в Византии, на мусуль- манском Востоке, в средневековой Индии и Китае.	73
Гномоника, солнечные, водяные, песочные и огневые часы в классиче- ское и позднее средневековье Западной Европы.	105
Глава IV	
РАЗВИТИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ В XIV—XVII ВВ.	141
Появление и развитие ранних механических часов	141
Устройство ранних башенных часов.	147
Появление и развитие механических часов индивидуального пользова- ния в Западной Европе в XV—XVII вв.	170
Развитие карманных часов в XVII в.	180
Историко-культурное значение развития механических часов	188

Часть II

РАЗВИТИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ХРОНОМЕТРИИ

Глава I

РАЗВИТИЕ МАЯТНИКОВЫХ ЧАСОВ'	194
Теория маятника и маятниковые часы Галилея.	198
Маятниковые часы Гюйгенса и теория их устройства.	203
Усовершенствование хода маятниковых часов в Англии после Гюйгенса	220
Температурная и барометрическая компенсация маятника	236
Часы стационарного типа с маятником.	242

Глава II

РАЗВИТИЕ КАРМАННЫХ ЧАСОВ.	253
Развитие карманных часов после Гюйгенса.	253
Создание часов без отхода ходового колеса назад.	272
История применения свободного анкерного хода в карманных и наруч- ных часах.	280

Глава III

ИСТОРИЯ ХРОНОМЕТРА.	293
Изобретение морских часов и хронометра.	296
Устройство современного хронометра.	331

Глава IV

ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БАЛАНСА И СПИРАЛИ.	334
Материалы для спиральной пружины.	334
Система баланс—спираль как регулятор хода часов.	337
Температурная компенсация системы баланс—спираль	349
Изохронизация колебаний системы баланс—спираль	355

Глава V

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАРУЧНЫХ ЧАСОВ.	361

Часть III

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОХРОНОМЕТРИИ, КВАРЦЕВЫХ И АТОМНЫХ ЧАСОВ

Глава I

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАЯТНИКОВЫХ И БАЛАНСОВЫХ ЧАСОВ.	381
Развитие маятниковых и балансовых часов с электрическим приводом прямого действия.	384
Развитие маятниковых часов с электрическим приводом косвенного действия.	396
Предыстория электрических маятниковых часов Шорта	398
Часы Шорта с двумя маятниками	407

Глава II

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ.	413
Кварцевые часы.	419
Атомные часы.	434
Атомное время.	455
Электрические и электронные наручные часы.	458
Электронно-механические наручные часы.	468
ЛИТЕРАТУРА	481
НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ.	492

Василий Николаевич Пипуныров

ИСТОРИЯ ЧАСОВ

с древнейших времен до наших дней

Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники АН СССР

Редактор издательства *Е. М. Кляус*. Художник *В. Н. Тикунов*
Художественный редактор *Т. П. Поленова*. Технический редактор *В. Д. Прилепская*
Корректоры *Н. И. Казарина, Н. А. Несмеева*

ИБ № 15344

Сдано в набор 22.09.81. Подписано к печати 23.02.82. Т-03939. Формат 60Х90А6

Бумага книжно-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая
Усл. печ. л. 31,0. Усл. кр. отт. 31,1. Уч.-изд. л. 35,4. Тираж 25 000 экз. Тип. зак. 5560
Цена 2 р. 50 к.

Издательство «Наука» 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10