

Язвенко Кирилл Евгеньевич, студент второго курса, Новосибирский государственный технический университет, РФ, г. Новосибирск

Мичурин Даниил Владимирович, студент второго курса, Новосибирский государственный технический университет, РФ, г. Новосибирск

Налетов Роман Игоревич, студент второго курса, Новосибирский государственный технический университет, РФ, г. Новосибирск

Чусовитин Николай Анатольевич, заслуженный работник науки и образования, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Сибирского государственного университета водного транспорта, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Новосибирского государственного технологического университета, РФ, г. Новосибирск

СИНТЕЗ СПУСКОВОГО МЕХАНИЗМА МАЯТНИКОВЫХ ЧАСОВ

Аннотация: В представленной статье приводятся принципиальные конструкции часов в порядке их появления, дано их описание, принцип работы и историческая справка. Также в статье проведен анализ влияния на жизнь людей появления хронометрии – науке о методах и средствах измерения времени. Завершается статья описанием созданного механизма, демонстрирующего принцип работы анкерного спускового механизма часов, обоснованием его исполнения и характеристик.

Ключевые слова: История часов, часы, спусковой механизм часов, влияние часов, время, анкерное колесо, анкерная вилка, билянец-коромысло.

Annotation: In the presented article, the fundamental designs of watches are given in the order of their appearance, their description, principle of operation and historical background are given. The article also analyzes the impact on people's lives of the appearance of chronometry - the science of methods and means of measuring

time. The article ends with a description of the created mechanism, which demonstrates the principle of operation of the escapement mechanism of the watch, the rationale for its performance and characteristics.

Key words: History of clocks, clocks, clock escapement, clock influence, time, escape wheel, escape fork, yoke.

История часов

История часов насчитывает не менее четырех тысяч лет. Весьма очевидно, что первые способы определения времени дня и ночи были эмпирическими, т.е. основанными на опытным примерном определении, например, оставшегося времени до заката. Однако такая точность не устраивала человека, с древнейших времен стремившегося упорядочить любую деятельность, сопровождавшую его быт. Так же со временем было замечено, что в разное время как суток, так и года рыбы, звери и птицы ведут себя по-разному. В какое-то время их проще поймать, а в какое-то время они могут быть более агрессивными. Все это обозначило то, насколько жизненно необходимо человеку знать время дня, знать, как скоро сменится сезон и как скоро цикл повторится.

Проблему знания периодичности смены времен года помогло решить наблюдение за сменами фаз луны, создание календарей [1].

Солнечные часы

Очевидно, что человек, всегда отличавшийся наблюдательностью, заметил, что время дня можно узнать, определив положение солнца на небосводе. Мысль хорошая, но небосвод нельзя проградуировать чтобы увеличить точность определения времени и исключить фактор наличия опыта, в отличии от земли, что под ногами. И как только человек осознал взаимосвязь между длиной и положением тени предметов, стало возможно ввести корректную градацию шкалы времени, по которой в течение дня скользит тень от гномона в центре (рисунок 1).

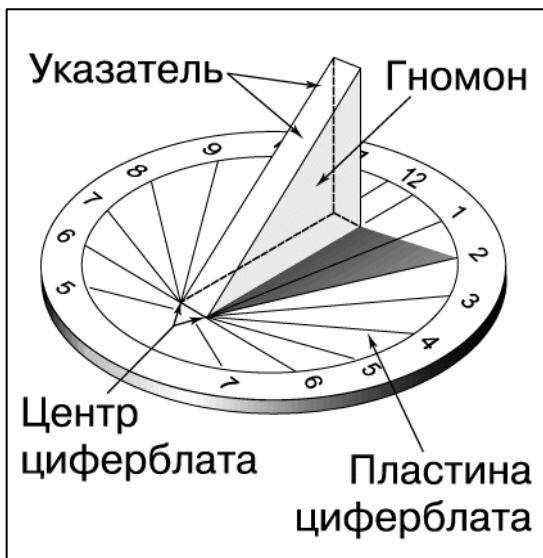


Рисунок 1 - Конструкция солнечных часов



Рисунок 2 - Солнечные часы в парке им. Кирова в Ленинском районе г. Новосибирска

Однако, в каком бы исполнении не были бы выполнены эти часы, полезными в широком смысле этого слова их назвать нельзя, ведь они показывают солнечное время, не совпадающее с местным, а также не могут давать показания при отсутствии прямого солнечного света. На сегодняшний день солнечные часы используются разве что в качестве достопримечательности в парках городов (Рисунок 2) [4].

Водяные часы

Водяные часы (клепсидра, от греч. красть и вода) – одни из первых устройств для измерения именно промежутков времени. Водяные часы были известны со времен Древнего Египта и были в употреблении до восемнадцатого века. Столь долгий период эксплуатации объясняется простотой и надежностью конструкции, а также принципом работы, аналогичным с песочными часами. Сосуд, с калиброванным отверстием на дне и градуацией на внутренней стенке наполнялся водой, которая, истекая, отмеряла промежутки времени.

Песочные часы, появившиеся в среднем средневековье, стали закономерным и более практичным продолжением простейших водяных часов.

Важность водяных часов заключается в том, что они не ограничены лишь указанием времени посредством уровня воды в сосуде. Множество мастеров того времени производили свои вариации водяных часов, работавших за счет того, что вода, равномерно вытекающая из калиброванного отверстия, вращала водяное колесо с определенной частотой, что позволяло приводить в движение посредством зубчатой передачи стрелку на циферблате или же сам циферблат часов (рисунок 3), который, к слову, уже имел привычный нам вид (рисунок 4). Единственными недостатками были коррозия, необходимость довольно больших сосудов с водой чтобы часы могли идти в течение суток, а также невозможность работы при отрицательных температурах. Последние вариации водяных часов максимально приблизили человечество к созданию механических часов [3].

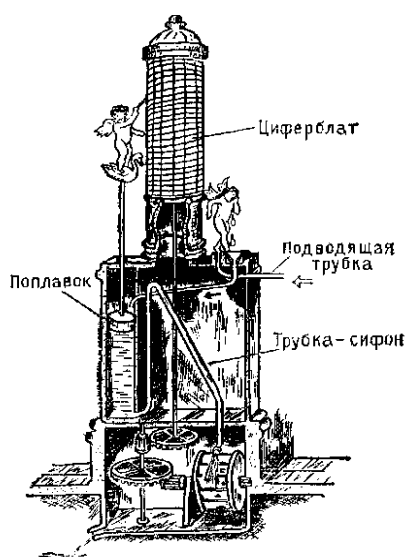


Рисунок 3 - Водяные часы (II в. до н.э.)

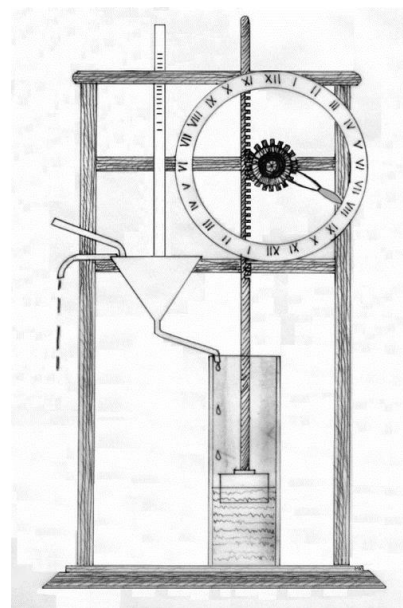


Рисунок 4 - Водяные часы с плоским круглым циферблатом

Огненные часы

Этот вид часов появился почти одновременно с водяными и использовался вплоть до позднего средневековья. Аналогично с водными, у огненных было множество конструкций, обеспечивавших различный функционал и время горения. Среди огненных часов разделяли лампадные, свечные и фитильные. Лампадные использовали в качестве топлива масло, залитое в емкость со

шкалой, подобранной так, чтобы при определенной интенсивности, указывать оставшееся время горения. Масла обычно хватало на 10-12 часов. Свечные имели схожую градуировку на самой свече, но могли давать знать о прошедшем промежутке времени сменой запаха, благодаря различным ароматическим добавкам на смежных интервалах свечи. Эти два вышеперечисленных вида огненных часов получили большее распространение в средневековой Европе и Ближнем Востоке, в то время как фитильные были популярны на востоке, в частности в Китае. Фитиль изготавливался из древесной пыли, часто с добавлением благовоний, в форме палочек и спиралей [2]. Такой состав обеспечивал равномерность и длительность горения. Китайские огненные часы стали первыми часами в мире со звуковым оповещением: на горизонтальную палочку-фитиль вешали нити с металлическими шариками на концах. Когда горение доходило до нитей, они перегорали и шарики падали вниз, ударяясь о металлический лист, издавая звон.

Механические часы

Любые механические часы состоят из 4-х основных групп элементов: заводного механизма, представляющего из себя храповой механизм, 2-х редукторов, один из которых позволяет увеличить время работы часов, а второй позволяет приводить в движение часовую и минутную стрелку и спускового механизма, который тормозит движение редуктора, не позволяя разом израсходовать всю запасенную энергию.

Первые механические часы были очень большими и не очень точными, имея погрешность до часу в сутки. До изобретения заводной пружины, производилась аккумуляция потенциальной энергии груза. Этим и объясняются огромные размеры первых механических часов, которые были башенными: чтобы запасти больше энергии, нужно поднять груз повыше, а чтобы преодолеть механические потери, он должен быть тяжелым. Первый спусковой механизм состоял из зубчатого колеса с заостренными в одном направлении зубьями и билиянец-коромысло (рисунок 5). Последний представляет из себя свободно вращающееся вокруг оси с двумя лопатками, расположенными под прямым

углом друг к другу, коромысло, имеющее на своих плечах пазы для фиксации положения грузов.

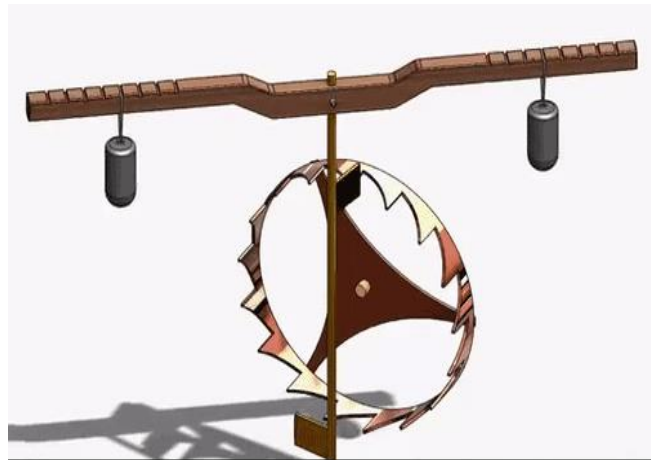


Рисунок 5 - Билянец-коромысло и зубчатое колесо

Принцип действия следующий: зубчатое колесо, приводимое в движение редуктором за счет разматывания веревки под действием силы тяжести груза, толкает одну из лопаток билянца, поворачивая коромысло и цепляясь за вторую лопатку. При этом грузики на коромысле служат для настройки частоты колебаний [4].

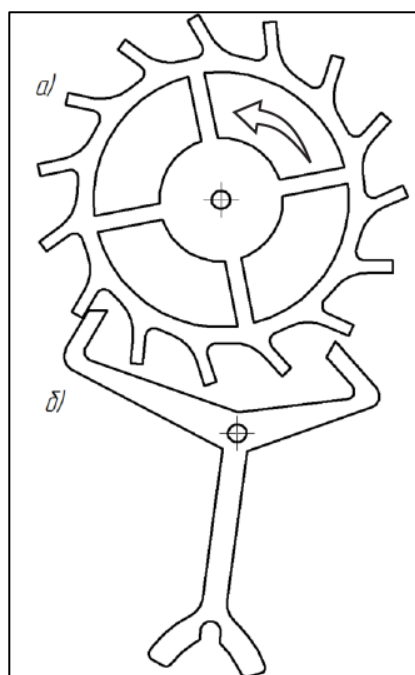


Рисунок 6 - Анкерное колесо (а),
анкерная вилка (б)

Следующим этапом развития механических часов считается появление маятниковых часов. Маятниковые часы обладали большей точностью хода и давали погрешность в районе 10 секунд в сутки. Основополагающую идею заложил Галилео Галилей, начавший исследовать свойства маятников примерно с 1602 года и выяснивший, что период качания маятника зависит от его длины, но не зависит от массы и выдвинул идею, что это можно использовать для отмеривания равных промежутков времени. Первые маятниковые часы изготовил Голландский ученый Христиан Гюйгенс в 1657 году. Устройство маятниковых часов отличалось только спусковым механизмом, в котором вместо зубчатого колеса – анкерное (рисунок 6 а), а вместо вращающегося коромысла – анкерная вилка (рисунок 6 б). Принцип работы до нельзя похож на то, как работал билянец. Анкерное колесо стресмится повернуться, а вилка его тормозит. Теперь колесо повернется только в том случае, если маятник приведет анкерную вилку в противоположное положение, в котором колесо вновь остановится, зацепившись уже за другой зуб вилки. Каждый такой цикл колесо проворачивается на 1 зуб, а частота регулируется длиной маятника. В то же время маятник не останавливается, потому что после снятия зацепления вилки он получает от нее толчек, возобновляя баланс механической энергии.

Маятник может быть представлен как самый обычный маятник и как подпружиненный баланс – утяжеленное колесо, колеблющееся вокруг своей оси и имеющее шпинец, которым он меняет положение вилки. Применение баланса позволяет как угодно размещать часы в пространстве и не зависеть от местоположения на земле.

Кварцевые часы

Первые кварцевые часы были изготовлены в 1957 году. Вместо колебаний какого-либо маятника в кварцевых часах используются колебания кварцевого кристалла, происходящие на основании пьезоэлектрического эффекта. Основные элементы часов это: элемент питания, генератор колебаний, счетчик-делитель, шаговый двигатель и редуктор. Принцип работы заключается в том, что счетчик-делитель считает колебания генератора, стабилизированного

кварцевым резонатором – кристаллом, настроенным на частоту колебаний 32768 Гц, делит эту частоту на 2^{15} и выдает секундные импульсы, подаваемые на шаговый двигатель, который двигает секундную стрелку и редуктор, с находящимися на нем минутной и часовой стрелками. Выбор частоты обусловлен тем, что это число разделить на само себя способен простейший двоичный счетчик, что упрощает электронную часть. Точность хода обычных кварцевых часов допускает отклонение до 10 секунд в месяц. Однако, кварцевый резонатор со временем приходит в негодность и часы начинают спешить.

Атомные часы

Атомные часы измеряют время отслеживая резонансную частоту атомов, связано это с тем, что электроны, переходя из одного энергетического уровня на другой, взаимодействуют с определенной частотой. Стандартом для атомных часов считается изотоп цезия-133, охлажденный до температур, близких к абсолютному нулю. Точность хода современных атомных часов допускает погрешность в 1 секунду за 300 миллионов лет.

Благодаря применению атомных часов могут работать финансовые биржи, системы навигации, интернет и многое другое.

Оказанное влияние

До начала промышленной революции совсем немногим людям было важно знать, который сейчас час. Большая часть населения тогда была занята в сельском хозяйстве и работала «от рассвета до заката», поэтому до середины 18-го века часы не оказывали большого влияния на человечество в целом. Однако, как только люди начали работать на фабриках и заводах, появилась необходимость их организовывать и дисциплинировать. Так же, появилась оценка производительности, необходимость во время подвозить сырье и вывозить готовую продукцию. Людям стали платить за количество отработанных часов, приходиться и уходить с работы стало необходимо к определенному часу, кругом стали появляться расписания. С одной стороны жизнь человека стала более организованной, а с другой он попал в жесткие рамки, которые не всегда были разумными, так например, появилось понятие

тирания времени или часов. Под этим понятием имеется в виду черезчур большие смены, длинный рабочий день и ограниченное время на отдых и естественные нужды. Известен даже случай в начале 20-го века, когда работники железной дороги в Каире устроили забастовку, отрезали ж/д линию до Верхнего Египта и уничтожали часы из-за того, что начальство пыталось четко разграничить допустимое время прибывания в уборной [2].

Механизм

Для наглядной демонстрации принципа работы спускового механизма часов с анкерным колесом и вилкой была спроектирована и построена установка (Рисунок 7).

Она состоит из храпового механизма (рис.7, а, рис.8), двухступенчатого мультипликатора (рис. 7, б, рис.9), анкерного колеса (рис. 7, в), анкерной вилки (рис. 7, г), маятника (рис. 7, д), груза (рис. 7, е) и опоры(рис. 7, ж).

Для приведения механизма в действие необходимо выполнить всего 2 операции: 1) повернуть храповый механизм, наматывая вевку на шпулю, тем самым повышая потенциальную энергию груза; 2) толкнуть маятник в любую из сторон. После этого, маятник будет покачивать на оси анкерную вилку, которая

будет освобождать и вновь останавливать анкерное колесо. При высвобождении анкерного колеса, оно толкает анкерную вилку, а та в свою очередь толкает маятник, возвращая ему энергиую и компенсируя механические потери. Вес

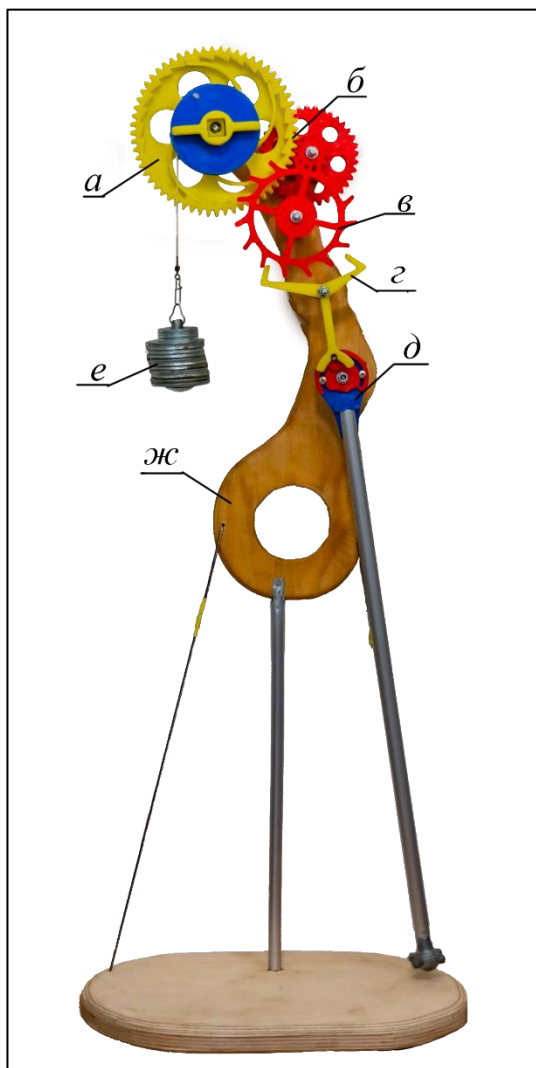


Рисунок 7 - Маятниковый спусковой механизм

груза экспериментально подобран таким образом, чтобы при заданном диаметре шпули создавать на первом зубчатом колесе мультипликатора (рис.9, 1) такой крутящий момент, чтобы он был больше крутящего момента механических потерь.

Период колебаний рассчитывается по формуле (1). Его, для удобства, обычно выбирают кратным единице.

$$T = \frac{2\pi \cdot \sqrt{L}}{\sqrt{g}} \quad (1)$$

Длина маятника L , рассчитана таким образом, чтобы он совершал колебания с периодом в 1 секунду. Преобразовав формулу, и подставив значения получим $L = 0.248$ м или 248 мм.

Таким образом, анкерное колесо, имеющее 15 зубьев, будет совершать 1 оборот раз в 15 секунд.

Для продления времени работы и привода стрелок часов применяется редуктор (в обратном направлении - мультипликатор). В представленном механизме редуктор (мультипликатор) рассчитан таким образом, чтобы механизм мог работать в течение 10 минут. Зубчатое колесо 4, имеющее 12 зубьев, вращает 36-и зубое промежуточное колесо, совмещенное с еще одним 12-и зубым колесом, которое вращает колесо 1, имеющее 60 зубьев. Передаточное отношение U_{4-1} получается равным:

$$U_{4-1} = U_{4-3} \cdot U_{2-1} = \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_1}{z_2} = \frac{36}{12} \cdot \frac{60}{12} = 5 \cdot 3 = 15. \quad (2)$$

Это означает, что на 1 оборот первого колеса приходится 15 оборотов анкерного колеса, или 225 секунд при работе механизма. Чтобы добиться времени работы в 10 минут, колесо 1 должно сделать $n = \frac{600}{225} = 2.667$ оборотов. При минимальной высоте основания, равной длине маятника, в 248 мм, диаметр d шпули должен быть равен не более чем отношению длины ее окружности C , которую мы принимаем равной высоте основания, к произведению числа π и числа оборотов n :

$$(3)$$

$$d = \frac{C}{\pi \cdot n} = \frac{248}{\pi \cdot 2.667} \approx 30 \text{ мм}$$

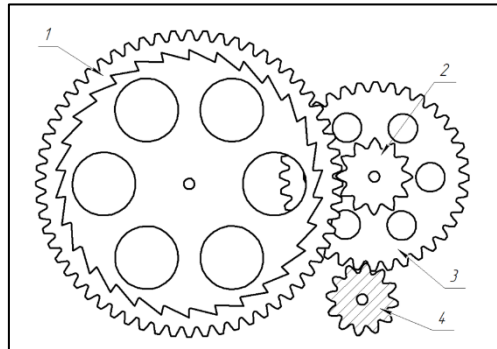


Рисунок 9– Мультипликатор

Механизм выполнен таким образом, что при необходимости, вместо груза можно установить взводную пружину, а вместо маятника – баланс, тогда, подобрав массу баланса и жесткость его пружины, механизм можно будет располагать в пространстве как угодно и не изменить при этом периода колебаний. Так же, механизм можно снабдить дополнительной шестерней со стрелкой и циферблатом со шкалой в 10 минут, чтобы получить таймер

Почти все элементы выполнены с применением технологии 3Д печати. Опора выполнена из фанеры и алюминиевой трубки, в качестве осей применены болты. Поперечную устойчивость к раскачиванию конструкции, а так же ее жесткость обеспечивает стальной трос.

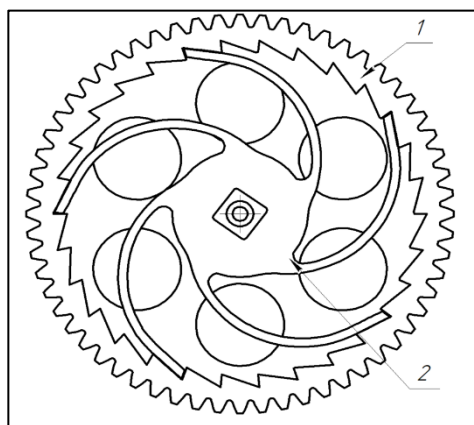


Рисунок 8- Храповый механизм

Библиографический список:

1. David Landes: «Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World». Belknap Press: An Imprint of Harvard University Press., 2000.
2. Cipolla, Carlo M. Clocks and Culture, 1300 to 1700. W. W. Norton & Company., 2003.
3. Станислав Михаль. Часы. От гномона до атомных часов. М., 1983.
4. В.Н. Пипуныров. История часов с древнейших времен до наших дней. М.: Наука, 1982.