

VA 28969

И.С. БЕЛЯКОВ

ЧАСОВЫЕ
МЕХАНИЗМЫ

ЧАСОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

EESTI RAHVUSRAAMATUKOGU



1 0100 00096692 5

Rõhifond

И. С. БЕЛЯКОВ

8/41

Обязательный
контрольный
экземпляр

ЧАСОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

*Допущено Отделом учебных заведений
Министерства приборостроения
и средств автоматизации СССР
в качестве учебного пособия
для техникумов*

Fr. R. Kreutzwaldi nim.
Eesti NSV Riiklik
Raamatukogu

VA 28969



В книге освещаются основные вопросы теории, расчета и проектирования механических часов, а также приводятся типовые схемы устройств электрических часов и излагаются принципы их действия.

Книга является учебным пособием для учащихся техникумов и может быть полезна для инженерно-технических работников приборостроения.

Рецензенты

канд. техн. наук **И. П. Кунаев** и инж. **А. Д. Романов**

Редактор канд. техн. наук Ю. М. Богданов

*Редакция литературы по машиностроению и приборостроению
Зав. редакцией инж. Н. В. ПОКРОВСКИЙ*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие отечественной часовой промышленности и смежных с ней отраслей приборостроения вызвало потребность в учебной литературе для подготовки специалистов.

Настоящая книга является учебным пособием по часовым механизмам и предназначена для учащихся техникумов.

Учебный материал в книге излагается в соответствии с программой техникумов по курсу «Часовые механизмы». Рассматривается комплекс вопросов, касающихся теории, устройства, проектирования и методов контроля часовых механизмов и их элементов.

Книга может быть полезна и для инженерно-технических работников часовой и приборостроительной промышленности. Материал книги изложен с учетом математических знаний учащихся техникумов и поэтому некоторые формулы, для вывода которых требуются знания основ высшей математики приводятся в окончательном виде. В конце книги приведен перечень литературы, рекомендуемой для более глубокого изучения освещенных в книге вопросов, ссылки на которую имеются в тексте. При составлении книги автором учтены последние технические достижения отечественной часовой промышленности и применены обозначения и терминология, принятые в действующих отраслевых нормалях и ГОСТ.

Автор с искренней признательностью примет все замечания по настоящей книге, которые просит ему направлять по адресу: Москва И-164, Ярославское шоссе, д. 8, Редакции машиностроения и приборостроения Машгиза.

ГЛАВА I

ВРЕМЯ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ, ПОЛОЖЕННЫЕ В ОСНОВУ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Вещи или предметы, окружающие нас, находятся в пространстве. Любые явления или события в природе совершаются во времени.

Время, так же как пространство и материя, представляет собой объективную реальность, не зависящую от ощущений, сознания и воли человека. Оно является одной из основных форм существования материи. «В мире нет ничего, кроме движущейся материи, и движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и во времени», — писал В. И. Ленин [1].

... «Ибо основные формы всякого бытия суть пространство и время; бытие вне времени есть такая же величайшая бессмыслица, как бытие вне пространства» (Ф. Энгельс) [2].

Время измеряется продолжительностью повторяющихся совершенно одинаковых процессов. Подобно тому как при измерении расстояния откладывают единицы определенной длины, так и при измерении времени его сравнивают с известным периодически повторяющимся процессом.

Суточное вращение земли вокруг своей оси кажется характерным примером равномерно повторяющегося процесса. По данным астрономических наблюдений, продолжительность суток за последние две тысячи лет не изменилась даже на одну сотую долю секунды. Время одного оборота Земли вокруг своей оси называется звездными сутками. Отсчет времени по Солнцу производить значительно труднее, чем по звездам, так как Солнце само перемещается по звездному небу. Промежутки времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра видимого диска Солнца на одном и том же меридиане называется истинными солнечными сутками. Так как видимое движение Солнца неравномерно и в разные времена года имеет не совсем одинаковое направление относительно экватора, продолжительность так называемых истинных солнечных суток в течение года изменяется. Это обстоятельство создает неудобство, и «истинное» солнечное время заменяют средним солнечным временем. Предположим, что какое-то воображаемое Солнце движется равномерно по небесному экватору и совершает годичный оборот по звезд-

ному небу за такое же время, как и истинное Солнце. Назовем это воображаемое Солнце — средним Солнцем, а промежуток времени между двумя его кульминациями — средними солнечными сутками. Продолжительность средних солнечных суток всегда одна и та же — 24 часа. Соотношение между единицами среднего солнечного и звездного времени показано в таблице:

Среднее солнечное время	Звездное время
24 часа	24 часа 3 мин. 56,555 сек.
1 час	1 час 0 мин. 9,856 сек.
1 мин.	1 мин. 0,164 сек.
1 сек.	1,00274 сек.

В соответствии с ОСТ/ВКС 7132 «Единицы времени» переводной множитель для обращения среднего солнечного времени в звездное равен 1,00273791, а переводной множитель для обращения звездного времени в среднее солнечное равен 0,99726957. Разницу между средним солнечным временем и истинным солнечным временем называют уравнением времени. Уравнение времени в течение года непрерывно изменяется. Так, например, знак + означает, что истинное время отстает от среднего, а знак — означает, что истинное время опережает среднее.

Месяц и число	Уравнение времени	Месяц и число	Уравнение времени
11 февраля	—14 мин. 32 сек.	26 июля	—6 мин. 12 сек.
15 апреля	0	1 сентября	0
14 мая	+3 мин. 55 сек.	2 ноября	+16 мин. 18 сек.
14 июня	0	24 декабря	0

В гражданской жизни за начало суток принимается полночь и счет времени ведется либо по 12 час., либо от нуля до 24 час. Среднее солнечное время, отсчитываемое от полуночи, иначе называют гражданским временем. Каждый земной меридиан имеет свое так называемое местное время. Местное время неудобно для пользования и поэтому введено поясное время.

Земной шар разбит меридианами на 24 пояса по 15 градусов шириной. В каждом поясе принимается одно и то же гражданское время, совпадающее со временем основного меридиана, проходящего посередине данного пояса. Границы поясов на суше обычно отклоняются от меридианов и проходят по естественным рубежам (реки, горные хребты) или по политическим и административным границам.

Средний меридиан начального (нулевого) пояса проходит через Гринвич и поэтому гринвичское время называют мировым временем. Разница времени между соседними поясами равна 1 часу. Москва и Ленинград находятся во 2-м поясе, поясное время здесь отличается на 2 часа от времени Гринвича, 3-й пояс называют волжским (Саратов), здесь поясное время на 3 часа впереди гринвичского, 4-й пояс — уральский (Свердловск), 5-й — западно-сибирский (Омск), 6-й — енисейский (Красноярск), 7-й — иркутский, 8-й — амурский (от Читы до Якутска), 9-й — приморский (Владивосток), 10-й — охотский, 11-й — камчатский и 12-й — чукотский. Таким образом, на территории СССР проходят 11 поясов, от 2-го до 12-го. Номер пояса показывает, на сколько часов время этого пояса впереди гринвичского [3].

В целях экономии электроэнергии, идущей на освещение, и более полного использования дневного света в Советском Союзе с лета 1930 г. введено в постоянное действие декретное время, опережающее поясное время на 1 час.

Основная единица времени — средние солнечные сутки — неудобна для исчисления больших промежутков времени. Поэтому в качестве единицы измерения времени в этих случаях принимаются тропический год, равный 365, 24220... суток, или 365 суткам 5 часам 48 минутам 46 секундам, и лунный месяц, равный 29,53059... суток, или 29 суткам 12 часам 44 минутам 2 секундам.

При астрономическом измерении времени за основу в качестве периодического процесса берется вращение земли с допущением, что вращение земли вокруг оси происходит с равномерной скоростью. При этом условии измерение времени было сведено к измерению углов и точность измерения ограничивалась высокой точностью угломерных астрономических инструментов. Хотя такой метод измерения имеет хорошее теоретическое обоснование, но он неудобен для практического пользования. При механическом измерении времени за основу берется какой-либо искусственно создаваемый периодический процесс, непрерывно повторяющийся с высокой степенью регулярности, например, колебания маятника. Показания такого часового механизма могут как угодно близко совпадать с показаниями астрономического измерения времени. Так называемые маятниковые астрономические часы всего несколько лет тому назад считались самыми точными часами, так как давали возможность получить суточный ход с отклонениями, не превышающими 0,01 секунды. В настоящее время все большее значение приобретает измерение весьма малых промежутков времени — порядка миллисекунды (одна тысячная секунды), микросекунды (одна миллионная секунды), возможно, в недалеком будущем потребуются измерение промежутков времени порядка микро-микросекунд, иначе говоря пико-секунд. При конструировании приборов времени для измерения таких коротких промежутков мы должны переходить от использования механических колебательных систем к использованию высокочастотных электрических, а также внутримолекулярных колебаний.

Точность измерения может быть тем больше, чем короче период используемого явления.

Для измерения времени могут быть использованы колебательные высокочастотные процессы, протекающие в различных телах, как, например, в кварце, в аммиаке и т. п.

В кварцевых часах для измерения времени используются собственные колебания кварцевого кристалла. В качестве колебательного элемента применяют обычно кварцевый брусок, вырезанный параллельно электрической оси кристалла кварца. Electroдами кварца являются слои серебра, нанесенные на поверхность бруска методом катодного распыления.

Собственная частота колебаний бруска кварца зависит в основном от его геометрических размеров, а также от внешних влияний и в особенности от температуры. Поэтому кварцевый брусок помещается в термостат, который подвешивается на амортизирующих пружинах для предохранения кварца от посторонних вибраций и сотрясений.

Современные кварцевые часы, предназначенные для хранения времени в период между астрономическими наблюдениями в обсерваториях и научных учреждениях, обеспечивают суточный ход с точностью в 0,001 секунды.

В последнее время в качестве колебаний стандартной частоты используют колебания атома азота в молекуле аммиака.

Экспериментами установлено, что атом азота в молекуле аммиака (NH_3) под действием пульсирующей энергии совершает колебания с частотой порядка 23 870 мегагерц. Частота этих молекулярных колебаний при помощи специального прибора сравнивается с частотой кварцевого генератора. Если точность кварцевых часов составляет $1 \cdot 10^{-9}$, то от молекулярных часов можно получить теоретическую точность в пределах $1 \cdot 10^{-18}$, однако в настоящее время практическая точность этих часов еще не превышает $1 \cdot 10^{-8}$. За рубежом астрономические часы подобного типа обычно называют «атомными часами».

2. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Потребность в измерении времени появилась у людей уже на первых этапах развития человеческого общества.

Основой для измерения и указания времени служили небесные явления — видимое движение солнца, луны и звезд по небосводу. Такой способ измерения времени был, естественно, весьма несовершенен, но на первых порах развития человечества вполне приемлем. Затем от непосредственного измерения времени по солнцу перешли к измерению и указанию времени по положению и длине тени, отбрасываемой местными предметами или человеком. Длина тени от дерева или от шеста, вбитого в землю, была мерилком времени, известным еще жителям древней Месопотамии и Египта.

От использования тени местных предметов люди пришли к созданию солнечных часов, в которых вследствие вращения Земли

изменялись положение и длина тени. Таким образом, первыми часами, т. е. прибором, предназначенным для измерения времени, были солнечные часы. В Китае научились определять дневное время по солнечным часам типа гномона (вертикального шеста) за 2700 лет до нашей эры. Время определялось по длине тени, отбрасываемой гномоном. В древнем Египте наиболее распространенными были солнечные часы. Они представляли собой горизонтальный циферблат со стержнем в центре, тень от которого выполняла роль стрелки. Циферблатные солнечные часы сохранились до нашего времени на многих старинных зданиях. Недостатком солнечных часов является то, что они не могут действовать в пасмурную погоду и в ночное время. Поэтому еще в глубокой древности появились водяные часы — клепсидры, в которых использовался принцип равномерного заполнения водой сифонного сосуда. Египтяне, вавилоняне и древние греки измеряли время количеством воды, вытекшей из сосуда через малое отверстие.

В целях создания более удобных и точных водяных часов, их стали оснащать различными механическими устройствами. Первая клепсидра с гидравлическими колесами и автоматически действующими фигурами была создана Архимедом (287—212 гг. до нашей эры). Клепсидра, созданная во II в. до нашей эры выдающимся александрийским математиком и механиком Ктесибием, имела зубчатые колесные передачи и автоматические устройства. Водяные часы были неудобны тем, что не могли работать на морозе. Песочные часы оказались более практичными, они широко применялись в древности и в средние века и частично находят себе применение и в настоящее время в качестве процедурных медицинских часов.

Применялись и другие виды часов, как, например, «огневые» часы, где время измерялось по количеству выгоревшего в светильнике масла, по длине сторевшей свечи или стержня из специальной горючей массы, на котором нанесены деления.

Солнечные, водяные, песочные, огневые часы теперь представляют только исторический, а не практический интерес.

Поворотным пунктом в развитии техники измерения времени было появление механических часов. Впервые упоминается о механических часах в древней византийской антологии в 578 г., когда византийский император Юстин II и его жена Софья пожертвовали Константинополю механические часы с боем. Восточные страны, освоившие высокое мастерство изготовления сложных водяных часов, в технике производства механических часов вплоть до XV в. стояли выше, чем страны Западной Европы. Появление механических часов было крупным шагом вперед не только в деле измерения времени, но и в механике вообще. Часовой механизм оказал огромное влияние на развитие автоматики и теории регулирования.

Первые механические часы, построенные в Западной Европе, по конструкции были чрезвычайно примитивными, громоздкими и помещались обычно на башнях монастырей и замков.

В Париже первые механические башенные часы, причем очень простые, были сделаны только в 1370 г., в то время как знаменитые часы «Манганак», сооруженные в 1358 г. на Востоке факиром Абдул Хассан Али Бен Ахмедом, отличались большой оригинальностью. Они имели автоматические устройства. Наибольшее распространение получили в обиходе XIV в. механические шпindelные часы.

Шпindelные часы по своему конструктивному устройству напоминают современные стенные часы. В них от двигателя (гири) через колесную зубчатую передачу крутящий момент передается на спусковое колесо, которое передает импульс на палеты, закрепленные на вертикальной оси (шпindelе). На шпindelе укреплено также коромысло с грузами (называлось на Руси — биянцем, а на Западе — Фолио), перемещением которых регулировали период колебаний шпindelя. Затем вместо коромысла, в целях достижения большей уравновешенности системы, стали применять обод (баланс), посаженный, так же как и коромысло, на шпindel с палетами. Недостатком такого механизма являлась постоянная кинематическая связь шпindelя со спусковым колесом, баланс был без собственного периода колебаний. Часы показывали время с точностью до получаса в сутки и устанавливались обычно на башнях.

Первые башенные часы на Руси поставил Московский князь Василий Дмитриевич (сын Дмитрия Донского) в 1404 г. в Кремле. В летописях указываются имена русских часовщиков, самостоятельно делавших башенные часы в XV, XVI и XVII вв. и ставивших эти часы в разных городах. Русские часовые мастера славились и за границей.

Механические часы подвергались непрерывному усовершенствованию. В начале XVI в. нюрнбергский слесарь Петр Генлейн (Германия) сконструировал первые карманные часы со шпindelным спуском, применив впервые в качестве двигателя спиральную пружину. В целях уменьшения непостоянства крутящего момента заводной пружины пражский мастер Яков Цех в 1525 г. применил приспособление, известное до нашего времени под названием улитки.

В 1595 г. Галилео Галилей открыл закон колебаний математического маятника, а в 1656 г. датский астроном Христиан Гюйгенс, развив теоретические работы Галилея, применил маятник в качестве регулятора для часов.

В 1660 г. англичанин Гук в качестве регулятора предложил систему баланс — плоская пружина.

В 1674 г. Гюйгенс применил в качестве регулятора в карманных часах систему баланс — спиральная пружина. Применяемый в шпindelных часах баланс Гюйгенс соединил со стальной пружинной, имеющей форму спирали Архимеда, и получил систему с собственным периодом колебаний. Применение такого регулятора диктовалось необходимостью создания переносных часов для нужд мореплавания. Новый балансый регулятор имел большие преимущества перед шпindelным, особенно в отношении постоянства периода колеба-

ний баланса, что позволило повысить точность хода часов. В 1675 г. лондонский часовщик Клемент Вильям изобрел для часов крючковый спусковой механизм. В 1695 г. Томас Томпион, уроженец Лондона, изобрел часовой спуск с потерянными ударами, т. е. такой спусковой механизм, в котором при колебании регулятора в обратном направлении спуск остается без движения. Томас Томпион изобрел также цилиндрический спуск, впоследствии усовершенствованный Грагамом, Юргенсом Лепином, Таваном и др.

Большое значение для точности хода часов имело решение задачи компенсации их на температурные влияния. В 1715 г. английский мастер Георг Грагам применил ртутный маятник для компенсации хода часов на температуру. В 1726 г. английский мастер Джон Гаррисон изобрел решетчатый маятник в качестве компенсатора на температуру. В 1728 г. француз Пьер Ле-Руа предложил новую систему подвеса маятника на так называемом пендельфедере. В 1750—1754 гг. англичанин Томас Медж изобрел свободный анкерный спуск с передачей импульса балансу посредством вилки. В 1765 г. француз Пьер Ле-Руа изобрел хронометровый спуск, усовершенствованный в 1780—1782 гг. Ирншау и Арнольдом. В 1775 г. английский часовщик Джон Арнольд впервые применил в часах цилиндрическую спиральную пружину (волосок), а в 1782 г. он предложил компенсационный баланс своей системы. В 1786 г. уроженец Женевы Моисей Пузет изобрел первые карманные часы с секундной стрелкой. Это была так называемая «мертвая секунда», т. е. секундная стрелка двигалась скачками через 1 секунду, а между скачками стояла неподвижно на месте. В 1800 г. уроженец Невшателя (Швейцария) Авраам Луи Бреге сконструировал для баланса спиральную пружину с изогнутым наружным витком (спираль Бреге). В этом же году он сконструировал так называемый «турбийон», т. е. карусельный механизм, в котором баланс помимо колебательного движения имеет еще равномерное вращательное движение.

В 1835 г. парижский часовщик Реймонд Берто изобрел механизм завода и перевода стрелок в часах. В 1837 г. французский часовщик Пешо усовершенствовал анкерный ход путем обеспечения так называемой «притяжки» (ввел угол притяжки). В 1861 г. французский инженер Филлипс опубликовал свою теорию о концевых кривых в спиральной пружине (кривые Филлипса). В 1878 г. уроженец Германии Гипп изобрел маятниковые часы с электрическим приводом, он же предложил хронограф своей конструкции. В 1899 г. француз Шарль Гильом применил монометаллический баланс своей системы, базируясь на открытых им свойствах никелевых сталей (элинвар и т. п.).

Настольные, стенные и карманные часы появились в России в XVI в. С этого времени в России широко развивается ремесленное часовое мастерство. В конце XVIII в. в Купавне организуется часовая фабрика мануфактурного типа, выпускавшая 200—250 шт. разных часов в год. Появляются русские знаменитые часовые мастера-

художники, создавшие оригинальные образцы часов сложной конструкции, не уступавшие известным шедеврам западной часовой техники своего времени [5].

Упомянем наиболее высокоодаренных часовщиков-механиков, создавших уникальные образцы русских часов. Иван Петрович Кулибин (1735—1818 гг.) сконструировал и изготовил уникальные часы величинной с гусиное яйцо. Эти часы содержат более 400 деталей и узлов, имеют суточный завод, бьют часы, полчаса и четверти. Кроме часового механизма, в них имеются автоматические приспособления, приводимые в действие от заводной пружины и воспроизводящие религиозные сцены, имеется музыкальный механизм, который поочередно в определенно заданное время исполняет два гимна. Кулибин построил также башенные часы, столовые часы разных видов, оригинальные стенные часы, музыка которых подобна игре на гусях, часы в перстие, карманные планетные часы.

Терентий Иванович Волосков (1729—1806 гг.) сконструировал и изготовил оригинальные астрономические часы.

Разрабатывая план экспедиции для открытия северного морского пути из Европы в Китай и Индию, М. В. Ломоносов сконструировал и построил специальные морские часы и ряд навигационных приборов. Стремясь к повышению точности хода часов на море, Ломоносов разработал конструкцию морских часов с четырьмя заводными пружинами и механизмом для выравнивания непостоянства вращающего момента пружин. Кроме того, он создал конструкцию самопишущего компаса с часовым механизмом.

Виднейший специалист по паровым машинам инженер-механик Лев Собакин, живший в XVIII в., занимался также созданием часов. Особо замечательны его астрономические стенные маятниковые часы, изготовленные им в 1774 г. Эти часы показывают часы, минуты и секунды, фазы луны, движение земли и луны, вращение земли вокруг своей оси, восход и заход солнца, смену знаков зодиака, месяцы, числа и дни.

Русские часовщики-изобретатели были разносторонне образованными людьми, знавшими астрономию, математику, механику и владевшими передовыми для своего времени техническими идеями.

В 1900 г. в Петербурге была открыта часовая школа с двумя отделениями: механико-оптическим и часовым. Курс обучения был пятигодичный. Школа выпускала высококвалифицированных мастеров с хорошей теоретической и практической подготовкой. Директором этой школы и одним из ведущих преподавателей в ней был профессор Норберт Болеславович Завадский, который по праву считается основоположником часового образования в России. Позднее проф. Завадский вел преподавательскую и научную работу в техникуме точной механики, затем в институте точной механики и оптики. Организованная им часовая школа зарекомендовала себя высоким качеством выпускаемых ею изделий. Мастерские школы выпускали: маятниковые и балансовые часы (стенные, настольные,

карманные), регуляторы скорости, оптико-механические приборы, а также станки и инструмент для производства часов. На базе этой школы впоследствии был организован техникум, преобразованный затем в Ленинградский институт точной механики и оптики.

Успешному развитию часовой промышленности в нашей стране немало способствовали труды русских ученых дореволюционного и советского периодов по созданию теории часов и экспериментальному исследованию часовых механизмов.

М. В. Ломоносов положил основу теоретической разработке вопросов приборостроения. И. П. Кулибин не только создал уникальные часовые механизмы, но и оставил после себя богатый технический архив, содержащий глубокие технические идеи в области часового дела. Сделанные Кулибиным усовершенствования хронометрового хода, компенсационного баланса и других деталей и узлов часов свидетельствуют о глубоком знании им теории.

Усовершенствованию хронометров немало способствовали экспериментальные и теоретические работы академика О. В. Струве—директора Пулковской обсерватории в середине XIX в. Он разработал методику обработки результатов измерения времени при помощи хронометров, исследовал влияние изменения температуры на ход хронометров и ввел способы поправки показаний хронометров на изменение температуры. Работы О. В. Струве были продолжены и развиты П. Смысловым и В. Е. Фусом, которые провели экспериментальные и теоретические исследования влияния изменения барометрического давления и влажности воздуха на ход хронометров и разработали методику внесения соответствующих поправок в результаты измерения времени.

Фундаментальное значение для создания теории часов имели труды русских ученых в области динамической теории устойчивости и теории регулирования движения. Основания динамической теории устойчивости движения и автоматического регулирования были заложены в 80-х годах прошлого века академиком Вышнеградским. Благодаря дальнейшим работам Н. Е. Жуковского, А. М. Ляпунова, А. А. Андропова возникла стройная, математически обоснованная теория устойчивости движения и автоматического регулирования, а этим была заложена основа для создания теории часов как единой динамической автоколебательной системы. Принципиально новый метод качественного анализа часов разработан советскими учеными—акад. А. А. Андроновым и др. Они исследовали движение маятника в составе регулятора как автоколебательной системы на фазовой плоскости. Проф. Ф. В. Дроздовым разработана теория ударов в свободном ходе и исследован изохронизм спусковых регуляторов [15].

В настоящее время большая научная работа по вопросам теории и конструирования часовых механизмов проводится в ряде научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений Союза ССР (НИИЧАСПРОМ, МВТУ, ЛИТМО, Горьковский университет и др.). В нашей стране часовая промышленность в крупных масшта-

бах была создана после Великой Октябрьской Социалистической Революции. Освоен выпуск различных типов часов, секундомеров, хронометров, технических приборов времени, в том числе высокоточных кварцевых часов.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ

Применяемые в быту и в технике приборы времени отличаются большим разнообразием принципиальных схем и конструктивных форм. Такое разнообразие объясняется различным назначением приборов и неодинаковыми условиями их работы.

В условиях существования большого числа разновидностей приборов времени и непрерывного появления и внедрения все новых и новых типов особенно важное значение приобретает классификация этих приборов.

В основу классификации должны быть положены наиболее важные признаки, определяющие в основных чертах принципиальную схему прибора и его метрологические и технические характеристики.

Такими признаками являются: принцип действия; назначение прибора времени; тип колебательной системы.

Рассмотрим классификации приборов времени по каждому из перечисленных признаков.

По принципу действия все приборы времени разделяют на две группы:

1) Приборы, в которых для измерения времени используются периодические колебательные процессы. К этой группе относится подавляющее большинство видов приборов времени. Используются колебания различной частоты и физической природы. Например, в бытовых часах для измерения времени обычно используются колебания маятника или баланса с частотой от 0,5 до 3 герц. В секундомерах и во многих технических приборах времени частота колебаний баланса лежит в пределах от 2,5 до 200 герц. В некоторых видах бытовых часов используются электромагнитные колебания частотой 50 герц (синхронные часы, механизм которых приводится в действие синхронным электродвигателем, питающимся от сети переменного тока). В часах специального назначения используются также электромагнитные колебания высоких частот. Например, в схему кварцевых часов входит кварцевый генератор, частота которого составляет десятки килогерц. Делители частоты понижают частоту тока до 250—1000 герц и питают синхронный электродвигатель, управляющий работой контактных сигнальных устройств и приводящий в движение стрелки часов. В некоторых типах кварцевых часов для повышения стабильности частоты колебаний используются внутримолекулярные колебания атомов в газах, имеющие частоту порядка 10^{10} герц (так называемые «атомные часы»).

Используя колебания различной частоты и физической природы, можно построить высококачественные приборы времени, отвечающие самым разнообразным назначениям и условиям применения.

2) Приборы, в которых для измерения времени используются непериодические процессы. К этой группе относятся некоторые виды технических приборов времени, предназначенные для измерения малых промежутков времени. В частности, существуют приборы, в которых длительность промежутка времени определяется по длине пути свободно падающего тела или по величине заряда конденсатора.

В настоящее время, в связи с бурным развитием техники токов высокой частоты, радиотехники и атомной физики, приборы второй группы вытесняются приборами, в которых используются высокочастотные колебательные процессы.

По назначению приборы времени разделяются на следующие основные группы:

1) Приборы, предназначенные для показания текущего времени. К группе этих приборов относятся часы и хронометры. В зависимости от условий применения, к часам и хронометрам могут быть предъявлены различные требования, от которых зависит выбор того или другого типа колебательной системы, а также особенности схемы и конструкции прибора.

Так, например, бытовые напольные часы по условиям применения допускают использование гиревого двигателя (благодаря большой длине корпуса) и колебательной системы в виде маятника. Для получения одинаковых показаний на многих циферблатах применяются электрочасовые системы из первичных и нескольких вторичных часов. Первичные часы обычно имеют колебательную систему — маятник и электрический привод или пружинный двигатель с электрическим подзаводом. Условия применения карманных или наручных часов требуют использования колебательной системы в виде баланса и спирали и пружинного или иного малогабаритного двигателя, способного работать при различных положениях часов.

2) Приборы, предназначенные для измерения промежутков времени различной продолжительности (обычно менее одного часа). К этой группе приборов относятся секундомеры, хроноскопы и хронографы. Они имеют устройства для сбрасывания показаний и колебательную систему с малым периодом колебаний для повышения точности отсчета. Особое место в этой группе занимают приборы, предназначенные для измерения малых промежутков времени (менее 1 сек.) Для измерения промежутков времени более одного часа пользуются часами или хронометрами, вычисляя длительность промежутка как разность показаний часов или хронометра в конце и в начале промежутка.

3) Приборы, предназначенные для отмеривания промежутка времени заданной про-

должительности. К этой группе относятся, например, многие технические приборы времени, применяемые для управления длительностью технологических процессов или для регулирования длительности сигнала, для управления взрывателями и т. п. В зависимости от условий применения это могут быть приборы однократного или многократного действия.

4) Приборы, предназначенные для подачи электрических или иных сигналов через заданные одинаковые или неодинаковые промежутки времени по заданной программе. Такие приборы входят, например, во многие промышленные системы автоматического управления технологическими процессами.

5) Приборы, предназначенные для регистрации моментов текущего времени. К этой группе относятся такие приборы, как табельные часы, штемпели времени и др.

По типу колебательной системы приборы времени разделяются на следующие основные группы:

1) Приборы времени, в которых в качестве колебательной системы используется маятник. К этой группе приборов относятся некоторые виды настольных часов, большинство видов настенных и напольных бытовых часов, первичные часы электрочасовых систем единого времени, многие виды башенных часов, многие виды высокоточных астрономических часов. Особенностью приборов этой группы является то, что при работе они должны быть установлены неподвижно в вертикальном положении. Это так называемые приборы времени стационарного типа.

2) Приборы, в которых в качестве колебательной системы применяется баланс с возвратной пружиной. Колебательная система в таких приборах имеет много конструктивных разновидностей. Наиболее часто применяется баланс в виде колеса с пружиной типа плоской спирали.

К этим приборам относятся все выпускаемые в настоящее время карманные и наручные часы, хронометры, секундомеры, транспортные часы, будильники и многие другие бытовые и технические приборы времени. Особенностью указанной группы является то, что колебательная система может работать при любом положении часов относительно вертикали. Это так называемые приборы времени переносного типа.

3) Приборы, в которых используются электромагнитные колебания. К ним относятся, например, синхронные бытовые часы, питаемые от осветительной сети переменного тока, кварцевые часы, электрические хроноскопы и многие приборы для измерения малых промежутков времени. Особенностью этих приборов является возможность получения весьма высокой

частоты колебаний и, в связи с этим, высокой точности отсчета длительности промежутков времени.

Приборы этой группы имеют широкие перспективы развития и применения в быту, в системах единого времени и в технике.

4. ЧАСЫ КАК АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ

Механизм обычных механических часов обязательно включает следующие основные части: а) колебательную систему (маятник или баланс с волоском); б) спусковой механизм (спуск); в) зубчатую передачу; г) двигатель (пружинный или гиревой).

Во время работы механизма колебательная система совершает незатухающие колебания с более или менее постоянной частотой. Амплитуда колебаний поддерживается за счет расхода запасенной в двигателе энергии (энергия заведенной пружины или поднятой гири).

Передача энергии двигателя колебательной системе осуществляется посредством зубчатой передачи и спускового механизма. При этом энергия сообщается колебательной системе периодически, определенными порциями. Частота передачи порций энергии зависит от частоты колебаний маятника или баланса и от типа спускового механизма. В бытовых часах применяются спусковые механизмы (например, свободный анкерный спуск, возвратный спуск и др.), посредством которых передача энергии производится дважды за период колебаний баланса или маятника. При этом передача энергии начинается и заканчивается при определенных углах отклонения баланса или маятника от положения равновесия.

Величина этих углов зависит от типа и конструкции спускового механизма и колебательной системы. Например, во многих типах карманных и наручных часов передача энергии балансу начинается в момент, когда баланс приблизится к положению равновесия на угол около $10^{\circ}30'$ и заканчивается, когда баланс, пройдя положение равновесия, отклонится от него приблизительно на 15° .

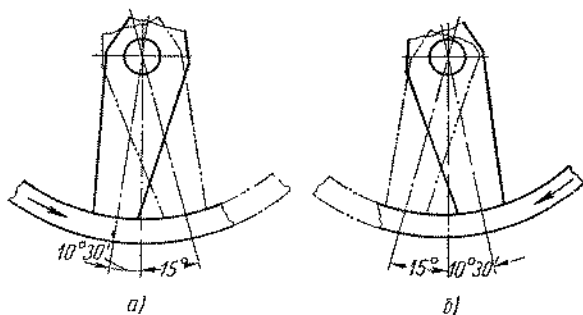
На фиг. 1 показаны положения баланса во время передачи энергии при движении баланса по часовой стрелке (фиг. 1, а) и против часовой стрелки (фиг. 1, б). Сплошными линиями показано положение баланса в момент начала передачи энергии, пунктиром — в момент окончания передачи энергии.

За время передачи энергии колеблющийся баланс или маятник поворачивается на определенный угол (в нашем примере этот угол составляет $25^{\circ}30'$). Каждая передача энергии сопровождается также поворотом всех колес зубчатой передачи на определенные углы. Шаг за шагом раскручивается пружина или опускается гиря двигателя. Двигаются стрелки по циферблату.

Из сказанного выше можно усмотреть некоторые особенности работы часового механизма, заключающиеся в том, что: а) колебательное движение маятника или баланса поддерживается за счет

расхода энергии двигателя, создающего постоянную по направлению движущую силу (усилие пружины в пружинном двигателе или вес гири в гиревом двигателе); б) передачей энергии двигателя колебательной системе (балансу или маятнику) управляет сама колебательная система посредством спускового механизма.

Системы, в которых незатухающие колебания поддерживаются за счет источника энергии, создающего движущую силу постоянного направления, называются автоколебательными системами.



Фиг. 1. Положения баланса во время передачи энергии.

Автоколебательные системы весьма распространены как в технике, так и в природе. Часы, электрический звонок, двигатель внутреннего сгорания, паровая машина и многие другие устройства представляют собой автоколебательные системы.

Изучение часового механизма как автоколебательной системы позволяет вскрыть основные закономерности действия часов.

Так, например, при установившейся амплитуде автоколебаний сообщаемая автоколебательной системе энергия за каждый импульс равна потерям энергии за время между импульсами. Потери энергии нарастают с увеличением амплитуды колебаний. При увеличении энергии импульса в системе устанавливаются колебания с большей амплитудой. Убыль энергии импульса приводит к уменьшению амплитуды колебаний. Крутящий момент, развиваемый пружинным двигателем, убывает по мере спуска заводной пружины. Следовательно, количество энергии, сообщаемой при каждом импульсе балансу или маятнику часов, убывает. Соответственно убывает и амплитуда колебаний.

Изменение потерь энергии в колебательной системе при неизменной энергии импульса также приводит к изменению амплитуды установившихся колебаний. Например, увеличение момента трения в подшипниках баланса в результате загустения масла, засорения механизма или износа подшипников вызывает падение амплитуды колебаний.

Как известно, период колебаний баланса или маятника в часах в большей или меньшей степени зависит от амплитуды колебаний.

Изменение периода непосредственно связано с ходом часов: с уменьшением периода колебания баланса или маятника часы ускоряют ход, спешат; при увеличении периода часы замедляют ход — начинают отставать.

Изучая часовой механизм как единую автоколебательную систему, можно выяснить, как влияет на амплитуду и период колебаний баланс или маятника непостоянство передаточного отношения зубчатой передачи, какую роль в работе часов играет инерция деталей спускового механизма и многие другие вопросы, имеющие важное значение для практики конструирования, производства и применения часовых механизмов.

Ниже приводится краткая характеристика основных элементов приборов времени.

Колебательная система или регулятор — часть часового механизма, служащая для обеспечения равномерности его действия. Этот узел состоит из баланса (маховое колесо особой конструкции) и упругой спирали, создающей возвращающий момент при колебаниях баланса. Спираль представляет собой упругую улиткообразную металлическую полоску, один конец которой закреплен в мосте, а другой — на оси баланса.

Баланс, вращаясь в одну сторону, закручивает спираль, сопротивление закручиванию спирали возрастает и в какой-то момент останавливает движение баланса. Вследствие упругого сопротивления материала спирали последняя стремится принять первоначальную форму и тем самым отводит баланс обратно. Баланс по инерции переходит положение равновесия, закручивает спираль в противоположную сторону до тех пор, пока сопротивление спирали не остановит движение баланса и не изменит направление его движения. Так возникает последовательный цикл колебательных движений системы. Колебательная система может быть и в виде маятника; устройство и принцип работы его приведем ниже.

Спуск или ход — промежуточное звено механизма для периодического освобождения зубчатой передачи и сообщения импульсов регулятору. Последствием спуска колебательная система управляет вращением колес зубчатой передачи, так что при каждом колебании баланса или маятника колеса поворачиваются на определенные углы, величина которых зависит от типа спуска и чисел зубцов колес.

Передача — система зубчатых колес, связывающая двигатель с механизмом спуска и стрелочным механизмом.

Двигатель — источник механической энергии, необходимой для поддержания действия часового механизма. Наибольшее применение имеют двигатели в виде заводной пружины и гиревые двигатели.

5. РАЗВЕРНУТАЯ СХЕМА МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ

В целях более детального ознакомления с названиями и назначением отдельных конструктивных элементов часов приводим развернутую схему механических часов (фиг. 2). По окружности барабана /

намотан шнур (цель, струна). Один конец шнура закреплен на барабане, а к другому концу подвешена гиря 2.

На одной оси с барабаном 1 закреплено колесо 3, которое под влиянием веса гири, действующего через шнур на барабан, приводится во вращательное движение. Вместо гиревого двигателя может быть пружинный или иной двигатель. Барабанное колесо своими зубьями передает движение трибу добавочного колеса 4. Триб добавочного колеса сидит на одной оси с добавочным колесом 5. Добавочное колесо 5 передает движение трибу центрального колеса 6, сидящему на одной оси с центральным колесом 7. Центральное колесо 7 вращает триб промежуточного колеса 8, на одной оси с которым сидит промежуточное колесо 9. Промежуточное колесо 9 передает движение трибу секундного колеса 10, а следовательно и секундному колесу 11, сидящему на одной оси с трибом. Секундное колесо 11 вращает триб спускового колеса 12, на одной оси с которым насажено спусковое колесо 13. При вращении спускового колеса сцепленная с ним скоба 14 совершает колебательное движение, которое посредством вилки передается маятнику 15 или балансу. В часовых механизмах, имеющих колебательную систему в виде баланса и спирали, и так называемый свободный анкерный спуск, спусковое колесо называют также анкерным колесом. Передача движения часовой стрелке осуществляется посредством минутного триба 16, который вращает минутное колесо 17 и передает движение на часовое колесо 18, насаженное на полуось вместе с часовой стрелкой. Минутный триб 16, в свою очередь, насажен с трением на ось триба центрального колеса 6.

Фиг. 2. Схема механических часов.

В зависимости от типа и назначения часового механизма он может иметь некоторые отличия от описанной выше схемы, главным образом в части зубчатой передачи.

ГЛАВА II

ДВИГАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ

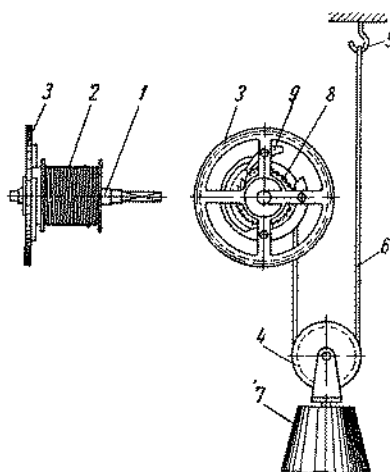
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

В качестве устройств, приводящих в действие механические часы, применяются гиревые и пружинные двигатели. Гиревые двигатели построены на принципе использования силы тяжести и имеют очень большое преимущество по сравнению с пружинными двигателями, заключающееся в постоянстве крутящего момента, передаваемого колесной системе часов. Однако гиревые двигатели совершенно неприменимы для переносных приборов времени. В качестве источника энергии для переносных часов используют пружинные двигатели, которые применяются также и для маятниковых часов. Пружинные двигатели построены на принципе использования энергии, отдаваемой предварительно завитой в форме спирали ленточной пружиной, которая одним своим концом закрепляется на оси, а другим на какой-либо неподвижной детали или на корпусе заводного барабана.

2. УСТРОЙСТВО И РАСЧЕТ ГИРЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

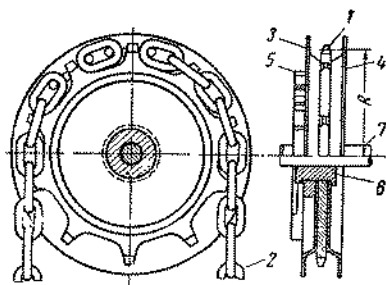
Различают гиревые двигатели двух типов: со шнуром и с цепью. На фиг. 3 изображен гиревой двигатель со шнуром [6]. На оси 1 жестко закреплен барабан 2 и свободно вращается барабанное колесо 3, которое соединяется с барабаном 2 при помощи специального храпового устройства. Один конец шнура закреплен на окружности барабана, а другой перекинут через блок 4 и закреплен за крюк 5. На выступающий конец оси 1, имеющий форму квадрата, надевается ключ, вращая который от руки, вращают также и барабан, на поверхности которого сделаны винтовые канавки; на этих канавках наматывается шнур 6 и гиря 7 поднимается. После окончания заводки ключ снимается с оси, и барабан под действием гири стремится вращаться в направлении, противоположном направлению вращения при заводке. Однако свободному вращению барабана в обратную сторону мешает храповое устройство — храповое колесо 8 и собачка 9. Храповое колесо 8 укреплено на барабане и, упираясь в собачку 9 одним из своих зубьев, вращает барабанное колесо, на котором укре-

плена собачка. Барабанное колесо 3, вращаясь, сообщает движение зубчатой передаче часов. В некоторых часах вместо шнура применяется металлическая цепь. В этом случае вместо барабана ставится звездочка с зубьями, на которые надеваются звенья цепи. Двигатель с цепью (фиг. 4) состоит из звездочки 1, на зубцы которой надевается цепь 2. На одном конце цепи подвешивается гирия, а другой конец цепи свободно свешивается. Шайбы 3 и 4, поставленные с двух сторон



Фиг. 3. Гиревой двигатель со шнуром.

звездочки, служат направляющими для цепи. Стопорным механизмом для цепи, как и в гиревом заводе со шнуром, являются храповое колесо 5 и собачка. Храповое колесо, шайбы и звездочка посажены неподвижно на

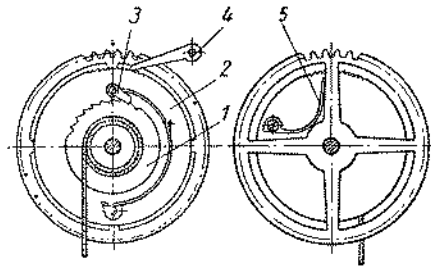


Фиг. 4. Гиревой двигатель с цепью.

втулке 6, которая запрессована на ось 7. На этой же оси свободно вращается барабанное колесо, имеющее на торце собачку, посредством которой барабанное колесо находится в сцеплении с храповым колесом, аналогично тому как показано на фиг. 3.

В конструктивных схемах гиревых двигателей, показанных на фиг. 3 и 4, имеется тот недостаток, что во время подъема гири зубчатая передача часов разъединяется с источником энергии и часы останавливаются, а это вносит ошибку в показание времени. В точных часах применяется приспособление, предназначенное для сообщения часовому механизму энергии, необходимой для движения, в то время, когда часы заводятся. Это приспособление называется вспомогательным заводом (фиг. 5). Как и в двигателе фиг. 3, на оси барабанного колеса жестко закреплен барабан с намотанным на него шнуром и храповое колесо 1. Второе храповое колесо 2 и барабанное колесо посажены на ось свободно. Собачки 3 и 4 осуществляют связь между колесами. Пружина 5 одним концом закреплена на храповом колесе 2, а другим концом упирается в спицу барабанного колеса и все время находится в напряженном состоянии. Гирия натягивает шнур и стремится вращать барабан и храповое колесо 1 против часовой стрелки. Но собачка 3, упираясь в зуб храпового колеса 1, сооб-

щает вращение храповому колесу 2 тоже против часовой стрелки. Собачка 4 этому движению не препятствует, а пружина 5, закрепленная на храповом колесе 2, под влиянием движения последнего еще более деформируется и, стремясь распрямиться, будет вращать барабанное колесо против часовой стрелки, передавая через него движение на весь механизм часов. Во время заводки часов, т. е. при подъеме гири, барабан и храповое колесо 1 вращаются по часовой стрелке, при этом собачка 3 свободно пропускает храповое колесо 1, а храповое колесо 2 будет неподвижно, так как вращаться по часовой стрелке ему препятствует собачка 4. В свою очередь, пружина 5, распрямляясь, будет вращать барабанное колесо в направлении против часовой стрелки. Следовательно, во время заводки часов вращение барабанного колеса происходит за счет расхода запаса энергии пружины 5 и, таким образом, обеспечивается безостановочный ход часов. Для особо точных маятниковых часов, применяемых для обслуживания астрономических обсерваторий, помещаемых в герметически закрытые корпуса, обычный гиревой завод непригоден, так как открывать корпус часов и близко подходить к часам для заводки их нельзя. В этих случаях применяются различные конструкции автоматических электрозаводов, действующих от электробатарей. Грузик (гиря), приводя в движение колесную систему часов, опускается и замыкает электрическую цепь, в результате чего сердечник коромыслового электромагнита притягивает короткое плечо якоря, а в это время длинное плечо поднимает грузик в начальное положение. Во время подъема грузика якорем электромагнита механизм часов работает от пружины вспомогательного завода. Гири к часам изготавливаются из различных материалов, в зависимости от класса и назначения часов. Например, методом глубокой вытяжки изготавливают латунный стакан, наполняют его внутри песком или свинцовыми шайбами и ставят крышку с крючком, которую завальцовывают путем отбортовки краев стакана. Для дешевых часов гири изготавливают из чугуна, стекла или керамики. Высота опускания гири в часах обычно определяется высотой корпуса часов. Если обозначить высоту опускания гири через H , расчетный диаметр барабана, т. е. расстояние между центрами двух диаметрально противоположных канавок, через D , число оборотов барабана, т. е. число канавок, через N , вес гири через P и момент на оси барабана через M , то получим:



Фиг. 5. Вспомогательный завод.

$$H = \pi DN \text{ и } M = \frac{PD}{2};$$

а в случае гири с блоком

$$H = \frac{\pi DN}{2} \text{ и } M = \frac{PD}{4}.$$

Время одного оборота барабана обозначим через t , а продолжительность хода часов от одной заводки через T , тогда

$$T = t \cdot N.$$

Для расчета продолжительности хода часов T и высоты опускания гири H при цепном заводе обозначим через n число звеньев на l м длины цепи и через z — число зубьев по окружности звездочки. Тогда для пластинчатой цепи длина одного звена будет равна $\frac{1}{n}$, а за N оборотов звездочки гиря опустится на высоту

$$H = \frac{1}{n} \cdot z \cdot N.$$

В случае применения круглозвенной цепи, где звенья надеваются на зубья звездочки через одно звено,

$$H = \frac{2zN}{n}.$$

Продолжительность хода часов при пластинчатой цепи будет

$$T = \frac{n \cdot H \cdot t}{z},$$

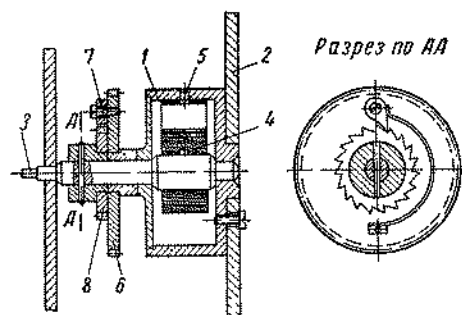
а при круглозвенной

$$T = \frac{n \cdot H \cdot t}{2z}.$$

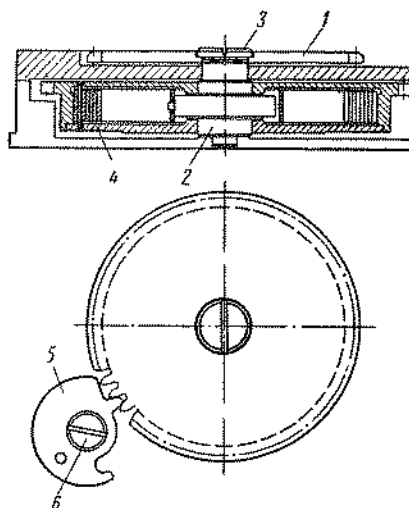
3. УСТРОЙСТВО ПРУЖИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Пружинные двигатели для механических приборов времени делятся на два основных типа. Если пружина крепится таким образом, что один конец ее (внешний) остается неподвижным как при заводке, так и при работе двигателя, то такой пружинный двигатель называется «двигателем с неподвижным барабаном». Если при заводке вращается валик с закрепленным на нем внутренним концом пружины, а при спуске — барабан с закрепленным на нем внешним концом пружины, то такой пружинный двигатель называется «двигателем с подвижным барабаном». В тех случаях, когда пружинный двигатель совершенно не имеет барабана (дешевые будильники, механизмы пожарных извещателей и т. п.), то по конструктивному принципу своей работы он ничем не отличается от пружинного двигателя с неподвижным барабаном. Разница заключается только в том, что в этом случае пружина разворачивается эксцентрично. Кроме того, в подобных системах смазка с пружины растекается и часовой механизм и сама пружина быстрее загрязняются. В механических дистанционных трубках снарядов применяются пружинные дви-

гателя с неподвижным барабаном [7]. Барабан 1 (фиг. 6) прикреплен неподвижно к плате 2. Заводной валик 3 имеет в средней части утолщение с крючком 4 для закрепления внутреннего конца пружины. Внешний конец пружины крепится на крючке 5 барабана. При заводке пружины заводной валик вращается по часовой стрелке и накручивает на себя пружину. Так как барабанное колесо 6 посажено на валик свободно, то при вращении валика по часовой стрелке оно остается неподвижным. Собачка 7, ось вращения которой расположена на барабанном колесе, при этом движении беспрепятственно пропускает хра-



Фиг. 6. Пружинный двигатель с неподвижным барабаном.



Фиг. 7. Пружинный двигатель с вращающимся барабаном карманных часов.

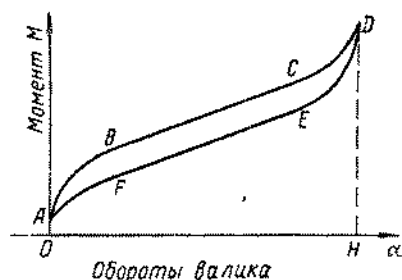
повое колесо 8, закрепленное штифтом на заводном валике. Когда пружина заведена, она вращает заводной валик 3 против часовой стрелки, а следовательно, храповое колесо 8, собачка 7 и барабанное колесо 6 также вращаются против часовой стрелки и передают движение часовому механизму.

На фиг. 7 изображен пружинный двигатель с вращающимся барабаном карманных часов «Молния» 2-го Московского часового завода. В этой конструкции барабанное колесо 1 посажено на квадрат вала барабана 2 и привернуто винтом барабанного колеса 3. На крючок вала барабана закрепляется заводная пружина 4, другой конец пружины крепится к корпусу барабана. При вращении барабанного колеса вращается вал барабана и накручивает на себя ленточную пружину. Когда пружина заведена, то обратному раскручиванию пружины препятствует собачка 5, запирающая барабанное колесо. Собачка привернута к барабанному мосту винтом 6, вокруг оси которого она может поворачиваться, и прижимается к зубьям барабанного колеса специальной пружинкой. Поэтому по окончании заводки пружины вал барабана остается неподвижным, а барабан вращается в ту же сторону, в которую вращался вал бара-

бана во время заводки, и передает движение часовому механизму посредством зубчатого венца. При такой конструкции на барабан непрерывно действует вращающий момент пружины, и часовой механизм не лишается источника энергии в процессе заводки пружины. Такое преимущество пружинного двигателя с вращающимся барабаном сделало эту конструкцию наиболее часто применимой в часах и часовых механизмах.

4. ЗАВИСИМОСТЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРУЖИНЫ ОТ УГЛА ЗАКРУЧИВАНИЯ

На фиг. 8 представлена зависимость крутящего момента пружины от угла поворота α вала барабана. Верхняя кривая $ABCD$ — кривая завода пружины, нижняя $DEFA$ — кривая спуска пружины. Рассмотрим заводку пружины по участкам (кривая $ABCD$), по данным



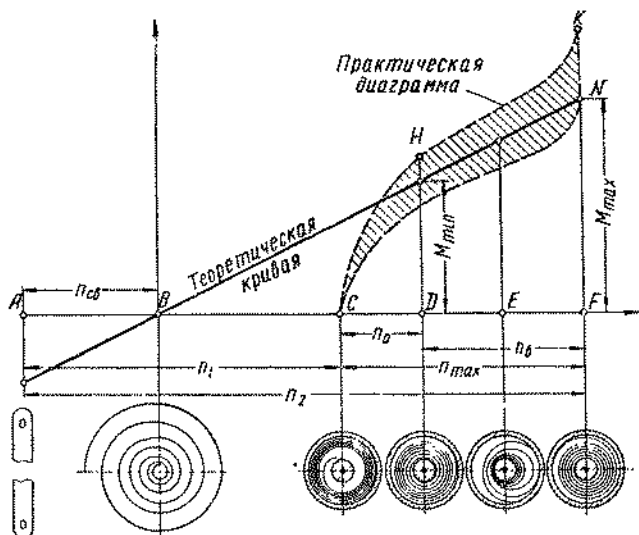
Фиг. 8. График крутящих моментов заводной пружины.

Е. И. Левитана [9]. Участок AB кривой соответствует первому обороту валика при заводке пружины. На этом участке кривой только часть витков пружины отрывается от барабана, создавая вращающий момент, остальная часть витков, оставаясь прижатой к стенке барабана, никакого участия в создании момента не принимает. Участок BC характеризуется наличием межвиткового трения, трения о стенки барабана,

влияние которых убывает по мере заводки пружины и преодоления упругой силы пружины. Поэтому на этом участке имеет место резкое повышение крутящего момента. На участке BC имеет место прямолинейная зависимость крутящего момента от угла поворота вала барабана. На этом участке при заводке пружины витки, прижатые к стенке барабана, отойдут от нее, и пружина заполнит равномерно все пространство барабана, витки ее почти нигде друг с другом не будут соприкасаться. На участке BC происходит только преодоление упругой силы пружины. При определенных оборотах валика витки начинают касаться друг друга, образуя почти сплошное кольцо вокруг заводного валика. При этом можно считать, что заводка закончена, но мы продолжаем затягивать один виток пружины на другой в плотное кольцо вокруг вала барабана, при этом происходит затяжка пружины. Участок CD характеризуется увеличением (возрастанием) момента за счет наличия межвиткового трения, помимо преодоления упругих свойств пружины. Рассмотрим спуск пружины (кривая $DEFA$). Участок DE соответствует тому состоянию пружины в барабане, когда она освободилась от перенапряжения при заводке, причем спуск ее происходит рывком. На этом участке имеет место резкое понижение момента за счет нали-

чия межвиткового трения. Участок EF соответствует тому состоянию пружины в барабане, когда витки не касаются ни стенок барабана, ни друг друга. Витки пружины отошли друг от друга, и пружина равномерно заполнила пространство между заводным валиком и стенками барабана.

На участке FA при дальнейшем разворачивании пружины витки начинают прилегать к корпусу барабана, вследствие чего крайние



Фиг. 9. Теоретическая диаграмма работы спиральной пружины в барабане.

витки будут крепко прижаты, не принимая участия в работе пружины в конце спуска, и поэтому крутящий момент резко падает. Состояние пружины в этот момент во многом напоминает ее состояние в начале заводки.

Коэффициент полезного действия пружины представится соотношением работы при спуске пружины к работе при заводке пружины, выраженным отношением площадей:

$$\eta = \frac{\text{площадь } AFEDHO}{\text{площадь } ABCDHO} \cdot 100\%.$$

При нормальной работе пружины в механизме наручных часов барабан за сутки обычно совершает 3,5—4 оборота. Если пружину вынуть из барабана, то она в свободном состоянии будет иметь какое-то количество витков, которое обозначим n_{c0} (фиг. 9). Число витков спущенной в барабане пружины обозначим через n_1 , а число витков заведенной пружины через n_2 . Следовательно, пружина, находясь в барабане, будет иметь от n_1 до n_2 витков, а расчетное число витков

$n_{расч}$ будет на $n_{св}$ меньше. В заведенном состоянии пружина будет иметь

$$n_{расч. \max} = n_2 - n_{св},$$

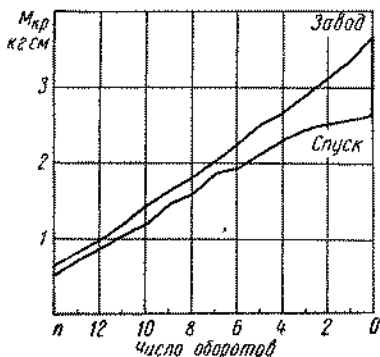
а в опущенном состоянии

$$n_{расч. \min} = n_1 - n_{св}.$$

Крутящий момент пружины выражается следующей формулой:

$$M = \frac{E \cdot J}{L} \cdot \varphi = \frac{E \cdot J}{L} \cdot 2\pi n_{расч} = \frac{E b h^3}{12L} \cdot 2\pi n_{расч},$$

где b — ширина; h — толщина пружины; E — модуль упругости материала пружины (для стальной пружинной ленты $E = 20\ 000$ до $23\ 000$ кг/мм²); J — момент инерции площади поперечного сечения пружины; L — длина пружины.



Фиг. 10. Практический график моментов пружины.

к спирали Архимеда. Точка C соответствует спущенному состоянию пружины в барабане. В этом случае витки пружины плотно прижаты к стенке барабана и друг к другу, и крутящий момент такой пружины имеет нулевое значение.

Точка D отражает такое состояние нагруженной пружины, при котором последний виток ее еще полностью прилегает к поверхности барабана, но пружина работает почти всей своей длиной. Момент такой пружины изображается ординатой DH .

Точка E соответствует такому состоянию пружины, когда все витки участвуют в работе и продолжают оставаться концентричными, либо располагаются относительно заводного валика эксцентрично, в зависимости от способа крепления наружного конца пружины. Точка F соответствует полностью заведенной пружине. Из диаграммы фиг. 9 видно, что наличие барабана уменьшает число оборотов пружины и переносит начало заводки пружины из точки B в точку C . Начиная с положения, отмеченного точкой D , пружина работает в условиях, близких к условиям работы пружины без барабана. Если практически (при помощи приборов) проверить момент завод-

ной пружины при заводке и спуске и построить график, то точно таких кривых линий, как на фиг. 8 и 9, мы не получим. График будет иметь вид, изображенный на фиг. 10.

Нарушение плавности кривых, построенных на основании опытов, вызывается неоднородностью механических свойств пружины, несимметричностью расположения ее витков и прочими причинами. Пользуясь диаграммой работы пружины в барабане (фиг. 9), напишем выражение теоретического момента пружины:

$$M = \frac{Ebh^3\pi}{6L} (n_2 - n_{c0} - n_0),$$

где n_0 — рабочее число оборотов барабана, отсчитываемое от состояния полного завода.

5. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАВОДНОЙ ПРУЖИНЫ, БАРАБАНА И ЗАВОДНОГО ВАЛИКА

Число оборотов барабана определяется по формуле

$$n_{\max} = n_2 - n_1.$$

В свою очередь,

$$n_2 = \frac{\rho_2 - \rho_0}{h},$$

$$n_1 = \frac{R - \rho_1}{h},$$

где ρ_2 — внешний радиус туго заведенной пружины;

ρ_1 — внутренний радиус спущенной пружины;

ρ_0 — начальный радиус кривизны упругой части пружины, отсчитанный от центра валика до нейтрального слоя внутреннего конца пружины;

R — внутренний радиус заводного барабана;

h — толщина пружины.

В свою очередь, радиус валика барабана r_0 определяется по формуле

$$r_0 = \rho_0 - 1,5h,$$

где $\rho_0 = m \cdot h$;

m — коэффициент прочности. Значение m берется не меньше 15.

Максимальное число оборотов барабана определяется соблюдением следующего соотношения:

$$\rho_2 = \rho_1 = \sqrt{\frac{R^2 + \rho_0^2}{2}}.$$

Рассмотрим площадь, заполненную заведенной пружинной (фиг. 11); величину ее можно выразить формулой

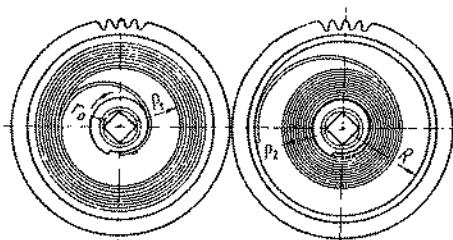
$$Lh = \pi\rho_2^2 - \pi\rho_0^2,$$

откуда $\rho_2 = \sqrt{\frac{Lh}{\pi} + \rho_0^2}$, но $n_2 = \frac{\rho_2 - \rho_0}{h}$.

Тогда между количеством витков заведенной пружины n_2 и размерами пружины можно установить следующую зависимость:

$$n_2 = \left[\sqrt{\frac{Lh}{\pi} + \rho_0^2} - \rho_0 \right] \frac{1}{h}.$$

При равенстве площадей спущенной и заведенной пружины



$$Lh = \frac{\pi R^2 - \pi \rho_0^2}{2},$$

откуда

$$R = \sqrt{\frac{2Lh}{\pi} + \rho_0^2}.$$

Фиг. 11. Схематический чертеж спущенной и заведенной пружины.

Величина радиуса заводного барабана, исчисленная по этой формуле, будет наимыгоднейшей для получения максимального числа оборотов при наименьших размерах барабана:

$$n_{б. \max} = \frac{\sqrt{2(R^2 + \rho_0^2)} - (R + \rho_0)}{h}.$$

Максимальный и минимальный моменты заводной пружины можно выразить через угол остаточной деформации пружинной ленты $\theta_{ср}$.

По Гевондяну

$$n_{св} = \frac{n_2}{\pi} \cdot \theta_{ср},$$

где $\theta_{ср} = h - 0,332 - 0,0157 \left(\rho_0 + \frac{1}{2} n_2 h \right) + \frac{22,2}{n_2} \ln \left(1 + \frac{n_2 h}{\rho_0} \right)$.

Из формулы

$$M = \frac{Ebh^3\pi}{6L} (n_2 - n_{св} - n_б).$$

Подставляя значение $n_{св}$, выраженное через $\theta_{ср}$, получим

$$M_{\max} = \frac{Ebh^3\pi n_2}{6L} \left(1 - \frac{\theta_{ср}}{\pi} \right);$$

$$M_{\min} = \frac{Ebh^3\pi}{6L} \left[n_2 \left(1 - \frac{\theta_{ср}}{\pi} \right) - n_б \right].$$

Вышеприведенными формулами пользуются в тех случаях, когда бывают известны размеры пружины и требуется найти величины теоретических моментов M_{\max} и M_{\min} .

Для определения действительных моментов спуска пружины, пользуются следующими формулами:

$$M_{сн. \max} = K \cdot M_{\max};$$

$$M_{сн. \min} = M_{\min} + \left(1 - \frac{1}{K}\right) \frac{M_{\max}}{K},$$

где K — коэффициент, зависящий в основном от способа крепления наружного конца пружины (см. § 6 настоящей главы).

В зависимости от способа крепления внешнего конца пружины рекомендуются следующие значения коэффициента K :

при шарнирном креплении — 0,70;

при V-образном креплении — 0,80;

при комбинированном креплении — 0,85;

при креплении мечевидной накладкой — 0,90.

Так производится поверочный расчет пружинного двигателя. В тех случаях, когда только создают часовой механизм и по полученному потребному моменту механизма $M_{мех. \min}$, числу рабочих оборотов барабана $n_б$ и отношению $\frac{M_{мех. \max}}{M_{мех. \min}}$ нужно произвести проектировочный расчет пружинного двигателя, применяют метод Т. А. Гевондяна.

Порядок проектировочного расчета пружинного двигателя по Гевондяну сводится к следующему:

1. По заданным $M_{мех. \min}$, $n_б$ и $\frac{M_{мех. \max}}{M_{мех. \min}} = W$ определяют величины теоретических моментов пружины.

$$M_{\max} = \frac{W}{K} M_{мех. \min};$$

$$M_{\min} = \left[1 + \left(\frac{1}{K} - 1\right) W\right] M_{мех. \min}.$$

2. Из конструктивных соображений задаются шириной пружины b и, подставляя значение модуля упругости E пружинной ленты, находят расчетную величину λ по формуле

$$\lambda = \frac{\pi E b}{6} \frac{n_б}{M_{\max} - M_{\min}}.$$

3. По найденной величине λ из графиков, приведенных на фиг. 12—15, находят расчетные коэффициенты A , B и C .

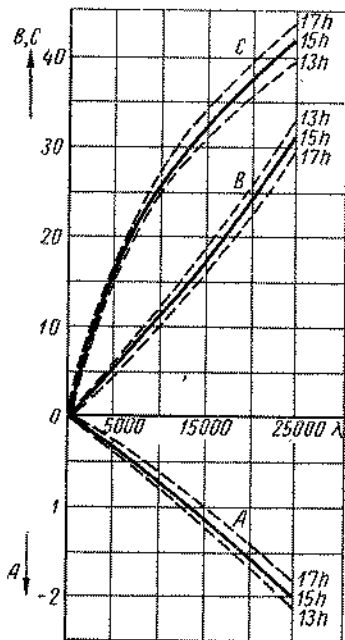
4. По найденным значениям M_{\max} , M_{\min} , $n_б$ и коэффициентам A , B и C определяют толщину пружины по формуле

$$h = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4C \left(A + \frac{M_{\max} n_б}{M_{\max} - M_{\min}} \right)}}{2C}.$$

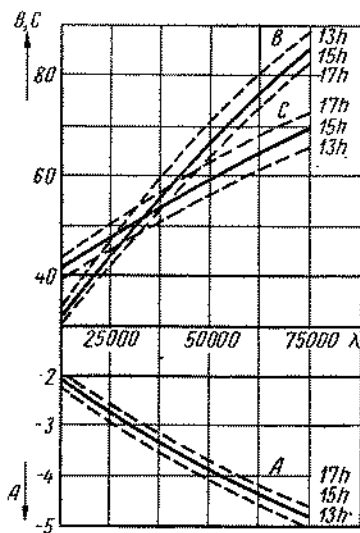
5. По найденным величинам λ и h находят длину упругой части пружины по формуле

$$L = \lambda \cdot h^3.$$

6. Определяют величину начального радиуса кривизны упругой части пружины, отсчитанного с внутреннего ее конца по нейтральному слою, пользуясь формулой $\rho_0 = mh = 15h$.



Фиг. 12. Графики для определения коэффициентов A , B и C при значениях λ от 5 000 до 25 000.



Фиг. 13. Графики для определения коэффициентов A , B и C при значениях λ от 25 000 до 75 000.

7. Определяют радиус заводного валика по формуле

$$r_0 = \rho_0 - 1,5h.$$

8. Находят полную длину пружины по формуле

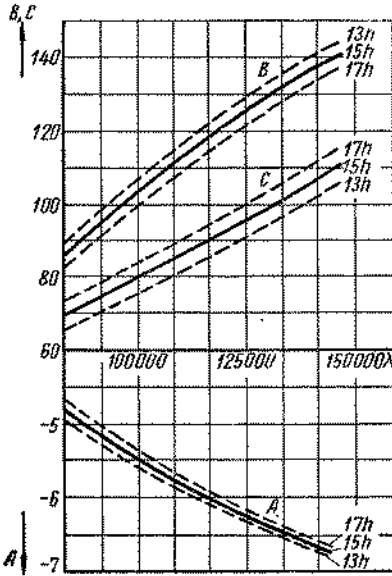
$$L_{\text{полн}} = L + L_{o,в} + L_{o,н},$$

где $L_{o,в}$ — длина внутреннего отожженного конца пружины, равная $3\pi\rho_0$,

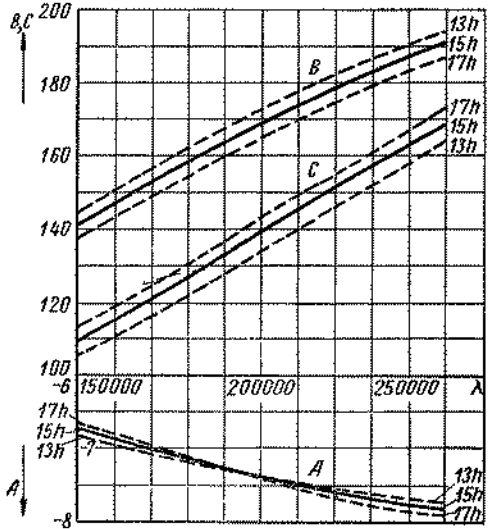
$L_{o,н}$ — длина наружного отожженного конца пружины, равная примерно половине длины внутреннего отожженного конца, т. е. $L_{o,н} = 1,5\pi\rho_0$.

9. Находят наимыгоднейший радиус заводного барабана, пользуясь формулой

$$R = \sqrt{\frac{2Lh}{\pi} + \rho_0^2}.$$



Фиг. 14. Графики для определения коэффициентов *A*, *B* и *C* при значениях λ от 75 000 до 150 000.



Фиг. 15. Графики для определения коэффициентов *A*, *B* и *C* при значениях λ от 150 000 до 250 000.

10. Определяют максимальное число оборотов заводного барабана по формуле

$$n_{б. \max} = \frac{\sqrt{2(R^2 + \rho_0^2)} - (R + \rho_0)}{h}.$$

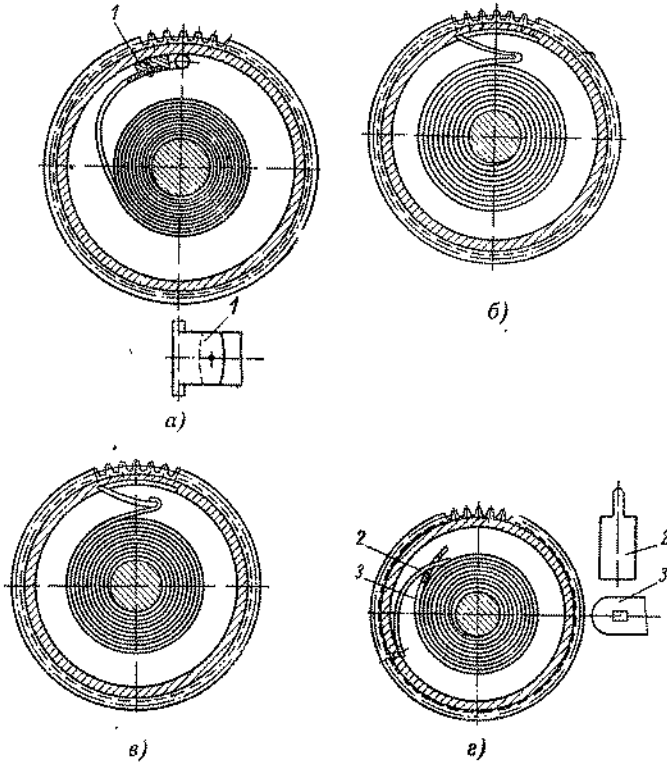
6. ТИПЫ КРЕПЛЕНИЙ ЗАВОДНЫХ ПРУЖИН

На фиг. 16, *a* показан способ крепления внешнего конца пружины с помощью шарнирной накладки *1*. При этом креплении после двух оборотов, в результате эксцентричного смещения витков пружины, возникает значительное межвитковое трение, из-за которого резко уменьшается величина момента спуска пружины. Такой тип накладки применяется лишь в дешевых механизмах.

На фиг. 16, *б* и 16, *в* показаны V-образные крепления внешнего конца пружины, которые обычно применяются в мелких часовых механизмах преимущественно вследствие простоты их изготовления. Этот вид крепления дает меньшее межвитковое трение, чем крепле-

ние с помощью шарнирной накладки, но в месте перегиба конца пружины бывают частые поломки.

На фиг. 16,г показан комбинированный способ крепления внешнего конца пружины. Это крепление дает концентрическое расположение



Фиг. 16. Типы креплений заводных пружин.

витков пружины. Пластинка 2 изготавливается из той же пружинной ленты, что и сама пружина 3. Широкий конец пластинки крепится к стенке барабана, а на узкий конец надевается прямоугольное отверстие конца пружины. Упругая часть пружины в сочетании с работой пластинки обеспечивает концентрическое перемещение витков пружины относительно вала барабана.

7. КОНСТРУКТИВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ЗАВОДНОЙ ПРУЖИНЫ

Крутящий момент пружины зависит от толщины, ширины и длины ее, а произведение этих трех величин составляет объем пружины. Если изменить одну из этих величин, то объем пружины изменится.

Конструктору необходимо знать, насколько изменятся размеры барабана при тех или иных изменениях размеров пружины. Это необходимо знать в целях рационального использования возможных габаритов механизма.

Если изменять размеры пружины таким образом, чтобы объем ее оставался неизменным, то по данным немецкого конструктора Крумма усилие на зубе спускового колеса будет изменяться следующим образом:

а) Усилие на зубе спускового колеса уменьшается, если при той же ширине пружины уменьшить ее толщину, увеличить длину и, соответственно увеличившемуся числу оборотов барабана, уменьшить передаточное число от барабана к трибу центрального колеса.

б) Усилие на зубе спускового колеса увеличивается, если при той же ширине пружины увеличить ее толщину, уменьшить длину и, соответственно уменьшившемуся числу оборотов барабана, увеличить передаточное число от барабана к трибу центрального колеса.

в) Усилие на зубе спускового колеса остается без изменения, если при той же длине пружины уменьшить ее толщину, увеличить ширину и, соответственно увеличившемуся числу оборотов барабана, уменьшить передаточное число от барабана к трибу центрального колеса. Диаметр барабана при этом уменьшается, высота же его увеличивается (что существенно для конструктора).

г) Усилие на зубе спускового колеса остается без изменения, если при той же длине пружины увеличить ее толщину, уменьшить ширину и, соответственно уменьшившемуся числу оборотов барабана, увеличить передаточное число от барабана к трибу центрального колеса. Диаметр барабана при этом увеличивается, а высота уменьшается (это тоже очень существенно для конструктора).

Следовательно, увеличение усилия на зубе спускового колеса, при том же объеме пружины, может быть достигнуто:

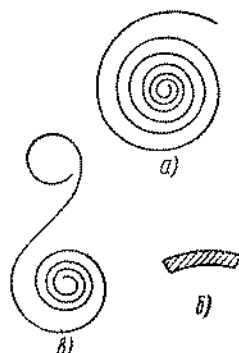
1) при сохранении диаметра барабана и его высоты — за счет увеличения толщины пружины, уменьшения ее длины и увеличения передаточного числа от барабана к трибу центрального колеса и, соответственно уменьшившемуся числу оборотов барабана, для сохранения того же резерва хода;

2) при сохранении диаметра барабана и уменьшении его высоты за счет увеличения толщины пружины при той же длине или уменьшения ширины и увеличения передаточного числа к трибу центрального колеса, соответственно уменьшившемуся числу оборотов барабана, для сохранения того же резерва хода.

8. ТИПЫ ЗАВОДНЫХ ПРУЖИН И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

В часовой промышленности чаще всего применяются пружины, завитые в форме подобной спирали Архимеда, с поперечным сечением в виде прямоугольника (фиг. 17, а).

В целях увеличения постоянства крутящего момента при спуске заводной пружины, в последнее время стали применять так называемые пружины с поперечной кривизной или желобчатые пружины. Эти пружины в поперечном сечении имеют форму, изображенную на фиг. 17, б. Также имеет место применение пружин, имеющих S-образную форму (фиг. 17, в). При одинаковых геометрических размерах пружины с поперечной кривизной имеют жесткость при изгибе на 10% выше чем пружины с прямоугольным сечением.



Фиг. 17. Типы заводных пружин.

Крутящий момент пружины зависит не только от геометрических размеров ленты (толщина, ширина, длина) или от формы (профиль сечения и завитки), но и от ее упругих свойств, которые определяются материалом и его холодной (прокатка, шлифовка) и термической (закалка, отпуск, отжиг) обработкой.

Пружинную ленту требуемых размеров можно получить двумя способами: разрезкой широкой полосы на заданную ширину и плющением круглого прутка до необходимых размеров по ширине и толщине [46].

При изготовлении по первому способу, т. е. разрезкой, края ленты, получившие «заусенцы» после резки, подвергаются шлифовке на специальных шлифовальных станках. Данная операция должна производиться обязательно, так как без нее лента была бы совершенно непригодна как для дальнейшей обработки, так и для эксплуатации.

Дело в том, что обрешной край, оставаясь незакругленным, представляет собой при последующей закалке (не говоря уже о механическом действии заусенцев) место возникновения больших напряжений с образованием мельчайших трещин, что является недопустимым.

При изготовлении ленты по второму способу, т. е. путем плющения, вводится дополнительная операция — промежуточный отжиг всей ленты. Необходимость этой операции вызывается тем, что в процессе плющения, т. е. прокатки прутка в холодном состоянии, в металле возникают настолько большие напряжения (металл получает большой наклеп), что дальнейшая обработка его становится невозможной из-за чрезмерно высокой твердости ленты. Промежуточный отжиг, т. е. нагрев ленты до температуры 650—750°С, снимает эту излишнюю твердость, возвращает ленте ее исходное мягкое состояние, и она проходит дальнейшее плющение без затруднений. Далее следует термическая обработка, включающая в себя закалку, отпуск и колоризацию ленты (придание цвета). Термообработка пружинной ленты оказывает большое влияние на ее свойства и требует поэтому чрезвычайно тщательного проведения. Операция закалки ленты состоит в нагреве ее до необходимой температуры (для

стали марки У12А необходима температура 780—790°) с охлаждением в воде или в масле. При этом необходимо, чтобы лента не обезуглероживалась, т. е. чтобы не произошло выгорания углерода с поверхности ленты. Если лента имеет в исходном состоянии углерода 1,10—1,25%, то в результате обезуглероживания можно довести содержание его до 0,10—0,20% и даже менее. Обезуглероженная лента совершенно непригодна, так как не будет иметь достаточной упругости. После закалки лента приобретает слишком высокую твердость — 63—64 единицы по Роквеллу — и становится хрупкой.

Для уменьшения твердости и устранения хрупкости производят отпуск ленты. Температура отпуска устанавливается 290—300°; при этой температуре твердость ленты падает до необходимой величины 54—57 единиц по Роквеллу [46].

После отпуска следуют операции шлифовки и полировки плоскостей ленты, затем она поступает на колоризацию, проводимую при температуре 250° и более, но не выше температуры отпуска, чтобы не снизить твердость ленты. Колоризация повышает устойчивость ленты против коррозии. Готовую ленту режут по длине, соответственно длине пружины. Оба конца ленты подвергают отжигу для смягчения, необходимого для отделки замков — наружного и внутреннего (накладка, пробивка отверстия, загибка) и для предохранения от поломки.

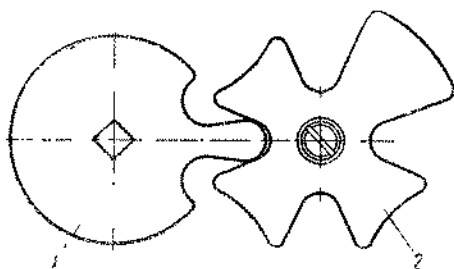
В качестве материала для часовых пружин чаще всего применяют углеродистую сталь У12А и реже — кремнистую сталь. Кремнистая сталь по своим упругим свойствам выше, чем углеродистая, при условии чистоты исходных материалов и правильного проведения металлургического процесса. Прокатка и термообработка кремнистой стали более сложна, чем углеродистой.

В последние 2—3 года появились заводные пружины для часов, изготовленные из нержавеющей сплавов. Эти нержавеющие сплавы имеют в своей основе железо, никель и кобальт. В некоторых нержавеющих сплавах для пружин, кроме указанных выше двух или трех компонентов, добавляется еще хром. Добавляются также еще в небольших количествах раскислители, дающие, как и металлы группы хрома, эффект дисперсионного твердения. В этих сплавах одновременно наблюдаются повышенный модуль упругости и повышенный предел пропорциональности. Эти упругие свойства достигаются в результате сочетания трех процессов — наклепа при прокатке, дисперсионного твердения и упругой анизотропии ленты. Таким путем получен сплав для часовых пружин «Нивафлекс», имеющий повышенный предел пропорциональности, модуль упругости в пределах 20 000—24 000 кг/мм² и высокий предел выносливости.

Испытания показывают, что такие часовые пружины могут служить без поломок до 10 лет.

9. ОГРАНИЧИТЕЛИ ЗАВОДКИ ПРУЖИНЫ И ВЫРАВНИВАТЕЛИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

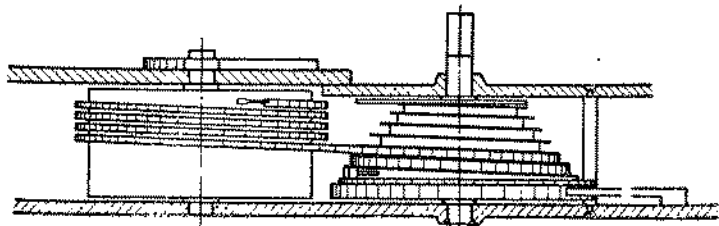
Как известно, в пружинных двигателях крутящий момент зависит от степени заводки пружины. В целях исправления основного недостатка приборов времени, работающих от пружинных двигателей, а



Фиг. 18. Мальтийский крест.

именно нарушения изохронизма от непостоянства крутящего момента заводной пружины, стараются ограничить диапазон работы пружины, используя только относительно пологий участок кривой спуска пружины. Нужно ограничить работу пружины таким образом, чтобы она действовала лишь на участке *EF* кривой спуска (фиг. 8). Такое ограничение работы заводной пружины осуществляет-

ся механически при помощи специальных приспособлений, называемых остановами. Наиболее рациональной конструкцией останова является так называемый мальтийский крест, изображенный на фиг. 18. Он состоит из диска *1*, насаженного на квадрат вала бараба-



Фиг. 19. Улитка.

на, и звездочки *2*, сидящей на оси, расположенной в углублении торцевой части барабана. Число зубьев звездочки должно быть равно числу оборотов барабана, причем один зуб должен быть стопорным. Этот стопорный зуб вместо вогнутой цилиндрической поверхности, ограничивающей каждый из остальных зубьев, имеет выпуклую цилиндрическую поверхность. За время оборота вала барабана насаженный на нем диск *1* своим пальцем, входящим во впадину между зубьями звездочки, поворачивает звездочку *2* на один зуб. Как только палец диска дойдет до выпуклого зуба звездочки, вращение вала барабана прекратится и, следовательно, заводка пружины закончится. При спуске пружины вал барабана будет неподвижен, вращаться будет барабан со звездочкой. Как только выпуклый зуб звездочки дойдет до пальца диска, спуск пружины прекратится.

Наиболее употребительным приспособлением для выравнивания крутящего момента пружинного двигателя является улитка. Это приспособление состоит из цилиндрического барабана и конуса (улитки) (фиг. 19). Внутри барабана находится заводная пружина, один конец которой закреплен на валике барабана, а другой (внешний) — на стенке барабана.

По поверхности конуса нарезана витовая канавка. Конус соединен с барабаном при помощи тонкой стальной цепи, причем один конец цепи закреплен на наибольшем радиусе улитки, а другой — на поверхности барабана. Когда пружина в барабане полностью заведена, то цепь работает на наименьшем радиусе улитки, и наоборот, когда пружина на исходе, цепь работает на максимальном радиусе улитки.

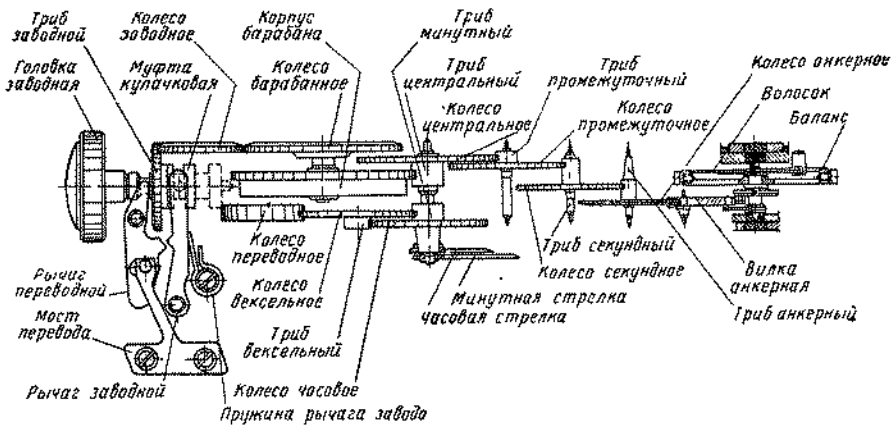
Следовательно, максимальное тяговое усилие пружины передается цепью на минимальный радиус улитки. По мере сматывания цепи с улитки действующий радиус улитки будет увеличиваться, а тяговое усилие пружины уменьшаться. Таким способом достигается относительное выравнивание непостоянства крутящего момента пружины. Зубчатый венец на улитке соединен с колесной системой часов, т. е. он выполняет функции зубчатого венца барабана. Применение улитки требует обязательного устройства вспомогательной заводки (приспособление, описанное выше) во избежание нарушения хода часов при заводке улитки.

ГЛАВА III

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СХЕМА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ЧАСОВОГО МЕХАНИЗМА

Зубчатой передачей в часах называется система зубчатых колес, связывающая двигатель, узел спускового колеса и стрелочный меха-



Фиг. 20. Кинематическая схема часов «Заря».

низм, и служащая также совместно со спуском и стрелочным механизмом для счета колебаний колебательной системы в установленных единицах времени. Наглядное представление о схеме зубчатой передачи дает кинематическая схема часов «Заря» (фиг. 20).

В зависимости от типа часового механизма зубчатая передача может состоять из нескольких узлов. В карманных и наручных часах, например, в зубчатую передачу обычно входят следующие узлы:

- 1) узел центрального колеса с трибом центральным;
- 2) узел промежуточного колеса с трибом промежуточным;
- 3) узел секундного колеса с трибом секундным;
- 4) узел спускового (анкерного) колеса с трибом анкерным;
- 5) минутный триб;
- 6) узел вексельного колеса с вексельным трибом;
- 7) узел часового колеса.

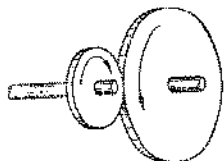
Последние три узла зубчатой передачи относятся к стрелочному механизму. Во время каждого полуперевода спускового регулятора

все колеса зубчатой передачи поворачиваются на определенные углы и вновь останавливаются. Если проанализировать работу зубчатой передачи карманных часов «Молния», то оказывается, что колеса зубчатой передачи за сутки находятся в движении 1 час 13,8 мин. и остаются неподвижны 22 часа 46,2 мин. Следовательно, за один период колебания баланса детали спуска и зубчатой передачи находятся в движении всего 0,0159 сек., и за этот короткий промежуток времени заводная пружина должна передать свою энергию спусковому устройству. Отсюда следует, что к качеству зубчатой передачи часов должны быть предъявлены высокие требования.

2. ЭЛЕМЕНТЫ КОЛЕС И ТРИБОВ. МОДУЛЬ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Представим себе два диска, закрепленных на параллельных осях и касающихся друг друга (фиг. 21). Если вращать один из дисков, то благодаря наличию трения 2-й диск тоже начнет вращаться. Если подсчитать числа оборотов обоих дисков за любой отрезок времени, то увидим, что числа их оборотов находятся в обратной зависимости от длин их окружностей. Поясним это примером [46]. Если длина окружности одного диска равна 80 мм, а другого 20 мм, то диск с длиной окружности в 20 мм будет вращаться в 4 раза быстрее первого диска. Число, показывающее, во сколько раз ведомый диск вращается быстрее ведущего (в данном случае 4), называется передаточным числом и обозначается буквой i^* . Как видим, передаточное число можно определить путем деления длины окружности ведущего диска на длину окружности ведомого. Легко заметить, что если окружности обоих дисков разделить на целое число равных частей и построить зубья, то на большем диске их получится во столько раз больше, во сколько раз длина его окружности больше длины окружности меньшего диска. Отсюда понятно, что для определения передаточных чисел можно пользоваться не только длинами окружностей, на базе которых строятся зубья трибов и колес, но и непосредственно делением числа зубьев ведущего диска на число зубьев ведомого. Колеса с числом зубьев меньше 20 принято называть трибами, они изготовляются обычно за одно целое с осью. Окружности, на базе которых строятся зубья, носят название начальных окружностей соответственно колеса и триба, а их диаметры называются диаметрами начальных окружностей.

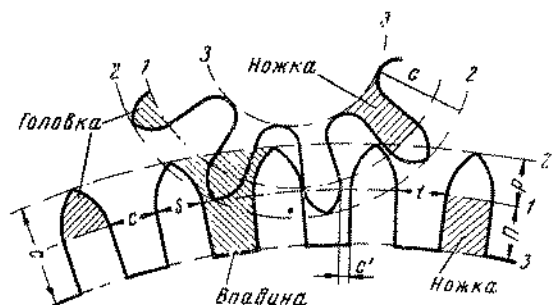
Рассмотрим схему зубчатого зацепления, изображенную на фиг. 22. Понятие о начальной окружности I было дано выше. Промежутки



Фиг. 21. Схема передачи движения между двумя параллельными осями.

* Такое определение передаточного числа применяется в часовой промышленности для зубчатых передач часовых механизмов.

между соседними краями двух рядом стоящих зубьев колеса или триба называются впадинами. Окружность 2, проведенная через вершины зубьев колеса или триба, называется окружностью выступов, а окружность 3, проведенная из того же центра через дно впадин (или, что то же, — через основания зубьев), называется окружностью впадин. Часть зуба, заключенная между окружностью впадин и начальной окружностью, называется ножкой зуба, а часть его, заключенная между начальной окружностью и окружностью выступов, называется головкой зуба. Расстояние между краями зуба по начальной окружности есть толщина зуба S , а расстояние между



Фиг. 22. Схема зубчатого зацепления.

краями двух соседних зубьев по начальной окружности есть ширина впадины. Разность ширины впадины колеса и толщины зуба триба называется боковым зазором данной пары (c'). Зазор между головкой зуба колеса и дном впадины триба, а также между головкой зуба триба и дном впадины колеса, считая по

линии центров, т. е. по линии, проходящей через центры отверстия в платине для цапф осей колеса и триба, называется радиальным зазором. Глубина, на которую зубья триба входят во впадину колеса, или зубья колеса во впадину триба, считая по линии центров, называется глубиной зацепления.

Толщина зуба, сложенная с шириной впадины, называется шагом зацепления t . Число шагов колеса или триба равно числу их зубьев, а так как шаги откладываются на начальных окружностях, то очевидно линейная величина (длина) шага равна длине начальной окружности колеса или триба, поделенной на число зубьев соответственно колеса или триба. Это равенство выражается следующей формулой:

$$t = \frac{\pi D}{z},$$

где t — шаг зацепления;

D — диаметр начальной окружности;

z — число зубьев.

Для расчетов зубчатых передач удобно пользоваться так называемым диаметральным шагом или модулем зацепления, который представляет собой число, полученное от деления длины диаметра начальной окружности на число зубьев данного колеса или триба:

$$m = \frac{D}{z}.$$

Модуль указывает, сколько миллиметров диаметра приходится на один зуб колеса или триба.

Шаг t связан с модулем следующей зависимостью: если

$$t = \frac{\pi D}{z} \text{ и } m = \frac{D}{z},$$

следовательно

$$t = \pi m.$$

Если через R_1 и R_2 обозначим радиусы начальных окружностей колеса и триба, то межцентровое расстояние в зубчатом зацеплении

$$A = R_1 + R_2 = \frac{D_1 + D_2}{2};$$

но

$$D_1 = mz_1 \text{ и } D_2 = mz_2.$$

Следовательно,

$$A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}.$$

Расстояние между центрами равно модулю, умноженному на полусумму чисел зубьев колеса и триба, находящихся в зацеплении.

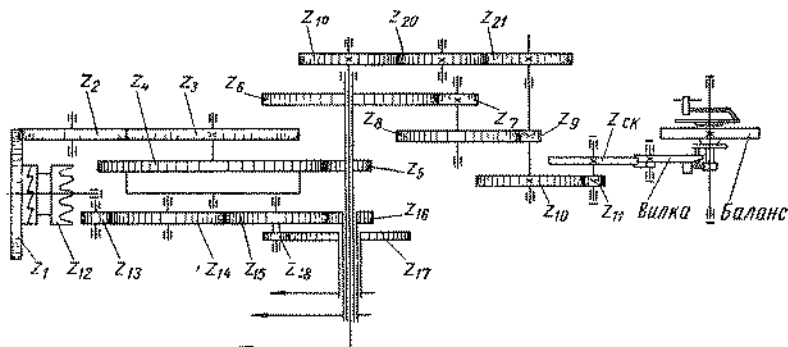
3. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ЧИСЛА

Два зубчатых колеса или колесо и триб, находящиеся в непосредственном зацеплении друг с другом, называются зубчатой парой. Необходимо различать ведущие и ведомые зубчатые колеса или трибы. Например, в зубчатой передаче карманных или наручных часов (фиг. 20) барабан, получающий свое движение непосредственно от заводной пружины, является ведущим, а центральный триб, вращаемый зубьями барабана, является ведомым. Точно так же центральное колесо, скрепленное с центральным трибом, вращает своими зубьями промежуточный триб, являющийся ведомым, и т. п. В зубчатой передаче от заводного барабана к спусковому (анкерному) колесу барабан и все колеса являются ведущими, а все трибы ведомыми [46].

Число зубьев ведущего колеса, поделенное на число зубьев ведомого, называется передаточным числом данной пары.

Рассмотрим случай, когда в зацеплении одновременно находятся две зубчатые пары, причем на ведомый триб первой пары наглухо насажено ведущее колесо 2-й пары (как, например, пары колесо центральное — триб промежуточный и колесо промежуточное — триб секундный в кинематической схеме фиг. 20). Допустим, что числа зубьев для первой пары будут: колесо — 80 зубьев и триб—

10 зубьев, а для второй пары: колесо — 60 зубьев и триб — 8 зубьев. Передаточное число первой пары будет равно $\frac{80}{10} = 8$; передаточное число второй пары будет равно $\frac{60}{8} = 7,5$. Таким образом, триб первой пары вращается в 8 раз быстрее, чем колесо первой пары. Чтобы узнать, во сколько раз триб 2-й пары вращается быстрее колеса 1-й пары, достаточно перемножить передаточное число первой пары на передаточное число 2-й пары, так как за время одного оборота колеса 1-й пары триб 2-й пары сделает $8 \times 7,5 = 60$ оборотов. Это произведение является передаточным числом зубчатой передачи, состоящей из двух пар.



Фиг. 23. Кинематическая схема палубных часов.

Если бы мы взяли зубчатую передачу, состоящую из трех или более зубчатых пар, то общее передаточное число всей передачи также можно было бы определить, перемножив передаточные числа всех пар.

Для лучшего уяснения структуры зубчатых передач в часовом механизме приведем краткое описание кинематической схемы палубных часов (фиг. 23).

Ведущим звеном зубчатой передачи является зубчатый венец заводного барабана z_4 . С ним сцеплен центральный триб z_5 . На оси центрального триба наглухо посажено центральное колесо z_6 , сцепленное с трибом промежуточного колеса z_7 . На трибе промежуточного колеса z_7 закреплено промежуточное колесо z_8 , которое соединяется с трибом секундного колеса z_9 . На триб секундного колеса наглухо насажено секундное колесо z_{10} , которое передает движение трибу анкерного колеса z_{11} , который передает движение анкерному колесу z_{CK} , являющемуся частью спускового механизма.

Завод пружины двигателя осуществляется с помощью специального механизма, имеющего зубчатую передачу. Чтобы завести пружину, необходимо вращать заводной ключ по часовой стрелке.

На квадрате валика заводного ключа находится кулачковая муфта z_{12} , которая вращается вместе с заводным ключом. На валике заводного ключа рядом с кулачковой муфтой свободно сидит заводной триб z_1 . Кулачковая муфта ведет за собой заводной триб, который сцепляется с заводным колесом z_2 , передающим вращение барабанному колесу z_3 . Барабанное колесо сидит на квадрате вала барабана и, вращаясь, закручивает пружину, находящуюся внутри барабана. Пружина, одним концом закрепленная на валу барабана, а другим на стенке барабана, стремясь раскрутиться, давит на стенку барабана, тем самым приводя его в движение.

Перевод стрелок в палубных часах отличается от перевода стрелок в обычных карманных или наручных часах тем, что здесь мы не вытягиваем заводной ключ, а нажимаем на кнопку, которая давит на рычаг. Перевод стрелок осуществляется вращением заводной головки при нажатой кнопке.

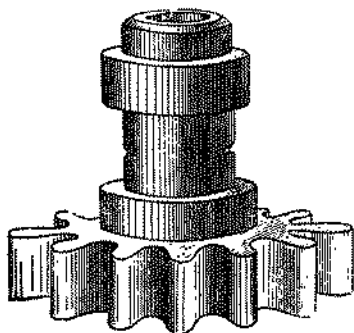
Рычаг давит на муфту z_{12} , передвигая ее вправо и вводя в зацепление с переводным колесом z_{13} , передающим вращение второму переводному колесу z_{14} . Колесо z_{14} , в свою очередь, сцепляется с вексельным колесом z_{15} , которое сцепляется с минутным трибом z_{16} , несущим минутную стрелку. При переводе стрелок минутный триб, сидящий с легким трением на оси центрального триба, поворачивается на этой оси, благодаря чему вращение стрелок не передается колесам зубчатой передачи барабан — анкерный триб.

Вексельное колесо жестко соединено с вексельным трибом z_{18} , который сцепляется с часовым колесом z_{17} , приводя в движение часовую стрелку. При освобождении кнопки перевод стрелок прекращается.

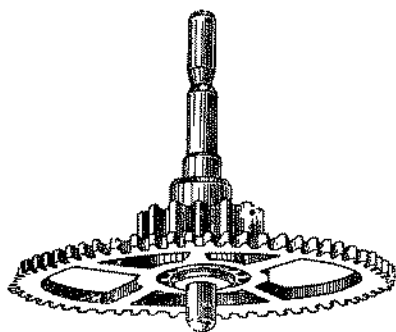
Передача на центральную секундную стрелку осуществляется следующим образом.

На удлиненной оси триба секундного колеса z_{30} находится секундное хронографное колесо z_{21} , которое передает движение промежуточному хронографному колесу z_{20} , а промежуточное хронографное колесо передает движение центральному хронографному колесу z_{19} . На оси центрального хронографного колеса находится секундная стрелка. Еще проще кинематическая схема карманных часов.

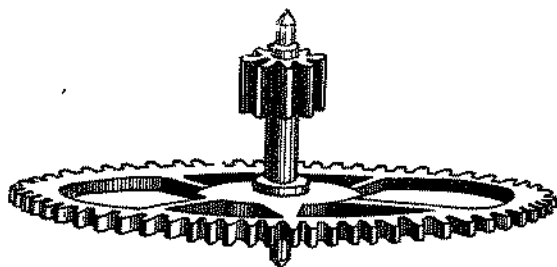
Определим необходимые передаточные числа передачи от центрального колеса к секундному трибу и зубчатой пары секундное колесо — анкерный триб. Минутная стрелка закреплена на минутном трибе (фиг. 24), который насажен с трением на ось узла центрального триба (фиг. 25) и при работе механизма вращается вместе с ней. Известно, что минутная стрелка, а следовательно и центральный триб, делают один оборот в час; за то же время секундная стрелка, делающая один оборот в минуту, должна сделать 60 оборотов. Следовательно, передаточное число зубчатой передачи от центрального колеса, сидящего на той же оси, что и минутная стрелка, через промежуточный триб и промежуточное колесо (фиг. 26) до узла секундного триба (фиг. 27) должно равняться 60. Передаточное



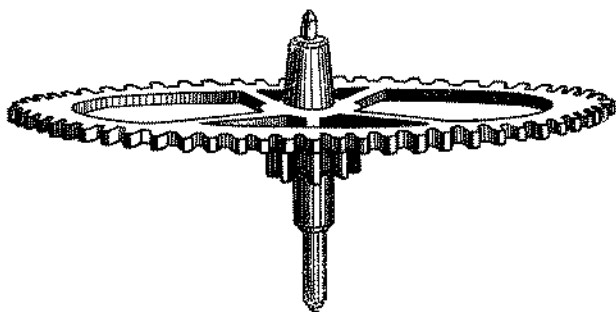
Фиг. 24. Минутный триб.



Фиг. 25. Центральное колесо с центральным трибом.



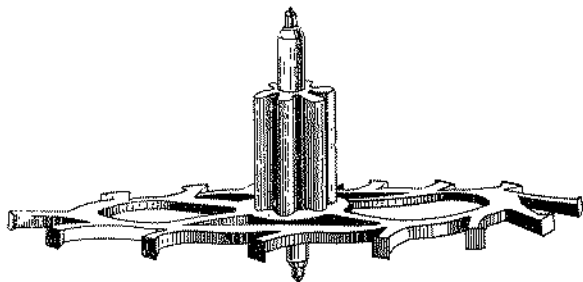
Фиг. 26. Промежуточное колесо с трибом.



Фиг. 27. Секундный триб с колесом.

число от секундного колеса к узлу анкерного триба (фиг. 28) берется в зависимости от числа зубьев анкерного колеса и от числа колебаний баланса в минуту с таким расчетом, чтобы секундное колесо делало в минуту один оборот. Поясним сказанное примером.

Допустим, что баланс делает в минуту 150 полных колебаний. За одно полное колебание анкерное колесо поворачивается на один зуб, следовательно, за одну минуту оно повернется на 150 зубьев.



Фиг. 28 Анкерное колесо с трибом.

Так как обычно анкерное колесо имеет 15 зубьев, то он сделает за одну минуту 10 оборотов. За это же время, т. е. за одну минуту, секундное колесо делает всего лишь один оборот. Следовательно, передаточное число от секундного колеса к анкерному трибу должно равняться 10.

4. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИЛ В ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Представление о характере преобразования сил в зубчатой передаче часов можно получить при непосредственном рассматривании механизмов часов, пущенных в ход [46].

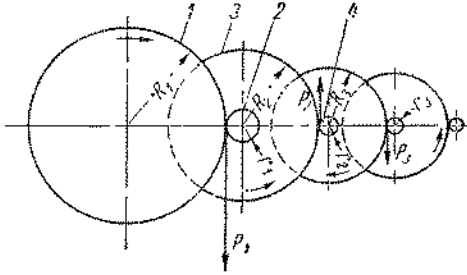
Возьмем карманные часы: удалим из часов анкерную вилку. Придерживая анкерное колесо остро заточенной деревянной палочкой, заведем пружину до отказа. Освободим анкерное колесо и, тем самым, представим возможность заводной пружине раскручиваться. Наблюдая за вращением барабана и остальных колес, обратим внимание, что скорость вращения барабана будет наименьшей, центральное колесо будет вращаться быстрее барабана, и чем дальше от барабана расположены сцепляющиеся пары, тем вращение быстрее.

Вновь придержим анкерное колесо деревянной палочкой. Легко убедиться в том, что для удержания всей передачи от вращения достаточно к анкерному колесу приложить ничтожное усилие. Если препятствовать раскручиванию колесной системы, придерживая центральное колесо, то необходимо приложить значительное усилие, а если задерживать раскручивание, придерживая барабан, то необходимо еще большее усилие.

Если пренебречь трением в зубьях и подшипниках зубчатой передачи, то преобразование скоростей и сил в колесной системе

часового механизма можно охарактеризовать следующим образом: во сколько раз скорость вращения анкерного колеса превышает скорость вращения барабана, во столько же раз уменьшается крутящий момент при передаче от барабана на анкерное колесо.

Поясним это правило примером расчета. Рассмотрим схему зубчатой передачи карманных часов (фиг. 29). Буквами R_1 ; R_2 ; R_3 обозначим радиусы начальных окружностей барабана и колес.



Фиг. 29. Схема к расчету моментов в зубчатой передаче.

Буквами r_1 , r_2 , r_3 обозначены радиусы начальных окружностей трибов. Трибы являются ведомыми. Заводная пружина, стремясь раскрутиться, вращает барабан 1. Барабан своими зубьями давит на зубья центрального триба 2 с некоторой силой. Обозначим эту силу P_1 . Силу давления зубьев

центрального колеса 3 на зубья промежуточного триба 4 обозначим через P_2 и силу давления зубьев промежуточного триба на зубья секундного триба через P_3 . Крутящий момент барабана M_1 будет равен произведению силы P_1 на радиус барабана R_1 , т. е.

$$M_1 = P_1 \cdot R_1.$$

Крутящий момент центрального триба M_2 будет

$$M_2 = P_1 \cdot r_1,$$

откуда

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{R_1}{r_1}.$$

Как видим, крутящий момент барабана во столько раз больше крутящего момента центрального триба, во сколько раз радиус барабана больше радиуса центрального триба. В полученном выражении величина $\frac{R_1}{r_1}$ является передаточным числом i_1 зубчатой пары барабан — центральный триб, откуда

$$M_1 = M_2 \cdot i_1;$$

$$M_2 = \frac{M_1}{i_1}.$$

Следовательно, крутящий момент ведущего колеса M_1 равняется крутящему моменту ведомого, умноженному на передаточное число данной пары, и крутящий момент ведомого колеса M_2 равняется крутящему моменту ведущего, разделенному на передаточное число.

Возьмем конкретный пример. Передаточное число от барабана к центральному трибу в карманных часах [46]:

$$i_1 = 6,769;$$

$$M_2 = \frac{M_1}{6,769}.$$

Мы уже знаем, что передаточное число от центрального колеса к промежуточному трибу i_2 равно

$$i_2 = \frac{80}{10} = 8.$$

Применяя то же рассуждение к данной паре, находим, что момент промежуточного триба меньше момента центрального колеса в 8 раз, т. е.

$$M_3 = \frac{M_2}{8}.$$

Но момент центрального колеса и триба в 6,769 раз меньше момента барабана. Следовательно, момент промежуточного триба меньше момента барабана в $6,769 \times 8 = 54,15$ раз. Соотношение моментов промежуточного триба и заводного барабана выражается формулой

$$M_3 = \frac{M_1}{i_1 \cdot i_2} = \frac{M_1}{54,15}$$

Для четырех сцепляющихся пар формула примет вид

$$M_5 = \frac{M_1}{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4}.$$

Произведение передаточных чисел $i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4$ является передаточным числом i всей колесной передачи, и формула примет вид:

$$M_5 = \frac{M_1}{i}.$$

Отсюда правило: для того чтобы найти момент последнего колеса (анкерного), нужно разделить момент барабана на общее передаточное число всей колесной передачи. В карманных часах общее передаточное число $i = 4061,4$, а следовательно, момент на анкерном колесе M_5 будет

$$M_5 = \frac{M_1}{4061,4},$$

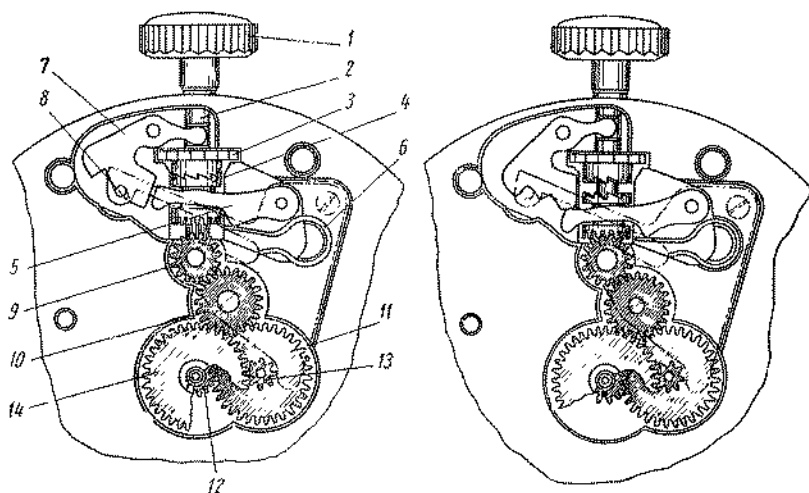
т. е. момент анкерного колеса в 4061,4 раза меньше момента барабана. При более точных расчетах необходимо учитывать коэффициент полезного действия зубчатой передачи. К. п. д. одной зубчатой пары для часовых передач можно принять $\eta_1 = 0,97$. К. п. д. передачи, состоящей из n зубчатых пар, будет $\eta = \eta_1^n = 0,97^n$. Тогда

$$M_2 = \frac{M_1}{i_1} \cdot \eta_1 \text{ и } M_5 = \frac{M_1}{i} \cdot \eta = \frac{M_1}{i} \cdot \eta_1^4.$$

5. ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА В УЗЛЕ МЕХАНИЗМА ЗАВОДКИ ЧАСОВ И ПЕРЕВОДА СТРЕЛОК

На фиг. 30 изображена схема механизма заводки часов и перевода стрелок, применяемого в наручных часах «Победа». Ключ или заводной валик 2 имеет заводную головку 1.

Заводной валик (фиг. 31) на части своей длины имеет квадратное поперечное сечение. На квадрат посажена кулачковая муфта 4,

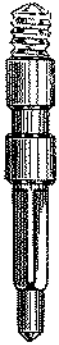


Фиг. 30. Схема механизма заводки часов и перевода стрелок.

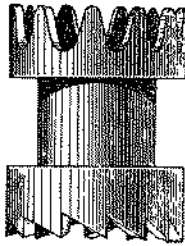
которая вращается вместе с заводным валиком, на цилиндрическом пояске заводного валика свободно посажен заводной триб 3. Кулачковая муфта (фиг. 32) и заводной триб (фиг. 33) могут между собой сцепляться торцовыми косыми зубьями. При вращении заводной головки 1 по часовой стрелке вместе с ней вращаются заводной валик 2 и кулачковая муфта 4. Кулачковая муфта своими косыми зубьями входит в зацепление с заводным трибом 3 и передает ему вращение. Заводной триб передает движение заводному колесу (фиг. 34) посредством торцовых зубьев последнего. Коронное (заводное) колесо своими радиальными зубьями передает движение барабанному колесу (как это показано на фиг. 20). Барабанное колесо насажено на квадратную часть вала барабана и приводит во вращение последний, тем самым осуществляя заводку пружины.

Перевод стрелок осуществляется следующим образом. Заводную головку оттягивают вручную до упора, при этом переводной рычаг 7 переводит заводной рычаг 5 в нижнее положение, преодолевая усилие пружины 6, как показано на фиг. 30 справа. Положение переводного рычага и заводного валика фиксируется штифтом фиксатора 8, показанного на фиг. 35.

Кулачковая муфта 4 под действием заводного рычага 5, опускаясь вниз, выходит из зацепления с заводным трибом и входит в зацепление с переводным колесом 9. При вращении заводной головки кулачковая муфта торцовыми зубьями вращает переводное колесо 9,



Фиг. 31. Заводной валик.



Фиг. 32. Кулачковая муфта.

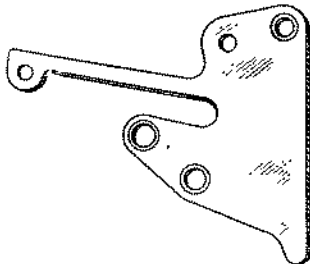


Фиг. 33. Заводной триб.

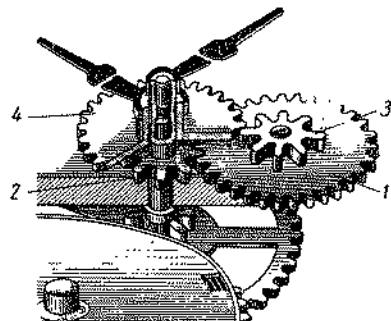


Фиг. 34. Загодное колесо.

которое передает движение большому переводному колесу 10. С большого переводного колеса движение передается минутному колесу 11, затем на минутный триб 12, несущий на себе минутную стрелку. С триба 13 минутного колеса движение передается на ча-



Фиг. 35. Фиксатор.



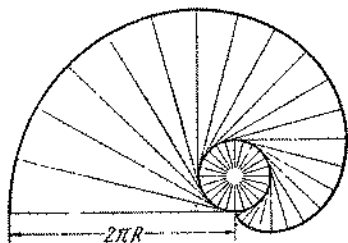
Фиг. 36. Схема стрелочного механизма.

совое колесо 14, несущее на себе часовую стрелку. Зубчатая передача стрелочного механизма показана также на фиг. 36. Здесь 1 — вексельное колесо, 2 — минутный триб, 3 — вексельный триб и 4 — часовое колесо.

6. ПРОФИЛИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС И ТРИБОВ

В приборостроении применяют зубчатые зацепления, в которых профиль зубьев очерчен по эвольвентным или циклоидальным кривым. Эвольвента строится следующим образом. Чертят окружность

произвольного радиуса R (фиг. 37) и делят ее на равное число частей, например, на 24 части. Из каждой точки деления окружности проводят касательные к окружности. На этих касательных откладывают отрезки, равные длине дуги, полученной при делении окружности.

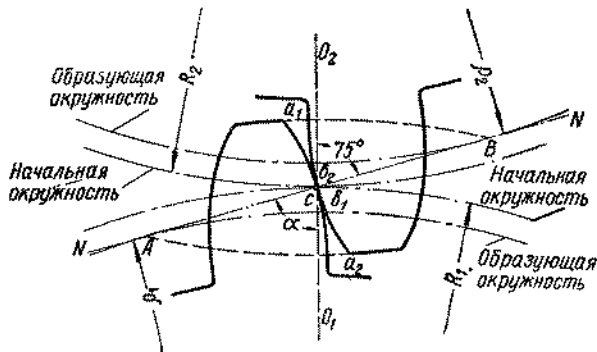


Фиг. 37. Построение эвольвенты.

Откладывание отрезков производится следующим образом: от 1-й точки деления окружности на касательной к ней откладывают один отрезок, длина которого равна $\frac{1}{24}$ длины окружности; от 2-й точки на касательной к ней откладывают два таких отрезка и т. д. На последней касательной откладывают 24 отрезка, т. е. длину окружности $2\pi R$. Концы отрезков на касательных соединяют между собой плавной линией и получают кривую, называемую эвольвентой. Такая же кривая получается,

если катить прямую по окружности без скольжения. Конец прямой опишет кривую линию, которая и будет эвольвентой.

При построении профилей зубьев по эвольвенте принимают две окружности радиусов R_1 и R_2 , касающиеся друг друга в точке C , за начальные окружности (фиг. 38). Через точку C , называемую

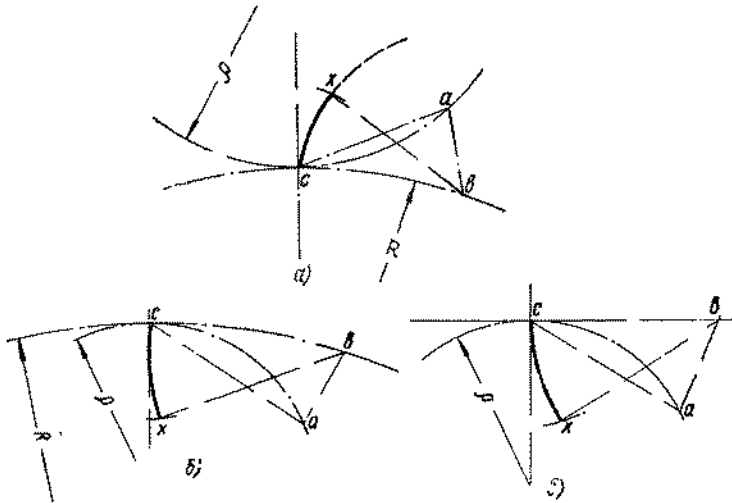


Фиг. 38. Эвольвентное зацепление.

полюсом зацепления, проводят прямую NN , наклоненную к линии центров O_1O_2 под углом 75° . Из центров начальных окружностей опускают на прямую NN перпендикуляры r_1 и r_2 , которые и принимают за радиусы основных окружностей. Как видно из чертежа (фиг. 38), $r_1 = R_1 \cdot \sin 75^\circ$ и $r_2 = R_2 \cdot \sin 75^\circ$. Точка C прямой NN при качении этой прямой по основной окружности радиуса r_1 опишет эвольвенту b_1Ca_1 , а при качении прямой NN по окружности радиуса r_2 — эвольвенту b_2Ca_2 . Эти эвольвенты и принимаются за профили зубьев.

К циклическим кривым относятся: эпициклоида, гипоциклоида

и циклоида [13]. Эпициклоида cx (фиг. 39, а) получается как траектория точки окружности радиуса ρ при качении этой окружности без скольжения по внешней стороне окружности радиуса R . Гипоциклоида получается аналогично при качении без скольжения окружности радиуса ρ по внутренней стороне окружности радиуса R (фиг. 39, б).



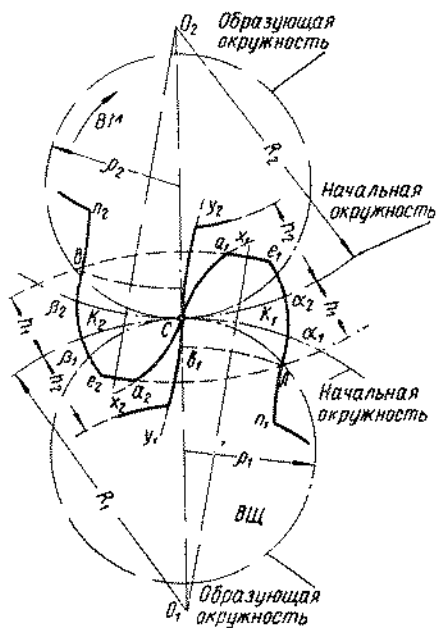
Фиг. 39. Циклоидальные кривые.

Циклоида образуется качением без скольжения окружности радиуса ρ по прямой cs (фиг. 39, в).

При построении циклоидального зацепления (фиг. 40) принимают окружности радиусов R_1 и R_2 за начальные окружности зубчатых колес, а окружности радиусов ρ_1 и ρ_2 за образующие окружности. Мгновенным полюсом вращения будет служить точка C касания окружностей R_1 и R_2 . Линией центров будет прямая O_1O_2 .

Если обкатывать без скольжения окружность ρ_2 по окружности R_1 , то получим эпициклоиду cx_1 , а если обкатывать окружность ρ_1 по окружности R_1 , то получим гипоциклоиду Cy_1 . Полученные кривые — эпициклоида Cx_1 и гипоциклоида Cy_1 могут быть приняты за профили головки и ножки зуба нижнего колеса. Таким же образом, обкатывая окружность ρ_1 по окружности R_2 и окружность ρ_2 по окружности R_2 , получим профили головки и ножки зуба верхнего колеса. Отложим вправо и влево по начальным окружностям от точки их касания C по половине толщины зуба $CK_1 = CK_2 = \frac{S}{2}$ и, проводя через точки K_1 и K_2 радиусы O_1K_1 и O_2K_2 , построим кривые e_1n_1 и e_2n_2 , симметричные кривым x_1y_1 и x_2y_2 . Проводя затем окружности выступов и впадин, получим окончательную форму зубьев.

В карманных, наручных, стенных и настольных часах в основной зубчатой передаче обычно применяется циклоидальное зацепление, а там, где величины передаточных чисел небольшие (например, в барабанных и заводных колесах), профили зубьев очерчиваются по эвольвенте. При выборе профилей зацепления для тех или иных пар нужно учитывать следующие преимущества и недостатки эвольвентного и циклоидального профилей [46]:



Фиг. 40. Циклоидальное зацепление.

4. Условия скольжения зубьев сцепляющихся колес при циклоидальном профиле лучше, чем при эвольвентном и, следовательно, трение в зубьях циклоидального профиля меньше и равномернее, чем в зубьях эвольвентного профиля.

5. При небольшом числе зубьев трибов при эвольвентном профиле требуются более широкие впадины у триба, чем при циклоидальном профиле, что ослабляет зубья триба.

6. Циклоидальное зацепление позволяет нарезать трибы с малым числом зубьев (6, 8, 10, 12) и применять передаточное отношение в одной паре 1 : 10, 1 : 12. Эвольвентное зацепление этих преимуществ не имеет.

Формы зубьев при циклоидальном профиле получаются каждый раз различные в зависимости от размеров и числа зубьев колеса и триба, что требует специального построения профилей в каждом отдельном случае.

В будильниках и дешевых настенных часах применяется так называемое цевочное зацепление, представление о котором дает фиг. 41.

1. При небольших смещениях отверстий в платинах и мостах, т. е. при изменении расстояния между центрами сцепляющей пары с эвольвентным профилем, правильность зацепления заметно не нарушается, в то время как в циклоидальном зацеплении это увеличивает трение, что ведет к «тяжелому скату» колес.

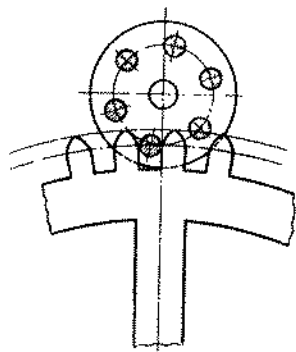
2. При одном и том же шаге колеса с эвольвентным профилем имеют более прочную ножку зуба, чем колеса с циклоидальным профилем.

3. В процессе работы механизма износ зубьев с циклоидальным профилем меньше, чем зубьев с эвольвентным профилем.

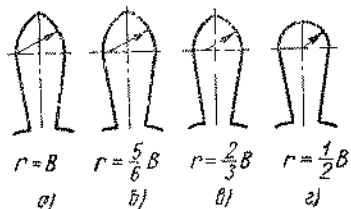
Для создания хороших условий работы часового механизма важно, чтобы при работе зубчатой пары передаточное отношение оставалось по возможности постоянным и чтобы скольжение соприкасающихся зубьев было бы наименьшим.

Таким требованиям удовлетворит правильно изготовленное циклоидальное зацепление. Однако трудности изготовления режущего инструмента и самих колес и трибов с таким профилем привели к тому, что практически стали применять в часах скорректированное

циклоидальное зацепление, так называемое часовое зацепление. В часовом зацеплении головка зуба очерчивается не дугами эписциклоид, а дугами окружностей. Ножка зуба



Фиг. 41. Часовое зацепление.



Фиг. 42. Формы головок зубьев трибов.

очерчивается не гипоциклоидой, а прямой линией. При изготовлении трибов применяются в основном следующие 4 формы головок зубьев, показанные на фиг. 42. На фиг. 42, а показан так называемый острый зуб, головка которого очерчена дугами окружности с радиусом, равным толщине зуба. Зубья этой формы применяются в ведомых трибах с малым числом зубьев (6 или 7). На фиг. 42, б и 42, в показаны формы полустрогого зуба, имеющего наибольшее применение в ведомых трибах с различным числом зубьев. Скругленный зуб (фиг. 42, г) может быть применен в ведомых трибах с большим числом зубьев, но в настоящее время применяется редко из-за трудностей изготовления.

В часовом зацеплении общая нормаль к профилям двух зубьев в точке их касания не всегда проходит через полюс зацепления и, следовательно, при работе зацепления передаточное отношение может отклоняться от своего номинального значения. В целях установления величин основных параметров, характеризующих профиль часового зацепления, в НИИЧАСПРОМ были разработаны отраслевые нормали (авторы: О. Ф. Тищенко и Н. Н. Зябрева). Нормали построены на основании теоретических расчетов, исходными данными для которых явились эксплуатационные требования, предъявляемые к часовому зубчатому зацеплению, т. е. достижение наименьшего колебания передаточного отношения и отношения вращающих моментов на колесе и на трибе, а также наименьшего откло-

нения этих величин от их номинальной величины и наименьшей потери энергии на трение [12]. Нормали устанавливают номинальные числовые величины размеров, определяющих профиль часового зацепления для зубчатых пар с передаточными числами от 5 до 10 для случаев передачи движения от колеса к трибу.

7. ОТРАСЛЕВЫЕ НОРМАЛИ НА ЗУБЧАТЫЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Нормали содержат ряд модулей часового зубчатого зацепления.

Таблица модулей в мм

0,050	0,095	0,140	0,185	0,260	0,350	0,480	0,700
0,055	0,100	0,145	0,190	0,270	0,360	0,500	0,720
0,060	0,105	0,150	0,195	0,280	0,370	0,520	0,750
0,065	0,110	0,155	0,200	0,290	0,380	0,550	0,780
0,070	0,115	0,160	0,210	0,300	0,390	0,580	0,800
0,075	0,120	0,165	0,220	0,310	0,400	0,600	0,850
0,080	0,125	0,170	0,230	0,320	0,420	0,620	0,900
0,085	0,130	0,175	0,240	0,330	0,440	0,650	0,950
0,090	0,135	0,180	0,250	0,340	0,460	0,680	1,00

Примечание. В случаях, когда необходимо применять модули, превышающие 1 мм, следует брать числа по ГОСТ 1597.

Нормали содержат ряды чисел зубьев колес и трибов часового зубчатого зацепления.

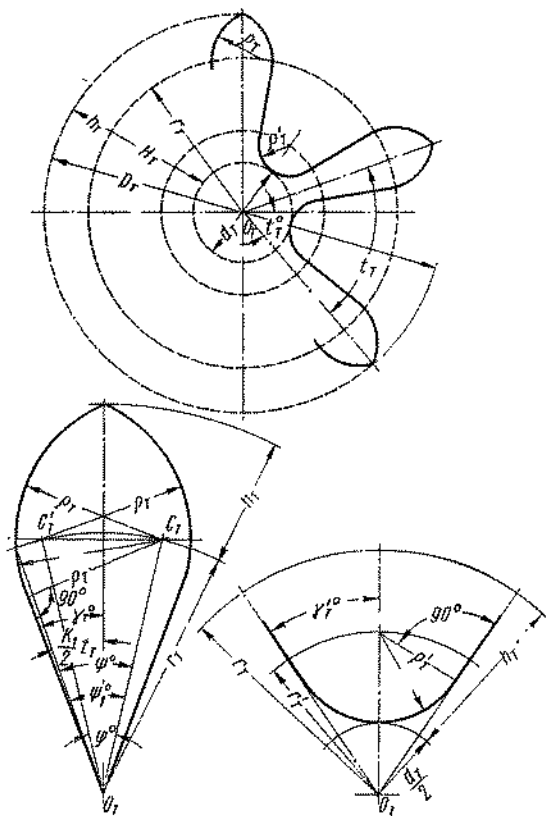
Таблица чисел зубьев колес

14	27	42	60	72	90
16	28	44	63	75	96
18	30	45	64	76	100
20	32	48	65	78	
21	33	50	66	80	
22	36	54	68	84	
24	40	56	70	88	

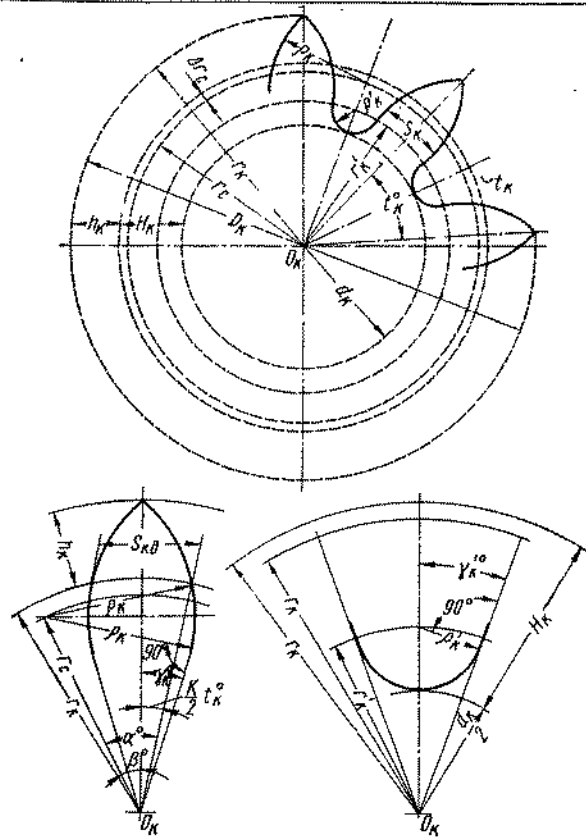
Таблица чисел зубьев трибов

6	7	8	9	10	11	12	14	16	18
---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Нормаль НМП 5-245-53 «Часовое зубчатое зацепление. Размеры, определяющие профиль зубьев колеса и триба» устанавливает числовые значения основных размеров головок зубьев колес часового зацепления ρ_k и Δr_c при заданных значениях передаточного отношения i , модуля m и числа зубьев триба z_T (фиг. 43 и 44).



Фиг. 43. Греб (профильный чертёж).



Фиг. 44. Колесо (профильный чертёж).

ρ_k — радиус дуги, очерчивающей головку зуба колеса; Δr_c — разность радиусов начальной окружности колеса и окружности центров дуг, очерчивающих головку зуба. Числовые значения ρ_k и Δr_c для зубчатых пар с передаточными отношениями от 5 до 10 помещены в табл. 1 нормали.

В нормали приведены формулы, позволяющие, установив по табл. размеры ρ_k и Δr_c , подсчитать величины всех остальных размеров, определяющих профиль зубьев колеса и триба.

Нормаль содержит также подсчитанные по приведенным формулам числовые величины всех размеров, характеризующих профиль зубьев для зубчатых пар с передаточными числами от 5 до 10.

Порядок пользования нормалью на размеры, определяющие профиль зубьев часового зацепления, следующий: величина передаточного числа каждой зубчатой пары, соответствующие числа зубьев колес и трибов и величины модулей устанавливаются исходя из кинематической схемы, габаритных размеров и схемы компоновки механизма. Для облегчения выбора зубчатой пары в приложении к нормалью помещена таблица рекомендуемых величин передаточных отношений и таблица межцентровых расстояний. Если рассчитываемая зубчатая пара входит в приводимые таблицы, то размеры, определяющие профиль зубьев, получаются путем умножения всех цифр соответствующего столбца таблицы на величину модуля m . Если в табл. отсутствуют размеры рассчитываемой зубчатой пары, то путем линейной интерполяции определяются основные размеры ρ_k и Δr_c , а затем с помощью приведенных формул вычисляются остальные размеры.

Пример. Подсчет размеров, определяющих профиль зубьев колеса и триба для зубчатой пары $\frac{z_k}{z_T} = \frac{40}{6}$ при модуле $m = 0,25$.

Поскольку в табл. отсутствует столбец для передаточного отношения $i = \frac{40}{6} = 6,67$, найдем соответствующие числовые значения ρ_k и Δr_c путем линейной интерполяции. Из табл. находим: для $i = 6,5$ при $z_T = 6$, $\rho_k = 1,84$ и $\Delta r_c = 0,17$; для $i = 7$ при $z_T = 6$, $\rho_k = 1,86$ и $\Delta r_c = 0,18$. Тогда для $i = 6,67$ путем интерполяции находим, что $\rho_k = 1,8468$ и $\Delta r_c = 0,1734$. Округляя до 3-го знака после запятой, принимаем $\rho_k = 1,847$ и $\Delta r_c = 0,173$.

По формулам вычисляем все размеры колеса и триба зубчатой пары $\frac{z_k}{z_T} = \frac{40}{6}$ при модуле $m = 1$. Умножив полученные размеры на 0,25, определим размеры рассчитываемой пары при модуле $m = 0,25$.

Порядок вычислений приведен ниже (см. таблицы на стр. 59—60).

Для ориентировки при назначении допустимой величины биения, ошибок межцентрового расстояния и наружного диаметра в нормали приводится формула, позволяющая подсчитать величину проекции бокового зазора на линию центров.

Нормаль на размеры, определяющие профиль зубьев колеса и триба, облегчает работу конструктора, позволяя быстро подсчитывать

Колесо

Формулы, связывающие размеры колеса	$m = 1$	$m = 0,25$
z_h	40	40
$r_K = \frac{mz_K}{2}$	20	5
$t_K^\circ = \frac{360^\circ}{z_K}$	9°	9°
$\tilde{t}_K = m\pi$	3,142	0,786
ρ_K	1,847	0,462
$r_c = r_K - \Delta r_c$	19,827	4,957
$\angle \alpha = \arccos \frac{r_K^2 + r_c^2 - \rho_K^2}{2r_K r_c}$	5°17'30"	5°17'30"
$\angle \beta = \angle \alpha - \frac{K}{2} t_K^\circ (K = 0,5)$	3°2'30"	3°2'30"
$\tilde{S}_K = K\tilde{t}_K$	1,572	0,393
$S_{K\theta} = 2r_K \cdot \sin \frac{K}{2} t_K^\circ$	1,570	0,392
$S_K = 2(\rho_K - r_c \sin \beta)$	1,590	0,397
$D_K = 2 \left(r_c \cdot \cos \beta + \sqrt{\rho_K^2 - r_c^2 \sin^2 \beta} \right)$	42,634	10,658
$h_K = \frac{D_K}{2} - r_K$	1,317	0,329
$H_K = \frac{\pi m}{2}$	1,571	0,393
$d_K = 2(r_K - H_K)$	36,858	9,214
$\angle \gamma_K = \arcsin \frac{\rho_K}{r_c} - \angle \beta$	2°18'20"	2°18'20"
$\angle \gamma'_K = \frac{\tilde{t}_K}{2} - \angle \gamma_K$	2°11'40"	2°11'40"
$\rho'_K = \frac{d_K}{2} \frac{\sin \gamma'_K}{1 - \sin \gamma'_K}$	0,734	0,183
$r'_K = \frac{d_K}{2} + \rho'_K$	19,163	4,791

Триб

Формулы, связывающие размеры триба	$m = 1$	$m = 0,25$
z_T	6	6
$r_T = \frac{mz_T}{2}$	3	0,75
$t_T^\circ = \frac{360^\circ}{z_T}$	60°	60°
$\rho_T = 0,7m$	0,7	0,175
$\angle \psi = 2 \arcsin \frac{\rho_T}{2r_T}$	13°24'	13°24'
$\angle \psi_1 = \arcsin \frac{\rho_T}{r_T}$	13°29'30"	13°29'30"
$\check{S}_T = \frac{1}{3} \check{t} = \frac{mn}{3}$	1,047	0,262
$\frac{k_1}{2} t_T^\circ = \frac{1}{6} t_T^\circ$	10°	10°
$\angle \frac{\varphi}{2} = \angle \varphi - \frac{1}{6} t_T^\circ$	3°24'	3°24'
$S_{T\partial} = 2r_T \sin \frac{1}{6} t_T^\circ$	1,042	0,260
$S_T = 2 \left(\rho_T - r_T \sin \frac{\varphi}{2} \right)$	1,044	0,261
$h_T = \sqrt{\rho_T^2 - r_T^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} - 2r_T \sin^2 \frac{\varphi}{4}}$	0,672	0,168
$D_T = 2(r_T + h_T)$	7,343	1,836
$H_T = h_k + 0,4m$	1,717	0,429
$d_T = 2(r_T - H_T)$	2,566	0,641
$\angle \gamma_T = \angle \psi_1 - \angle \frac{\varphi}{2}$	10°5'30"	10°5'30"
$\angle \gamma_T' = \frac{t_T^\circ}{2} - \angle \gamma_T$	19°54'30"	19°54'30"
$\rho_T' = \frac{d_T}{2} \frac{\sin \gamma_T}{1 - \sin \gamma_T}$	0,662	0,165
$r_T' = \frac{d_T}{2} + \rho_T'$	1,945	0,486

величины всех параметров зубчатой пары. Для наиболее распространенных зубчатых пар все размеры подсчитаны и приведены к нормали. Устанавливаемые нормалью размеры являются оптимальными, обеспечивающими наилучшее качество зацепления.

8. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА АНКЕРНОМ КОЛЕСЕ

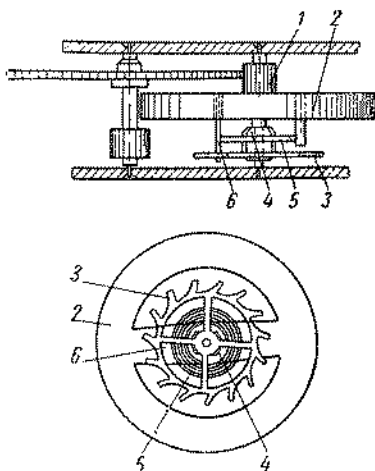
Как известно, период колебаний баланса в часах в большей или меньшей степени зависит от амплитуды колебаний. Поэтому возникает необходимость в применении специальных устройств для поддержания постоянства амплитуды колебаний.

Главной причиной изменения амплитуды является изменение энергии импульсов, сообщаемых балансу, в результате непостоянства крутящего момента пружинного двигателя.

Устройства, обеспечивающие передачу балансу импульсов постоянной величины в условиях переменного крутящего момента двигателя называются импульсными стабилизаторами.

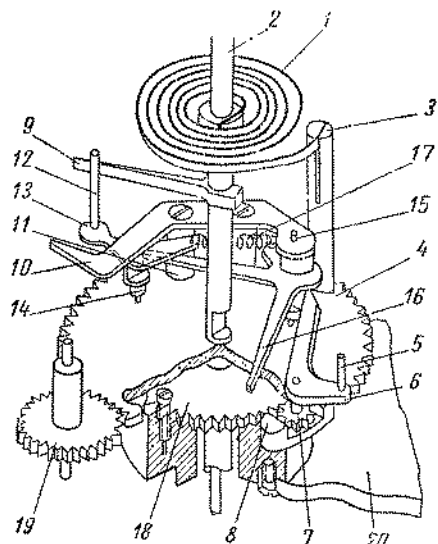
Импульсные стабилизаторы чрезвычайно необходимы в связи с возросшими потребностями нашей страны в точных приборах времени переносного типа с многодневным заводом (радиомаячные часы, авиационные астрономические хронометры, специальные реле времени, замыкатели, сигнальные приборы и т. п.), где требуется достаточно большой крутящий момент при одновременном постоянстве его.

1) Инерционный импульсный стабилизатор. Схема стабилизатора показана на фиг. 45. Маховичок 2 насажен на триб анкерного колеса 1. Анкерное колесо 3 насажено на втулку 4, свободно вращающуюся на оси триба. Анкерное колесо соединено с маховичком 2 спиральной пружинкой 5, внешний конец которой закреплен в колонке на маховичке, а внутренний — во втулке 4 анкерного колеса. Пружинка 5 несколько закручена (заведена) и создает момент, стремящийся повернуть анкерное колесо. Между спицами анкерного колеса проходит штифт 6, назначение которого — ограничивать закручивание пружинки 5. Маховичок 2 под действием заводной пружины поворачивается на некоторый угол до тех пор, пока штифт 6 не упрется в спицу анкерного колеса. При этом пружинка 5 получит дополнительный завод. При движении к положению



Фиг. 45. Схема инерционного импульсного стабилизатора.

равновесия баланс через посредство вилки освобождает анкерное колесо 3, которое затем под действием пружинки 5 поворачивается и сообщает балансу импульс. Маховичок 2 под действием заводной пружины приходит в движение, но вследствие большой инерции будет вращаться медленнее анкерного колеса, спица которого мгновенно отходит от штифта 6. В промежуток между двумя импульсами маховичок 2 будет вращаться до тех пор, пока штифт 6 снова не коснется спицы анкерного колеса. В результате пружинка 5 вновь получит дополнительный завод, и процесс будет повторяться в прежнем порядке.



Фиг. 46. Схема планетарного импульсного стабилизатора.

пусковых радиомаячных часах, разработанных НИИЧАСПРОМ, применен особой конструкции импульсный стабилизатор, схема которого показана на фиг. 46.

Взаимодействие деталей. Спиральная пружина 1 одним концом прикреплена к оси 2, а другим — к колонке 3, укрепленной на зубчатом колесе 4, которое свободно вращается на оси 2. Штифт 5 укреплен на рычаге 6, который, в свою очередь, неподвижно закреплен на планетарном трибе 7.

Гнезда под цапфы планетарного триба 7 находятся: для нижней цапфы в мосту 8, а для верхней — в колесе 4. Мост 8 прикреплен к колесу 4. Рычаг 9 неподвижно укреплен на оси 2. Мост 10 привинчен к колонкам 11, которые запрессованы в колесе 4. Штифт 12 запрессован в рычаг 13, который имеет неподвижную посадку на оси 14.

Ось 14 имеет опоры в колесе 4 и в мосту 10. Рычаг 16 закреплен неподвижно на оси 15, которая имеет опоры в колесе 4 и в мосту 10. Между рычагами 13 и 16 натянута пружина 17. Колесо 18 привинчено к платформе 20. Колесо 19 находится в постоянном

Инерционный импульсный стабилизатор может найти большее применение в приборах времени как с однодневным, так и с многодневным заводом. Получая постоянный импульс от пружинки, имеющей неизменный крутящий момент, баланс будет иметь более постоянную амплитуду колебаний, чем при применении в качестве импульсного стабилизатора улитки.

2) Планетарный импульсный стабилизатор [14]. В контрольно-

зацеплении с колесом 4, а планетарный триб 7 — с колесом 18. Ось 2 свободно вращается в отверстиях колес 4 и 18.

Взаимодействие узлов. Зубчатое колесо 19 под действием заводной пружины передает крутящий момент на колесо 4, которое не может повернуться ввиду того, что рычаг 6, опираясь своим концом на кромку выреза оси 15, связывает колесо 4 с неподвижным колесом 18 через посредство планетарного триба 7.

Рычаг 16, опираясь своим концом на кромку выреза оси 14, остается неподвижным до момента подзаводки спиральной пружины.

Подзаводка. Колесо 4, будучи связано с неподвижным колесом 18 системой рычагов, не вращается. Спиральная пружина 1, предварительно заведенная на угол φ , вращает ось 2, а следовательно, поворачивает и рычаг 9, который подходит к штифту 12 и начинает поворачивать рычаг 13 с осью 14. Ось 14, будучи повернутой на незначительный угол, позволяет рычагу 16 под действием пружины 17 проскочить через вырез в оси 14, в связи с чем повернется ось 15 и освободит рычаг 6. Как только рычаги 13 и 16 проскочили в вырезы осей 14 и 15, колесо 4 перестает быть связанным с неподвижным колесом 18 и под действием крутящего момента колеса 19, мгновенно поворачиваясь на $\frac{1}{4}$ оборота, поведет колонку 3, тем самым обеспечивая подзаводку спиральной пружины 1. Поворот на $\frac{1}{4}$ оборота обуславливается передаточным отношением между планетарным трибом 7 и колесом 18.

Возврат в исходное положение. Как только рычаги 13 и 16 проскочили в вырезы осей 14 и 15, штифт 5, вращаясь с рычагом 6, отводит рычаг 16 в исходное положение. При этом рычаг 16, упираясь концом в вырез оси 14, отводит рычаг 13, натягивая при этом пружину 14, которая и позволяет рычагам 13 и 16 занять исходное положение. С рычагом 16 стала в исходное положение и ось 15, вследствие чего рычаг 6 при своем вращении снова упадет на кромку среза оси 15 и займет исходное положение.

Колесо 4 опять оказалось связанным с неподвижным колесом 18, а ось 2 продолжает свое вращение под действием спиральной пружины. Затем следует повторение цикла в том же порядке. Резерв хода спиральной пружинки 1 равен 15 сек.

Рассмотренный нами планетарный импульсный стабилизатор дал возможность получить исключительно высокую точность хода радиомаячных часов, показавших на государственных испытаниях отклонение хода за 6 суток на 6,5 сек. [14].

ГЛАВА IV

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПУСКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТИПЫ СПУСКОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Спусковой регулятор представляет собой часть часового механизма, регулирующую скорость вращения осей зубчатой передачи. Это регулирование осуществляется установлением определенного угла поворота спускового колеса за период колебаний колебательной системы. Колебательная система — это узел спускового регулятора, способный во взаимодействии с остальными частями часового механизма совершать незатухающие колебания с достаточно постоянным периодом. Основные части спускового регулятора механических часов — колебательная система и спуск. Колебательная система механических часов представляет собой маятник или баланс с волоском.

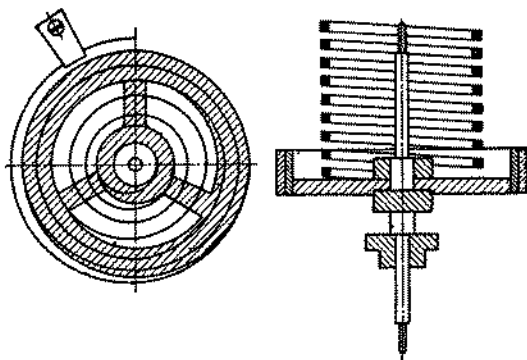
Профессор Ф. В. Дроздов писал: «Устанавливая термин «спусковой регулятор», будем понимать, что этот регулятор состоит из следующих трех узлов:

1. Колебляющаяся система, которая очень часто и называется регулятором, хотя сама по себе эта система не может длительно регулировать движение, так как, предоставленная самой себе, быстро затухает. Задачей этой системы является периодическое, строго во времени, останавливание и пуск оси.

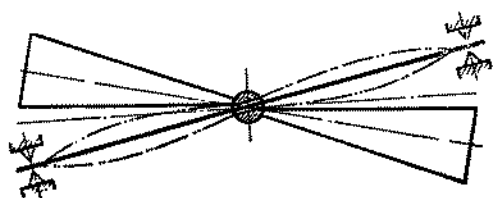
2. Ход, спуск или эшапман, т. е. сочетание ходового колеса и особой детали (анкера). Этот узел представляет собой кулачковый механизм, в котором одно из звеньев (ходовое колесо) имеет вращательное движение с остановками, а другое звено (анкер, вилка, защелка, ходовая пружинка) имеет колебательное — получающееся от ходового колеса и колебательной системы. Задачей этого узла является:

а) периодические останавливания и пуски ходового колеса и
б) получение от ходового колеса на колебательную систему импульсов, необходимых для поддержания колебательного процесса в ней.

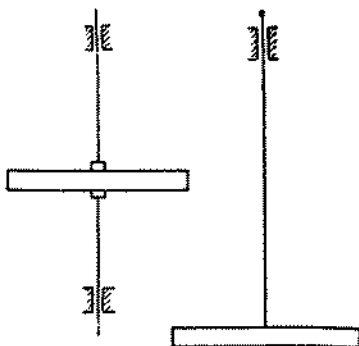
3. Изохронизирующее приспособление, в задачу которого входит выравнивание периода колебания колеблящейся системы на определенном диапазоне изменения амплитуд до заданного размера.



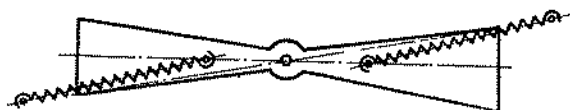
Фиг. 47. Схемы колебательных систем спусковых балансовых регуляторов со спиральным волоском.



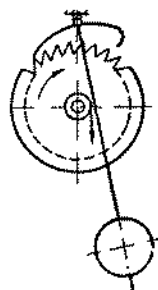
Фиг. 48. Схема колебательной системы спускового балансового регулятора с прямым волоском.



Фиг. 49. Схема колебательных систем спусковых балансовых регуляторов с крутильным волоском.



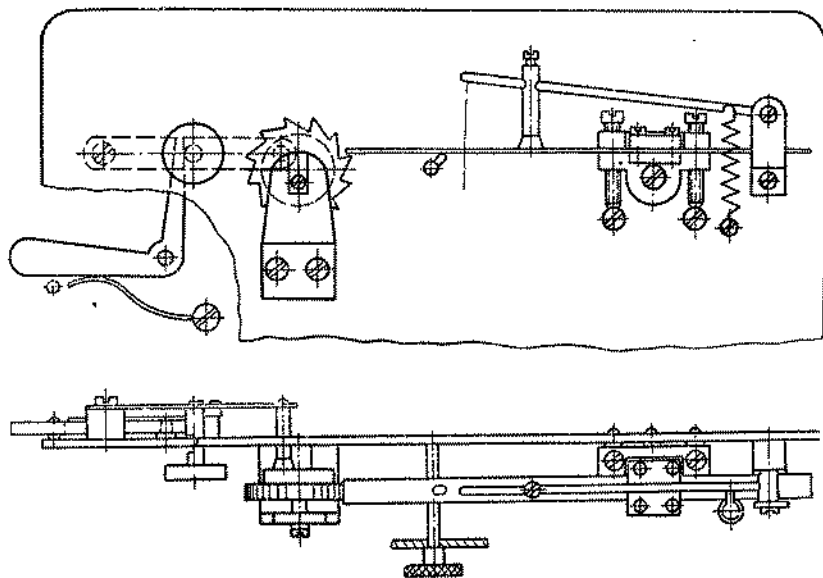
Фиг. 50. Схема спускового балансового регулятора с винтовыми пружинами.



Фиг. 51. Маятниковый спусковой регулятор.

Не все спусковые регуляторы в своей конструкции имеют такие приспособления» [15].

Спусковые регуляторы можно классифицировать по типу применяемой в них колебательной системы и по типу применяемых в них спусков или ходов.



Фиг. 52. Схема регулятора с упругой пластинкой и храповиком.

По типу применяемой колебательной системы спусковые регуляторы делятся на:

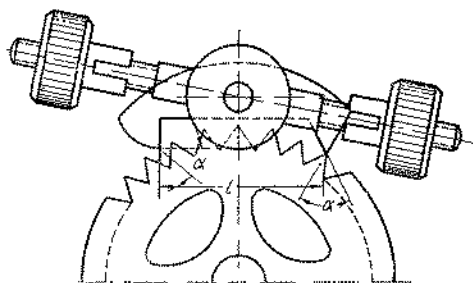
- 1) балансовые со спиральным волоском (спираль Архимеда, винтовая спираль) (фиг. 47);
- 2) балансовые с прямым волоском (фиг. 48);
- 3) балансовые с крутильным волоском (фиг. 49);
- 4) балансовые с винтовыми пружинами (фиг. 50);
- 5) маятниковые (фиг. 51);
- 6) храповые с упругой пластинкой (фиг. 52);
- 7) без собственного периода колебаний (фиг. 53).

По типу применяемых спусков спусковые регуляторы делятся на:

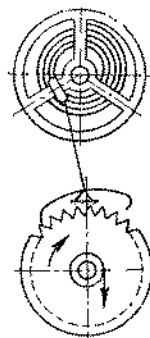
- 1) спусковые регуляторы с несвободными спусками;
- 2) спусковые регуляторы со свободными спусками.

В регуляторе с несвободным спуском колебательная система постоянно находится в кинематической связи со спусковым меха-

низмом. В регуляторах со свободными спусками колебательная система только кратковременно периодически находится в кинематической связи со спусковым механизмом. Примером несвободного



Фиг. 53. Схема спускового регулятора без собственного периода колебаний.



Фиг. 54. Свободный спуск.

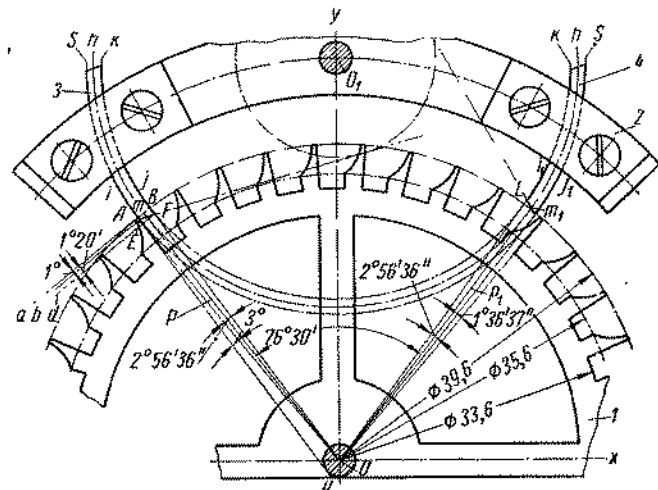
спуска может служить спуск маятниковых стенных часов (фиг. 51), а анкерный спуск (фиг. 54) может служить примером свободного спуска.

2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СПУСКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Несвободные спусковые механизмы. Наиболее типичным спуском с трением на покое является так называемый ход Грагама. Английский часовщик Георг Грагам в 1715 г. предложил спусковой механизм, который применяется и до сих пор в маятниковых настенных и напольных часах. На фиг. 55 изображен спуск Грагама, состоящий из спускового колеса 1 и якоря 2 с укрепленными в нем двумя палетами. На входной палете 3 внешняя цилиндрическая, а на выходной 4 — внутренняя цилиндрическая поверхности называются поверхностями покоя, а скошенные плоскости палет называются плоскостями импульса. Вращающий момент, передаваемый от двигателя на спусковое колесо, дает вращение последнему в направлении по часовой стрелке. На фиг. 55 механизм изображен в тот момент, когда зуб спускового колеса лежит на поверхности покоя входной палеты.

Угол aO_1b , составленный лучами O_1a и O_1b , проведенными из центра качания якоря O_1 через точки A и E (точки начала и конца поверхности покоя) называется углом покоя. Угол bO_1d , составленный лучами O_1b и O_1d , проведенными из центра качания якоря O_1 через точки E и F (точки начала и конца импульса), называется углом импульса. В нашем случае для хода напольных часов угол покоя

входной палеты составляет 1° , а угол импульса $1^\circ 20'$. Сумма угла покоя и угла импульса называется углом подъема якоря. Когда зуб, находящийся на поверхности покоя, перейдет на плоскость импульса, пройдет плоскость импульса и соскочит со входной палеты, спусковое колесо повернется свободно на некоторый угол до тех пор, пока зуб, находящийся перед выходной палетой, не упадет на поверх-



Фиг. 55. Спуск с трением на покое (спуск Грагама).

ность покоя выходной палеты. Упомянутый угол свободного поворота спускового колеса называется углом падения. При падении спусковое колесо сообщает нежелательный удар палете, и поэтому необходимо выбирать угол падения предельно малым. Совсем уничтожить угол падения нельзя, так как невозможно абсолютно точно изготовить колесо и якорь, и отклонения в размерах и взаимном расположении этих двух деталей приведут к заклиниванию спускового механизма.

Цикл работы спускового регулятора за полный период колебания маятника включает следующие основные этапы [6]:

1) двигаясь из крайнего правого положения, маятник проходит дополнительный угол и угол покоя и через посредство вилки поворачивает якорь, преодолевая при этом трение на поверхности покоя входной палеты;

2) зуб спускового колеса переходит на плоскость импульса входной палеты и, скользя по ней, толкает ее вверх, передавая через посредство вилки импульс маятнику;

3) пройдя импульсную плоскость, зуб спускового колеса соскакивает с палеты, и ближайший к выходной палете зуб падает на поверхность покоя выходной палеты. Маятник в это время совер-

шит свободный поворот на некоторый угол, так называемый «угол свободного поворота»;

4) маятник, продолжая движение по часовой стрелке, проходит дополнительный угол, поворачивая якорь и преодолевая трение на поверхности покоя выходной палеты;

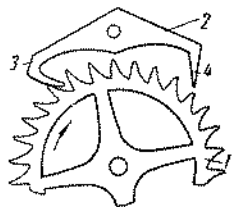
5) дойдя до своего крайнего левого положения, маятник начинает движение против часовой стрелки и, проходя дополнительный угол и угол покоя, преодолевает трение на поверхности покоя выходной палеты;

6) зуб спускового колеса переходит на плоскость импульса выходной палеты, скользя по ней, толкает ее вверх, передавая посредством вилки импульс маятнику. Затем повторяются 3-й и 4-й этапы с той лишь разницей, что падение зуба будет происходить на поверхности покоя входной палеты, и маятник, продолжая движение по дополнительной дуге до своего крайнего правого положения, будет преодолевать трение на входной палете.

При последующих колебаниях маятника цикл действия регулятора будет идентичен описанному выше. За полный период колебания маятника, т. е. за цикл работы регулятора, спусковое колесо повернется на один зуб.

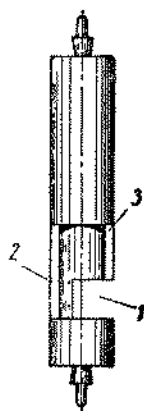
Спуск с отходом назад, или возвратный спуск (фиг. 56) состоит из спускового колеса 1 с зубьями и якоря 2. Якорь имеет палеты, из которых входная 3 имеет цилиндрическую рабочую поверхность, а выходная 4 — плоскую. На фиг. 56 механизм изображен в тот момент, когда зуб спускового колеса только что упал на входную палету. Маятник в этот момент продолжает движение против часовой стрелки и описывает дополнительную дугу. Зуб, находящийся на входной палете, скользит по палете, а так как ось цилиндрической поверхности палеты не совпадает с осью вращения якоря, то спусковое колесо, отжимаемое рабочей поверхностью, опускающейся вниз палеты, будет отходить назад (против часовой стрелки). Когда кинематическая энергия маятника будет израсходована, маятник остановится и начнет движение по часовой стрелке; в это время зуб будет скользить по рабочей поверхности входной палеты и поворачивать якорь по часовой стрелке. Поворачиваясь по часовой стрелке, якорь, через посредство вилки, сообщает импульс маятнику до тех пор, пока зуб спускового колеса не соскочит с входной палеты. После этого спусковое колесо повернется свободно на некоторый угол (угол падения), очередной его зуб упадет на рабочую поверхность выходной палеты, и весь цикл движений повторится аналогично описанному выше процессу на входной палете.

Цилиндровый спуск относится к типу спусков с трением на покое и имеет цилиндрические поверхности покоя палет. Этот спуск состоит в основном из цилиндра и спускового колеса. Цилиндр (фиг. 57)



Фиг. 56. Возвратный спуск.

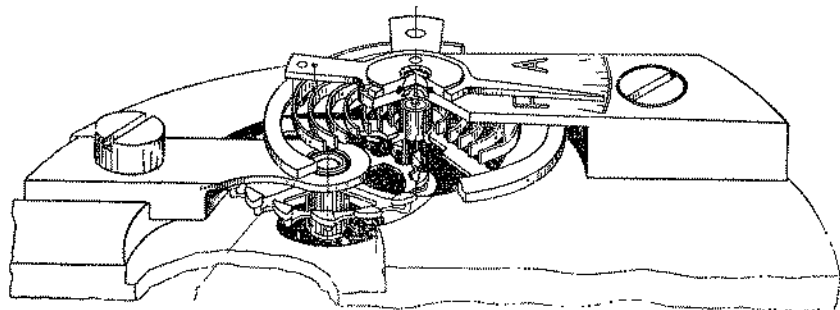
представляет собой тщательно отшлифованную и отполированную внутри и снаружи стальную трубку. Эта трубка имеет вырез (проход) 1, сделанный с таким расчетом, что рабочая часть ее образует центральный угол $190\text{--}200^\circ$. В нижней части этот вырез расширен, т. е. в цилиндре дополнительно сделано окно для прохода ножки зуба спускового колеса, и оставшаяся часть тела цилиндра образует центральный угол около 100° . Края срезанной части цилиндра играют роль палет, они скошены под углом и носят названия: входная губа 2 и выходная губа 3. Ось цилиндра одновременно является и осью баланса. В торцы цилиндра запрессованы пробки, которые имеют по концам цапфы для вращения в камневых опорах.



Фиг. 57. Цилиндр.

Спусковое колесо 1 в цилиндровом спуске (фиг. 58) имеет на ободке выступы по числу зубьев. На каждом выступе, перпендикулярно к плоскости колеса, имеется ножка зуба 1 (фиг. 59), а на ней своеобразной формы головка зуба 2. Импульс в основном происходит на спинке зуба 3 спускового колеса. Спусковое колесо обычно имеет 15 зубьев и изготовляется из высокоуглеродистой стали.

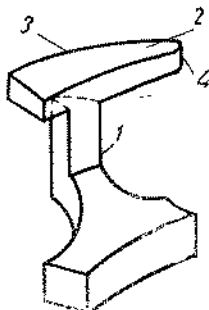
Действие цилиндрического спуска нетрудно проследить на схеме, где показаны семь относительных положений зуба спускового колеса на цилиндре (фиг. 60).



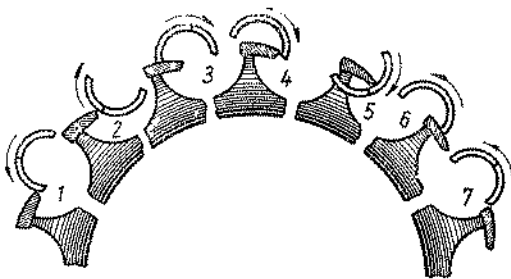
Фиг. 58. Схема цилиндрического спуска.

В положении 1 зуб колеса упал на входную губу, а именно на внешнюю поверхность цилиндра, при этом баланс продолжает, за счет своей кинетической энергии, движение против часовой стрелки (дополнительная дуга). В положении 2 баланс, израсходовав свою кинетическую энергию, начинает движение по часовой стрелке, проходя снова дополнительную дугу, но уже в обратном направлении. Положение 3 показывает, что входная губа выскользнула из-под острия зуба 4 (фиг. 59) и колесо, освободившись, вращается по

часовой стрелке, и, действуя спинкой зуба на импульсную кромку цилиндра, сообщает импульс балансу. Положение 4 показывает момент, когда зуб спускового колеса падает на поверхность покоя выходной губы. Баланс в это время описывает дополнительную дугу, продолжая вращаться по часовой стрелке. Положение 5 изображает момент, когда выступ обода входит в вырез цилиндра, а зуб продолжает с трением скользить по внутренней поверхности цилиндра. Дойдя до крайнего положения, баланс начинает двигаться против часовой стрелки, проходит дополнительную дугу, дугу покоя, и наступает момент, когда импульсная поверхность выходной губы



Фиг. 59. Форма зуба спускового колеса.



Фиг. 60. Схема действия цилиндрического спуска.

выйдет из-под острия зуба. Положение 6 изображает момент импульса, передаваемого выходной губе во время вращения спускового колеса.

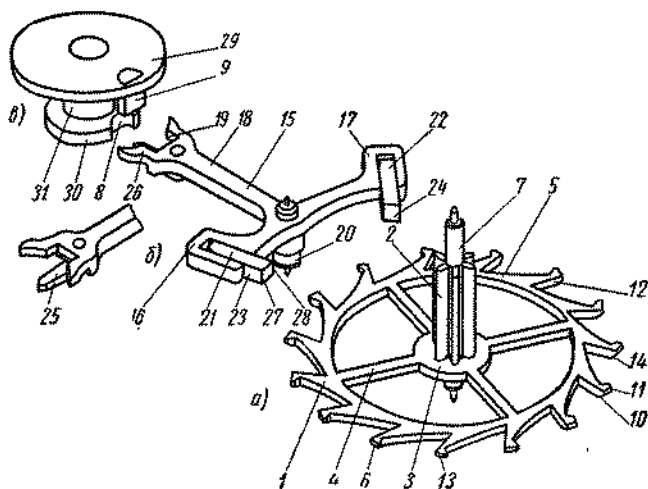
Положение 7 показывает, что после того как зуб спускового колеса вышел из соприкосновения с выходной губой, следующий за ним зуб упал на внешнюю поверхность входной губы. Во всех случаях, когда баланс проходит дополнительную дугу, острие зуба скользит по поверхности цилиндра (либо по внешней поверхности входной губы, либо по внутренней поверхности выходной губы).

Из описанных выше несвободных спусков широкое применение в настоящее время находят только спуск Грагама и возвратный спуск, тогда как цилиндрический спуск является отмирающим и встречается редко.

Свободные спусковые механизмы. В современных конструкциях переносных часов и часовых механизмов наиболее употребительными являются свободные спуски: свободные анкерные спуски и хронометровые спуски.

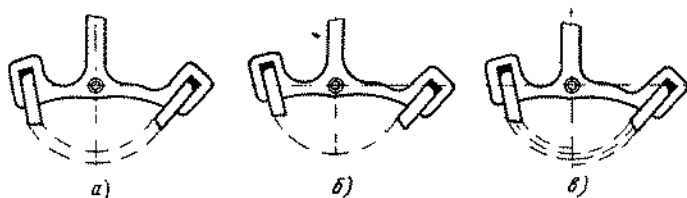
Всякий свободный анкерный спуск (фиг. 61) состоит из следующих основных частей: спусковое или анкерное колесо (фиг. 61, а); анкер или якорь с палетами (фиг. 61, б); вилка с копьём (часто выполняется как одно целое с якорем); импульсный камень или эллипс, вставленный в двойной ролик (фиг. 61, в).

Анкерное колесо и анкерная вилка в современных часовых механизмах изготавливаются из стали, эллипс и палеты из синтетического рубина или агата. Двойной ролик сидит на оси баланса и выпол-



Фиг. 61. Детали свободного анкерного спуска и их элементы.

няет двойную роль. Во-первых, в одном диске этого ролика запрессован импульсный камень (эллипс), посредством которого передается импульс балансу, во-вторых, в другом диске этого ролика имеется вырез, который пропускает конье (предохранительный штифт) вилки при определенном угле поворота ролика.



Фиг. 62. Схема расположения палет анкерного спуска.

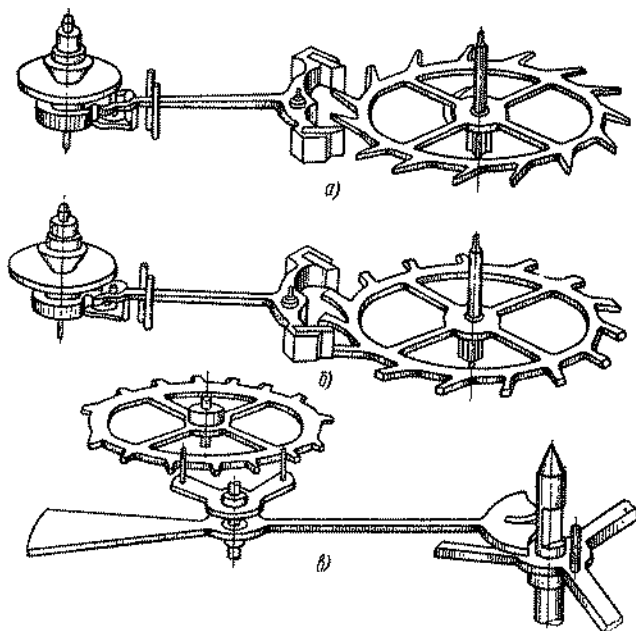
Работа анкерного спуска будет рассмотрена в следующей главе.

Свободные анкерные спуски разделяются между собой по положению поверхностей покоя и по способу передачи импульса.

По положению плоскостей покоя спуски делятся на: равноплечие, у которых середины импульсных плоскостей палет находятся на одинаковом расстоянии от оси качания анкерной вилки (фиг. 62, а); неравноплечие, в которых плоскости покоя одинаково удалены от оси качания анкерной вилки (фиг. 62, б); смешанные,

у которых плечи импульса неодинаковые, а плоскости покоя сдвинуты на обеих палетах в одну сторону на одну и ту же величину (фиг. 62, в).

По способу передачи импульса свободные анкерные спуски делятся на: английский спуск, у которого зубья анкерного колеса



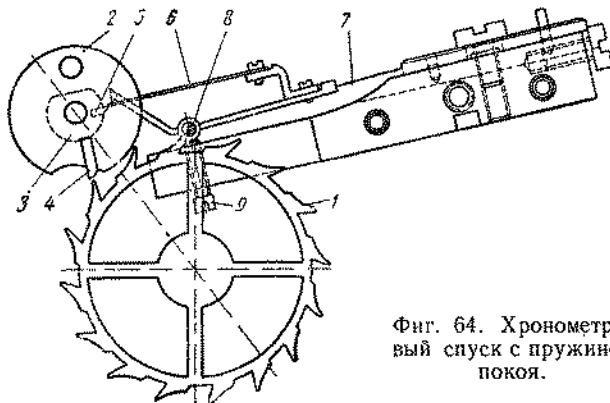
Фиг. 63. Свободные анкерные спуски.

заострены и не имеют импульсной плоскости, а передача импульса происходит только за счет скольжения острия зуба по плоскости импульса палеты (фиг. 63, а); швейцарский спуск, у которого зубья анкерного колеса имеют широкую импульсную плоскость и потому более прочны, передача импульса происходит вначале за счет скольжения острия зуба колеса по импульсной плоскости палеты, а затем — за счет скольжения ребра палеты по импульсной плоскости зуба (фиг. 63, б); это самый распространенный анкерный спуск; штифтовый спуск, у которого вместо палет поставлены стальные цилиндрические штифты, и импульс происходит исключительно за счет скольжения палет (штифтов) по импульсной плоскости зуба (фиг. 63, в).

Из применяемых в настоящее время хронометровых спусков различают два типа: спуск с пружиной покоя (фиг. 64) и спуск с рычагом покоя (фиг. 65).

Хронометровый спуск с пружиной покоя (фиг. 64). Спуск имеет следующие основные части: зубчатое спусковое колесо 1, вращающееся по часовой стрелке; стопорную пружину, или пружину

покоя 7, укрепленную одним концом на платформе; гибкую и упругую спусковую пружину (золотую пружинку) 6, укрепленную на пружине покоя; импульсный 2 и спусковой 3 ролики на оси баланса. В пружину покоя вставлен камень покоя 8, плоскость которого имеет

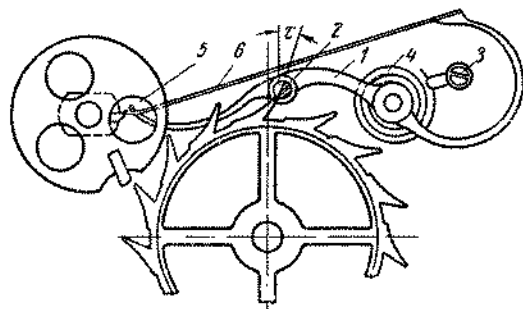


Фиг. 64. Хронометровый спуск с пружиной покоя.

наклон к радиусу спускового колеса под углом τ (см. фиг. 65), называемым «углом притяжки». Благодаря такому расположению плоскости среза камня покоя зуб колеса при давлении на камень стремится притянуть его к себе и изогнуть пружинку покоя вниз. При

работе механизма изгиб пружины покоя происходит в ее тонкой части.

В импульсном ролике 2 укреплен импульсный камень 4, а в спусковом ролике—спусковой камень 5. Баланс, совершая колебательные движения, обеспечивает тем самым вращение насаженных на его оси импульсного и спускового роликов. Регулировочный винт 9 служит для регулировки глубины



Фиг. 65. Хронометровый спуск с рычагом покоя.

входа камня покоя в окружность выступов спускового колеса.

На фиг. 64 изображен механизм спуска в тот момент, когда спусковое колесо неподвижно, так как один из его зубьев лежит на камне покоя.

Схема действия спуска следующая:

Баланс вместе с роликами вращается в направлении часовой стрелки, причем движение происходит свободно и независимо от

спускового устройства, находящегося в этот момент в неподвижном состоянии. Один из зубьев спускового колеса лежит при этом на камне покоя 8. Совершив полуколебание по часовой стрелке, баланс возвращается обратно в положение равновесия, двигаясь против часовой стрелки.

Около положения равновесия спусковой камень 5 ударяет по концу золотой пружинки 6, которая, упираясь в конец пружины покоя 7, отводит ее и, таким образом, освобождает зуб спускового колеса. Под действием заводной пружины спусковое колесо приходит в движение, нагоняет своим очередным зубом импульсный камень 4 и сообщает балансу импульс, ускоряющий вращение баланса против часовой стрелки. Спусковой камень 5 освобождает золотую пружинку, пружина покоя 7, возвращаясь в свое обычное положение, посредством камня покоя 8 вновь стопорит спусковое колесо, и оно останавливается, повернувшись на один зуб по часовой стрелке. Баланс, продолжая свое движение, проходит восходящую дополнительную дугу, заводит при этом спираль, упругая сила которой останавливает баланс и затем возвращает его обратно. При этом, двигаясь по часовой стрелке, баланс спусковым камнем ударяет по концу золотой пружинки. Золотая пружинка легко отгибается, на что затрачивается ничтожно малая доля энергии баланса, баланс свободно завершает свою дополнительную дугу, после чего цикл повторяется вновь.

Хронометровый спуск с рычагом покоя (фиг. 65). Этот вид спуска отличается от предыдущего только тем, что пружина покоя заменена уравновешенным рычагом 1, качающимся вокруг своей оси 2 и стремящимся под действием спирали 4 повернуться против часовой стрелки. Один конец спирали заделан в неподвижной колодке 3, а другой прикреплен к телу рычага.

Уравновешенность рычага покоя в этом спуске придает большую независимость хода хронометра от его положения, в силу чего он нашел применение в карманных хронометрах. Рычаг покоя делается небольших размеров и легким из соображения уменьшения влияния сотрясений и толчков на работу механизма. К недостаткам этого спуска нужно отнести дополнительное трение в опорах оси рычага.

Роль спуска состоит в периодическом задержании движения колесного механизма при помощи спускового колеса и сообщения балансу импульсов, необходимых для поддержания его колебательного движения. Периодическое задержание движения спускового колеса осуществляется в хронометровых ходах за счет того, что по окончании импульса каждый из зубьев спускового колеса задерживается камнем покоя. Чтобы вновь привести в движение спусковое колесо с целью передачи нового импульса балансу, необходимо освобождение колеса.

Спусковое колесо освобождается, когда спусковой камень 5 через посредство золотой пружинки 6 отбрасывает рычаг покоя на

величину, необходимую для освобождения зуба спускового колеса, лежавшего на камне покоя 2.

Спусковой и импульсный камни должны иметь такое взаимоположение, чтобы после окончания освобождения импульсный камень находился на некотором расстоянии перед вступающим в действие зубом спускового колеса. Падая на действующую поверхность импульсного камня, зуб спускового колеса сообщает импульс балансу, тем самым поддерживая его колебательное движение. Во время импульса спусковой камень освобождает золотую пружинку и вместе с ней рычаг покоя. Последний возвращается в состояние покоя, прижимается к упору и готов после окончания импульса принять следующий зуб спускового колеса и снова задержать его вращение.

Затем баланс проходит дополнительную дугу свободно, вне связи с механизмом спуска, и только при обратном колебании, при отводе золотой пружинки в сторону, имеет минимальную связь с этим механизмом.

Из предыдущего краткого описания видно, что баланс связан с механизмом хронометрового спуска только во время освобождения и импульса (при прямом колебании) и при отклонении золотой пружинки (во время обратного колебания). Импульс передается непосредственно балансу и осуществляется при каждом втором полукколебании, поэтому хронометровый спуск относится к классу свободных спусков с непосредственной передачей импульса.

Спуск, в основном, является стопорным (защелкивающим) механизмом. Расчленяя хронометровый спуск на отдельные кинематические пары, увидим, что за исключением плоскости покоя, создающей притяжку, спуск состоит лишь из простых прямых рычагов, в то время как спуски цилиндровый и анкерный имеют еще наклонные плоскости, называемые плоскостями импульса. Пружинный (хронометровый) спуск обладает меньшим количеством трущихся деталей в сравнении с другими спусками и при правильном подборе материала деталей не требует их смазки. Состояние поверхности трения в пружинном спуске оказывает меньшее действие на колебания баланса, чем в анкерном спуске.

Однако применимость хронометровых спусков в приборах времени переносного типа ограничивается рядом существенных недостатков их, к которым относятся: галомирование спуска вследствие проскакивания спускового колеса на два зуба при одном колебании и остановка баланса под действием сотрясений или толчков. После остановки часов с хронометровым спуском, в результате спуска заводной пружины, они после восстановления завода пружины сами не пойдут без раскачивания баланса извне, как это имеет место в часах с анкерным ходом. Особенно большим дефектом хронометрового спуска с пружиной покоя является отсутствие соответствующих предохранительных приспособлений против преждевременного освобождения спускового колеса под действием случайных толчков или сотрясений.

3. ПОСТРОЕНИЕ СПУСКА ГРАГАМА

Методику построения спуска Грагама покажем на конкретном примере построения спуска для напольных часов, сконструированных в НИИЧАСПРОМ. Спуск изображен на фиг. 55.

Для построения выбираем следующие данные: число зубьев спускового колеса 40; якорь охватывает 8,5 зубьев; диаметр спускового колеса 39,6 мм; шаг зубьев спускового колеса в градусах: $9^\circ \left(\frac{360}{40}\right)$, а 8,5 шагов будут соответствовать углу $76^\circ 30'$ ($9 \cdot 8,5$).

Масштаб построения примем $M = 2:1$.

Проводим оси координат X и Y с пересечением в точке O . Из точки O , как из центра, описываем полуокружность радиусом 39,6 мм (т. е. окружность выступов спускового колеса). Из начала координат, по обе стороны оси Y , откладываем по половине угла охвата якоря, т. е. $\frac{76^\circ 30'}{2} = 38^\circ 15'$; получаем два луча OP и OP_1 , которые пересекут окружность выступов спускового колеса в точках m и m_1 . Через эти точки проведем касательные к окружности выступов спускового колеса, которые пересекутся в точке O_1 и тем самым определяют ось вращения якоря. Из центра O_1 радиусом O_1m проводим среднюю палетную окружность. Ширина палеты определяется из следующих соображений. При работе механизма спусковое колесо за каждое колебание маятника поворачивается на полшага. Дуга падения спускового колеса принимается равной $\frac{1}{6}$ части шага. Таким образом, на ширину палеты остается $\frac{1}{3}$ шага ($\frac{1}{2} - \frac{1}{6}$). Так как шаг спускового колеса равен 9° , то ширина палеты будет $\frac{1}{3} \cdot 9^\circ = 3^\circ$.

По обе стороны лучей OP и OP_1 из точки O откладываем половину угла ширины палеты, т. е. $1\frac{1}{2}^\circ$ (на чертеже фиг. 55 показана ширина палеты $2^\circ 56' 36''$, так как спуск в процессе регулировки был откорректирован) и проводим лучи O_i и O_j , которые пересекут окружность выступов в точках A и B .

Проводим из центра качания якоря через точки A и B палетные окружности SS и KK , которые определяют цилиндрические поверхности палет. Для определения углов палет проведем из центра вращения якоря секущую O_1b под заданным углом покоя 1° к касательной O_1a , а затем под углом импульса $1^\circ 20'$ к прямой O_1b проводим секущую O_1d . Прямая O_1b пересекает внешнюю палетную окружность SS в точке E , а прямая O_1d пересекает внутреннюю палетную окружность KK в точке F . Участок цилиндрической поверхности AE будет поверхностью покоя входной палеты, а прямая EF будет изображать плоскость импульса. Линию EF продолжаем вправо и из центра качания якоря проводим к ней касательную окружность. Импульсные плоскости будут касательны к этой окружности, а поэтому, проведя из точки m_1 касательную к этой окружности, получим точку L (пересечение касательной с внутренней палетной окружностью).

Линия Lm_1 будет изображать импульсную плоскость выходной палеты. Зубья спускового колеса, для того, чтобы они касались палеты своими остриями, необходимо поднутрить. Для этого окружность выступов делим на 40 равных частей (по числу зубьев спускового колеса) и одну из точек деления соединяем (радиусом) с центром спускового колеса. Из точки пересечения радиуса с окружностью выступов проводим прямую Au под углом 3° к радиусу. (В нашем случае взято 3° , но иногда дают угол поднутрения 5; 8 и даже 10° .)

Полученная прямая даст направление передней плоскости поднутренного зуба. Чтобы облегчить построение остальных зубьев из центра спускового колеса, проводят окружность, касательную к прямой Au , а затем через точки деления окружности выступов проводят касательные к этой окружности. Эти касательные будут наклонены к соответственным радиусам под углом 3° (угол поднутрения зубьев колеса). Задняя поверхность зуба очерчивается произвольно, но с таким расчетом, чтобы ее не могла задеть во время опускания палеты. Остальные части и детали спуска выполняются обычными конструктивными приемами.

ГЛАВА V

СВОБОДНЫЙ АНКЕРНЫЙ СПУСК БАЛАНСОВЫХ ЧАСОВ

1. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ АНКЕРНЫХ СПУСКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Всякий свободный анкерный спуск, как известно, состоит из следующих узлов:

- 1) анкерного (спускового) колеса с трибом;
- 2) анкерной вилки с копьем, осью и палетами;
- 3) двойного ролика с эллипсом.

На фиг. 61 показан швейцарский анкерный спуск. Узел анкерного колеса с трибом (фиг. 61, а) состоит из триба 2 с запрессованным на нем анкерным колесом 1. Элементы анкерного колеса: ступица 3, спицы 4, обод 5, зубья 6, ось 7. Зубья анкерного колеса имеют следующие основные элементы: острие зуба 10, пятка зуба 11, передняя грань 12, плоскость импульса 13. Анкерное колесо имеет фаску 14.



Фиг. 66. Способ крепления копия.

Узел анкерной вилки (фиг. 61, б) состоит из анкерной вилки 15, имеющей плечи — входное 16, выходное 17 и хвост 18, в котором фрезерован паз 19. Анкерная вилка запрессована на оси 20. В плечи вилки вставлены палеты — входная 21 и выходная 22 из синтетического рубина. Каждая палета имеет рабочие грани: плоскость покоя 23 и плоскость импульса 24. В хвостовой части вилки укреплено расклепыванием копьё 25. Крепление копия показано на фиг. 66.

На фиг. 61, в показаны также следующие элементы анкерной вилки: рожек вилки 26, переднее ребро палеты 27, заднее ребро палеты 28.

На фиг. 61, г показан двойной ролик с эллипсом. Двойной ролик состоит из импульсного ролика 29 и предохранительного ролика 30, соединенных трубкой 31. В импульсном ролике укреплен эллипс 9 из синтетического рубина. Предохранительный ролик имеет выемку 8. Двойной ролик обычно изготавливается в виде цельной детали и запрессовывается на ось баланса.

Рассмотрим работу анкерного спуска [46]:

Во время работы спуска анкерное колесо, анкерная вилка и баланс совершают движения (поворачиваются), находясь в определенном взаимодействии друг с другом. Поэтому рассматривать движение какой-либо детали спуска, например, анкерной вилки, следует во взаимной связи с движением остальных его деталей.

Рассмотрение работы анкерного спуска мы начнем с момента, когда баланс, анкерная вилка и анкерное колесо занимают следующее положение.

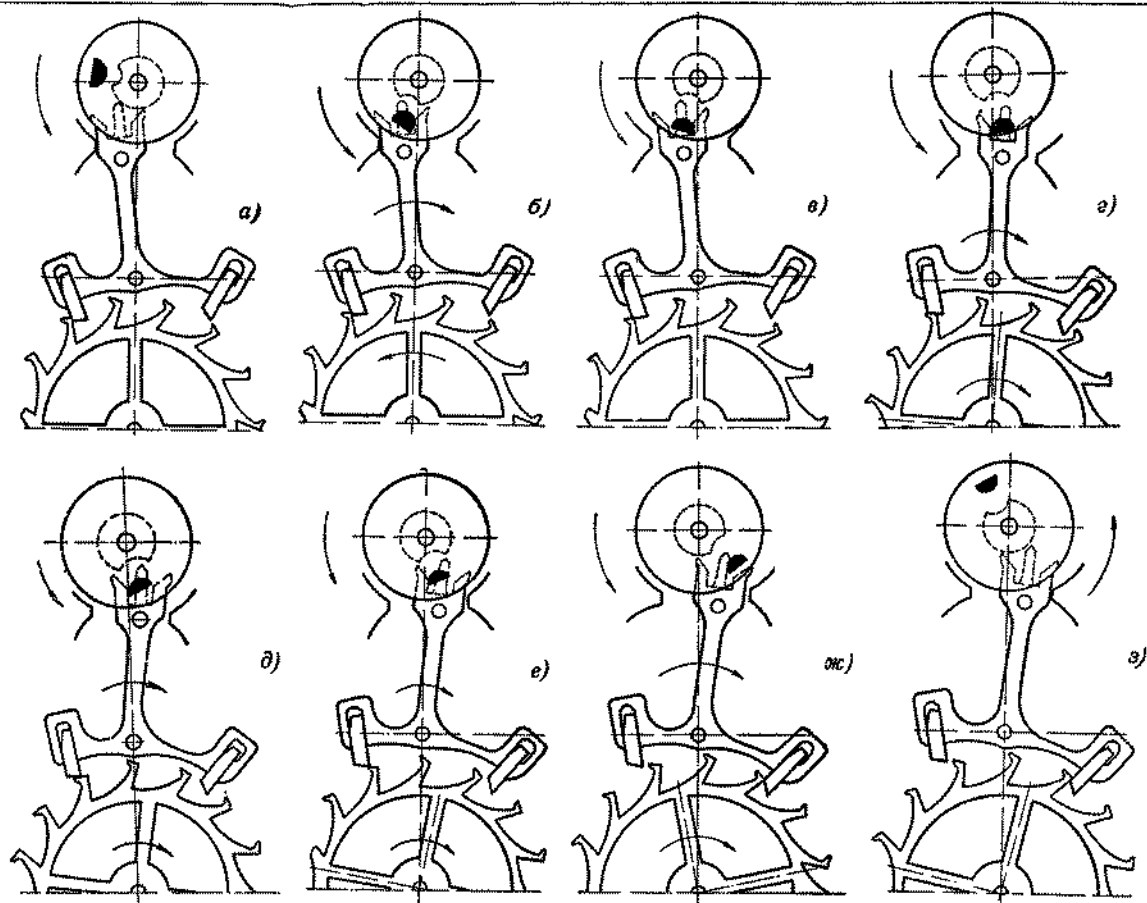
П о л о ж е н и е I (фиг. 67, а). Под влиянием момента волоска баланс из своего крайнего левого положения начнет возвращаться в положение равновесия. Большую часть своего пути баланс совершает свободно (не соприкасаясь с анкерной вилкой), и только при подходе баланса к положению равновесия начинается взаимодействие его с анкерной вилкой. Часть пути, которую баланс проходит свободно, называется дополнительной дугой. Положение I изображает спуск в тот момент, когда баланс проходит дополнительную дугу, вилка прижата к левому ограничительному упору, зуб анкерного колеса упирается в плоскость покоя входной палеты, удерживая вилку на упоре. Благодаря тому, что анкерная вилка прижимается к упору, исключается возможность соприкосновения копы вилки с боковой поверхностью предохранительной рольки.

П о л о ж е н и е II (фиг. 67, б). При встрече эллипса с анкерной вилкой произойдет удар эллипса в правую стенку паза вилки, так как баланс в этот момент закончил дополнительную дугу и имеет сравнительно большую скорость, а вилка неподвижна. После удара баланс хотя и потеряет часть своей скорости, но будет продолжать двигаться в прежнем направлении, увлекая за собой анкерную вилку.

Увлекаемая эллипсом анкерная вилка начнет поворачиваться вокруг своей оси и вытягивает входную палету из-под зуба анкерного колеса, преодолевая давление зуба на палету. Анкерное колесо в это время также поворачивается, но не по направлению своего обычного движения, а назад, против часовой стрелки, как говорят, — на «угол отхода назад» и, скользя своим зубом по плоскости покоя входной палеты, станет острием на начало плоскости импульса (место стыка плоскости покоя и импульса), заняв положение, изображенное на фиг. 67, в.

П о л о ж е н и е III (фиг. 67, в). Освобождение анкерной вилки уже окончено и острие зуба анкерного колеса перешло на плоскость импульса палеты. Обратный ход колеса окончен, начинается его движение по часовой стрелке под действием заводной пружины. Острие зуба начинает скользить по плоскости импульса палеты.

П о л о ж е н и е IV (фиг. 67, г). В этот период через анкерное колесо анкерной вилке сообщается импульс, под действием которого она быстро поворачивается и левая стенка ее паза ударяет по эллипсу, передавая импульс балансу. При этом острие зуба колеса скользит по плоскости импульса палеты.



Фиг. 67. Последовательность работы анкерного спуска.

П о л о ж е н и е V (фиг. 67, д). В этом положении острие зуба анкерного колеса продолжает скользить по плоскости импульса палеты, поворачивая вилку, которая стенкой паза передает импульс через эллипс балансу. Импульс балансу сообщается и при прохождении плоскости импульса зуба под задним ребром палеты, до тех пор, пока пятка зуба не соскользнет с ребра.

П о л о ж е н и е VI (фиг. 67, е). В этом положении плоскость импульса зуба колеса прошла под задним ребром палеты и передача импульса заканчивается. В этом положении, казалось бы, можно остановить вилку ограничительным упором, чтобы она сразу же уперлась в него, как только пятка зуба соскользнет с палеты, но этого не делают и располагают правый упор (а соответственно и левый) немного дальше, так как малейшая неточность в изготовлении анкерной вилки и анкерного колеса могла бы привести к задержке зуба на плоскости импульса входной палеты и часы бы остановились.

П о л о ж е н и е VII (фиг. 67, ж). После того как зуб анкерного колеса покинул входную палету, второй зуб падает на плоскость покоя выходной палеты и притягивает анкерную вилку к правому ограничительному упору. Эллипс в это время не касается паза (он его покинул при окончании импульса) и проходит мимо правого рожка. Угол, на который поворачивается анкерное колесо из положения фиг. 67, е до соприкосновения зуба с плоскостью покоя выходной палеты, называется углом падения колеса.

П о л о ж е н и е VIII (фиг. 67, з). При «освобождении» анкерной вилки баланс теряет часть энергии, а затем, получив дополнительную энергию при передаче импульса на палете и на зубе, начинает проходить дополнительную дугу с другой стороны, двигаясь к своему крайнему правому положению. Анкерная вилка и анкерное колесо стоят неподвижно. Вилка в этом положении прижата к правому ограничительному упору. Угол, который проходит вилка от положения фиг. 67, е до падения на ограничительный упор (фиг. 67, з), называется углом потеряннoгo пути.

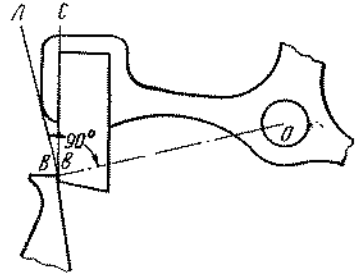
Когда баланс возвращается из своего крайнего правого положения обратно, работа спуска повторяется в той же последовательности, но со стороны выходной палеты.

2. ПРИТЯЖКА

Из предыдущего описания работы спуска читатель знает, что зуб анкерного колеса, падая на плоскость покоя палеты, притягивает вилку к ограничительному штифту (упору) и удерживает ее около него. В этом легко убедиться на практике, для чего нужно пинцетом немного отклонить анкерную вилку от штифта, но так, чтобы зуб анкерного колеса оставался на плоскости покоя палеты. Как только вилка будет отпущена, она мгновенно возвратится в первоначальное положение и прижмется к штифту. Приспособление (обусловленное конструкцией спуска), при помощи которого вилка притягивается к штифту, называется *п р и т я ж к о й* [46].

Притяжка в анкерном спуске нужна для того, чтобы обеспечить зазор между копьем и предохранительным роликом двойного ролика. При отсутствии притяжки копье будет касаться предохранительной рольки, создавая трение и этим влияя на точность хода часов. Копье, случайно прижавшись к рольке, будет создавать трение, и тогда утратится самое ценное свойство свободного анкерного спуска. Мало того, этот спуск будет значительно хуже цилиндрового, где трение предусмотрено конструкцией и оно относительно постоянно, в то время как в таком анкерном спуске трение будет случайным, меняясь по величине. Английский часовщик Томас Медж, ученик Георга Грагама (живший в период 1715—1794 гг.), реконструировал спуск Грагама, построил в 1760 г.

анкерный спуск, характерной чертой которого являлась передача импульса балансу не непосредственно, как это было во всех известных до этого спусках (цилиндровом, дуплекс и хронометровом), а через промежуточный узел — анкерную вилку. Однако анкерный спуск в том виде, как его предложил Томас Медж, не мог конкурировать с цилиндрическим спуском и спуском дуплекс и поэтому не нашел широкого применения. При жизни Меджа было



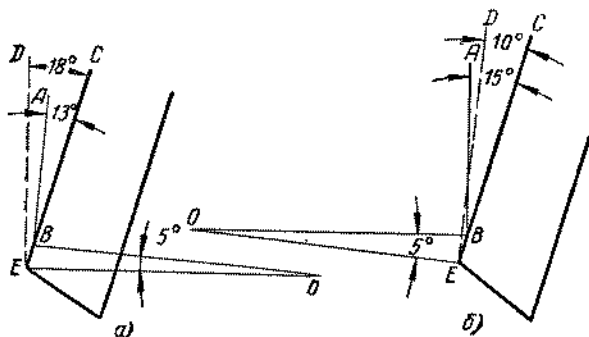
Фиг. 68. Угол притяжки.

сделано всего двое часов с анкерным спуском, и то самим Меджем. В начале XIX в. отдельные часовщики пытались применить анкерный спуск Меджа в карманных часах, но безуспешно. Только спустя 65 лет после изобретения Меджем анкерного спуска французский мастер часового дела Г. А. Лешо внес в конструкцию спуска усовершенствование, обеспечивающее притяжку вилки к упорным штифтам, и этим поставил анкерный спуск в разряд лучших спусков и обеспечил ему до настоящего времени преимущественное применение и широкое распространение.

Это конструктивное усовершенствование заключается в том, что плоскость покоя палеты наклонена под острым углом к радиусу Ob (фиг. 68), благодаря чему сила давления колеса на палету создает момент, поворачивающий и удерживающий вилку у ограничительного штифта. Этот момент называется моментом силы притяжки. Расположение плоскости покоя палеты определяется углом притяжки. Угол притяжки ABC образуется перпендикуляром BA (фиг. 68), восстановленным к линии, соединяющей ось вращения анкерной вилки и острие зуба колеса, и линией наклона плоскости покоя палеты BC .

Надо помнить, что момент силы притяжки будет тем больше, чем больше угол притяжки. Но делать угол слишком большим нельзя, так как в этом случае баланс может не вытащить палету из-под зуба анкерного колеса. Кроме того, при слишком большом угле

притяжки на освобождение палеты из-под зуба анкерного колеса будет затрачено слишком много энергии, в результате чего уменьшится амплитуда колебаний баланса. В то же время угол притяжки нельзя делать и очень малым, так как момент силы притяжки может оказаться недостаточным, чтобы притянуть и удержать вилку у штифта особенно при сотрясениях. Поэтому угол притяжки делают определенной величины. Угол притяжки в спуске авиационных часов (АЧХО) и карманных часов К-43 делают не более $13,5^\circ$ и не менее $10,5^\circ$. Минимальный угол притяжки берется в зависимости от коэф-



Фиг. 69. Схема изменения угла притяжки.

фициента трения зуба анкерного колеса о палету. Коэффициент трения полированной стали о полированный синтетический рубин равен 0,15. При коэффициенте трения, равном 0,15, угол трения равен $8^\circ 32'$, а поэтому, чтобы палета втягивалась во впадину между зубьями анкерного колеса, необходимо иметь угол притяжки больше угла трения. Следует заметить, что величина угла притяжки все время меняется при скольжении зуба по плоскости покоя палеты от начала освобождения, когда вилка прижата к упорному штифту (фиг. 67, а и 67, б), и до начала импульса (фиг. 67, в), когда острое зубца анкерного колеса встанет на начало плоскости импульса. Изменение угла притяжки происходит на величину полного угла покоя. Полный угол покоя равен сумме угла покоя и угла потерян-ного пути. Углом покоя называется угол, образованный линией, проведенной из оси вращения анкерной вилки к точке падения острия зуба на плоскость покоя, и линией, проведенной к началу плоскости импульса палеты. Угол потерян-ного пути — это тот угол, на который поворачивается вилка после того как зуб анкерного колеса упадет на покой палеты, а вилка будет поворачиваться до встречи с ограничительным штифтом. На входной палете по мере ее освобождения из-под зуба анкерного колеса, угол притяжки постепенно увеличивается (см. фиг. 69, а). На выходной палете, по мере освобождения палеты, угол притяжки, наоборот, уменьшается (фиг. 69, б). Это легко показать на примерах.

Рассмотрим входную палету. Примем полный угол покоя равным 5° , а угол притяжки равным 13° .

Из фиг. 69, *a* видно, что угол DEC равен углу ABC плюс угол BOE , т. е. угол $DEC = 13 + 5 = 18^\circ$. А для входной палеты (фиг. 69, *б*) получим: угол DEC равен углу ABC минус угол BOE , т. е. угол $DEC = 15 - 5 = 10^\circ$.

Величины углов притяжки и покоя приведем на примерах механизмов часов «Победа», «Звезда» и «Молния» [16].

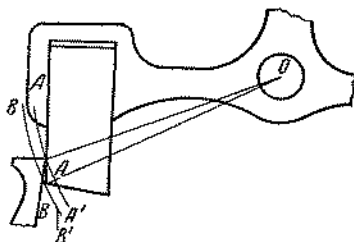
Тип механизма	Палета	Углы покоя	Углы притяжки	
			в начале освобождения	в конце освобождения
„Победа“	Входная	3°	$11^\circ 30'$	$14^\circ 30'$
	Выходная	3°	$14^\circ 30'$	$11^\circ 30'$
„Звезда“	Входная	$3^\circ 30'$	8°	$11^\circ 30'$
	Выходная	$3^\circ 30'$	10°	$6^\circ 30'$
„Молния“	Входная	$1^\circ 30'$	13°	$14^\circ 30'$
	Выходная	$1^\circ 30'$	16°	$14^\circ 30'$

Теоретическое обоснование и методика построения притяжки для свободных анкерных спусков подробно изложены в работе [17]

3. УГЛЫ, ПРОХОДИМЫЕ АНКЕРНЫМ КОЛЕСОМ

Угол отхода назад. Когда баланс посредством эллипса начинает освобождать анкерную вилку, прижатую к упорному штифту зубом анкерного колеса, то вилка, поворачиваясь, вращает анкерное колесо назад.

На фиг. 70 показано, что если из центра вращения анкерной вилки O провести две окружности — одну через острие зуба AA' , а другую через начало плоскости импульса BB' , то легко заметить, что колесо вынуждено отойти назад при повороте вилки по часовой стрелке. Величина угла отхода колеса назад зависит от величины угла покоя (угол покоя плюс угол потерянного пути) и угла притяжки. Величина угла отхода назад весьма незначительна и трудно заметна на глаз. При полном угле покоя в 2° и угле притяжки в $13,5^\circ$ анкерное колесо отходит назад всего на $0^\circ 15'$.



Фиг. 70. Схема отхода анкерного колеса назад.

Угол импульса анкерного колеса. После того как анкерное колесо совершило полный угол отхода назад, острие зуба анкерного колеса

начнет скользить по плоскости импульса палеты в направлении своего обычного движения. При этом вилка стенкой своего паза передает импульс балансу (через эллипс). Импульс будет продолжаться до того момента, пока пятка зуба не соскочит с плоскости импульса палеты. Угол, пройденный за это время анкерным колесом, называется углом импульса анкерного колеса. При прохождении плоскости импульса палеты зубом анкерного колеса создается впечатление, что плоскость импульса зуба совпадает с плоскостью импульса палеты. В действительности этого нет, так как между плоскостями импульса палеты и зуба всегда существует угол [46].

Угол падения. Углом падения называется угол, на который поворачивается анкерное колесо с момента, когда пятка одного зуба покидает импульсную плоскость палеты, до момента падения другого зуба на плоскость покоя противоположной палеты. Различают два угла падения: внутренний и внешний. Внутренним углом падения называется угол, на который повернется колесо после того как зуб его покинет плоскость импульса входной палеты. Внешним углом называется угол, на который повернется колесо после того, как зуб его покинет плоскость импульса выходной палеты [46].

Величина внутреннего и внешнего углов падения при правильно отложенном спуске всегда должна быть одинакова, а различают внутренний угол от внешнего только потому, что зуб падает или внутри вилки (на выходную палету) или вне вилки (на входную палету). Следует заметить, что если внутренний угол падения мал (мало расстояние между входной палетой и пяткой зуба), то анкерную вилку (скобку) называют узкой. Если же внешний угол падения мал (мало расстояние между выходной палетой и пяткой зуба), то анкерную вилку (скобку) называют широкой. При прохождении угла падения анкерное колесо никакой работы не совершает и энергия заводной пружины в это время расходуется «вхолостую». Поэтому, казалось бы, угол падения колеса в анкерном спуске совсем не нужен. Это было бы верно, если не принимать во внимание неточности в изготовлении колеса и вилки (главным образом неравномерность шага анкерного колеса), которые привели бы к заклиниванию спускового механизма. Кроме того, анкерное колесо не могло бы совершить угол отхода назад. Поэтому угол падения в спуске всегда необходим для его нормальной работы, однако надо стремиться делать этот угол как можно меньшим. В спуске часов К-43 угол падения равен $1^{\circ}45'$, а в часах АЧХО этот угол равен 2° .

4. УГЛЫ, ПРОХОДИМЫЕ АНКЕРНОЙ ВИЛКОЙ

Угол покоя. Когда вилка зубом анкерного колеса прижата к упорному штифту, эллипс, входя в паз вилки, поворачивает ее. В свою очередь, вилка, поворачиваясь, освобождает палету из-под зуба, давая возможность колесу совершить угол отхода назад и

зубом встать в начало плоскости импульса. Угол, на который поворачивается в это время вилка от установочного штифта до того положения, когда зуб встанет в начало плоскости импульса палеты, называется полным углом покоя или углом освобождения (полный угол покоя равен углу покоя плюс угол потерянного пути). При угле покоя, равном $1^{\circ}30'$, и угле потерянного пути, равном $0^{\circ}30'$, величина полного угла покоя будет равна 2° .

Угол импульса. Когда анкерная вилка закончила прохождение угла освобождения, т. е. когда острие зуба анкерного колеса стало в начало плоскости импульса палеты, анкерное колесо, получив свободу вращения, начнет поворачивать вилку, сообщая ей импульс. Угол, на который поворачивается анкерная вилка, начиная с положения, когда острие зуба колеса стало в начало плоскости импульса, и до того момента, пока пятка зуба не покинет эту плоскость, называется углом импульса анкерной вилки. Угол импульса анкерной вилки в спуске часов К-43 равен 7° , а в спуске АЧХО — 10° . Часто сумму угла покоя и угла импульса называют углом подъема анкерной вилки [46].

Угол потерянного пути. Когда пятка зуба колеса покидает импульсную плоскость палеты, анкерная вилка уже прошла угол подъема (угол покоя и угол импульса). На этом роль анкерной вилки как передаточного узла спуска между балансом и анкерным колесом заканчивается.

Казалось бы, можно было сделать так, чтобы анкерная вилка дальше этого положения не двигалась, поставив установочный штифт в соответствующее положение. Но мы выше уже отмечали, что этого не делают из-за возможных неточностей в изготовлении анкерного колеса и вилки, которые нарушили бы нормальную работу спуска. Поэтому установочный штифт относят немного дальше, не более чем на 30° , так, чтобы после схода пятки зуба с импульсной плоскости палеты и падения другого зуба на плоскость покоя противоположной палеты вилка могла бы повернуться к штифту. Угол, на который поворачивается вилка с момента окончания прохождения угла импульса до момента падения на штифт, называют углом потерянного пути.

Следует отметить, что угол потерянного пути увеличивает полный угол покоя, в связи с чем увеличивается и глубина спуска. Полный угол покоя называют также практическим углом покоя, в отличие от угла покоя, который называют теоретическим углом покоя. Угол покоя в спуске КЧ-43 и АЧХО берется равным $1^{\circ}30'$, но так как установочный штифт относится на $30'$, то полный угол покоя, или практический угол покоя получается равным 2° [46].

5. УГЛЫ, ПРОХОДИМЫЕ БАЛАНСОМ

Дополнительный угол. В то время как баланс начинает движение из своего крайнего положения в положение равновесия, анкерная вилка неподвижна и прижата к установочному штифту зубом колеса.

Свое движение баланс совершает свободно (копье не касается предохранительного ролика, а эллипс не касается рожков вилки) лишь до момента встречи его со стенкой паза вилки.

Угол, который проходит баланс из своего крайнего положения до встречи эллипса с пазом вилки, называется дополнительным углом.

Угол освобождения. После того как эллипс встретил стенку паза вилки (баланс прошел дополнительную дугу), он заставляет вилку повернуться на полный угол покоя, освобождая палету из-под зуба колеса, давая возможность зубу встать в начало плоскости импульса палеты.

Угол, пройденный балансом с момента встречи эллипса со стенкой паза вилки, до положения, когда зуб колеса станет в начало плоскости импульса палеты, называется углом освобождения баланса. Когда баланс проходит угол освобождения, он еще не достигает положения равновесия.

Угол импульса. После того как зуб колеса стал в начало плоскости импульса палеты (баланс прошел угол освобождения), колесо начинает поворачиваться, а зуб, скользя по плоскости импульса палеты, сообщает импульс вилке, которая передает его балансу посредством эллипса. Импульс закончится тогда, когда пятка зуба соскочит с плоскости импульса палеты.

Угол, пройденный за это время балансом, называется углом импульса баланса. Импульс баланса заканчивается за положением равновесия. Часто сумму угла освобождения и угла импульса баланса называют углом подъема баланса.

После прохождения угла импульса, когда эллипс уже покинул паз вилки (импульс закончился), баланс начинает отклоняться от положения равновесия к своему другому крайнему положению, проходя дополнительную дугу.

6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ СПУСКОВОГО МЕХАНИЗМА

Выше мы указывали, что анкерный спуск снабжен копьем и двойным роликом, который состоит из импульсной и предохранительной ролек.

Копье и предохранительная ролька составляют предохранительное приспособление спуска и служат для того, чтобы анкерная вилка не могла произвольно, без помощи баланса, повернуться от одного установочного штифта к другому. При отсутствии предохранительного приспособления последовательность работы спуска не нарушится. Но может случиться, что при прохождении балансом дополнительной дуги, когда вилка прижата к установочному штифту, часы получают сотрясение или толчок извне. Момент силы притяжки, который удерживает вилку у установочного штифта, окажется недостаточным, и вилка перебросится от одного установочного штифта к другому. В результате этого баланс, двигаясь к положению равновесия, вместо паза вилки ударится эллипсом о внешнюю

стенку рожка. Удар этот довольно жесткий, и в лучшем случае произойдет остановка часов, а в худшем — даже поломка эллипса.

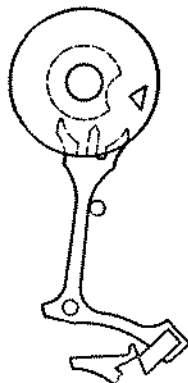
В анкерном спуске, снабженном копьем и предохранительным роликом, несвоевременный переброс вилки не может произойти от воздействия внешнего толчка, потому что движение копья ограничено боковой поверхностью ролика (фиг. 71).

Правильный (своевременный) переброс вилки от одного штифта к другому осуществляется балансом с помощью эллипса. Для того чтобы сделать возможным этот переброс, предохранительный ролик имеет вырез, который располагается симметрично относительно эллипса и дает возможность беспрепятственного прохода копья (фиг. 67, б).

Для того чтобы обеспечить балансу свободное прохождение дополнительных дуг, т. е. чтобы копьё не прикасалось к предохранительному ролику, когда вилка лежит на покое, должен существовать зазор между копьём и предохранительным роликом. Зазор этот обеспечивается пружинкой и измеряется углом, на который нужно повернуть вилку от установочного штифта, чтобы копьё коснулось поверхности предохранительного ролика (фиг. 71). зуб колеса при этом должен остаться на плоскости покоя палеты, т. е. угловая величина зазора не должна быть больше полного угла покоя. Если угловая величина зазора между копьём и предохранительным роликом будет больше полного угла покоя, то зуб анкерного колеса может перейти на плоскость импульса и прижать копьё к ролику (фиг. 72, а). В этом случае баланс посредством эллипса не сможет перекинуть вилку к другому штифту, так как импульсная плоскость палеты опирается на зуб. Необходимо также иметь в виду, что зазор между копьём и предохранительным роликом должен быть меньше зазора между эллипсом и рожком.

Если зазор между копьём и предохранительным роликом будет больше зазора между эллипсом и рожком, то может произойти наскок эллипса на конец рожка (фиг. 72, б). Кроме того, данное соотношение в величине зазоров необходимо, чтобы при обратном переводе стрелок эллипс мог бы свободно пройти мимо рожков. Необходимо также отметить, что зазор в рожке должен быть больше, чем угол потерянного пути. Это обстоятельство вызывается тем, что движение баланса в конце импульса очень быстрое и может оказаться, что эллипс покннет лезвие вилки раньше, чем будет пройден угол падения колеса и начнется прохождение потерянного пути вилки.

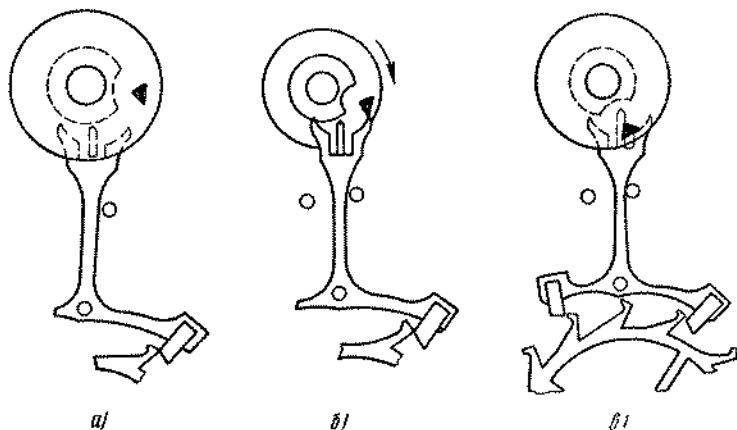
Если бы зазор в рожках был меньше, чем потерянный путь, то легко могло возникнуть трение эллипса о рожок, прежде чем анкерная вилка коснулась бы установочного штифта (фиг. 72, в). Копьё и предохранительный ролик выполняют свою роль предохранитель-



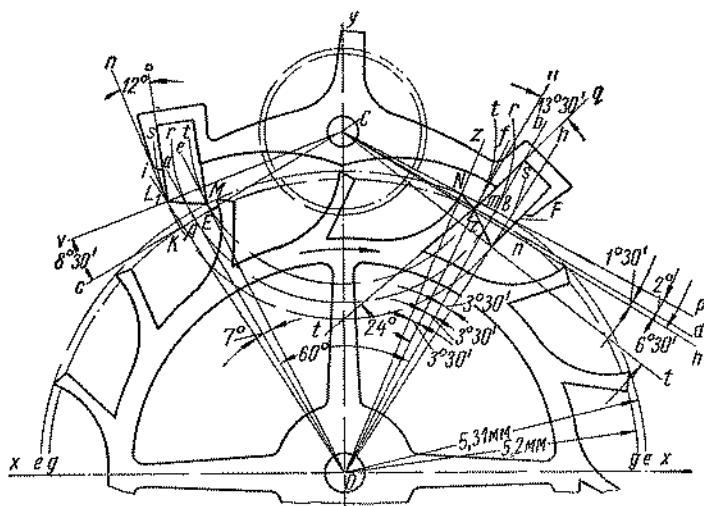
Фиг. 71. Схема предохранительного приспособления.

ного приспособления спуска только до момента прохода выемки предохранительного ролика перед копьём.

Когда выемка предохранительного ролика проходит перед копьём, роль предохранительного приспособления выполняют эллипс и



Фиг. 72. Схема неправильного действия предохранительного приспособления.



Фиг. 72 г. Построение швейцарского равноплечего анкерного спуска.

рожок. Эллипс и рожок заканчивают свою роль предохранительных органов тогда, когда выемка предохранительного ролика пройдет мимо копьёя.

Игра эллипса в пазу анкерной вилки для наручных часов типа «Победа» колеблется в пределах 0,015—0,02 мм.

Приведем размеры зазоров в предохранительных устройствах часов [16]:

Тип часов	Зазор между копьём и предохранительной частью ролика в мм	Зазор между эллипсом и рожками вилки в мм
„Победа“	0,03	0,05
„Звезда“	0,03	0,05
„Молния“	0,04	0,06

7. ОСТАНОВКИ НА ПЛОСКОСТИ ИМПУЛЬСА И НА ПЛОСКОСТИ ПОКОЯ

Остановки на плоскости импульса («на пальце»). Нарушение нормальной работы часов (остановка часов) в положении, когда острый зуб анкерного колеса находится на плоскости импульса палеты, называется остановкой на плоскости импульса [46].

Такой вид остановки часов в производстве чаще всего называют остановкой на пальце. В этот момент зуб анкерного колеса, точно большим пальцем руки, подпирает вилку в импульсной плоскости палеты.

Несмотря на правильный конструктивный расчет часового механизма, остановка на пальце может произойти от неправильной сборки и обнаруживается, если по окончании действия заводной пружины часы заводят вновь и их механизм не начинает работать самостоятельно без встряхивания.

Для того чтобы искусственно вызвать остановку на пальце в работающих часах, нужно пинцетом придержать баланс, не дав ему закончить угол подъема, т. е. чтобы эллипс не вышел из паза вилки, а зуб анкерного колеса не соскочил с плоскости импульса палеты. После того как будет отпущен баланс (при наличии остановки на пальце), часы не пойдут [46].

Остановка на плоскости импульса (на пальце) возникает от того, что момент импульса, создаваемый на оси баланса заводной пружинной, недостаточен и не в состоянии преодолеть сопротивление волоска — произвести его закручивание (или раскручивание). Вследствие этого зуб и удерживается на плоскости импульса в момент передачи усилия (импульса) балансу, когда баланс еще не закончил угол подъема и когда имеется контакт между эллипсом и пазом вилки. Необходимо также иметь в виду, что остановка на пальце может скорее произойти на входной палете, чем на выходной. Это объясняется тем, что момент импульса, который передается анкерным колесом на входной палете, в начале плоскости импульса больше, чем в конце, а на выходной палете — наоборот.

Основными причинами остановки на плоскости импульса (на пальце), зависящими от конструкции часов, являются [46]:

1) слишком большой угол подъема баланса (большой угол подъема баланса получается из-за длинной вилки и близкого расположения эллипса к оси баланса в импульсном ролик);

2) слишком «сильный» волосок и «тяжелый» баланс, а заводная пружина «слабая»;

3) тяжелая вилка.

Недостатками в изготовлении часов, которые могут привести к остановке на пальце, являются:

1) большое трение в зубчатом зацеплении, в связи с чем происходит потеря крутящего момента, передаваемого от заводной пружины анкерному колесу;

2) трение эллипса о стенки паза вилки (паз вилки плохо обработан);

3) плохая полировка импульсных плоскостей палет и зуба колеса;

4) неправильная сборка (эллипс при балансе, находящемся в положении равновесия, не лежит на линии, соединяющей оси баланса, анкерной вилки и анкерного колеса, т. е. смещен волосок).

Остановка на покое. Остановкой на покое называется остановка часов в таком положении, когда зуб анкерного колеса находится на плоскости покоя входной или выходной палеты. Остановка на покое может произойти только тогда, когда механизм спуска был искусственно остановлен как раз в таком положении, когда зуб анкерного колеса лежит на плоскости покоя одной из палет.

Остановка на покое может произойти в том случае, когда момент волоска, с помощью которого происходит освобождение вилки из-под зуба колеса, не в состоянии преодолеть момент силы притяжки, который удерживает вилку у установочного штифта. В случае, если часы работают, остановка на покое произойти не может, так как освобождение вилки происходит не только благодаря непосредственному действию крутящего момента волоска, но и от удара эллипса о паз вилки. Основными причинами остановки на покое, зависящими от конструкции часов, могут быть [46]:

1) слишком малый угол подъема баланса (малый угол подъема баланса бывает при большом расстоянии эллипса от оси баланса и короткой вилке);

2) слишком «легкий» баланс и «слабый» волосок, а заводная пружина «сильная»;

3) тяжелая вилка.

Если рассмотреть основные конструктивные причины (причины 1 и 2) остановки на покое и сравнить их с основными причинами остановки на пальце (причины 1 и 2), то можно видеть, что они противоположны.

Недостатками в изготовлении часов, которые могут привести к остановке на покое, являются;

1) большой угол притяжки;

2) большая глубина спуска;

3) плохая полировка плоскостей покоя палет;

4) неправильная сборка (эллипс баланса, находящегося в положении равновесия, не лежит на линии центров, соединяющей баланс, анкерную вилку и анкерное колесо, т. е. волосок смещен).

Работающие часы никогда сами по себе не остановятся в положении покоя, а по мере раскручивания заводной пружины и убывания ее момента возможность искусственной остановки на покое устраняется сама по себе.

8. ПОСТРОЕНИЕ ШВЕЙЦАРСКОГО РАВНОПЛЕЧЕГО АНКЕРНОГО СПУСКА

Построим швейцарский равноплечий анкерный спуск по следующим данным (фиг. 72, *г*):

- а) число зубьев анкерного колеса 15;
- б) действующий диаметр окружности острых зубьев анкерного колеса равен 10,4 мм;
- в) угол подъема анкера, равный 10° , распределяется таким образом: импульс на палете $6^\circ 30'$, импульс на зубе 2° и покой $1^\circ 30'$;
- г) угол падения $1^\circ 30'$.

Шаг анкерного колеса составит

$$t = \frac{360}{15} = 24^\circ; \text{ половинна шага } 12^\circ.$$

Вычитая угол падения $1^\circ 30'$, получим $12^\circ - 1^\circ 30' = 10^\circ 30'$, которые приходятся на угловую ширину палеты и ширину зуба анкерного колеса.

На угловую ширину палеты выделим 7° , тогда угловая ширина зуба анкерного колеса составит $3^\circ 30'$.

Проводим оси координат XOY (фиг. 72, *а*) и строим спуск в масштабе $20:1$, для чего проводим действующую окружность острых зубьев gg радиусом 104 мм.

Считая, что анкерная вилка охватывает 2,5 шага зубьев анкерного колеса, откладываем из точки O по обе стороны оси OY по половине угла охвата, т. е. по 30° , и проводим лучи Oa и Ob . Эти лучи пересекут действующую окружность gg в точках A и B .

Проводим через точки A и B , касательные cC и dC , к действующей окружности gg , пересеченные которых — точка C — и определит центр вращения анкерной вилки.

Изобразим положение спуска в тот момент, когда зуб анкерного колеса лежит на покое выходной палеты. Строим углы ширины палет, для чего по обе стороны лучей Oa и Ob откладываем по $3^\circ 30'$, и получаем соответственно лучи Oi , Oe , Of и Oh . Эти лучи пересекутся с действующей окружностью зубчатого колеса в точках K , l , m и n . Через точки A , B , K , l , m и n проводим из центра анкера C три палетных окружности. Эти окружности будут общими для обеих палет, так как ход равноплечий. Теперь строим угол импульса на зубе, который будет лежать на покое выходной палеты, для чего от луча dC под углом 2° проводим луч Cp , который от пересечения с внешней палетной окружностью даст точку F . Из центра анкерного колеса радиусом OF проводим внешнюю окружность анкерного колеса (ee). От касательной dC откладываем из точки C вниз луч Cn под углом $1^\circ 30'$ (угол покоя), который, пересекаясь с внутренней палетной

окружностью, даст точку Z . Точка Z будет представлять проекцию переднего ребра выходной палеты. Теперь проведем от луча Sl вниз луч St под углом $6^\circ 30'$, который, пересекаясь с внешней палетной окружностью, даст точку I . Через точки Z и I проводим прямую, которая изобразит проекцию импульсной плоскости входной палеты. Из центра анкера S опишем окружность, касательную к прямой, проведенной через точки Z и I . Полученная окружность будет окружностью импульсов палет. Для построения импульса на входной палете нужно провести к касательной Ss луч sC под углом $8^\circ 30'$, который пересечет внешнюю палетную окружность в точке L_1 . Точка пересечения внутренней палетной окружности и внешней окружности спускового колеса (назовем ее точкой M) будет представлять проекцию заднего ребра плоскости импульса входной палеты. Точка L_1 является проекцией переднего ребра плоскости импульса входной палеты. Соединив точки L_1 и M прямой линией, определим импульсную плоскость входной палеты. Теперь переходим к построению плоскости покоя. Если восставить перпендикуляры к радиусам анкера в начале импульса и от этих перпендикуляров отложить вправо лучи под углом 12° для входной палеты и под углом $13^\circ 30'$ для выходной палеты, то получим прямые, которые определяют проекции плоскостей покоя палет. Задние стороны палет делаются параллельно плоскостям покоя палет. Чтобы построить зуб анкерного колеса, нужно провести под углом $3^\circ 30'$ влево от луча Of прямую OZ , которая пересечет внешнюю окружность анкерного колеса в точке N . Луч Of пересекает окружность острий зубьев анкерного колеса в точке m . Соединив точки m и N прямой mN , получим проекцию плоскости импульса зуба. Из точки m , под углом 24° к радиусу спускового колеса, проводим прямую mt , которая и будет проекцией передней грани зуба.

Нерабочая сторона зуба ограничивается коротким отрезком радиальной прямой, которая по лекалу соединяется плавной кривой с внешней окружностью обода спускового колеса.

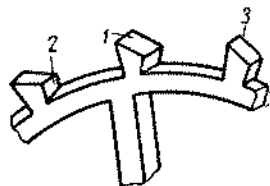
Форма нерабочей стороны зуба должна обеспечивать беспрепятственное прохождение палеты при работе спуска. Далее, начиная от точки m , делим окружность острий зубьев на 15 частей и обычными конструктивными приемами заканчиваем построение чертежа спуска.

ГЛАВА VI

ШТИФТОВЫЙ И ХРОНОМЕТРОВЫЙ СПУСКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

1. ЭЛЕМЕНТЫ УСТРОЙСТВА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШТИФТОВОГО СПУСКА

Штифтовый спуск представляет собой тип анкерного спуска, в котором импульс происходит исключительно на зубе. Форма зубьев анкерного колеса этого спуска представлена на фиг. 73. Зуб имеет плоскость импульса 1, плоскость покоя 2 и острие 3. Ходовое колесо имеет обычно 15 таких зубьев, а анкер вместо палет имеет два цилиндрических стальных штифта, укрепленных под прямым углом к его плоскости. Анкер либо посажен отдельно на ось вилки, либо изготовлен за одно целое с вилкой.



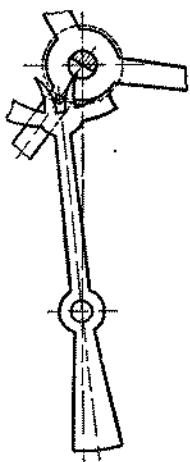
Фиг. 73. Форма зубьев штифтового спуска.

Часто анкерная вилка в целях соблюдения уравновешенности узла снабжается противовесом. Вилка имеет боковые усики (фиг. 74), предназначенные для ограничения амплитуды колебаний баланса. Как только амплитуда баланса превысит 270° , эллипс упрется в боковой усик вилки. Следует отметить, что в штифтовых спусках эллипс обычно изготавливается, так же как и палеты, в виде стального штифта. Схема штифтового спуска изображена на фиг. 75, где 1 — анкерное колесо, 2 — баланс, 3 — анкер, 4 — входной штифт, 5 — ось вилки, 6 — вилка, 7 — рожки вилки, 8 — усики вилки, 9 — эллипс, 10 — паз вилки, 11 — паз оси баланса, 12 — ось баланса, 13 — противовес вилки, 14 — выходной штифт.

В положении, изображенном на фиг. 75, баланс совершает дополнительную дугу по часовой стрелке, в это время плоскость покоя зуба анкерного колеса лежит на входном штифте. Тогда, когда момент упругости волоска остановит баланс, последний придет в крайнее положение и начнет вращаться в обратную сторону.

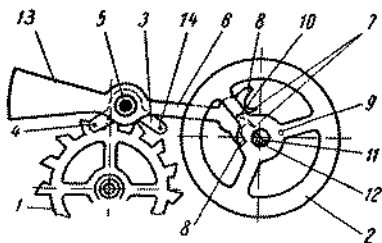
Когда эллипс баланса дойдет до вилки, он войдет в ее паз, ударит о рожек вилки и перебросит ее в другое положение. Тем временем зуб анкерного колеса через входной штифт и рожек вилки сообщит импульс балансу, который будет вращаться в том же направлении,

т. е. против часовой стрелки. Выходной штифт осуществляет притяжку до того момента, пока баланс при вращении в обратную сторону не произведет освобождения спуска. Таким образом, цикл работы спускового регулятора будет повторяться.



Фиг. 74. Форма вилки штифтового спуска.

Особенности штифтового спуска заключаются в том, что он не имеет импульсного ролика и эллипс запрессовывается в одну из спиц баланса; предохранительного ролика тоже нет, его заменяет вырез, сделанный в оси баланса для пропуска рожек вилки.



Фиг. 75. Схема штифтового спуска.

Установочные или ограничительные штифты в этом спуске также отсутствуют, они не нужны потому, что импульсные штифты, упираясь в обод баланса, ограничивают движение вилки. Достоинством штифтового спуска является простота изготовления.

2. ПОСТРОЕНИЕ РАВНОПЛЕЧЕГО ШТИФТОВОГО СПУСКА

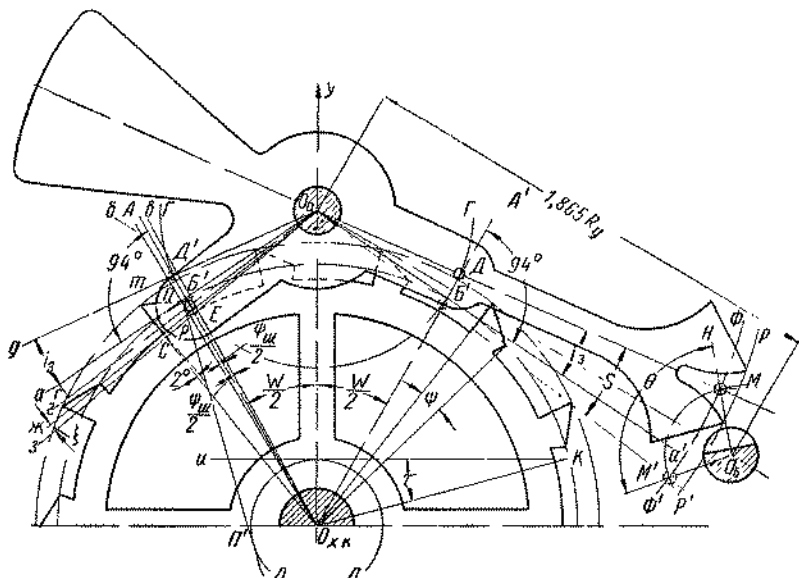
Обозначим через:

- $R_{a.к}$ — радиус действующей окружности анкерного колеса;
- $z_{a.к}$ — число зубьев анкерного колеса, равное 15;
- W — угол охвата якоря, равный 60° ;
- i_a — угол импульса по зубу, равный $10^\circ 15'$;
- r — угол покоя, равный $2^\circ 45'$;
- S — угол подъема анкерной вилки, равный 13° ;
- ϕ — угловая ширина зуба, равная 8° ;
- $\phi_{ш}$ — угловая ширина штифта, равная $2^\circ 30'$;
- τ — угол поднутрения, равный 15° ;
- ξ_a — угол потерянного пути анкера, равный $1^\circ 30'$;
- θ — угол подъема баланса, равный 100° .

Построение спуска проведем по методу конструкторов А. П. Рахманова и А. Н. Крюкова (НИИЧАСПРОМ).

Проводим ось координат XOY и в увеличенном масштабе действующую окружность спускового колеса (фиг. 76).

По обе стороны от оси OY откладываем по половине угла охвата— $\frac{W}{2}$ и проводим лучи $O_{xk}A$ и $O_{xk}A'$, пересекающие действующую окружность в точках B и B' . Через эти точки под углом 94° проводим лучи aO_a и $a'O_a$ и получаем центр качания анкера (точка O_a). Изобразим спуск в том положении, когда плоскость покоя зуба касается входного штифта.



Фиг. 76. Построительный чертеж штифтового спуска.

От луча $O_{xk}A$ вправо и влево откладываем по половине угловой ширины штифта $\frac{\psi_w}{2}$, а от луча $O_a a$ вниз — угол покоя r и, таким образом, получаем лучи $O_{xk}b$, $O_{xk}c$ и $O_a d$. Точка B пересечения лучей $O_{xk}A$ и $O_a b$ является центром штифта.

Из этого центра проводим окружность штифта так, чтобы она вписалась в угол $b O_{xk}c$, равный ψ_w .

Из точки O_a радиусом $O_a B$ проводим штифтовую окружность $\Gamma-\Gamma$. От луча $O_a d$ откладываем вверх угол импульса i_3 и проводим $O_a g$, пересекая штифтовую окружность $\Gamma-\Gamma$ в точке D' . Из центра O_{xk} проводим внешнюю окружность анкерного колеса так, чтобы она касалась окружности штифта, проведенной из точки D . От луча $O_a a'$ вверх откладываем угол импульса i_3 и проводим луч $O_a g$. Точка D — пересечение луча O_a и штифтовой окружности $\Gamma-\Gamma$ — является центром выходного штифта, из этой точки проводим окружность штифта. Если предыдущее построение произведено правильно, то проведенная окружность штифта на выходной стороне будет касательной к внешней окружности анкерного колеса, а не пересечет

ее. Указанный прием является методом проверки правильности построения спуска. Проводим луч $O_aж$, являющийся касательным к окружности входного штифта, и от него вниз откладываем угол потерянного пути ξ , получаем луч $O_aз$. Этот луч пересекает штифтовую окружность в точке E , через которую из центра O_{xk} проводим внутреннюю окружность анкерного колеса.

Переходим к построению зуба анкерного колеса.

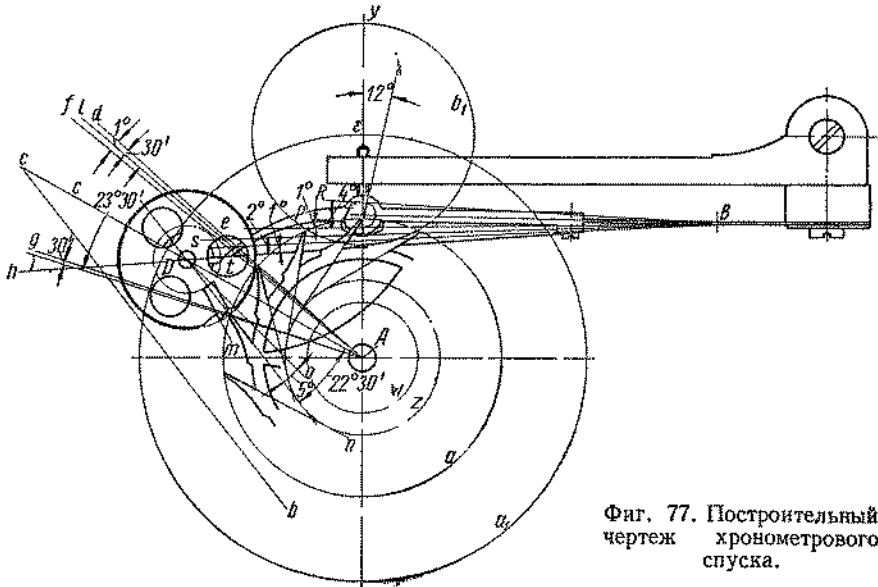
В произвольном месте действующей окружности анкерного колеса выбираем точку K и через нее проводим радиус $O_{xk}K$. Под углом поднутрения τ к радиусу $O_{xk}K$ проводим прямую $Kи$, которая указывает направление передней грани зуба. Из центра O_{xk} проводим к прямой $Kи$ касательную окружность $ЛЛ$, называемую окружностью покоя. При помощи этой окружности мы можем через любую точку действующей окружности анкерного колеса провести переднюю грань зуба. Для этого через выбранную точку следует провести касательную прямую к окружности покоя $ЛЛ$. Проводим прямую $ПП'$, которая является общей касательной к окружности покоя и входного штифта. Прямая $ПП'$ отмечает направление передней грани зуба в момент соприкосновения ее с входным штифтом. Отрезок $ПР$ прямой $ПП'$ ограничивает переднюю грань зуба и представляет собой проекцию плоскости покоя зуба на плоскость чертежа. От точки $П$ влево откладываем угловую ширину зуба ψ и проводим луч $O_{xk}т$. Для надежности спуска заднюю грань поднутряем на 2° и проводим луч до пересечения с внутренней окружностью анкерного колеса; получаем точку $С$. Линия $тС$ — проекция на плоскость чертежа задней нерабочей плоскости зуба.

Начиная от точки $П$, делим действующую окружность анкерного колеса на 15 частей и заканчиваем чертеж при помощи обычных приемов. Далее переходим к построению анкерной вилки. От точки O_a в направлении, удобном для выполнения цельной взаимозаменяемой вилки, проводимось симметрии вилки (в нашем примере направляем эту ось по лучу O_ag'). От этой оси вниз откладываем угол подъема S анкерной вилки и проводим луч $O_aу'$. Делим угол S пополам и на биссектрисе откладываем межцентровое расстояние $Oa—Ob$, равное $1,865 R_{\partial xk}$, из центра Ob симметрично откладываем по половине угла подъема баланса $\frac{\theta}{2}$. Лучи O_6H и O_6H' пересекаются в точках M и M' . Через эти точки проводим из центра O_a действующую окружность вилки $\Phi—\Phi'$, а из центра O_6 — действующую окружность эллипса. Принимая диаметр штифта эллипса 1,25 от диаметра построенного штифта анкерной вилки из точки M , проводим окружность эллипса. Из точки O_6 радиусом $0,11 R_{\partial xk}$ проводим окружность оси баланса. Перпендикулярно лучу O_6H на расстоянии $0,023 R_{\partial xk}$ от центра Ob проводим прямую, которая укажет вырез оси баланса для прохода рожек вилки. Из центра O_a радиусом $1,792 R_{\partial xk}$ проводим дугу $P—P'$, ограничивающую высоту рожек вилки, и на этой дуге симметрично оси вилки откладываем

ширину рожек, равную $0,214 R_{дхк}$. Вырез вилки под эллипс выполняется так, чтобы эллипс входил в вырез с небольшим зазором и ограничивался сопряженными дугами окружностей. Остальной контур анкерной вилки выполним произвольно, учитывая ее полную уравновешенность.

3. ПОСТРОЕНИЕ ХРОНОМЕТРОВОГО СПУСКА

Построение хронометрового спуска разьясим на примере спуска с пружиной покоя (фиг. 77). Импульсный ролик, камень которого слегка выступает своей вершиной за образующую окружность



Фиг. 77. Построительный чертеж хронометрового спуска.

ролика, колеблется с небольшим зазором между двумя зубьями спускового колеса. Второй ролик, насаженный на ось баланса под импульсным роликом, несет на себе спусковой камень, который при колебании баланса против часовой стрелки воздействует на тонкую спусковую пружинку пружины покоя, приподнимая последнюю настолько, что камень покоя освобождает опиравшийся на него зуб спускового колеса. В этот момент импульсный камень находится между зубьями спускового колеса так, что находящийся перед импульсным камнем зуб падает на него, сообщая баланс импульс. В точке, где импульсный камень своим выступом выходит за пределы окружности вершин зубьев спускового колеса, зуб выходит из соприкосновения с импульсным камнем, и спусковое колесо поворачивается на некоторый небольшой угол, причем один из зубьев ложится на опустившийся тем временем камень покоя. Баланс

заканчивает колебание в этом направлении свободно. Достигнув крайнего положения, баланс начинает обратное колебание, при этом спусковой камень вновь входит в соприкосновение со спусковой пружинкой, но на этот раз он только слегка отводит ее от пружины покоя, не изменяя положения последней. Баланс заканчивает свое обратное колебание свободно, не будучи загружен спуском, достигает второго крайнего положения и вновь меняет направление движения; при движении в этом направлении, когда баланс находится вблизи среднего положения, снова происходит освобождение спускового колеса и передача импульса. Отдельные детали спуска мы рассмотрим при изложении его построения.

Проведем вертикальную осевую линию $У$, выберем на ней точку центра спускового колеса A . Проведем окружность вершин зубьев a и разделим ее соответственно числу зубьев спускового колеса, начиная деление от точки f пересечения окружности a с осевой линией $У$. Через вторую слева от осевой линии $У$ точку деления проводим из центра A радиальный луч d , через третью точку деления проводим луч i . Оба луча образуют делительный угол, равный 24° . Ширину вершины зуба принимаем равной $0,5^\circ$. Этот угол откладываем влево от луча d , с вершиной в точке A , проведя луч e . Угол со сторонами l и i делим пополам лучом c , на котором лежит центр баланса. Некоторую произвольную точку C на луче c принимаем за вершину и откладываем вниз от линии c сторону b угла в $22,5^\circ$. Затем вычерчиваем углы зазора, равные $0,5^\circ$, проведя луч f слева от луча l и луч g справа от луча i . Через точки пересечения лучей f и g с окружностью вершин зубьев спускового колеса проходит окружность выступа импульсного камня.

Чтобы найти положение центра этой окружности, являющегося центром вращения баланса, через точку пересечения луча g с окружностью a проводим прямую n параллельно лучу b ; она пересечет луч c в точке D , которая и является искомым центром вращения баланса. Теперь мы сможем провести окружность выступа импульсного камня с центром в точке D . В точке f проводим к окружности a касательную P . На этой касательной нанесем точку B перегиба пружинки, на расстоянии от точки f , несколько большем, чем диаметр спускового колеса. Через точки B и центр баланса D проводим прямую h , эта прямая определяет положение спусковой пружинки (вычерчена жирной линией). Длина спусковой пружинки будет определена ниже. Прежде всего необходимо вычертить камень покоя, поверхность покоя которого проходит через точку f . Построим угол притяжки, проведя через точку f , являющуюся вершиной, луч j вправо от осевой линии $У$ под углом притяжки к ней (например, 12°). Этот луч дает положение поверхности покоя камня. Угловой размер диаметра камня из точки B составляет 4° , угол покоя равен 1° . Этот угол покоя откладываем вниз от касательной P , проведя луч e через точку B под углом 1° к касательной P . Аналогично строим угол толщины камня покоя,

проведя луч R под углом 4° к лучу e , вверх от последнего. Отрезок луча j , заключенный между лучами R и e , представляет собой плоскую поверхность покоя камня покоя и одновременно является его диаметром. Очерчиваем контур камня покоя в виде полуокружности с центром на биссектрисе угла между лучами R и e .

Через центр контурной окружности камня проводим осевую линию X пружины покоя, проходящей через точку перегиба B . Чтобы сдвинуть камень покоя настолько, чтобы лежащий на нем зуб спускового колеса освободился, необходимо поднять пружину покоя вверх на угол 1° . Для надежности обычно заставляют спусковой камень, закрепленный на спусковом ролике на оси баланса, поднимать пружину покоя на удвоенный угол.

Луч t лежит на 1° выше луча h . Когда спусковая пружинка принимает положение луча t , зуб спускового колеса освобождается, но спусковой камень, согласно предыдущему, поднимает спусковую пружинку еще на 1° до положения, соответствующего лучу S . Только после этого допускается падение спусковой пружинки с выступа спускового камня. Выбираем диаметр окружности выступа спускового камня равным половине диаметра выступа импульсного камня и вычерчиваем эту окружность с центром в точке D . Через точку пересечения окружности и луча S проводим дугу с центром в точке B , в точке пересечения которой с лучом h лежит конец спусковой пружинки.

Чтобы поднимать пружину покоя, спусковая пружинка должна опираться на конец этой пружины. Конец пружины покоя изгибается до соприкосновения со спусковой пружинкой вблизи окружности выступа спускового камня. Он не должен, разумеется, заходить в эту окружность, чтобы при обратном ходе спусковой камень не наталкивался на пружину покоя, а лишь слегка отводил бы спусковую пружинку.

Теперь необходимо определить положение импульсного камня. На фиг. 77 спусковой камень как раз лежит на спусковой пружинке, но еще не поднял ее. Измеряем угол, который проходит спусковой камень при поднятии камня покоя на 1° . Импульсный камень должен на этот угол не дойти до положения, в котором на него падает зуб спускового колеса. Из соображений надежности требуется, чтобы импульсный камень в начале передачи импульса вошел в окружность вершин зубьев спускового колеса на 5° . Поэтому строим от луча h вправо угол 5° с вершиной в точке D , на стороне O которого должен находиться импульсный камень в момент начала передачи импульса. Угол поворота спускового камня, необходимый для спуска, без учета угла надежности, который мы ранее измерили, построим от луча O влево, проведя из точки D сторону m этого угла. На этом луче m лежит рабочая поверхность импульсного камня, которая теперь может быть вычерчена полностью.

Дальнейшее построение спуска ясно из чертежа. Пружина покоя в представленной здесь конструкции прикреплена винтом к



нутой под прямым углом опорной планке. Направленное влево удлиненное плечо этой планки несет регулировочный винт, на головку которого опирается боковой поверхностью камень покоя в его крайнем нижнем положении. Этот винт служит, таким образом, для регулирования покоя. Спусковая пружина закреплена винтом на пружине покоя. Импульсный ролик на оси баланса облегчен тремя сверленными отверстиями, причем одно из отверстий располагается так, чтобы можно было наблюдать воздействие спускового камня на спусковую пружинку.

Для вычерчивания спускового колеса необходимо установить поднутрение зуба, которое выбирается таким образом, чтобы зуб всегда падал своей вершиной на поверхность импульсного камня, а не наоборот. Достаточную надежность можно обеспечить, очертив поверхность зуба по направлению луча n . Вычерчиваем окружность z , касательную к этому лучу, и из каждой точки деления окружности колеса a вычерчиваем передние поверхности зубьев, направляя их по касательным к окружности z .

Очертания спинки зуба определяются окружностью b_1 , центр которой E лежит на окружности a_1 , имеющей центром точку A . Короткие задние поверхности зуба параллельны передним поверхностям соответствующих соседних зубьев. Строим окружность w , касательную к продолжению задней поверхности зуба, задние поверхности всех зубьев должны быть направлены по касательным к этой окружности. Высоту зуба следует брать возможно меньшей, чтобы не понизить прочность зуба. Остальные части и детали спуска выполняются обычными конструктивными приемами.

4. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ СПУСКА РАЗЛИЧНЫХ ХРОНОМЕТРОВ

В целях определения основных параметров спуска хронометров различных фирм НИИЧАСПРОМ были исследованы хронометры фирм Гамильтон (США), Ланге (Германия), Эрикссон (Швеция), Нарден (Швейцария), Юз (Англия), НИИЧАСПРОМ (Москва) и 1-го часового завода МХ-2.

В табл. 1, 2 и 3 проводятся наиболее характерные данные по первоклассным хронометрам.

5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРУЖИННОГО (ХРОНОМЕТРОВОГО) СПУСКА

Для конструирования пружинного спуска прежде всего нужно определить число зубьев и диаметр спускового колеса. Рекомендуется брать оптимальное число зубьев спускового колеса, чтобы избежать трудностей при конструировании спуска, слишком большого расхода энергии двигателя на преодоление инерции колеса, толчков и трения и быстрого износа зубьев.

Таблица 1

Основные конструктивные данные морского хронометра фирмы Гамильтон

Диаметр баланса — 35,6 мм, Диаметр платины — 88,0 мм

Спусковое колесо	Число зубьев			Наружный диаметр			Шаг спускового колеса		Толщина кончика зуба		Угол поднутрения зуба	
		16			13,15 мм			2,57 мм		0,11 мм		21°31'
Пружина покая	Общая длина			Ширина пружинной части			Толщина в месте изгиба		Толщина спусковой пружинки в месте изгиба		Длина пружинной части	
	26,33 мм			0,64 мм			0,055 мм		0,045 мм		3,7 мм	
Основные характеристики спуска	Угол действия спускового колеса β	Угол подъема баланса α	Угол покая δ	Линейная величина покая	Диаметр камня покая	Угол τ	Угол освобождения	Величина зацепления между спусковым камнем и спусковой пружинкой	Радиус действующей окружности спускового камня	Радиус действующей окружности импульсного камня	Угол импульса	Глубина входа зубьев спускового колеса в окружность импульсного камня
	21°	45°	1°									

Таблица 2

Сводная таблица основных данных морского хронометра НИИЧАСПРОМ

Диаметр баланса — 32 мм, Диаметр платины — 83 мм

Спусковое колесо	Число зубьев			Наружный диаметр			Шаг спускового колеса		Толщина кончика зуба		Угол поднутрения зуба		
		16			13,2 мм			2,575 мм		0,08 мм		28°42'	
Пружина покая	Общая длина			Ширина пружинной части			Длина пружинной части		Толщина в месте изгиба		Толщина спусковой пружинки в месте изгиба		
	22,50 мм			0,6 мм			3,3 мм		0,05 мм		0,07 мм		
Основные характеристики спуска	Угол действия спускового колеса β	Угол подъема баланса α	Угол покая δ	Линейная величина покая	Диаметр камня покая	Угол τ	Угол освобождения	Величина зацепления между спусковой пружинкой и спусковым камнем	Радиус действующей окружности спускового камня	Радиус действующей окружности импульсного камня	Плече покая	Глубина входа зуба спускового колеса в окружность импульсного камня	Угол между перпендикуляром к плечу покая и плоскостью покая
	21°48'22"	45°	53'30"										

Таблица 3

Основные конструктивные данные МХ-2
(в скобках данные МХ фирмы Ланге)
Диаметр баланса — 32,25 мм. Диаметр платины — 85 мм.

Спусковое колесо	Число зубьев	15	Наружный диаметр	Шаг спускового колеса	Толщина кончика зуба	Угол поднутрения зуба							
				13,96 (14) мм	2,92 (2,93) мм	0,08706 (0,09)	23° (25°)						
Пружина покая	Общая длина	26,50 (26,8) мм	Ширина пружинной части	Длина пружинной части	Толщина в месте изгиба	Толщина спусковой пружины	Плечо покая						
				2,0 мм	5,1 (5,0) мм	0,05 мм	0,05 (0,06) мм	14 (14,25) мм					
Основные характеристики спуска	Угол действия спускового колеса β	21°51'27" 23°	Угол подъема баланса α	42°12'40" (42°18')	Угол покая δ	48°50' (1°)	Линейная величина покая	Угол γ	Угол освобождения	Радиус действующей окружности импульсного камня	Угол освобождения балаяса	Угол действия окружности импульсного камня	Радиус действующей окружности спускового камня

Спусковые колеса, применяемые в первых пружинных спусках с тяжелыми и громоздкими балансами, имеющими медленные колебания, насчитывали от 6 до 10 зубьев. Хронометристы Берту, Арнольд, Ирншау и другие увеличили число зубьев до 12. В более позднее время появляются хронометровые спуски с 15 зубьями на спусковом колесе. Если взять число зубьев спускового колеса значительно меньше 15, то это приведет к резкому увеличению угла действия спускового колеса и, в свою очередь, к неблагоприятному направлению усилий при импульсе, который будет начинаться слишком далеко от линии центров. Поэтому в современных хронометрах первоклассных фирм, как например, Нэрдэн, Гамильтон и другие, применяются спусковые колеса с оптимальным числом зубьев 15 или 16.

Так как размеры механизма определяют размеры всех его основных деталей, то диаметр спускового колеса может быть задан в долях диаметра баланса или платины.

Для морских хронометров рассмотренных нами фирм диаметры спусковых колес составляют от 0,37 до 0,41 диаметров балансов (по Ирк от 0,34 до 0,35). В этих же хронометрах размеры спусковых колес лежат в пределах от 0,153 до 0,159 диаметров платин (по Ирк от 0,159 до 0,164).

Теперь следует установить величину пути, во время которого спусковое колесо действует совместно с импульсным камнем. Для этого вначале установим толщину кончика зуба спускового колеса. Известно, что толщина кончика

зуба возрастает вместе с увеличением диаметра колеса и передаваемой им силы, поэтому ее лучше всего выразить в дробных частях шага колеса.

Толщина острия зуба спусковых колес с 15 и 16 зубьями составляет от 0,03 до 0,04 шага колеса.

Так как шаг колеса в угловых величинах будет: для колеса с 15 зубьями $t = \frac{360}{15} = 24^\circ$, для колеса с 16 зубьями $t = \frac{360}{16} = 22,5^\circ$, то толщина зуба будет составлять $S = 0,03 \div 0,04$; $t = 0,72 \div 0,96$ град. для колеса с 15 зубьями и 0,67 — 0,9 град. для колеса с 16 зубьями.

Зазор зубьев в отношении импульсного ролика с обеих сторон должен быть не больше толщины острия зуба.

Следовательно, угол действия спускового колеса будет равен шагу минус три толщины зуба, что подтверждается данными замера на хронометрах Ф. Ланге, Гамильтон, Хардэн и др.

Затем следует определить угол подъема баланса. Подъем баланса должен происходить в максимально короткое время с тем, чтобы по возможности уменьшить неблагоприятное влияние импульса на период колебания баланса и избежать нарушения изохронизма. Однако, если импульс будет происходить на слишком малой дуге подъема, то глубина зацепления между зубом и импульсным камнем может оказаться недостаточной для надежной работы механизма.

Во время колебаний баланса его скорость переменна: на нисходящей дуге баланс движется ускоренно, а на восходящей замедленно. В точках перемены направления колебаний баланса скорость его равна нулю, а в положении равновесия она максимальна. Исследования показывают, что сообщение импульса балансу в момент прохождения положения равновесия оказывает наименьшее влияние на период колебания. Поэтому стараются сообщать импульс балансу возможно ближе к положению равновесия, распределяя угол импульса равномерно по обе стороны от положения равновесия.

В современных морских хронометрах угол подъема баланса составляет 45° , а в карманных хронометрах $35-40^\circ$.

В интересах уменьшения угла освобождения (в целях придания большей свободы балансу) величина покоя делается как можно меньше, однако вполне достаточной для надежного зацепления зуба спускового колеса с камнем покоя.

В зависимости от типа, величины и качества соответствующих хронометров, величина покоя выбирается в пределах от 1,5 до 2,5 толщин острия зуба (по Ирк от 1 до 2 толщин).

Здесь, как и в дальнейшем, больший размер относится к соответствующим деталям менее качественных хронометров или хронометров малого размера. В рассмотренных конструкциях (см. табл. 1, 2 и 3) величина покоя колеблется от 0,155 до 0,22 мм.

Длина пружины покоя в морских хронометрах принимается обычно равной 1,5 — 2,2 диаметра спускового колеса. Длинные

пружины более выгодны, так как удлинение при неизменной толщине уменьшает сопротивление спуску. Тем не менее не следует выходить за пределы 2 диаметров спускового колеса, так как иначе пружина покоя будет слишком тяжелой и излишне чувствительной к сотрясениям, в связи с чем легко может произойти преждевременный спуск. Для карманных хронометров пружину делают короче и возможно легче, так как в противном случае слишком сильно изменяется сопротивление спуску в различных вертикальных положениях часов вследствие собственного веса пружины и, следовательно, затрудняется регулирование хода хронометра в различных положениях [23].

Диаметр камня покоя берется равным 0,25—0,35 шага спускового колеса.

Плоскость покоя хронометрового спуска всегда устанавливается так, чтобы создавалась притяжка, т. е. чтобы зуб колеса в целях предотвращения преждевременного спуска стремился втянуть под себя и удержать пружину покоя на упоре. Угол притяжки, т. е. угол, составленный плоскостью покоя и перпендикуляром к плечу покоя, в зависимости от конструктивного расположения спускового колеса в отношении камня покоя и материалов колеса и камня, колеблется в пределах от 8 до 16° [23].

Угол освобождения, т. е. угол, на который следует отвести пружину покоя с камнем покоя (посредством спусковой пружинки спускового камня) из-под зуба спускового колеса, чтобы обеспечить падение спускового колеса, следует брать на 20—40% больше угла покоя, а для обеспечения надежности освобождения (по Ирк угол освобождения должен быть равен 1,5—2-кратному углу покоя).

В рассмотренных нами хронометрах фирмы Гамильтон — угол освобождения равен 1°20' (угол покоя 1°), фирмы Нардэн — угол освобождения 1°20' (угол покоя 50'30"), фирмы Ланге — угол освобождения 1°45' (угол покоя 1°00").

Глубина зацепления между спусковым камнем и спусковой пружинкой должна быть в пределах 0,08—0,11 мм.

Угол падения зуба спускового колеса на импульсный камень можно сохранить незначительным, а именно 2—3°. Острие зуба колеса (ребро) должно падать на поверхность, но не на ребро импульсного камня. При этом следует учесть, что величина, на которую острие зуба входит в окружность траектории вершины импульсного камня при начале подъема, в действительности во время хода хронометра будет больше, чем обнаруживается во время исследования спуска при медленном продвижении баланса.

Расположение спусковой пружинки в отношении пружины покоя для освобождения роли не играет. При освобождении спусковая пружинка работает как продолжение пружины покоя. Во время же обратного движения баланса (отвод спусковой пружинки) место закрепления спусковой пружинки на пружине покоя не безразлично. Если спусковая пружинка закреплена на внутренней стороне

пружинки покоя (со стороны спускового колеса), то угол отвода будет значительно больше, чем при закреплении на внешней стороне пружины покоя. Следовательно, в первом случае колебания баланса будут подвержены гораздо большим влияниям при отводе спусковой пружинки, чем во втором. По этой причине предпочтение отдается второму варианту расположения спусковой пружинки.

Толщина спусковой пружинки и пружины покоя задается в месте их изгиба в пределах 0,03—0,05 мм (для морских хронометров). Спусковая пружинка и пружина покоя не должны быть слишком слабыми, иначе они будут вибрировать при работе спуска.

Длина пружинящей части пружины покоя составляет обычно от 0,25 до 0,35 длины плеча покоя. При более длинных пружинах обычно берется средняя длина пружинящей части, равная 0,3 плеча покоя [23].

Ширина пружины рассчитывается, принимая во внимание испытываемое ею напряжение.

Размеры баланса, определяющие его кинетическую энергию, должны доходить до предельных величин. Как мы уже указали, кинетическая энергия баланса является одним из факторов, определяющих его регулируемую способность.

6. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ХОДОВЫЕ КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ ПЕРВОКЛАССНЫХ ХРОНОМЕТРОВ

В целях установления сравнительных характеристик современных хронометров нами на основе поверочных расчетов и экспериментального определения основных параметров МХ, а также по имеющейся технической документации, получены сравнительные данные, которые сведены в нижеприведенную таблицу.

Таблица сравнительных данных МХ различных форм

Наименование показателя	Размерность	Величина показателя		
		Хронометр фирмы Гамильтон	Хронометр МХ-2	Хронометр НИИЧАСПРОМ
Работа импульса	г.мм	5,02	4,55	4,27
Момент освобождения	г.мм	10,75	7,26	10,10
Работа освобождения	г.мм	0,259	0,148	0,214
Угол освобождения	градус	0,02325	0,02129	0,02145
Момент инерции баланса	г.мм.сек ²	0,158	0,219	0,223
Момент упругости спиралей	г.мм	24,92	34,74	35,12
Момент на оси спускового колеса	г.мм	16,74	13,96	13,33
Стационарная амплитуда	градус	270°	230°	180°
Момент импульса на оси баланса (средний)	г.мм	1,84	1,53	1,51
Угол импульса	градус	0,7	0,7	0,7

Продолжение таблицы

Наименование показателя	Размерность	Величина показателя		
		Хронометр фирмы Гамблтон	Хронометр МХ-2	Хронометр НИИЧАСПРОМ
Момент трения	г.мм	0,0374	0,052	0,033
Работа трения	"	0,704	0,834	0,423
Работа „потерянного“ удара	"	0,00079	0,00387	0,00111
Момент инерции спус- кового колеса	г.ммсек ²	0,000125	0,000091	
Момент инерции пружины покоя	"	0,000035	0,000070	0,000052
Момент инерции спус- ковой пружины	"	0,0000006	0,0000007	0,0000006
Угловая скорость балан- са (макс.)	рад/сек	59,1764	50,3656	39,4384
Радиус пружины покоя	мм	13,15	19,01	13,2
Расстояние от центра баланса до точки удара	"	1,175	1,54	1,65
Кинетическая энергия баланса	г.мм	276,64	277,767	173,27

ГЛАВА VII

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОИСТРУИРОВАНИЯ МАЯТНИКОВОГО РЕГУЛЯТОРА

1. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Под математическим маятником (фиг. 78) понимается какая-либо тяжелая материальная точка, подвешенная на нити (или стержне) OM , условно принятой за невесомую. Если вывести эту материальную точку из положения равновесия путем отклонения ее от отвесной линии и отпустить, то она будет совершать колебательное движение. Под действием сил сопротивления (трение в подвесе и сопротивление воздуха) эти колебания будут постепенно затухать, т. е. будет уменьшаться угол отклонения точки от вертикали. Через некоторое время маятник остановится в положении равновесия.

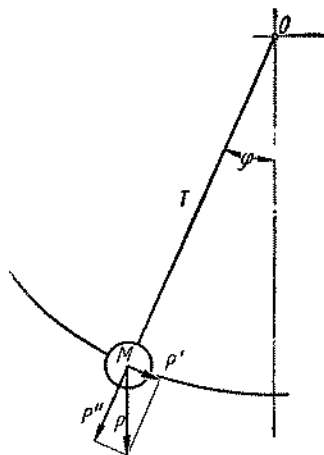
Предположим, что колебания совершаются при отсутствии сил сопротивления.

Отклоним стержень OM на угол φ от вертикали. На точку M действуют сила веса P и реакция T стержня OM . Разложим силу P на две составляющие: P'' , направленную вдоль стержня, и P' , ему перпендикулярную:

$$P'' = P \cos \varphi; \quad P' = P \sin \varphi.$$

Составляющая P'' растягивает стержень OM . Составляющая P' вызывает ускоренное движение точки M . Поскольку сила P' в каждый данный момент направлена соответственно касательной к траектории точки M и поскольку по 2-му закону Ньютона масса точки m , умноженная на ее ускорение W_k , будет равна силе P' ,

$$m W_k = - P \sin \varphi.$$



Фиг. 78. Схема математического маятника.

Знак (—) вызывается тем, что при отклонении стержня на положительный (отрицательный) угол φ , момент силы P' является отрицательным (положительным), т. е. вращает стержень в противоположную отклонению сторону.

Но ускорение W_κ является второй производной от пути S по времени, т. е.

$$W_\kappa = \frac{d^2s}{dt^2},$$

Здесь $s = l\varphi$, т. е. $W_\kappa = l \frac{d^2\varphi}{dt^2}$,

где $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ — угловое ускорение маятника и

l — длина нити (величина постоянная).

Следовательно, получаем

$$ml \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -P \sin \varphi.$$

Замечая, что $P = mg$ и что при малых углах (меньше 5°) можно положить $\sin \varphi = \varphi$, получим:

$$ml \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mg\varphi$$

или

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{g}{l}\varphi.$$

Мы получили так называемое дифференциальное уравнение движения маятника. Из него видно, что угловое ускорение маятника пропорционально углу φ , взятому с обратным знаком. Значит, нужно найти такую зависимость угла поворота от времени, вторая производная от которой равна самому углу поворота, умноженному на $\frac{g}{l}$. При отклонении маятника в начальный момент на угол Φ эта зависимость имеет вид

$$\varphi = \Phi \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t.$$

В самом деле, так как

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\Phi \sqrt{\frac{g}{l}} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t \text{ и } \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\Phi \frac{g}{l} \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t,$$

то, подставляя в выражения для φ и $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$, получаем тождество:

$$-\Phi \frac{g}{l} \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t = -\frac{g}{l} \Phi \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t,$$

т. е. $\varphi = \Phi \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t$ — действительно есть решение нашего дифференциального уравнения.

Это решение является периодической функцией времени t . Найдем величину периода колебаний.

Пусть в момент

$$t = t_1 \quad \varphi = \varphi_1;$$

тогда

$$\varphi_1 = \Phi \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_1.$$

Найдем такой промежуток $\Delta t = T$, который будет являться периодом колебания, т. е. по истечении которого движение начнет повторяться. Полагаем $t_2 = t_1 + T$; тогда $\varphi = \varphi_1 = \varphi_2$ и

$$\varphi_2 = \varphi_1 = \Phi \cos \left[\sqrt{\frac{g}{l}} (t_1 + T) \right] = \Phi \cos \left[\sqrt{\frac{g}{l}} t_1 + \sqrt{\frac{g}{l}} T \right].$$

Но функция $\cos \sqrt{\frac{g}{l}} t$ есть периодическая функция с периодом 2π , следовательно, для того, чтобы $\varphi_2 = \varphi_1$, должно быть

$$\sqrt{\frac{g}{l}} T = 2\pi, \text{ или } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Это и есть формула для определения периода колебания математического маятника.

Указанная формула справедлива лишь при малых углах отклонения маятника. При больших углах отклонения маятника период колебания определяется по формуле [3]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \sin^2 \frac{\Phi}{2} + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4}\right)^2 \sin^4 \frac{\Phi}{2} + \dots \right],$$

где Φ — амплитуда колебаний маятника.

2. ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Под физическим маятником понимается какое-либо твердое тело любой формы, которое может совершать колебательное движение вокруг неподвижной оси O , не проходящей через центр тяжести тела (фиг. 79). Если математический маятник при малых углах отклонения имел период колебания, равный $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, то период колебания физического маятника в этом случае будет

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{прив}}{g}},$$

где $l_{прив}$ — приведенная длина физического маятника.

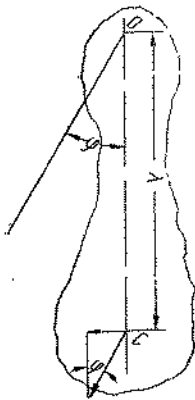
Приведенная длина физического маятника есть длина математического маятника, имеющего такой же период колебаний, как и данный физический маятник.

$l_{прив}$ определяется по формуле регулятора $l_{прив} = \frac{J_0}{m\lambda}$, где J_0 — момент инерции маятника относительно точки подвеса, $m\lambda$ — статический момент маятника относительно точки подвеса, а λ — расстояние OC от точки подвеса до центра тяжести маятника.

В свою очередь, $J_0 = J_c + m\lambda^2$, где J_c — момент инерции маятника относительно оси, проходящей через его центр тяжести.

Следовательно,

$$l_{прив} = \frac{J_c}{m\lambda} + \lambda.$$



Фиг. 79. Физический маятник.

Если от точки подвеса маятника O отложить по линии, соединяющей точку подвеса и центр тяжести маятника OC , приведенную длину $l_{прив}$, то получим новую точку, лежащую ниже центра тяжести на величину $\frac{J_c}{m\lambda}$, и эта новая точка будет называться центром качания маятника. Подставляя значение $l_{прив}$ в формулу периода колебания физического маятника, получим

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{прив}}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_0}{m\lambda g}}.$$

При больших углах колебания физического маятника период колебания его исчисляется по формуле [3]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_0}{m\lambda g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\Phi}{2} + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4}\right)^2 \sin^4 \frac{\Phi}{2} + \dots \right].$$

Вообще, период колебания маятника зависит от угла его отклонения, а следовательно, физический маятник, совершающий колебания с любой, но конечной амплитудой, совершает неизохронное колебательное движение.

Частота колебаний маятника характеризуется также числом его колебаний в единицу времени (в час, минуту или секунду). Если маятник совершает 1800 колебаний в час, то он называется секундным, так как проходит через положение равновесия один раз в секунду. Секундный маятник имеет приведенную длину около 994 мм. Период колебаний секундного маятника равен 2 сек.

3. УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ МАЯТНИКА И ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСОВ

Маятник имеет одну степень свободы, поэтому принимаем за обобщенную координату угол отклонения маятника от положения равновесия, который обозначим через φ (фиг. 80). Колебания проис-

ходят под действием силы тяжести. Тогда потенциальная энергия маятника будет функцией только этой координаты:

$$\Pi = f(\varphi).$$

Когда маятник отклонен на угол φ , т. е. он находится в положении C' , потенциальная энергия его будет

$$\Pi = mgl(1 - \cos \varphi).$$

В положении равновесия маятника, когда $\varphi = 0$, потенциальная энергия маятника будет равна нулю, так как $\cos \varphi = 1$. Кинетическая энергия маятника выражается формулой

$$K = \frac{1}{2} mv^2.$$

В крайнем положении маятника C'' его кинетическая энергия будет равна нулю, так как скорость $v = 0$.

В положении равновесия кинетическая энергия будет максимальная.

Сумма кинетической и потенциальной энергии является постоянной величиной (если не учитывать влияние трения), т. е.

$$K + \Pi = \text{const.}$$

Следовательно

$$\frac{1}{2} mv^2 + mgl(1 - \cos \varphi) = \text{const.}$$

Обозначим через v_0 скорость маятника при прохождении положения равновесия (точка C). Тогда при амплитуде Φ можно написать равенство

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = mgl(1 - \cos \Phi).$$

Разложив $\cos \Phi$ в ряд, получим

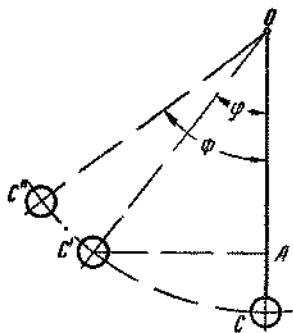
$$\cos \Phi = 1 - \frac{\Phi^2}{2} + \frac{\Phi^4}{24} - \frac{\Phi^6}{720} + \dots$$

Подставляя вместо $\cos \Phi$ первые три члена разложения, получим:

$$gl\Phi^2 \left(1 - \frac{\Phi^2}{12}\right) = v_0^2,$$

но $v_0 = l\omega_0$, где ω_0 — угловая скорость маятника в положении равновесия, поэтому

$$gl\Phi^2 \left(1 - \frac{\Phi^2}{12}\right) = l^2\omega_0^2,$$



Фиг. 80. Схема колебания маятника.

откуда

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g\Phi^2 \left(1 - \frac{\Phi^2}{12}\right)}{l}} = \Phi \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\Phi^2}{12}},$$

но вторым корнем можно пренебречь, так как выражение, стоящее под вторым корнем при достаточно малых амплитудах, мало отличается от единицы; тогда

$$\omega_0 = \Phi \sqrt{\frac{g}{l}}$$

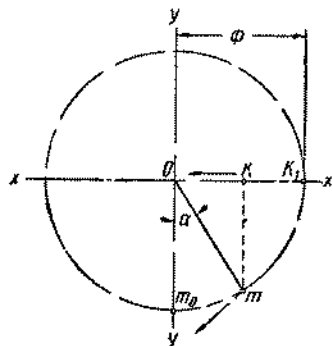
Когда маятник в процессе колебания будет перемещаться из точки C'' в точку C' (фиг. 80), кинетическая энергия его возрастет, а потенциальная энергия уменьшится.

В этом случае кинетическая энергия будет

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} ml^2 \omega^2,$$

а убыль потенциальной энергии составит

$$\frac{1}{2} mgl\Phi^2 - \frac{1}{2} mgl\varphi^2$$



Фиг. 81. Схема к расчету времени колебания маятника.

(полагая $\cos \varphi \approx 1 - \frac{\varphi^2}{2}$).

Очевидно, что прирост кинетической энергии будет равен убыли потенциальной энергии. Следовательно,

$$\frac{1}{2} ml^2 \omega_1^2 = \frac{1}{2} mgl\Phi^2 - \frac{1}{2} mgl\varphi^2$$

или

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \sqrt{\Phi^2 - \varphi^2}.$$

Если сравнить колебательное движение точки K по прямой XX с равномерным движением точки m по окружности (фиг. 81), то заметим, что когда точка m опишет полную окружность, то точка K совершит полное колебание по диаметру.

Так как время, в течение которого совершается полное колебание, называется периодом колебания, то

$$T = \frac{2\pi\Phi}{\omega_0}.$$

Подставив в это выражение значение ω_0 , получим

$$T = \frac{2\pi\Phi}{\Phi \sqrt{\frac{g}{l}}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Если точка K (фиг. 81) при колебании совершает путь KO , то вспомогательная точка m совершает путь mm_0 . Для этого движения потребуется время t , равное $t = \frac{mm_0}{\omega_0}$, но длина дуги mm_0 равна произведению угла α и радиуса $Om = \Phi$, т. е.

$$mm_0 = \Phi\alpha.$$

Подставляя в формулу t , получим

$$t = \frac{\Phi\alpha}{\Phi \sqrt{\frac{g}{l}}} = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \alpha.$$

Но $\sin \alpha = \frac{\varphi}{\Phi}$, следовательно,

$$\alpha = \arcsin \frac{\varphi}{\Phi}.$$

Так как

$$t = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \alpha = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \arcsin \frac{\varphi}{\Phi},$$

а $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, то

$$t = \frac{T}{2\pi} \arcsin \frac{\varphi}{\Phi}.$$

Время, необходимое для того, чтобы точка K совершила путь (колебание) от K_1 до K , будет

$$t_1 = \frac{T}{2\pi} \arccos \frac{\varphi}{\Phi}.$$

Если маятнику сообщить импульс, т. е. передать некоторое количество энергии ΔE_1 , то амплитуда маятника изменится на величину

$$\Delta\Phi = \frac{\Delta E_1}{mgl\Phi}.$$

Приращение продолжительности колебания t под влиянием импульса выражается формулой

$$\Delta t = T - \frac{T}{2\pi} \left(\arcsin \frac{\varphi}{\Phi} - \arcsin \frac{\varphi}{\Phi + \Delta\Phi} \right).$$

Импульс оказывает на продолжительность колебания минимальное влияние, если он происходит в момент прохождения маятника через положение равновесия, т. е. когда $\varphi = 0$. Значит, ошибки

продолжительности колебания зависят от того, где относительно положения равновесия подан импульс.

Закон влияния импульса на период колебания сформулирован в трех теоремах Эри, доказывающих, что:

1. Действие импульса на период колебания тем больше, чем дальше он передается от положения равновесия. Импульс, переданный в положении равновесия, не влияет на период колебания системы.

2. Положительный импульс (действующий в направлении движения маятника), переданный до равновесия, уменьшает, а переданный после равновесия — увеличивает период колебаний системы.

3. Отрицательный импульс (действующий против направления движения маятника), переданный до равновесия, увеличивает, а после прохождения равновесия — уменьшает период колебаний системы.

Как мы видели выше, колебания физического маятника тем более изохронны, чем меньше амплитуда. Если же маятник имеет небольшую амплитуду колебаний, то он чрезвычайно чувствителен к случайным толчкам и сотрясениям и требует особых условий для работы. Увеличение амплитуды колебания маятника повлечет за собой изменение периода колебаний маятника.

В высокоточных часах с длинным маятником амплитуду берут не выше $1,5-2^\circ$. Увеличение амплитуды вызывает отставание часов. Ниже показаны величины отставания часов за сутки при различных амплитудах [20].

Влияние амплитуды на период колебания маятника

Амплитуда в град.	Отставание часов за сутки в сек.	Амплитуда в град.	Отставание часов за сутки в сек.
1	1,65	3	14,80
1,5	3,71	4	26,35
2	6,60	5	41,15
2,5	10,32	6	59,18

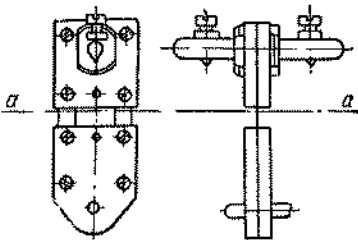
В часах с коротким маятником амплитуду колебаний приходится брать в пределах $8-15^\circ$. В целях уменьшения влияния амплитуды на период колебания маятника применяют специальный пружинный подвес маятника (пендельфедер).

4. ТИПЫ ПОДВЕСА МАЯТНИКА

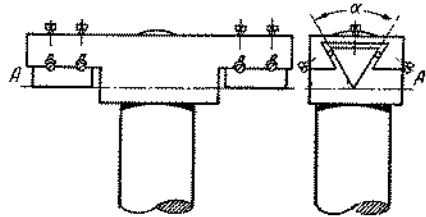
Маятнику стараются придать форму, приближающую его к математическому маятнику, а именно в виде легкого стержня с тяжело нагруженным концом.

Маятник чаще всего подвешивается на тонких стальных пружинных подвесках, заключенных в особую обойму или оправу (фиг. 82), и реже при помощи призм, имеющих форму клинообразных ножей (фиг. 83).

Пружины подвеса маятника, как и всякие пружины, изгибаясь, создают момент, который пропорционален углу отклонения, т. е. $M = K_1\varphi$.



Фиг. 82. Пружинный подвес маятника.



Фиг. 83. Подвес маятника на призме.

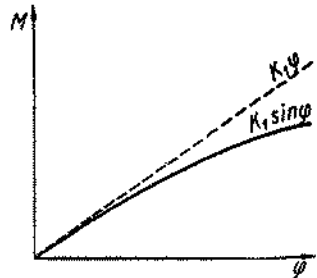
Это свойство можно изобразить графически, если по оси абсцисс откладывать величины углов отклонения маятника, а по оси ординат — моменты (фиг. 84).

Восстанавливающий момент маятника будет равен

$$M_{\text{м}} = P\lambda \sin \varphi = k \cdot \sin \varphi,$$

но эта величина нелинейна и колебания маятника изохронны. Если к восстанавливающему моменту маятника добавить момент пружины подвеса:

$$M_n = \frac{Ebh^3}{12l_n} \varphi = K_1\varphi,$$



Фиг. 84. График моментов пружинного подвеса маятника.

то увидим, что его можно рассматривать как некоторый дополнительный импульс, который то убыстряет, то тормозит маятник. Вследствие этого колебания будут приближаться к изохронным. Здесь l_n — длина пружины между обоймами, h — толщина пружин и b — суммарная ширина пружин.

Второе важное свойство пружинного подвеса заключается в том, что с увеличением амплитуды колебания приведенная длина маятника уменьшается и, следовательно, уменьшается его период, чем достигается некоторая компенсация его изохронности. Уменьшение приведенной длины маятника с увеличением амплитуды колебаний объясняется тем, что маятник на пружинном подвесе не имеет неподвижной оси вращения, а мгновенная ось вращения при колебаниях перемещается. Поэтому точки маятника, подвешенного на пружинном подвесе, при колебаниях движутся не по дугам окружностей, а по кривым, сходным с циклоидой так, что при увеличении амплитуды расстояние между центром тяжести маятника и мгновенным центром его вращения сокращается. При правильном

выборе размеров подвеса мгновенный центр вращения находится в средней трети находящихся между обоймами частей пружины. Оба свойства пружинного подвеса при увеличении амплитуды колебаний действуют на период колебания маятника в сторону его уменьшения, тем самым дают опережение хода часов, компенсируя отставание, возникающее от увеличения амплитуды.

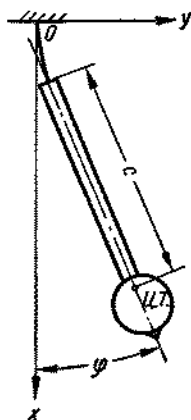
Изобразим обычный часовой маятник на пружинном подвесе (фиг. 85). Расстояние от центра тяжести маятника до нижнего конца подвесной пружины обозначено буквой s .

Если обозначить через r радиус кривизны упругой линии пружинного подвеса, то уравнение упругой линии будет [18]:

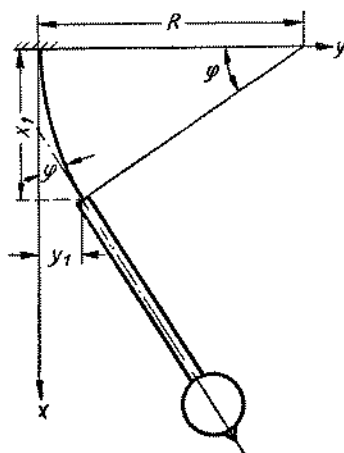
$$E \cdot J \frac{1}{r} = M_1.$$

где M_1 — изгибающий момент.

Считая, что изгибающий момент, а следовательно и радиус кривизны упругой линии пружины, постоянны по всей ее длине.



Фиг. 85. Часовой маятник на пружинном подвесе.



Фиг. 86. Схема маятника с постоянной кривизной пружины.

изобразим схему такого маятника (фиг. 86). Тогда упругая линия будет представлять собой дугу окружности радиуса R . В этом случае будут определены следующие соотношения:

$$\frac{l}{R} = \frac{\varphi}{l_n}; \quad x_1 = \frac{l_n}{\varphi} \sin \varphi;$$

$$y_1 = \frac{l_n}{g} (1 - \cos \varphi),$$

где l_n — длина пружинного подвеса,

Для приближенного определения периода колебаний маятника на пружинном подвесе можно пользоваться формулой [18]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{c^2 + \rho^2}{gc \left(1 + \frac{1}{\theta^2 c l_n}\right)}}, \text{ где } \theta = \sqrt{\frac{mg}{EJ}},$$

где, в свою очередь, ρ — радиус инерции маятника относительно оси, проходящей через центр тяжести маятника; $J = \frac{bh^3}{12}$ — момент инерции площади поперечного сечения пружин; возможно пользоваться и формулой профессора Дроздова

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{c + \frac{\rho^2}{c} + \frac{l_n}{2}}{g \left(1 + \frac{EJ}{l_n cmg}\right)}} = 2\pi \sqrt{\frac{c + \frac{\rho^2}{c} + \frac{l_n}{2}}{g \left(1 + \frac{1}{l_n c \theta^2}\right)}}.$$

Размеры пружинного подвеса подбираются в зависимости от веса и других параметров так, чтобы достигалась наилучшая изохронизация колебаний маятника в рабочем интервале амплитуд. Применяются пружины толщиной от 0,05 до 0,2 мм при ширине и длине от 2 до 10 мм. Прочность пружинного подвеса определяется по формуле нормальных напряжений.

Если изгибающий момент M , а сила растяжения $P = mg$, то расчетное напряжение будет

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} + \frac{P}{F} = \frac{EJ\varphi_{\max}}{Wl_n} + \frac{P}{F},$$

где $W = \frac{bh^3}{6}$ — момент сопротивления прямоугольного поперечного сечения пружины при изгибе, а $F = bh$ — площадь поперечного сечения пружины.

Условие прочности будет [18]

$$\sigma = \frac{E\varphi_{\max}}{l_n} \cdot \frac{h}{2} + \frac{mg}{bh} \leq \sigma_{\text{дон}}.$$

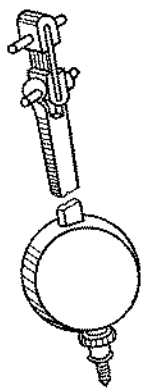
Величина допускаемого напряжения $\sigma_{\text{дон}}$ должна назначаться из условий долговечности работы подвесной пружины при знакопеременной нагрузке. Практика показывает, что напряжения в подвесных пружинах маятников не должны превосходить $\sigma_{\text{дон}} = 25 \text{ кг/мм}^2$.

5. СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА

Наиболее распространенным способом регулирования периода колебаний маятника является способ подъема или опускания груза

(линзы) маятника (фиг. 87). Величина требуемого смещения ΔL линзы маятника подсчитывается по формуле [19]

$$\Delta L = l \frac{2,3\Delta T}{T} \approx 27 \cdot 10^{-6} \Delta\omega l,$$



Фиг. 87. Регулирование периода колебаний маятника путем поворота гайки, поддерживающей линзу.

где ΔT — требуемое изменение периода колебаний;
 $\Delta\omega$ — изменение суточного хода часов.

Практически перемещение линзы осуществляется путем поворота гайки, поддерживающей линзу. Обычно в точных часах каждому обороту гайки соответствует определенная величина изменения суточного хода часов в секундах.

Поэтому при всех случаях регулирования такого маятника величина перемещения гайки определяется ценой одного ее поворота, выраженной в секундах суточного хода, а не расчетными формулами.

В некоторых конструкциях маятников регулирование периода колебаний осуществляется путем прибавления к маятнику добавочных грузиков, помещаемых на специальную полочку маятника. Изменение суточного хода $\Delta\omega$ в секундах, вызванное прибавлением грузиков ΔP , подсчитывается по формуле

$$\Delta\omega = 43\,200 \frac{\Delta P d}{P \lambda} \left(1 - \frac{d}{l}\right),$$

где d — расстояние полочки, на которую накладываются грузики от оси вращения маятника;

P — вес маятника;

λ — длина маятника, т. е. расстояние от центра тяжести до оси вращения;

l — приведенная длина маятника.

Период колебаний маятника зависит также от распределения масс в маятнике. Если перемещать какую-то деталь веса p вдоль стержня маятника, то суточный ход часов изменится и определится следующим выражением [19]:

$$\Delta\omega = 43\,200 \frac{p}{P} \left(1 - \frac{2d}{l}\right) \frac{\Delta d}{l}.$$

Из этой формулы видно, что когда грузик будет находиться в верхней части маятника (при $d < \frac{l}{2}$), произойдет ускорение колебаний, когда грузик будет в середине маятника (при $d = \frac{l}{2}$), ускорение будет равно нулю, а если грузик будет в нижней части маятника (при $d > \frac{l}{2}$), то произойдет замедление хода часов. Это свойство с успехом используется для устройства маятников с ртутной температурной компенсацией,

Ниже показаны изменения приведенной длины маятника часов при изменении суточного хода на 1 минуту [20]:

Число ударов маятника в один час	Приведенная длина маятника в мм	Изменение приведенной длины маятника при изменении суточного хода на 1 минуту	Число колебаний маятника в один час	Приведенная длина маятника в мм	Изменение приведенной длины маятника при изменении суточного хода на 1 минуту
3600	994	1,35	9 000	159,0	0,22
4000	805,0	1,09	9 400	145,9	0,20
4500	636,1	0,86	10 000	128,8	0,18
4800	559,1	0,76	10 600	114,6	0,16
5000	515,2	0,70	11 800	99,5	0,13
5400	441,7	0,60	12 300	85,1	0,12
6000	357,8	0,48	12 500	82,4	0,11
6500	304,9	0,41	12 900	77,4	0,11
7000	262,9	0,36	13 000	76,2	0,10
7200	248,5	0,34	13 400	71,7	0,10
7500	229,0	0,31	14 000	65,7	0,09
8200	191,6	0,26	14 400	62,1	0,09
8600	174,0	0,24	15 000	57,3	0,08

6. ТОЧНОСТЬ ХОДА ЧАСОВ. ПОПРАВКА И СУТОЧНЫЙ ХОД

Точность часов — главная характеристика качества часов как прибора измерения времени. Основным параметром в этой характеристике является поправка показания часов, т. е. величина, которую следует прибавить к показанию часов, чтобы получить точное время. Допустим, что в какой-то момент времени показание проверяемых часов будет e_1 , а эталонных часов e_2 , то разность их $\Delta e = e_2 - e_1$ будет называться поправкой часов. Если поправка с течением времени не меняется, достаточно перевести стрелки часов на соответствующую величину, чтобы получить точные часы. При изменении поправки с течением времени для оценки точности часов необходимо знать суточный ход часов, т. е. разность поправок, снятых через сутки. При изменении суточного хода с течением времени необходимо знать вариацию суточного хода, характеризующую изменчивость суточных ходов. Вариация характеризует стабильность хода часов и определяется качеством изготовления механизма и стабильностью свойств материалов, из которых он изготовлен. Вариация может быть также следствием различных внешних воздействий на часы: изменения положения, сотрясений и ударов, изменения температуры и т. д.

Если обозначить число полных колебаний маятника за сутки через N , период колебаний маятника при точном ходе часов через T и приращение периода через dT , то:

$$\omega = NdT.$$

Очевидно, что

$$NT = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86\,400 \text{ сек.}$$

$$N = \frac{86\,400}{T} = \frac{\omega}{dT},$$

откуда суточный ход часов

$$\omega = 86\,400 \frac{dT}{T}.$$

При положительном приращении периода колебаний, т. е. при $dT > 0$, период колебания маятника увеличится, а следовательно число колебаний маятника в сутки уменьшится, и часы будут отставать. При отрицательном приращении периода часы будут спешить. Следовательно, положительный суточный ход будет соответствовать отставанию, а отрицательный — опережению часов.

Обычно для бытовых часов основной качественной характеристикой является суточное отклонение хода, а для высокоточных специальных приборов времени вариация суточного хода.

Вариация суточного хода $\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \delta_i^2}{n-1}}$, где $\delta_i = \omega_{i+1} - \omega_i$;

($i = 1, 2, 3, \dots, n$); $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ и т. д. суточные хода за первые, вторые, третьи и последующие сутки испытаний часов; n — длительность испытаний в сутках.

7. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЕРИОД КОЛЕБАНИЯ МАЯТНИКА

При повышении или понижении температуры окружающей среды стержни маятников (как металлические, так и деревянные) изменяют свои линейные размеры, что приводит к изменению периода колебаний маятника, а следовательно к нарушению точности хода часов.

Стальной маятник длиной 994 мм, имеющий период колебаний $T = 2$ сек., при повышении температуры на 5° дает отставание хода часов на 2,5 сек. в сутки.

Теоретически зависимость периода колебаний T от температуры t по Боку выражается следующим соотношением:

$$T = \pi \sqrt{\frac{m(\rho^2 + \lambda^2)(1 + \alpha t)^2}{mg\lambda(1 + \alpha t)}} \approx T_0 \left(1 + \frac{\alpha}{2} t\right) \text{ сек.}$$

где m — масса маятника;

ρ — радиус инерции, отнесенный к центру тяжести маятника;

λ — расстояние между центром тяжести и осью вращения;

g — ускорение свободного падения;

α — температурный коэффициент линейного расширения материала маятника;

T_0 — период колебания при температуре 0°C ;

t — приращение температуры маятника.

Маятник в сутки совершает $\frac{86\,400}{T}$ колебаний.

Время каждого колебания при изменении температуры изменяется на $T - T_0$ сек.

Суточная ошибка хода при изменении температуры на t° будет равна

$$\omega = \frac{86\,400}{T_0} (T - T_0) = 43\,200 \alpha t.$$

С изменением температуры модуль упругости материала пружины подвеса маятника (пендельфедера) изменяется, пружина становится менее (при повышении температуры) или более (при понижении температуры) упругой. Это обстоятельство вызывает либо дополнительное отставание, либо дополнительное опережение хода часов, величина которого рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta\omega = \frac{21\,600}{l} \left[\frac{l_n}{\sin^2(\sqrt{A}l_n)} + \frac{\operatorname{ctg}(\sqrt{A}l_n)}{\sqrt{A}} \right] \frac{\Delta E}{E} \text{ секунды/сутки,}$$

где ΔE — приращение модуля упругости материала пружины подвеса;

l_n — длина пружины подвеса;

$$A = \frac{G}{EJ},$$

где, в свою очередь,

G — вес маятника;

J — момент инерции поперечного сечения пружинного подвеса.

Следует иметь в виду, что длина маятника здесь состоит в знаменателе и поэтому короткие маятники особенно чувствительны к изменениям температуры. Изменения температуры оказывают, кроме того, и косвенное воздействие на период колебания маятника, так как с изменением температуры увеличивается или уменьшается плотность воздуха. Влияние же изменения плотности воздуха на маятник проявляется в следующих видах:

1) Аэростатическое влияние — подъемная сила воздуха уменьшается или увеличивается, и маятник становится соответственно «тяжелее» или «легче».

2) Аэродинамическое влияние — масса воздуха, увлекаемая маятником, соответственно становится «легче» или «тяжелее».

3) Работа трения, которую производит маятник при движении в воздухе, соответственно уменьшается или увеличивается.

С этими же явлениями мы встречаемся при изменении барометрического давления. Барометрическая компенсация маятника будет рассмотрена в параграфе 9 настоящей главы.

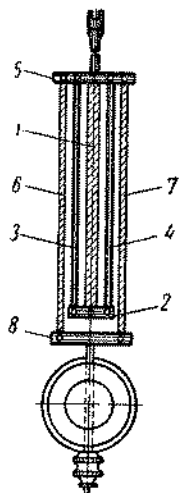
Приращение суточного хода при повышении температуры на 1°C называется температурным коэффициентом маятника.

Температурный коэффициент для маятника со стальным стержнем составляет 0,5 сек., для маятника с деревянным стержнем — 0,2 сек., для маятника со стержнем из инвара — 0,05 сек.

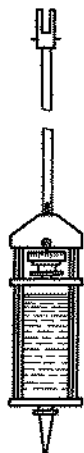
8. КОМПЕНСАЦИЯ МАЯТНИКА НА ТЕМПЕРАТУРУ

В целях устранения температурных влияний на ход часов, стремятся осуществить такую конструкцию маятника, при которой приведенная длина его была бы по возможности независима от изменения температуры окружающей среды. Широко распространено несколько типичных конструкций таких компенсационных маятников.

Маятник со стержневой компенсацией, или маятник Гаррисона (фиг. 88). Стальной стержень 1 имеет сверху серьгу для соединения с подвесом маятника, а внизу поперечину 2, на которую опираются два латунных стержня 3 и 4.



Фиг. 88. Маятник со стержневой компенсацией.



Фиг. 89. Ртутный маятник.

Эти латунные стержни связаны сверху поперечиной 5, к которой подвешены два стальных стержня 6 и 7, связанные внизу поперечиной 8. К поперечине 8 прикреплен стержень с нарезкой и гайкой, при помощи которой поддерживается линза маятника.

Для подсчета компенсации такого маятника пользуются уравнением

$$\alpha_c \sum l_c = \alpha_s \sum l_s,$$

где α_c и α_s — соответствующие коэффициенты линейного расширения стали и латуни, а $\sum l_c$ и $\sum l_s$ — соответствующие суммы длин стальных и латунных стержней, при этом парные стержни считаются за один.

Ртутный маятник, или маятник Грагама. Принципиальная схема такого маятника изображена на фиг. 89.

Этот маятник состоит из тонкого стержня, к нижнему концу которого подвешена подставка, на которой удерживается стакан со ртутью.

Компенсация такого маятника подсчитывается по уравнению [19]

$$h = \frac{2\alpha_1'c}{\gamma - 2\alpha_2 - \alpha_1},$$

где h — искомая высота уровня ртути в сосуде;

α_1 — коэффициент линейного расширения стержня маятника и боковых стержней подставки (сталь);

α_2 — коэффициент линейного расширения материала сосуда (стакана);

γ — коэффициент объемного расширения ртути ($181 \cdot 10^{-6}$);

l_c — расстояние от оси подвеса до середины сосуда со ртутью.

Расчет по этой формуле дает для секундного маятника высоту уровня ртути: при стеклянном стакане — 140 мм, при стальном — около 145 мм.

Инварные маятники. После того как академик Шарль Эдуард Гильом изобрел новый сплав — инвар, состоящий из 35,7% никеля и 64,3% железа и отличающийся чрезвычайно малым коэффициентом термического расширения, доктор Рифлер удачно применил этот сплав для компенсации маятников. Инварный компенсированный маятник Рифлера (фиг. 90) состоит из массивного инварного стержня 1, компенсационной трубки 2, удерживаемой в надлежащем положении при помощи гайки 3, линзы 4, опирающейся на эту трубку.

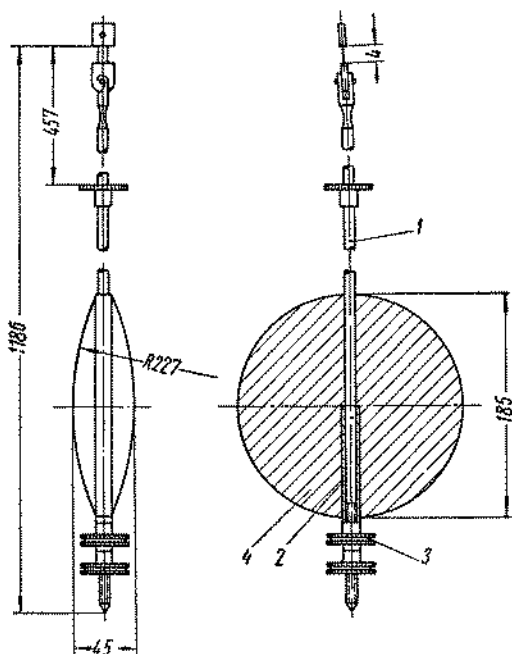
Коэффициент расширения компенсационной трубки должен быть в определенном соотношении с коэффициентом расширения инварного стержня. Чаще всего трубка делается составной из двух разных металлов, что дает возможность по желанию установить ее средний коэффициент линейного расширения.

Ошибка компенсации составляет для первоклассных маятников Рифлера типов J и J' в среднем $\pm 0,005$ сек. в сутки на 1°C . Для более дешевых маятниковых часов ошибка компенсации составляет примерно $\pm 0,02$ сек. в сутки на 1°C .

Инварные маятники конструктивно просты и обеспечивают высокую точность температурной компенсации, этим и объясняется их широкое применение в настоящее время.

Сравнительные характеристики коэффициентов линейного расширения различных материалов следующие:

Наименование материала	Коэффициент линейного расширения	Наименование материала	Коэффициент линейного расширения
Алюминий	0,000024	Латунь	0,000019
Бронза	0,000018	Медь	0,000017
Дерево	0,000006	Никель	0,0000135
Инвар	0,000001	Цинк	0,000030
Кварц	0,0000004	Сталь	0,0000115



Фиг. 90. Инварный маятник Рифлера.

Таблица параметров инварных компенсированных маятников Рифлера

Тип маятника	Количество качаний маятника в минуту	Длина маятника в см		Вес маятника в г	Чечевица				Суточное изменение хода с помощью регулir. гайки в сек.		Расстояние от оси качания до тарелочки для добавочного груза в см
		приведенная	действительная		Фо	Материал	Диаметр в см	Толщина в см	1 оборот	1 деление	
J	60 (секундный маятник)	99,4	119	7,35	Двойной усеченный конус	Никелир. латунь	18	6	40	0,4	49,7
J ¹	60 (секундный маятник)	99,4	118	7	Цилиндр	Золоченая латунь	8	16	40	0,4	27
J ²	60 (секундный маятник для башенных часов)	99,4	119	13,1	Двойной усеченный конус	Никелир. чугуи	23	8,5	40	0,4	49,7
K	60 (секундный маятник)	99,4	119	6,3	Линза	Никелир. латунь	21	8,5	32	0,6	49,7
L	80 (восьмидесятибойщик)	56	70	2,4	.	То	14	3	52	1,0	28
M	90 (девятистобойщик)	44,2	57	1,9	.	.	13	2,8	65	1,3	22
N	120 (полусекундный маятник)	24,85	37	1,4	.	.	12	2,4	112	2,2	12,4

9. БАРОМЕТРИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ МАЯТНИКА

Период колебаний маятника часов, не заключенных в воздухо- непроницаемый футляр, зависит от изменений атмосферного давления. С повышением давления период колебания маятника увеличивается, и наоборот, с понижением давления уменьшается. Величина изменения хода часов за сутки, выраженная в секундах, под влиянием изменения атмосферного давления на 1 мм ртутного столба называется барометрической постоянной.

Вполне очевидно, что при увеличении атмосферного давления, согласно закону Архимеда, маятник как бы теряет часть своего веса.

Период колебания при нормальном давлении можно выразить, как

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl - P_g l}},$$

где P_g — вес воздуха в объеме маятника.

Суточная ошибка хода при изменении давления на 1 мм ртутного столба называется барометрической постоянной маятника и будет равна

$$\omega_6 = \frac{86\,400}{T_0} (T - T_0),$$

причем

$$T = T_0 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{P_g}{mg} \right].$$

Допустим, что при давлении 760 мм рт. ст. 1 л воздуха весит 1,3 г, а 1 л вещества маятника — 7500 г.

Тогда

$$T = T_0 [1 + 0,000087]; \quad \frac{T - T_0}{T_0} = 0,000087.$$

а $\omega = 7,9$ сек.

Очевидно, что в этом случае барометрическая постоянная выразится, как: $\omega_6 = \frac{7,9}{760} \approx 0,01$ сек.

На величину барометрической постоянной влияет также и форма маятника.

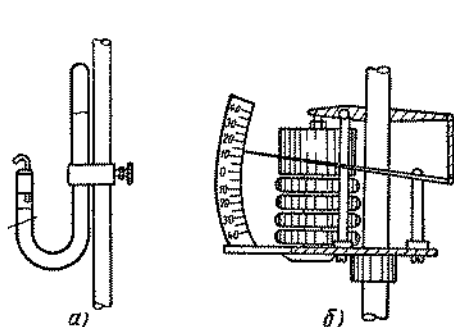
Сопоставим барометрические постоянные для маятников различной формы (по данным Рифлера):

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1) маятник — чечевица в форме двойного усеченного конуса | барометр. Постоянная 0,012 сек. |
| 2) маятник с анероидом, чечевица в форме двойного усеченного конуса | 0,014 сек. |
| 3) маятник — груз шарообразный | 0,016 сек. |
| 4) маятник — груз цилиндрический | 0,018 сек. |

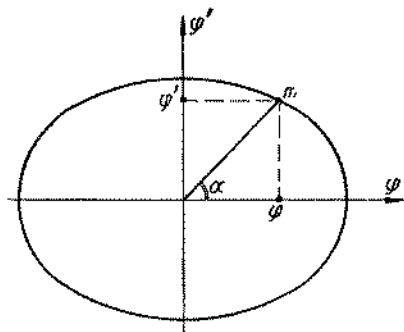
В настоящее время барометрическая компенсация маятников осуществляется двумя способами: при помощи ртутного манометра и при помощи анероида или сильфона.

Принцип барометрической компенсации при помощи ртутного манометра изображен на фиг. 91, а.

Манометрическая ртутная трубка закрепляется ниже середины стержня маятника. При изменении атмосферного давления ртуть



Фиг. 91. Барометрическая компенсация маятника.



Фиг. 92. Фазовая диаграмма системы баланс — спираль.

в закрытом колене трубки соответственно поднимается или опускается, что изменяет положение центра тяжести маятника и его приведенную длину, а следовательно и период колебания. Барометрическая компенсация маятника при помощи анероидной коробки или сильфона изображена на фиг. 91, б.

Груз (фиг. 91, б) поднимается или опускается в зависимости от расширения или сжатия коробок анероида, тем самым изменяя положение центра тяжести маятника, его приведенную длину и период колебания. Анероид также закрепляется на стержне маятника, немного ниже его середины.

Наилучшим способом устранения влияния атмосферного давления на колебания маятника является установка часов вместе с маятником в воздухонепроницаемом футляре, где создают разрежение до 600—650 мм рт. ст.

Кроме того, необходимо отметить, что, изменяя давление, можно очень точно регулировать ход часов.

Создавать же полный вакуум в герметическом футляре часов нельзя, так как при этом резко возрастает испаряемость смазки часов.

ГЛАВА VIII

ОСНОВЫ ТЕОРИИ, РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ БАЛАНСОВОГО РЕГУЛЯТОРА

1. ФОРМУЛЫ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЯ БАЛАНСА

Время, в течение которого баланс совершит одно полное колебание, называют периодом колебания.

Амплитудой колебания называют максимальный угол отклонения баланса от положения равновесия.

Величина периода обычно измеряется в секундах, а амплитуда — в градусах.

Число полных колебаний баланса за 1 секунду называется частотой колебаний.

Период T и частота N связаны между собой отношением

$$N = \frac{1}{T}.$$

Различают еще циклическую или круговую частоту n , т. е. число колебаний, совершаемых за 2π сек.

Циклическая частота колебаний системы баланс—спираль зависит от параметров баланса и спирали и может быть представлена следующим выражением:

$$n = \sqrt{\frac{M}{J}},$$

где J — момент инерции баланса относительно оси вращения;

M — упругая жесткость спирали (момент, развиваемый спиралью при закручивании ее на 1 радиан).

Если период колебаний выразить через циклическую частоту, то

$$nT = 2\pi \text{ и } T = \frac{2\pi}{n} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{M}{J}}} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{M}}.$$

Упругая жесткость спирали (волоска) выражается формулой

$$M = \frac{Ebh^3}{12L},$$

где L — длина спирали;
 b — ширина;
 h — толщина спирали,
 E — модуль упругости ее материала.

Подставляя в формулу периода колебаний значение M , получим

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{12JL}{Ebh^3}},$$

т. е. период колебания баланса прямо пропорционален квадратному корню из момента инерции баланса и длины спирали и обратно пропорционален корню квадратному из модуля упругости материала спирали, ширины и куба толщины спирали. Момент инерции баланса, в свою очередь, выражается через массу m и радиус инерции ρ формулой

$$J = m\rho^2,$$

тогда

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{12m\rho^2L}{Ebh^3}},$$

но так как масса $m = \frac{P}{g}$, где P — вес баланса, а g — ускорение силы тяжести, то

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{12P\rho^2L}{gEbh^3}}.$$

Из формулы видно, что период колебания баланса совершенно независим от амплитуды, что указывает на важное теоретическое преимущество баланса (изолированного) по сравнению с маятником. Колебания изолированного баланса изохронны при любых его амплитудах.

Выше, в гл. VII, мы приводили пример сравнения движения точки K с равномерным движением по окружности точки m (фиг. 81).

Аналогично можно графически представить и процесс колебания системы баланс — спираль.

Если на плоскости (называемой, в данном случае, фазовой) построить в прямоугольной системе координат кривую зависимости

$$\varphi = f(\dot{\varphi}),$$

где φ — угол отклонения баланса от положения равновесия;

$\dot{\varphi}$ — угловая скорость баланса,

то получим график, изображенный на фиг. 92.

Выясним характер этой кривой.

Известно, что закон колебательного движения выражается формулой

$$\varphi = C \cos(nt + \alpha),$$

где C — некоторый постоянный коэффициент, зависящий от исходных данных рассматриваемой системы.

Дифференцируя это уравнение, получим производную $\dot{\varphi}$:

$$\dot{\varphi} = -Cn \sin(nt + \alpha).$$

Преобразовав и возведя в квадрат полученные выражения, будем иметь:

$$\frac{\varphi^2}{C^2} = \cos^2(nt + \alpha);$$

$$\frac{\dot{\varphi}^2}{C^2 n^2} = \sin^2(nt + \alpha),$$

а сложив их

$$\frac{\dot{\varphi}^2}{C^2 n^2} + \frac{\varphi^2}{C^2} = 1,$$

получаем известное каноническое уравнение эллипса.

Таким образом, видим, что движение системы баланс — спираль на фазовой плоскости изображается эллипсом.

Подобные графики носят название фазовых диаграмм.

Для удобства пользования фазовыми диаграммами движение по эллипсу условно преобразуют в движение по окружности.

Для этого допускают, что

$$\frac{\dot{\varphi}}{n} = \dot{\varphi}_1,$$

тогда

$$\frac{\dot{\varphi}_1^2}{C^2} + \frac{\varphi^2}{C^2} = 1,$$

т. е. имеем каноническое уравнение окружности. Радиус этой окружности $C = \Phi$, где Φ — амплитуда.

Рассмотрим преобразованную фазовую диаграмму системы баланс — спираль (фиг. 93).

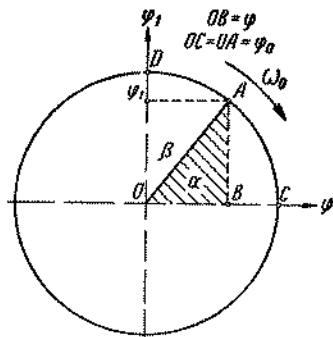
Если взять на полученной фазовой траектории (окружности) точку A , то она будет двигаться по часовой стрелке со скоростью, равной циклической частоте n .

Из треугольника AOB следует:

$$\Phi^2 = \dot{\varphi}_1^2 + \varphi^2 \text{ или } \dot{\varphi}_1^2 = \Phi^2 - \varphi^2.$$

По условию перехода к окружности:

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{\dot{\varphi}}{n} = \pm \sqrt{\Phi^2 - \varphi^2},$$



Фиг. 93. Преобразованная фазовая диаграмма системы баланс — спираль.

откуда получаем значение скорости:

$$\dot{\varphi} = n \sqrt{\Phi^2 - \varphi^2}.$$

Видим, что если $\varphi = \Phi$, то скорость минимальна и равна 0, а если $\varphi = 0$, то скорость максимальна и равна

$$\dot{\varphi} = n\Phi.$$

Пользуясь фазовой диаграммой, можно определить и время движения точки.

Зная значение пройденной дуги угла β (дуга DA), находим:

$$t_{DA} = \frac{\beta}{n},$$

но

$$\sin \beta = \frac{\varphi}{\Phi} \quad \text{и} \quad \beta = \arcsin \frac{\varphi}{\Phi}.$$

Следовательно, время движения точки по дуге DA выразится, как

$$t_{DA} = \frac{1}{n} \arcsin \frac{\varphi}{\Phi}.$$

Аналогично для участка AC будем иметь

$$t_{CA} = \frac{\alpha}{n},$$

где

$$\cos \alpha = \frac{\varphi}{\Phi}$$

и

$$\alpha = \arccos \frac{\varphi}{\Phi},$$

т. е.

$$t_{CA} = \frac{1}{n} \arccos \frac{\varphi}{\Phi}.$$

2. НЕУРАВНОВЕШЕННЫЙ БАЛАНС

Возьмем баланс с осью (но без волоска) и положим его цапфами на две параллельных горизонтальных ножевых опоры. Если центр тяжести баланса не совпадает с осью его вращения, т. е. если баланс неуравновешен, то под влиянием силы тяжести он повернется, и центр его тяжести окажется внизу. Баланс примет положение устойчивого равновесия.

Если центр тяжести баланса находится на оси его вращения, т. е. баланс уравновешен, то будучи положен на ножевые опоры, он сохраняет то положение, в котором его положили. В этом случае

если баланс слегка повернут, он примет новое положение и в этом положении останется (положение безразличного равновесия).

Неуравновешенность баланса может, например, вызываться следующими причинами:

1) Обод баланса с одной стороны толще или шире, чем с другой, тогда центр тяжести баланса сместится к утолщенной стороне обода, и при проверке уравновешенности баланса на ножевых опорах утолщенное место обода окажется внизу.

2) С одной стороны в обод баланса ввинчены более тяжелые винты, чем с другой. Центр тяжести баланса смещен по направлению к более тяжелым винтам, и при проверке уравновешенности сторона баланса, в которую ввинчены более тяжелые винты, окажется внизу.

3) Баланс эксцентрично насажен на ось, т. е. центр баланса не совпадает с центром оси баланса. Центр тяжести будет смещен по направлению к центру баланса.

Ограничимся приведенными примерами, так как причин неуравновешенности баланса может быть очень много. Неуравновешенность баланса нарушает точность хода часов при проверке их в вертикальном положении.

Установлено, что нарушения хода часов, происходящие от неуравновешенности баланса, зависят от положения центра тяжести баланса и от величины амплитуды его колебаний.

Если ось баланса горизонтальна и баланс не уравновешен, т. е. центр тяжести его лежит в точке *C* (фиг. 94) на расстоянии *a* по радиусу от оси вращения и этот радиус составляет с направлением силы тяжести угол δ , то относительное изменение периода колебания выражается формулой (по Филлипу)

$$\frac{\Delta T}{T} = - \frac{Pa}{M} \cos \delta F(\Phi),$$

где

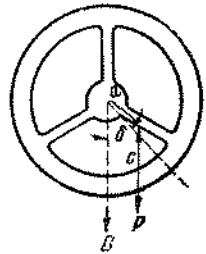
$$F(\Phi) = \frac{1}{2} - \frac{\Phi^2}{2^2 \cdot 2} + \frac{\Phi^4}{2^6 \cdot 2 \cdot 3} - \dots,$$

Φ — амплитуда баланса, выраженная в радианах.

Немецкий профессор Ганс Бок дает формулу для приближенных расчетов

$$\begin{aligned} \frac{\Delta T}{T} &= - \frac{Pa}{2M} \cos \delta \left(\frac{16}{\pi^2} - \frac{64}{\pi^4} \Phi + \frac{6\Phi^2}{4} \right) = \\ &= - \frac{Pa}{2M} \cos \delta (1,6211 - 0,011467\Phi + 0,00018763\Phi^2). \end{aligned}$$

Приведенные формулы показывают, что величина $\frac{\Delta T}{T}$ зависит, не только от амплитуды колебаний, но и от угла δ и других параметров колебательной системы.



Фиг. 94. Неуравновешенный баланс.

Если $a = 0$, то величина $\Delta T = 0$.

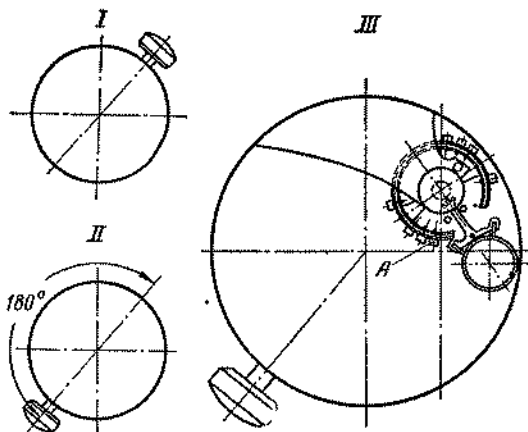
Если $\delta = 90^\circ$, то $\Delta T = 0$, но это условие справедливо только для одного определенного положения механизма.

Если $\delta = 0$, то $\Delta T = \text{max}$, т. е. имеет место наибольшее изменение периода колебаний баланса.

Эти выводы справедливы только для определенной амплитуды Φ_0 и определенного положения баланса.

Вообще же при $\delta = 0$ и $\Phi_0 = 219^\circ 32' 27''$, т. е. примерно 220° , величина изменения периода $\Delta T = 0$.

Степень изменения хода в зависимости от амплитуды помогает часовщику вскрывать неуравновешенность баланса.



Фиг. 95. Два положения часов, дающие максимальную разницу в ходе.

Неуравновешенность баланса происходит не только от того, что неправильно распределены массы в теле баланса, но и вследствие неуравновешенности спирали и ролика.

Сущность позиционного регулирования часов и состоит в том, чтобы система баланс — спираль была предельно уравновешена.

Экспериментами к. т. н. А. М. Торгова (НИИЧАСПРОМ) установлено, что уравновешивание баланса на ио-

жевых опорах (балансовых весах) не может обеспечить удовлетворительного регулирования часового механизма, особенно в тех случаях, когда амплитуда колебания баланса падает ниже 180° .

Испытывая часы на ППЧ (прибор проверки хода часов) при горизонтальном положении оси баланса, находят два положения часов, при которых получается максимальная разница в ходе: положение I, при котором получено максимальное показание прибора, и положение II, при котором получено минимальное показание прибора.

На фиг. 95 III позицией A указана наиболее утяжеленная часть обода баланса. Известно, что нарушения хода часов, происходящие от неуравновешенности баланса, зависят от положения центра тяжести баланса и от величины амплитуды его колебаний. Например, при положении центра тяжести над осью баланса часы при амплитуде, меньшей 220° , будут спешить, при амплитуде 220° будут идти правильно и при амплитуде, большей 220° , будут отставать.

Производя испытания часов на точность хода в вертикальных положениях и при различных амплитудах, можно обнаружить наличие неуравновешенности баланса и найти направление смещения центра тяжести баланса.

Приведенное выше пояснение дано для общего понимания вопроса, так как при серийном и массовом регулировании часов к таким наблюдениям прибегать практически невозможно и нужно стремиться к тому, чтобы заранее гарантировать качество регулирования путем предварительного и самого тщательного уравнивания баланса на специальном приборе.

3. ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИИ СПИРАЛИ И ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ

До сих пор мы рассматривали колебания баланса, пренебрегая массой самой спирали. Однако теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что влияние массы спирали сильно сказывается на изохронизме баланса. Опуская подробности сложных математических выводов, приводим готовую формулу Э. Каспари зависимости периода колебания изолированного уравновешенного баланса хронометра, снабженного цилиндрической спиралью [19]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{M}} \sqrt{1 + \eta^2} \left(1 + \frac{15}{16} \cdot \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} \cdot \frac{\Phi}{\Phi_0^2} \right),$$

где $\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{mr_0^2}{J}$;

m — масса спирали;

r_0 — начальный радиус винтовой спирали при ее положении равновесия;

Φ_0 — начальное угловое протяжение спирали ($\Phi_0 = 2\pi n$, где n — число витков).

Здесь постоянный множитель $\sqrt{1 + \eta^2}$ вызывает увеличение периода колебаний, но не нарушает изохронизма.

Второй же член бинорма в скобках вызывает увеличение периода колебаний с увеличением амплитуды.

Вывод: Инерция спирали расстраивает изохронизм колебаний, вызывая опережение на малых амплитудах.

Для приближенных расчетов изменение периода колебания, вызываемое инерцией спирали, можно представить формулой

$$\Delta T = \frac{5}{2} \pi \sqrt{\frac{J}{M}} \frac{mr_0^4}{Jh^2} \Phi.$$

Из этой формулы можно установить, что влияние инерции спирали в остальном одинаковых балансов возрастает: пропорционально массе спирали; пропорционально четвертой степени ее радиуса; пропорционально первой степени амплитуды баланса; обратно пропорционально квадрату длины спирали,

Необходимо отметить, что спирали с большим радиусом слншком отзывчивы на вибрации и под влиянием внешних толчков их витки могут переплетаться.

Практически всегда стремятся изготовлять спираль с возможно меньшей массой.

До сих пор мы рассматривали период колебания монометаллического баланса (со сплошным ободом), а следовательно не учитывали влияние центробежной силы. В компенсационном балансе (биметаллическом), обод которого разрезан на две части, центробежная сила во время колебания баланса увеличивает радиус кривизны обода, вследствие чего происходит увеличение периода колебания баланса при увеличении амплитуды колебаний.

4. СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЯ БАЛАНСА

В практической работе хронометристы пользуются следующими способами регулирования периода колебания баланса:

- а) изменением J путем изменения массы баланса;
- б) изменением J путем частичного смещения масс баланса;
- в) изменением M путем изменения длины спирали.

а) Регулирование путем изменения массы баланса

Изменение массы баланса достигается заменой винтов балансов на более тяжелые или более легкие. Чтобы не нарушить при этом уравновешенность баланса, смена винтов производится в диаметрально противоположных частях баланса. Изменение периода колебаний баланса связано с изменением момента инерции формулой

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \frac{\Delta J}{J};$$

так как момент инерции баланса $J = \frac{P}{g} \rho^2$, то приращение J , вызванное прибавлением двух грузиков с общим весом $2p$ на расстоянии ρ_1 от оси вращения, будет

$$\Delta J = \frac{2p}{g} \rho_1^2.$$

Относительное изменение периода колебания баланса выразится формулой

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{p}{P} \left(\frac{\rho_1^2}{\rho} \right).$$

Так как $\Delta \omega = 86\,400 \frac{\Delta T}{T}$, то вес одного прибавляемого грузика определится следующим выражением:

$$p = \frac{\Delta \omega P}{86\,400} \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^2.$$

Вместо смены винтов пользуются также методом подкладки шайб под винты.

б) Регулирование путем частичного смещения масс баланса

Этот способ характеризуется формулой

$$\Delta \rho_1 = \frac{\Delta \omega \rho_1}{86400} \cdot \frac{J}{J_1},$$

где $\Delta \rho_1$ — смещение каждого из винтов;

ρ_1 — среднее расстояние винтов от оси баланса;

J — момент инерции баланса;

J_1 — момент инерции двух перемещаемых винтов относительно оси баланса.

По данным Н. Х. Прейпича для изменения суточного хода карманного хронометра на 60 сек. требуется сместить каждый из двух винтов всего лишь на 0,13 мм.

в) Регулирование путем изменения длины спирали

Этот способ основан на зависимости

$$\Delta L = \frac{\Delta \omega L}{43200},$$

где L — длина спиралей.

5. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОЛЕБАНИЕ БАЛАНСА

Формулы периода колебания баланса, приведенные нами выше, имели отношение к изолированному балансу, колеблющемуся совершенно свободно без воздействия на него в процессе колебания каких-либо внешних сил. В хронометрах или в часах баланс, будучи сопряжен с прочими частями механизма, фактически не является изолированным и потому подвержен действию внешних сил, отражающихся на его периоде колебания. Даже при прохождении дополнительных дуг, когда баланс не связан с прочими частями механизма, на него действуют силы трения. При прохождении же угла импульса и угла покоя на баланс, помимо сил трения, действуют дополнительные возмущающие силы.

В предыдущем объяснении предполагалось, что на систему баланс — спираль, отклоненную от положения равновесия, действует только восстанавливающая равновесие упругая сила спирали, зависящая лишь от положения системы. При этом условно запас энергии системы остается постоянным в течение всего процесса движения. Раз начавшись, движение не прекращается и происходит с неизменной амплитудой. В действительности же этого нет, механическая энергия расходуется на преодоление неизбежных сил сопротивления

движению. Действие этих сил сопровождается диссипацией (рассеянием) механической энергии системы.

Чтобы восполнить потерю энергии на преодоление моментов сил сопротивления, система баланс — спираль периодически получает импульсы от спускового колеса. При этом условии движение системы баланс — спираль становится колебательным движением при наличии сил сопротивления.

Баланс в процессе работы спускового регулятора периодически находится под действием возмущающих сил (сила освобождения и импульс).

Возмущающие силы действуют на систему баланс — спираль в моменты, не совпадающие с равновесным положением системы, поэтому они вызывают изменение времени, потребного на прохождение амплитуды колебания.

Баланс, сопряженный с механизмом, имеет период колебания больший, чем у свободно колеблющейся системы.

Влияние возмущающих сил на период колебания баланса может быть изучено, исходя из следующих положений:

а) Мгновенные или постоянные силы, действие которых направлено от положения равновесия, замедляют эту часть колебания.

б) Влияние возмущающих сил тем больше, чем дальше баланс от положения равновесия и чем меньше амплитуда его колебаний.

в) Всякая сила, действующая на баланс в момент прохождения им положения равновесия, периода колебаний не изменяет.

Проф. Ф. В. Дроздов вывел следующую формулу суточной ошибки спускового регулятора часов:

$$\Delta\omega = 86\,400 \frac{1}{4\pi A} (A_i r + A_0 i) \frac{1}{\Phi},$$

где A — кинетическая энергия баланса;

A_i — работа импульса;

r — угол освобождения;

A_0 — работа освобождения;

i — угол импульса.

На основании этой формулы он сделал следующее совершенно справедливое заключение.

Спусковой регулятор колебательной системы, работающей совместно со спуском, как правило, дает период колебания, зависящий от амплитуды, т. е. колебания системы не изохронны. Такое положение позволяет установить суточную ошибку хода, зависящую от конструкции спускового регулятора.

Можно считать установленным, что суточная ошибка хода, даваемая спусковым регулятором:

а) тем меньше, чем больше кинетическая энергия колеблющейся системы; б) тем меньше, чем меньше работа возмущающих сил во

время освобождения и импульса; в) тем меньше, чем больше амплитуда колебаний баланса или маятника.

Это положение представляет собой закон, которому подчиняется любой спусковой регулятор.

6. ВЛИЯНИЕ НА ИЗОХРОНИЗМ ХОДА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ, ПРОВИСАНИЯ СПИРАЛИ, УГЛА ПРИТЯЖКИ

Опытами установлено, что вследствие трения даже теоретически правильно изготовленная зубчатая передача вызывает изменение амплитуды, а следовательно и порождает непостоянство периода колебаний.

В результате несовершенства технологического процесса изготовления колес, платин и мостов, часто искажаются профиль и размеры нарезанных зубьев, меняются расстояния между центрами, что приводит к сильному нарушению изохронизма. Причина этого заключается в непостоянстве передаваемого крутящего момента от двигателя к спусковому колесу. Особенно сильно изменяется величина момента сил при передаче трибами с малым числом зубьев, колесами, имеющими большой эксцентриситет, а также и при увеличенных расстояниях между центрами зацеплений.

Неровности зубьев, сближение центров приводят к заклиниванию колес, а также к резкому падению амплитуды либо к полной остановке механизма.

Известно, что к. п. д. зубчатой пары при эвольвентном зацеплении составляет 98,5%, а при циклоидальном корригированном зацеплении — 98,9%. Казалось бы, что ввиду почти равных величин к. п. д. выбор зацепления безразличен, тем не менее в приборах времени, где преобладают большие передаточные отношения, целесообразнее пользоваться циклоидальным зацеплением, так как при нем создается меньшая опасность заклинивания до линии центров вследствие так называемого входящего трения.

Опытами установлено, что при изменении положения часов с горизонтального на вертикальное происходит провисание спирали под влиянием веса спирали. При этом происходит смещение центра тяжести спирали вниз от оси вращения за счет того, что витки над осью сближаются, а под осью расходятся. Центр тяжести спирали непрерывно перемещается ввиду быстрого движения волоска и влияния инерционных сил.

Провисание спирали вызывает отставание часов.

Провисание спирали уменьшается: с сокращением диаметра спирали, с увеличением модуля упругости материала спирали, с возрастанием амплитуды колебаний баланса, с уменьшением удельного веса материала спирали, с увеличением толщины и уменьшением ширины спирали. При подборе спирали указанные положения необходимо учитывать.

Влияние угла притяжки на изохронизм проявляется следующим образом. В момент освобождения спусковое колесо вследствие наличия угла притяжки отбрасывается назад.

Чем быстрее происходят колебания баланса, а следовательно, быстрее совершается освобождение, тем на большее расстояние отбрасывается спусковое колесо. Чем больше угол притяжки, тем дальше отбрасывается спусковое колесо при освобождении.

В следующий момент после отхода назад спусковое колесо под действием заводной пружины устремляется вперед, зуб спускового колеса сообщает импульс балансу на большем или меньшем расстоянии от положения равновесия в зависимости от угловой скорости баланса. Нетрудно видеть, что величина импульса постоянно меняется, как в равной степени меняется и точка начала импульса, перемещаясь в ту или другую сторону.

7. ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ В ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМАХ

Чтобы правильно понять воздействие изменений температуры на ход часов, нужно выяснить, как влияет температура на различные элементы регулирующей системы баланс — спираль.

Период колебаний баланса T выражается формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{M}},$$

где J — момент инерции баланса;

M — момент сил упругости спирали при закручивании последней на угол в 1 радиан.

Момент инерции определяется формулой

$$J = mr^2.$$

Здесь m — масса баланса;

r — радиус инерции, приблизительно пропорциональный радиусу баланса.

Момент волоска

$$M = \frac{Ebh^3}{12L}.$$

Период колебания баланса будет:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mr^2 12L}{Ebh^3}}.$$

Проследим влияние изменения температуры на различные члены формулы.

Масса m не зависит от температуры. Однако известно, что при возрастании температуры металлы расширяются. Поэтому температура сказывается на значениях r , L , b и h .

Это влияние, правда, незначительно, отчасти оно компенсируется, так как некоторые из членов, зависящих от температуры, находятся в числителе, а другие — в знаменателе формулы периода колебаний. Преобладающее влияние на изменение хода от воздействия температуры оказывает термоэластический коэффициент волоска. Точные методы позволяют определить изменения модуля упругости в зависимости от температуры, т. е. измерить термоэластический коэффициент сплава волоска.

Практически часы с латунным балансом и стальным волоском отстают примерно на 11 сек. в сутки при увеличении температуры на 1°C .

Например, часы, правильно отрегулированные при 20°C , будут отставать приблизительно на 2 мин. в сутки, если температура повысится до 31°C . Наручные часы в летнее время могут иметь температуру 40° , а зимой 0° . Перепад температуры (в этом случае 40°) приведет к разнице хода часов $11 \times 40 = 440$ сек., т. е. больше 7 мин. в сутки, что абсолютно недопустимо.

Всякие хорошие часы должны иметь приспособление, по возможности уменьшающее влияние температуры на их ход. Все современные хорошие часы и хронометры снабжаются компенсированной на температуру системой баланс — волосок.

Для получения температурной компенсации часов в основном применяются два метода: компенсация с помощью волоска и компенсация с помощью баланса.

Компенсация с помощью волоска. Этот способ осуществляется путем применения для волоска сплава, модуль упругости которого не зависит от температуры. В действительности термоэластический коэффициент должен несколько отличаться от нуля, чтобы уравновесить изменения размеров баланса и волоска в зависимости от температуры.

Такой простейший способ стал применяться недавно. Он предполагает создание сплавов с очень малым термоэластическим коэффициентом, которые не были известны в прошлом веке.

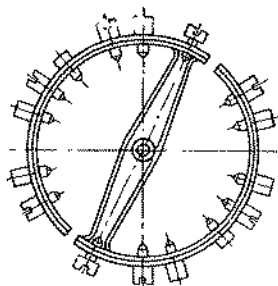
В начале настоящего столетия был создан первый сплав с низким термоэластическим коэффициентом, относящийся к группе никелевых сталей и названный элинваром. Ныне эти сплавы, усовершенствованные и выпускаемые различными фирмами под названиями «элинвар», «метэлинвар», «ниварокс» и т. д., позволяют изготавливать самокомпенсирующиеся волоски. Такие волоски в соединении с балансами из мельхиора или из бериллиевой бронзы обеспечивают высокую точность хода часов.

Первые волоски из элинвара осуществляли температурную компенсацию только в узких пределах изменения температуры. Новые волоски из метэлинвара и ниварокса имеют термоэластический коэффициент, очень близкий к нулю, в широком интервале температур. Часы с такими волосками отличаются ходом, почти не зависящим от температуры в гораздо более широких

границах. Сплавы для этих волосков весьма сложны по составу. Имея в основе железо и никель, они содержат, кроме того, многие компоненты, например: углерод, марганец, вольфрам, молибден (сплав метэлинвар), или марганец, кремний, бериллий, вольфрам (сплав ниварокс).

Изготавливаются волоски, у которых температурный коэффициент (т. е. суточное отклонение хода на один градус) меньше 0,5 сек., в практических пределах изменения температуры.

Этот способ компенсации широко применяется в наши дни, особенно в наручных часах. Он позволяет получать также волоски, мало чувствительные к действию магнитного поля. Подробнее об этом будет сказано ниже.



Фиг. 96. Биметаллический баланс.

Качество температурной компенсации, создаваемой такими волосками, зависит от технологии их производства и несколько меняется в зависимости от плавки. Это одна из причин, всегда приводимых в пользу системы компенсации посредством баланса, применяемой для точных хронометров.

Компенсация с помощью баланса. Такой метод применяется уже долгое время. Впервые он был предложен во второй половине XVIII в. Леруа. Оригинальная конструкция баланса была создана в конце того же века И. П. Кулибиным.

Обод баланса в виде кольца изготавливается из двух неодинаково расширяющихся сплавов, например, из стали и латуни. Он разрезается затем в двух диаметрально противоположных местах. Баланс превращается, таким образом, в пару биметаллических дуг. Сплав, расширяющийся сильнее (латунь), находится с внешней стороны, сплав с меньшим коэффициентом линейного расширения (сталь) — с внутренней (фиг. 96).

При возрастании температуры латунь удлиняется больше, чем сталь, и биметаллическая пластинка немного изгибается по направлению к центру баланса. Момент инерции баланса при этом уменьшается, вызывая ускорение хода, рассчитанное таким образом, чтобы компенсировать отставание, которое получают в данных условиях часы под влиянием уменьшения модуля упругости волоска.

Съемные винты, расположенные на окружности баланса, позволяют корректировать компенсацию. Она увеличивается при установке винтов около свободных концов дуг (около разреза). Теория биметаллического баланса впервые была разработана в 1863 г. Она позволяет вычислить необходимую толщину металлических пластинок обода баланса. Если обозначить через e_1 и e_2 толщины внешней и внутренней пластинок обода баланса, а через E_1 и E_2 — модули

упругости соответствующих материалов, можно найти наивыгоднейшее соотношение толщин по формуле

$$\frac{e_1}{e_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}},$$

из которой следует, что отношение толщин двух металлов должно быть обратно пропорционально квадратному корню из отношения их модулей упругости. Если общая толщина биметаллической пластинки сталь — латунь равна e , то толщина стали соответственно будет $\frac{2}{3}e$, а латуни — $\frac{1}{3}e$.

Казалось бы, проблема компенсации, таким образом, разрешается. Однако это не совсем так. Если биметаллический баланс позволяет точно регулировать часы для двух заданных температур, например, $+4^\circ$ и $+32^\circ$, то ход при $+18^\circ$ (температуре, средней между заданными) может оказаться неправильным. Существует так называемая вторичная ошибка, обнаруженная еще в конце XVIII в. Она может составлять 2—5 сек. в сутки.

Теперь вторичная ошибка хорошо изучена. Она объясняется тем, что измененне хода в зависимости от температуры, связанное с изменением модуля упругости материала волоска, имеет параболический характер, а отклонение, вносимое балансом из стали и латуни, выражается прямой линией. В результате ход часов характеризуется параболической кривой, пересекающей линию температур лишь в двух точках. Обычно эти точки выбирают соответствующими температуре $+4^\circ$ и $+32^\circ$.

Условием постоянства хода будет постоянство отношения $\frac{J}{M}$ (из формулы $T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{M}}$, где J — момент инерции баланса, а M — жесткость спирали).

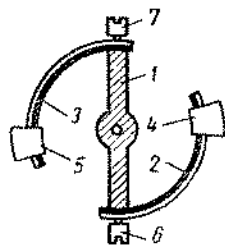
Первые попытки регулирования хода хронометров на температуру связываются с опытами, проводившимися еще в 1757 г., когда морские часы снабжались биметаллическим градусником. Этот градусник имел такое устройство: стальная и латунная пластинки, скрепленные винтами в нескольких точках, имеют на свободных концах два штифта, между которыми проходит спиральная пружина баланса.

Если температура повышается, то двойная пластинка, первоначально прямолинейная, изгибается — при этом металл с наибольшим коэффициентом расширения (латунь) будет на выпуклой стороне изогнутого соединения, а при понижении температуры — на вогнутой стороне.

Таким образом, биметаллический градусник автоматически укорачивал рабочую длину спирали при повышении температуры и, наоборот, удлинял ее при понижении температуры.

Однако эти опыты положительных результатов не дали.

Баланс с разрезным биметаллическим ободом из стали и латуни был впервые изготовлен в 1765 году. Обе пластинки обода (латунь снаружи, сталь внутри) были соединены винтами. Изменение кривизны пластинок, составляющих обод, происходит так, что при повышении температуры свободные концы обеих половинок пластин приближаются к оси баланса и тем самым уменьшается момент инерции баланса, а при понижении температуры — наоборот. Дальнейшее усовершенствование компенсационного баланса шло в направлении соединения разнородных металлов обода методом склепки и пайки.



Фиг. 97. Компенсационный баланс.

Больших успехов в изготовлении биметаллических балансов хронометра добились в 1785 г., введя сваривание латунного и стального колец, составляющих обод баланса.

Такой баланс для морских хронометров (фиг. 97) по своей конструкции и способу изготовления почти ничем не отличается от современных биметаллических балансов хронометров. Он состоит из перекладины (баррета) 1, двух биметаллических дуг 2 и 3, составляющих одно целое с барретом; внутренние части дуг изготовлены из стали, а внешние — из латуни.

На дуги обода насажены два груза 4 и 5, перемещая которые можно регулировать действие температурной компенсации. Винты 6 и 7 служат для регулирования основного периода колебания баланса.

Уже сравнительно давно изобретатели, учитывая преобладающее влияние термоэластического коэффициента спирали, искали более подходящего для нее материала, чем сталь, проводя эксперименты с золотом, серебром, стеклом и палладием.

Так, например, в 1833 г., изучая ход хронометра, Деит получил температурные приращения хода при стальной спирали $+10,2$ сек., при спирали из палладиевого сплава $+2,6$ сек.; при стеклянной спирали $+1,1$ сек.

Баланс, образованный из биметаллического кольца сталь — латунь, которое было сначала спаяно, затем разрезано, оставался в течение почти двух столетий единственным и неизменным органом компенсации. Механическая точность регулирования при этом была всегда ограничена возмущением изохронизма, присущим разрезному балансу. Принцип биметаллической компенсации не мог быть заменен вплоть до того времени, когда прогресс металлургии дал возможность искать компенсацию внутри молекулярной структуры новых сплавов.

Из практики часового производства известно, что хронометр без компенсации может постоянно быть отрегулированным для любой определенной температуры, однако это регулирование недействительно для всякой другой температуры. Если хронометр снабжен

компенсационным балансом, то можно, избрав соответствующую компенсацию, отрегулировать хронометр для двух данных температур.

Опыт показал, что регулирование не является действительным для других температур, кроме двух избранных. Ошибки хода в этом случае подчиняются, в основном, следующим правилам [19], [22]:

а) между двумя заданными температурами хронометр уходит вперед;

б) при всякой температуре, выходящей за предел двух заданных температур, хронометр отстает.

Изменяя температуру постепенно от одного крайнего предела до другого и проводя кривую, абсциссы которой выражают температуру, а ординаты — соответствующий суточный ход, мы получаем кривую, близкую к параболе. Если обозначить суточные ходы при температурах t_1 , t_2 и t_0 через ω_1 , ω_2 и ω_0 , то разность, определяемая уравнением

$$S = \omega_0 - \frac{1}{2} (\omega_1 + \omega_2),$$

называется вторичной ошибкой компенсации, или аномалией Дента [19].

Если обозначить через ω_{cp} среднеарифметическую величину из ω_1 , ω_2 и ω_0 , а через t_{cp} — такое же среднее из t_1 , t_2 и t_0 , то средняя температурная погрешность, или средняя погрешность компенсации определится формулой

$$E_{\tau} = \pm \frac{(\omega_{cp} - \omega_1) + (\omega_{cp} - \omega_2) + (\omega_{cp} - \omega_0)}{(t_{cp} - t_1) + (t_{cp} - t_2) + (t_{cp} - t_0)}.$$

Величина E_{τ} , взятая со знаком \pm , есть средняя абсолютная величина изменения хода хронометра от температур компенсации к температуре регулирования и в хороших хронометрах не должна превышать 0,2 сек. [19].

Средняя погрешность компенсации характеризует компенсацию в целом, не давая представления о функциональной зависимости между ходом хронометра и его температурой.

Для устранения вторичной ошибки компенсации предлагалось значительное число конструкций балансов с добавочной или вторичной (вспомогательной) компенсацией.

Теорию вторичной ошибки разработал академик Шарль Эдуард Гильом.

Он показал, что все термические коэффициенты сами являются линейными функциями температуры. Поэтому размеры обычного баланса, спирали, а также и величина модуля упругости и, следовательно, величина момента инерции баланса и момента сил

упругости спиралл являются квадратичными функциями температуры.

Сталь и латунь, входящие в состав биметаллического обода баланса, имеют средние между 0° и t° термические коэффициенты удлинения:

$$d_1 = (10,4 + 0,0052t) \cdot 10^{-6};$$

$$d_2 = (18,6 + 0,0055t) \cdot 10^{-6}.$$

Радиус кривизны поверхности спая, зависящий от разности коэффициентов ($d_2 - d_1$) все-таки меняется линейно вследствие близости вторых членов в биномах расширения d_2 и d_1 .

Из этого следует, что и момент инерции баланса меняется линейно и не может служить причиной появления вторичной ошибки.

Вторичная ошибка получается главным образом за счет квадратичного закона изменения модуля упругости спиралл и за счет изменения размеров спиралл.

Правильность этих теоретических выводов подтверждается практикой решения задачи вторичной компенсации. Н. Х. Прейпич доказывает, что условие совершенной компенсации, свободной от вторичной ошибки, для баланса со стальной спиралью определяется следующими уравнениями:

$$Q = \frac{\beta_2 - \beta_1}{d_2 - d_1} + 0,01 = 0;$$

$$Q = \frac{2}{3} \frac{d_2 - d_1}{e'}; \quad e' = \frac{e_1 + e_2}{R},$$

где e_1 и e_2 — толщины полосок, образующих биметаллический обод;

R — радиус кривизны поверхности спая.

$d_1 = \alpha_1 + \beta_1 t$ } — биномы термического удлинения металлов пластин,
 $d_2 = \alpha_2 + \beta_2 t$ } образующих биметаллический обод.

При этом предполагается, что толщины e_1 и e_2 подобраны по условию

$$e_1 : e_2 = \sqrt{E_2} : \sqrt{E_1}.$$

Физический смысл этих условий заключается в обеспечении квадратичного закона температурных изменений в одинаковой степени как для момента инерции баланса J , так и для момента сил упругости спиралл M .

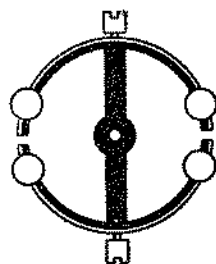
Поэтому отношение $\frac{J}{M}$, определяющее период колебания баланса, получается независимым от температуры.

Подходящим металлом, образующим с латунью нужную пару, является никелевая сталь с 42—44% содержания никеля.

Средний между 0° и t° коэффициент термического расширения этого сплава есть $d = (8,508 - 0,0025t) 10^{-6}$, что и обеспечивает выполнение условий формулы.

На основе использования теоретических предпосылок, указанных выше, была создана новая форма так называемого интегрального баланса (фиг. 98). Основным отличием интегрального баланса от обычного компенсационного является то, что дуги обода закрепляются не концами, а серединой и вместо двух компенсационных грузиков поставлено четыре (это обстоятельство делает баланс менее чувствительным к влиянию центробежной силы) и то, что для внутреннего обода интегрального баланса применяется никелевая сталь.

В настоящее время интегральный баланс в морских хронометрах вытеснил все другие системы балансов. Только английская фирма Юз продолжает ставить балансы со вспомогательной компенсацией. Необходимо отметить, что вспомогательная компенсация, усложняя форму баланса, нередко является причиной заметных скачков в ходах хронометров, и поэтому в морских ведомствах некоторых стран применение хронометров со вспомогательной компенсацией баланса запрещено.



Фиг. 98. Интегральный баланс.

Интегральный баланс отечественного морского хронометра изготовлен из следующих материалов:

- наружный обод баланса — латунь марки ЛС63-3;
- внутренний обод баланса — никелевая сталь марки ЭН36 следующего состава:

углерод	0,10—0,16%	фосфор	0,03%
марганец	0,4%	хром	0,25%
кремний	0,35%	никель	35—37%
сера	0,015%		

- спираль — сталь ЭУ12.

Компенсационные свойства баланса отечественного морского хронометра вполне обеспечивают требования технических условий на морские хронометры, но тем не менее необходимо добиваться получения более совершенных сплавов, так как требования к точным приборам времени в связи с развитием советской науки и техники повышаются с каждым годом.

Интегральный баланс морского хронометра фирмы Ланге, как нами установлено, изготовлен из следующих материалов:

- наружный обод баланса — латунь типа Л64 — Л66;
- внутренний обод баланса — никелевая сталь состава: никель 40,4%, хром 1,82%, марганец 1,37%, остальное железо;
- спираль — углеродистая сталь с содержанием углерода 1,44%.

Компенсационные свойства системы баланс — спираль хронометра фирмы Ланге вполне удовлетворительны.

8. СПЛАВЫ ДЛЯ СПИРАЛЕЙ

Элинвар. В 20-х годах текущего века был открыт более совершенный материал для спиралей, чем углеродистая сталь. Это сплав элинвар, представляющий собой ферроникелевый сплав с добавлением хрома, углерода и вольфрама. Модуль упругости элинвара от действия окружающей температуры почти не изменяется.

Структура элинвара после отжига представляет собой аустенит плюс карбиды, богатые хромом и вольфрамом.

Недостатком этого сплава является заметно большая его вязкость, чем стали, вызывающая повышенное внутреннее молекулярное трение, что влечет за собой заметное уменьшение амплитуды колебаний баланса хронометра, а следовательно, и худшую его регулируемую способность. Поэтому элинвар пока нашел применение в производстве волосков для карманных, наручных и др. часов бытового назначения. Элинварный волосок применяется в паре с монометаллическим латунным балансом. Элинвар имеет следующий состав:

Плавка № 1

Углерод	— 0,66%	Кремний	—0,42%
Хром	— 7,20%	Вольфрам	—3,10%
Никель	—33,81%	Фосфор	—0,02%
Марганец	— 2,52%		

Плавка № 2

Углерод	— 0,76%	Кремний	—0,42%
Хром	— 8,45%	Вольфрам	—3,15%
Никель	—34,00%	Фосфор	—0,019%
Марганец	— 2,58%		

Плавка № 3

Углерод	— 0,76%	Кремний	—0,42%
Хром	—10,45%	Вольфрам	—3,10%
Никель	—34,12%	Фосфор	—0,023%
Марганец	— 2,50%		

По содержанию углерода, никеля, марганца, вольфрама состав элинвара следует считать совершенно установленным:

Сорт элинвара	Изменение (\pm) суточного хода часов при изменении температуры на 1° С в сек.
Элинвар 1	0—0,5
Элинвар 2	1—2
Элинвар 3	2—4
Парэлинвар 1	4—6
Парэлинвар 2	5—6

C — 0,7 \pm 0,8% Mn — 2 \pm 3%
Ni — 33 \pm 35% W — 2 \pm 4%

Некоторые разногласия имеют лишь относительно содержания хрома. Это вполне понятно, так как именно хром регулирует термозластический коэффициент.

Существуют различные сорта элинвара. Условились считать основным показателем качества элинварных волосков изменение

суточного хода часов при изменении температуры на 1° С.

Приводим табличку (французского инженера Андре Дона), с показателями сортов элинвара. Парэлинвар—это сплав типа элинвара.

Некоторые особенности изготовления волосков из элинвара.

Плавка сплавов элинвара производится по обычной методике, принятой при выплавке высоколегированных аустенитных хромоникелевых сталей, в основной высокочастотной печи.

Горячая механическая обработка (ковка, горячая прокатка) проводится по режиму, установленному для аустенитных сталей, т. е. 900—1100° С, при медленном нагреве и охлаждении, так как сплав имеет очень малую теплопроводность и при резком перепаде температур дает трещины. Ковка и прокатка производятся с незначительными обжатиями.

Протяжка производится после закалки с 900—950° С в воду, время выдержки устанавливается в зависимости от размера изделия.

Промежуточные отжиги — после каждых 2—3 протяжек при 900—950° С. Единовременное обжатие примерно 10—15%. Для облегчения протяжки применяют омеднение.

Из тонкой проволоки, методом плющения между валиками небольшого прокатного станка, изготавливается полоска, которая затем выпрямляется посредством волочения через фильер с четырьмя алмазами, вставленными в обойму.

Полоски в количестве 4—6 наматываются одна на другую вокруг стального валика, помещенного в барабан и имеющего соответствующее число прорезей достаточной глубины для помещения волосков. Барабан, снабженный крышкой, вставляется в печь для фиксации.

Плющение и завивка волосков должны производиться, как обычно, при комнатной температуре. Фиксация волосков производится при температуре 530—570° с выдержкой 1,5 часа.

После охлаждения волоски отделяются пинцетом и приобретают форму спирали Архимеда с расстоянием между витками, в 3—5 раз большим толщины полоски.

Небольшие размеры спирали позволяют практически подвергать ее только одной термической обработке при высокой температуре, а именно — нагреву под фиксацию в барабане.

Поэтому перед изготовлением спирали необходимо закалить проволоку и затем, после плющения ее, соединить упрочняющий отпуск сплава с нагревом под фиксацию волоска.

Чтобы компенсировать изменение момента инерции неразрезного баланса, термоэластический коэффициент элинвара не должен быть равен нулю, а иметь незначительную положительную и почти постоянную величину в довольно большом интервале температуры.

Наряду с этим, при изготовлении волосков необходимо обеспечить равенство расстояний между витками, получение прочного, упругого, умеренно хрупкого, по возможности антимагнитного металла, имеющего минимальное внутреннее трение. Все эти требования сильно усложняют производство волосков.

Ниварокс. В 1933—1935 гг. металлургия снабдила часовое производство сплавом, более совершенным, чем элинвар; этот сплав носит название «ниварокс» и состоит из следующих элементов:

Никель	30%
Вольфрам	7,3%
Бериллий	0,9%
Молибден	0,7%
Кремний	0,1%
Остальное	железо

Ниварокс, не уступая по своим упругим свойствам надлежаче закаленной стали, имеет близкий к нулю термоэластический коэффициент, немагнитен, не поддается коррозии и в сочетании с монометаллическим нейзильберовым ободом баланса дает хорошие результаты.

В Швейцарии широко применяется для спиралей сплав «Глюцидюр». Состав его близок к нивароксу, а название происходит от старого наименования бериллия — глюциний. Глюцидюр немагнитен и имеет достаточную жесткость.

Хроновар. В 1941 г. английская фирма «Телкон» по поручению английского правительства произвела большое количество химических анализов германской элинварной проволоки и на основе полученных данных изготовила сплав «Хроновар», который состоит из: углерода 0,75%, никеля 35,5%, молибдена 0,5%, хрома 9,0% и марганца 1,7%, остальное — железо.

Особенностью хроноварной проволоки являются: небольшой температурный коэффициент упругости, удовлетворительная сопротивляемость коррозии и достаточная антимагнитность.

Благодаря этим свойствам хроновар представляет собой вполне пригодный материал для изготовления часовых спиралей.

Сплав «Метэлинвар» — происходит от элинвара, но имеет по сравнению с ним дополнительные примеси, а именно — молибден и ванадий.

Новые сплавы для спиралей. В ферроникелевых сплавах алюминий и титан образуют соединения, поддающиеся упрочнению посредством закалки и отпуска. Эти присадки, взаимодействуя, дают больший эффект, чем при применении каждой в отдельности, и позволяют получить сплавы, имеющие высокую механическую прочность после термообработки. К таким сплавам относится «Дюринвал».

Изготовление дюринвала значительно сложнее, чем элинвара, но зато дюринвал имеет высокий предел упругости, приближающийся к пределу упругости стальных спиралей. Дюринвал состоит из следующих элементов (в %):

Углерод	0,1
Марганец	2,0
Никель	40÷42
Алюминий	1,9÷2
Титан	2,1
Остальное	железо

9. ИСПЫТАНИЕ ВОЛОСКОВ (СПИРАЛЕЙ)

При испытаниях спиралей определяют их форму, самокомпенсирующие свойства и крутящий момент.

Правильность формы закручивания спирали проверяется при 20- или 50-кратном увеличении путем сличения с проекторным чертежом волоска. Разность в шаге видна на «просвет».

Самокомпенсирующие свойства определяются путем испытания часов или хронометров в тепловых и холодильных камерах. При этих испытаниях определяют при температурах 32, 18 и 4° С суточный ход хронометров или часов.

Степень фиксации спирали проверяется путем укорачивания внешнего витка на часть оборота до того момента, пока спираль не войдет в свой барабан без всякой деформации. Величина укорочения показывает, что волосок фиксирован на $1/10$, $1/5$ оборота и т. д.

Получение стабильного модуля упругости материала волоска чрезвычайно важно, ибо непостоянство модуля упругости при прочих неизменных условиях сильно сказывается на изохронизме колебаний.

В качестве примера, подтверждающего сказанное, приведем поверочный расчет волоска радиомаячных часов. Расчетная формула максимального напряжения:

$$\sigma = \frac{Eh}{2L} \alpha,$$

где σ — наибольшее напряжение от изгиба;

E — модуль упругости материала, для стали в нашем случае
 $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$;

h — толщина волоска, равная 0,01 см;

L — длина волоска, определяемая по формуле

$$L = \pi n (R + r).$$

Здесь n — число витков, равное 14;

R — наружный радиус волоска, равный 5,2 мм;

r — внутренний радиус волоска, равный 1,1 мм;

$L = \pi \cdot 14 (5,2 + 1,1) = 277 \text{ мм}$ (что соответствует чертежным размерам);

α — угол закручивания, равный $\frac{3\pi}{2}$.

$$\sigma_{\max} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,01}{2 \cdot 27,7} \cdot \frac{3\pi}{2} = 1790 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. значительно ниже допускаемого (18 000—20 000 кг/см²).

Момент, развиваемый волоском при закручивании на 1 радиан:

$$M_0 = \frac{Ebh^3}{12L} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,01^3 \cdot 0,028}{12 \cdot 27,7} = 1,77 \text{ гмм.}$$

Период колебаний баланса будет

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_0}{M_0}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,0071}{1,77}} = 2\pi \sqrt{0,004} = 0,398 \text{ сек.}$$

(Величина $J_0 = 0,0071 \text{ гмм} \cdot \text{сек}^2$ взята из поверочного графо-аналитического расчета).

Чтобы получить $T = 0,4 \text{ сек.}$, нужно иметь меньший модуль упругости материала волоска, и именно:

$$M_0 = \frac{4\pi^2 J_0}{T^2} = \frac{Ebh^3}{12L};$$

отсюда

$$E = \frac{48\pi^2 J_0 L}{T^2 bh^3} = \frac{48 \cdot 9,85 \cdot 0,0071 \cdot 277}{0,4^2 \cdot 0,28 \cdot 0,1^3} = 2,08 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2.$$

Этот расчет показывает, что при перемене материала спирали необходимо пересчитать ее размеры.

10. НАПРАВЛЕНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ КОМПЕНСАЦИОННЫХ БАЛАНСОВ

До настоящего времени не удается наладить производство эливары с неизменными термоэластическими коэффициентами не только при повторных плавках, но даже и в пределах одной партии спиралей, получаемых от одной плавки. Поэтому возникает потребность в балансе особой конструкции, позволяющей регулировать его компенсационные свойства. Однако сложность изготовления биметаллического баланса, его чувствительность к магнетизму, сложность регулировки и слабая коррозионная устойчивость настоятельно диктуют применение монометаллического баланса. Простой монометаллический баланс в паре с эливарным волоском не дает достаточно удовлетворительной компенсации. Температурная ошибка хода в 0,5—2,5 сек. на 1°C при современных требованиях к точности хода часов, работающих в большом интервале температур, не может быть признана удовлетворительной. Поэтому понятны попытки часовщиков создать конструкции балансов, компенсационные свойства которых можно было бы регулировать.

Так, например, была разработана конструкция баланса с приставными биметаллическими дугами (фиг. 99), которая отличается тем, что к неразрезному латунному ободу баланса привинчиваются короткие биметаллические дуги с передвижными грузиками.

Регулировка компенсации баланса такого типа достигается перемещением винтов-грузиков вдоль биметаллических дуг, изменением числа этих винтов и сменой более легких винтов на тяжелые. Так



Фиг. 99. Баланс с приставными биметаллическими дугами.

как в этом балансе 88—90% момента инерции создается за счет жестких его частей (обод, перекладина и пр.) и лишь 12—10% — за счет компенсационных дуг и грузиков, то тем самым устраняется влияние центробежной силы, однако чувствительность такого баланса к магнетизму ограничивает возможности его применения.

Другим направлением разрешения проблемы регулирования компенсационных свойств баланса было создание дифференциального баланса. Для обода и перекладины дифференциального баланса применили два различных металла с совершенно разными коэффициентами линейного расширения. Конструктивно дифференциальные балансы были оформлены в двух вариантах:

а) Баланс разрезной, образованный перекладиной из одного металла с двумя прикрепленными к ней полукольцами из другого металла.

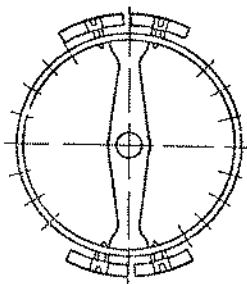
б) Баланс, имеющий сплошной обод из одного металла и перекладину из другого металла.

В целях обеспечения требуемой компенсации посредством дифференциального баланса необходимо, чтобы разница в коэффициентах линейного температурного расширения материалов перекладины и обода составляла не меньше $20 \cdot 10^{-6}$. Комбинация инвара с материалом, имеющим термическое удлинение, равное приблизительно $20 \cdot 10^{-6}$ (латунь, алюминий), дает возможность изготовить такие балансы, но практически долго не удавалось получить удовлетворительные результаты компенсации таким методом, так как элинвар оказался неподходящим материалом для волосков дифференциального баланса. Лишь в последние годы стали с успехом применять дифференциальный баланс в хронометрах.

В 1930 г. была предложена компенсация неразрезного монометаллического баланса посредством термической анизотропии. Путем специальной обработки сплава цинка с кадмием (цинк 80% и кадмий 20%), также цинка с медью (цинк 97% и медь 3%) были получены пластинки, обладавшие различными температурными коэффициентами линейного расширения по различным направлениям, т. е. обладавшие анизотропией температурного расширения. Был построен соответствующий монометаллический дифференциальный компенсационный баланс.

Анизотропный баланс (фиг. 100) изготавливается так же, как и обычный монометаллический баланс. При этом необходимо, чтобы направление, по которому имеется наибольшее значение коэффициента удлинения, было бы параллельно перекладине.

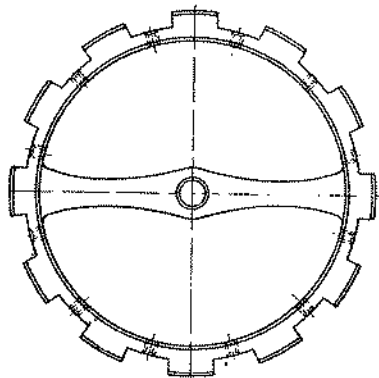
С помощью специальной обработки обода баланса достигается такая ориентировка кристаллитов материала обода, при которой коэффициент расширения материала обода баланса, по направлению, перпендикулярному перекладине, получается минимальным.



Фиг. 100. Анизотропный баланс.

Дилатометрическое исследование анизотропного баланса дает значение коэффициента линейного удлинения для направления, параллельного перекладине, равное $30 \cdot 10^{-6}$, и для направления, перпендикулярного к вышеуказанному, $8,2 \cdot 10^{-6}$.

Корректировка компенсации этого баланса осуществляется весьма просто, а именно: перемещение компенсационных грузиков к перекладине баланса дает отставание хронометра при повышении температуры, перемещение грузиков от перекладки баланса дает опережение хронометра при повышении температуры.



Фиг. 101. Обод баланса с выступами.

Анизотропный баланс ввиду сложности и дороговизны производства до сих пор изготавливается только в виде опытных образцов и практического применения в хронометровом производстве пока не имеет.

Особого внимания заслуживает дифференциальный баланс морского хронометра фирмы Гамильтон, изготовленный из следующих сплавов:

Обод — хромоникелевая сталь состава: хром 18,56%, никель 9,65% и марганец 0,36%.

Перекладина — никелевая сталь состава: никель 68,8% и марганец 0,23%.

Этот баланс в сочетании со спиралью, изготовленной из сплава никель 43,4%, титан $1,6 \div 6\%$, хром 5,49% и марганец 0,65%, обладает хорошими компенсационными свойствами.

В целях повышения регулирующей способности баланса увеличивают его момент инерции. При одинаковых габаритах баланса, если сделать обод с выступами между винтами, как это показано на фиг. 101, момент инерции можно увеличить на 20—25%.

II. ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТОЧНОСТЬ ХОДА ЧАСОВ И ХРОНОМЕТРОВ

Для обслуживания астрономо-геодезических работ, проводимых в Средней Азии, Арктике, Сибири, на Дальнем Востоке, для нужд авиации дальнего действия, стратосферных полетов, метеорологической службы и т. п. требуются приборы времени, работающие при очень высоких и низких температурах.

Чтобы не получилось заклинивания подвижных частей механизма за счет изменения линейных размеров стальных (оси) и сопряженных с ними латунных деталей (платины, мосты), необходимо обеспечить оптимально-гарантийные зазоры.

Если латунь имеет коэффициент линейного расширения 0,0000185, а сталь 0,0000115, то разница в коэффициентах будет 0,000007.

При изменении температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до -60°C произойдет относительное сжатие осей на $0,56 \cdot 10^{-8}$. Это обстоятельство нужно учитывать при проектировании часов и хронометров.

Данные температурных испытаний хронометров позволяют сделать следующие выводы [14]:

1. Хронометры, имевшие хорошие ходовые качества при нормальных температурах, имеют относительно неплохие показатели хода при низких температурах.

Опыты показывают, что незначительные пертурбации хода хронометров в нормальных температурах приводят к значительным отклонениям хода при низких температурах. Одним из главных показателей нарушения изохронизма при температурных испытаниях является изменение величины вторичной ошибки и температурного коэффициента хронометра.

Причина непостоянства температурной компенсации, по-видимому, кроется не только в изменении модуля упругости материала спирали, но и в деформации самой спирали.

2. При температуре до -30°C почти все хронометры работают относительно хорошо. При температуре ниже -30°C хронометры с анкерными спусками начинают отказывать в работе ввиду того, что увеличение вязкости масла на них влияет сильнее, чем на хронометры с пружинными спусками. Причина такого явления объясняется тем, что между балансом и анкерным колесом в анкерных спусках имеется промежуточный орган (анкерная вилка), в котором смазываются как цапфы, так и палеты.

Палеты необходимо смазывать особо морозостойким маслом, так как изменение вязкости масла на палетах больше всего влияет на постоянство импульса, а следовательно и на изохронизм хода.

Проблема точности хода приборов времени при низких температурах (в особенности для анкерных ходов) может быть разрешена лишь при условии решения проблемы смазки. Однако вторым существенным вопросом в разрешении этой проблемы является изыскание такой пары баланс — спираль или сплава для спиралей (при монометаллическом балансе), которые дали бы возможность получить нулевой температурный коэффициент часов или хронометра и исключить вторичную ошибку.

Изучение влияния низких температур на точность хода приборов времени имеет большее практическое значение, чем изучение влияния высоких температур. Нетрудно заметить, что нижний предел температуры работы точных приборов времени (например, -40°C) отстоит от температуры регулирования $+20^{\circ}\text{C}$ дальше, чем высший предел ($+50^{\circ}\text{C}$). В самом деле, в первом случае перепад температур 60°C , а во втором только 30°C .

12. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХОД ЧАСОВ

Воздействие магнитного поля на механизм часов очень сложно, оно сказывается почти на всех деталях часового механизма. Наиболее важно влияние магнитного поля на спусковой механизм и на регулирующую систему баланс — волосок. Можно также определить его влияние на оси и трибы, стрелки и т. д. Общее воздействие иногда бывает значительным.

Если баланс имеет стальную перекладину (биметаллический баланс), эта перекладина имеет тенденцию ориентироваться в магнитном поле, подобно стрелке компаса. Магнитное поле создает пару сил, которая прибавляется к моменту упругости волоска. В результате период уменьшается и часы начинают сильно спешить.

При изучении влияния магнитного поля на ход часов различают три основных момента: временное влияние, остаточный эффект и остановку часов.

Рассмотрим их по порядку.

Временным влиянием называют воздействие магнитного поля на помещенные в него часы. Это воздействие велико, но не наиболее существенно. Предположим, что часы находятся в магнитном поле, сообщаемом им ускорение 2 мин. в сутки. Изменение поправки, за пятнадцать минут после пребывания часов в магнитном поле не будет превышать 1,2 сек., чем обычно можно пренебречь.

Остаточным эффектом называют такое воздействие магнитного поля на часы, которое сохраняется после исчезновения поля. Таким образом, этот эффект сказывается после прекращения временного влияния. Стальные детали механизма остаются намагниченными и воздействуют друг на друга как маленькие магниты.

Действие остаточного эффекта на ход часов более заметно, чем действие временного влияния, потому что остаточный эффект сохраняется длительное время.

При остаточном эффекте в ходе часов ежесуточно обнаруживается отклонение до 2 мин.

Наконец, остановка часов под действием магнитного поля вызовет появление соответствующей ошибки показания часов. Ее необходимо тщательно избегать.

Переходя к описанию способов предохранения часов от действия случайного магнитного поля, нужно сказать несколько слов о значении магнитных полей, встречающихся в повседневной жизни, и об их влиянии на незащищенные часы.

Кроме больших электромагнитов, создающих поле с индукцией во много тысяч гауссов и вызывающих полную остановку баланса, существует немало небольших приборов, которые создают около себя достаточно интенсивное магнитное поле, способное длительное время нарушать точность хода часов или даже останавливать их.

Таковы радиоаппараты, телефоны, экспонометры с фотоэлементом, многие измерительные приборы, амперметры, вольтметры и т. д.

Магнитное поле, создаваемое такими приборами, быстро убывает с расстоянием. Обыкновенно оно почти незаметно на расстоянии нескольких сантиметров. Очевидно, что наручные часы больше, чем карманные, подвергаются этому воздействию.

Магнитное поле земли, несмотря на его небольшую величину, постоянно воздействуя на часы, также изменяет их ход. У точного хронометра наблюдаются отклонения хода примерно в 0,5—1 сек. за сутки в зависимости от его ориентации в земном поле. Если хронометр предварительно подвергался воздействию более интенсивного поля, он остается сильно намагниченным и влияние земного поля проявляется гораздо заметнее. Это видно из следующих данных, относящихся к карманным часам.

Ненамагниченные часы уходили на 17 сек. в сутки. Затем часы намагничивались в течение нескольких секунд в поле индукцией 50 гауссов, ориентированном параллельно циферблату, после чего поле было снято.

Когда заводная головка направлена на север, часы уходят на 120 сек. в сутки, на запад — часы уходят на 80 сек. в сутки, на юг — часы уходят на 125 сек. в сутки, на восток — часы уходят на 180 сек. в сутки.

Затем часы были размагничены и после размагничивания показали ускорение хода на 16 сек. в сутки.

Магнитные поля, создаваемые переменными токами, обычно не оказывают воздействия на ход часов. Способ, применяемый для размагничивания часов, заключается в том, что их помещают в убывающее переменное поле. Часы вводятся в бобину, по которой пропускается переменный ток. Затем часы вынимают и медленно удаляют от bobины, после чего прерывают ток.

Существует два основных способа для предохранения часов от влияния магнитного поля.

Самый действенный способ заключается в изготовлении системы баланс — волосок из немагнитных сплавов. Нельзя, однако, забывать, что часы обязательно должны быть компенсированы в отношении температуры. Применение латунного баланса и бронзового волоска идеально с точки зрения защиты от магнитного влияния, но оно недопустимо с точки зрения температурной компенсации.

Именно регулирующие системы, образованные монометаллическим балансом в сочетании с самокомпенсирующимся волоском из никелевой стали, позволяют решить эту проблему практически удовлетворительным образом.

Можно изготавливать самокомпенсирующиеся волоски из элинвара, метэлинвара или ниварокса.

В соединении с балансами из мельхиора или бериллиевой бронзы такие волоски делают ход часов в широких пределах нечувствительным

к магнитным полям. Этими системами снабжается большинство современных наручных часов.

К сожалению, теория ясно показывает, что нельзя из существующих сплавов изготовить волоски, одновременно самокомпенсирующиеся и вполне немагнитные. Улучшая одни показатели, ухудшают другие. Чем менее магнитен волосок, тем сильнее на него влияет температура. Приходится искать компромисс, и существует целый ряд сплавов, из которых выбирается наиболее подходящий в данном случае. Обычно важнее иметь хорошую температурную компенсацию, нежели большую нечувствительность к магнитным полям. При некоторой осторожности почти всегда можно предохранить часы от прямого контакта с магнитом, но нельзя защитить их от колебаний температуры.

Второй способ, очень эффективный, но почти неизвестный, состоит в изготовлении корпуса часов из сплава, обладающего большой магнитной проницаемостью и играющего роль экрана.

Во избежание вредных действий сильных магнитных полей на ход хронометров и других точных приборов времени применяют специальные футляры — ящики из ферромагнитных материалов, так называемые магнитные экраны. Магнитные экраны изготавливаются из мягкого железа или из специальных ферроникелевых сплавов. Лучшим материалом для экранов является сплав пермаллой (66% никеля), имеющий магнитную проницаемость в 70 раз большую по сравнению с железом.

13. ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ХОД ЧАСОВ

Поскольку вязкость воздуха в очень широких пределах не зависит от давления, действие атмосферы на баланс определяется преимущественно изменениями плотности воздуха, т. е. зависит от атмосферного давления. С повышением давления увеличивается отставание часов.

Кроме того, воздух, окружающий баланс, тормозит его движение и, следовательно, уменьшает амплитуду. Отсюда — дополнительное воздействие воздуха на ход, если часы имеют недостаточный изохронизм (ход меняется в зависимости от амплитуды).

Таким образом, общее влияние атмосферного давления носит сложный характер.

Точные измерения показали, что для карманного хронометра изменения хода составляют 0,01—0,02 сек. в сутки при разности давлений в 1 мм рт. ст.

До внедрения компенсационных сплавов для спиралей, т. е. до получения высокой точности показаний приборов времени за счет снижения ошибки температурной компенсации балансов, удельный вес влияния барометрического давления на ход часов был настолько мал, что не было даже побудительных причин к исследованиям этого влияния, и им вообще пренебрегали.

Потребуется авиации в приборах времени, обеспечивающих точность хода в условиях резко изменяющегося барометрического давления, заставила детально изучать этот вопрос.

Отвлекаясь от прочих внешних влияний на ход хронометра, представим его лишь как функцию времени и барометрического давления: $\omega = \omega_0 + \frac{d\omega}{dp} (p - p_0)$.

Обозначая производную $\frac{d\omega}{dp}$ через C , получим:

$$\omega = \omega_0 + C (P - P_0),$$

где ω_0 — суточный ход при начальном барометрическом давлении P_0 ;

C — барометрический коэффициент, показывающий изменение суточного хода при изменении барометрического давления на 1 мм рт. ст.;

P — барометрическое давление в мм рт. ст.

Для оценки влияния атмосферного давления на ход часов эта формула вполне приемлема.

Швейцарский хронометрист П. Дитисхгейм проводил исследования хода хронометров, изменяя барометрическое давление в пределах от 75 до 875 мм рт. ст.

Барометрический коэффициент определился из опытов Дитисхгейма формулой

$$C = \Delta\omega + \frac{i}{750},$$

где $\Delta\omega$ — изменение суточного хода при изменении атмосферного давления на 1 мм рт. ст.;

i — недостаток изохронизма, т. е. разность ходов хронометра между первыми и последующими двенадцатью часами его работы.

По данным Дитисхгейма, величина C зависит от диаметра баланса:

$C = 0,0102$	для балансов диам.	9,4 мм
$C = 0,0162$	»	»	21,0 »
$C = 0,025$	»	»	37,2 »

По данным Гийо повышение атмосферного давления на 1 мм рт. ст. вызывает замедление хода на 0,01—0,02 сек. в сутки.

Автором опытным путем установлено, что средний барометрический коэффициент хронометров равен 0,013 [14].

Влияние влажности воздуха заметным образом отражается на суточных ходах приборов времени и было исследовано Петерсом в Киле и Фусом в Кронштадте. [19].

Влажность особенно неблагоприятно отражается на работе точных приборов времени, так как вызывает коррозию стальных частей механизма. Поэтому прежде всего стараются защитить приборы времени от излишней влажности, применяя специальные герметические футляры с отделениями для активных влагопоглотителей (хлористый

кальций и т. п.), либо обеспечивают постоянное поддержание установленной относительной влажности в рабочих помещениях.

Морская качка, сотрясения и удары — сами по себе не подчиняются никакой закономерности. Практически установлено, что под влиянием этих воздействий амплитуда колебаний баланса уменьшается и происходит замедление хода. Часто удары и толчки приводят к сложной деформации спирали, вызывающей сильную пертурбацию хода. Влияние этих причин можно уменьшить путем применения амортизаторов различных конструкций.

Амортизация всего прибора времени путем крепления корпуса прибора на пружинных или резиновых подвесах, на рессорных пружинах и т. п. уменьшает вредные влияния тряски и ударов и позволяет избежать резких и беспорядочных скачков хода. В целях же предохранения цапф баланса от поломки применяют специальные амортизационные приспособления типа «Шок-Резист», «Инкаблок», «Пружинящие спицы» и т. п.

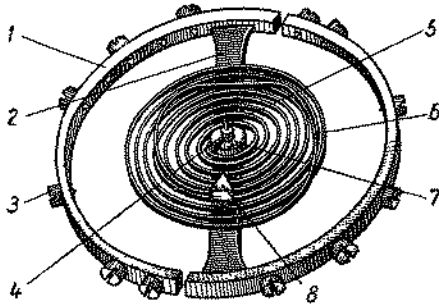
Таким образом, все колебания в ходе приборов времени, происходящие от случайных (не систематических) причин, не поддаются никакому количественному учету, и их считают случайными погрешностями наблюдений.

ГЛАВА IX

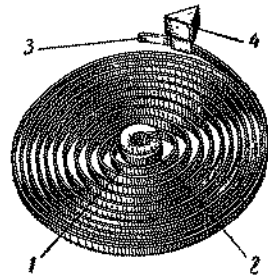
ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЧАСОВ

1. БАЛАНС И ВОЛОСОК

Баланс (фиг. 102) представляет собой круглый обод 1 с перекладной 2, служащей для крепления баланса к его оси 4.



Фиг. 102. Баланс с волоском карманных часов.



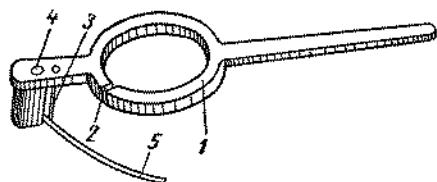
Фиг. 103. Волосок карманных часов.

В обод баланса ввинчены винты 3. На ось баланса насажена колодка 7 волоска 6, в отверстие которой заштифтовывается внутренний виток волоска. Опорами для баланса служат цапфы его оси. Верхняя цапфа 5 оси баланса имеет опору в камнях, закрепленных в балансовом мосту, нижняя цапфа — в камнях, закрепленных в пластине [46].

Волосок часов представляет собой упругую, весьма тонкую и чувствительную спираль. На фиг. 103 показан волосок карманных часов. Конец внутреннего витка волоска 1 заштифован коническим штифтом в колодке волоска 2. Колодка насаживается на ось баланса с возможностью тугого проворачивания, что обеспечивается наличием в колодке прорези. Данный характер посадки требуется для регулирования положения равновесия баланса.

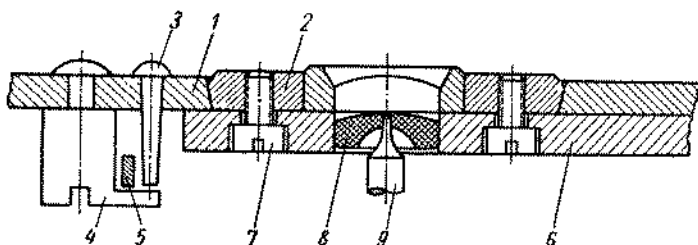
Конец внешнего витка волоска 3 заштифован коническим штифтом в отверстии колодки волоска 4, которая вставляется в отверстие балансового моста и закрепляется в нем винтом.

Если на баланс (подвижно опирающийся цапфами на подшипники) и волосок (закрепленный концом внутреннего витка в колодке, а концом внешнего витка в колоике) не действует никакая посторонняя сила, то баланс занимает определенное положение, в которое его приводит сила упругости волоска. Данное положение называется положением равновесия.



Фиг. 104. Регулятор карманных часов.

Если баланс повернуть на некоторый угол, то волосок закрутится (или раскрутится). Период колебаний баланса зависит от действующей длины волоска. Узел, предназначенный для изменения действующей длины волоска, называется регулятором. Устройство регулятора показано на фиг. 104. Собственно регулятор 1 имеет разрез 2, обеспечивающий пружинящую посадку регулятора. В выступ регулятора запрессованы штифт 3 и замок 4. Замок можно поворачивать, для чего с нижней стороны предусмотрен шлиц. Замок регулятора имеет выступ, расположенный под волоском. Волосок 5 находится между штифтом и замком. Волосок не должен быть зажат между



Фиг. 105. Схема крепления регулятора.

штифтом и замком (или между двумя штифтами, при другой конструкции регулятора), но он не должен также иметь большой зазор. Регулятор крепится сверху балансового моста при помощи накладки баланса 2, как показано на фиг. 105, где обозначены также регулятор 1, штифт регулятора 3, замок регулятора 4, волосок 5, мост баланса 6, винт баланса 7, сквозной камень баланса 8 и ось баланса 9. Крепление регулятора обеспечивает возможность его тугого проворачивания вокруг накладки. Это достигается тем, что кольцо регулятора имеет прорезь, благодаря которой оно, обхватывая накладку, пружинит.

На фиг. 106 изображен регулятор (вид сверху), где показаны: регулятор 1, накладка баланса 2, штифты регулятора 3, внешний виток волоска 4, мост баланса 5, колонка волоска 6 и шкала регулятора 7.

Прежде чем приступить к рассмотрению действия регулятора, введем понятие о действующей длине волоска. При ходе часов волосок работает свободно на длине от колодки до штифтов (замка) регулятора.

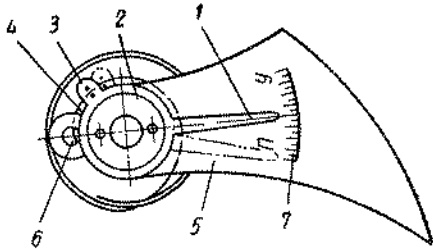
Часть волоска от штифтов (замка) регулятора до колонки волоска также принимает некоторое участие в работе, так как волосок между штифтами регулятора (штифтом и замком) не закреплен «намертво», а имеет некоторый зазор («игру»). Поэтому действующей длиной волоска является его длина от колодки до штифтов регулятора плюс примерно одна треть его длины от штифтов регулятора до колонки волоска. Мы уже знаем, что изменение длины волоска меняет ход часов.

Если передвинуть регулятор по шкале к букве *П* (что обозначает «прибавить»), то действующая длина волоска сократится и часы пойдут быстрее.

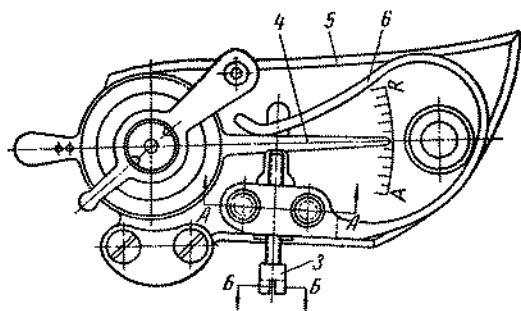
Если регулятор передвинуть к букве *У* (что обозначает «убавить»), то действующая длина волоска увеличится и часы пойдут медленнее. Для того чтобы лучше ориентироваться при передвижении регулятора, на верхней поверхности балансового моста выштампованы или выгравированы деления. Если регулятор карманных часов передвинуть на одно большое деление, то часы меняют свой ход примерно на 30 сек. в сутки [46].

В авиационных часах (АЧХО и АВРМ) передвижение регулятора на одно большое деление вызывает изменение суточного хода часов примерно на 5 сек. Эти данные действительны только при соблюдении малого зазора между волоском и штифтами регулятора (или между волоском, замком и штифтом). Если этот зазор увеличивать, то увеличивается также действующая длина волоска и часы будут отставать. При уменьшении зазора, наоборот, часы будут идти вперед. Часовщики иногда практикуют для регулирования хода часов изменение данного зазора путем сближения штифтов или увеличения расстояния между ними. Этот прием рекомендовать нельзя, так как уменьшение зазора может привести к тому, что регулятор будет водить за собой волосок и может его испортить, а чрезмерное увеличение зазора приведет к тому, что действие регулятора на ход часов сведется к нулю и потребитель не сможет использовать регулятор для регулирования часов.

В прецизионных карманных часах иногда применяется регулятор с микрометрическим винтом (фиг. 107). Стойка 1, укрепленная винтами 2 на балансовом мосту 5, имеет отверстие с резьбой. В эту резьбу ввертывается винт 3, который упирается в хвостовик регулятора 4. Пружина 6 поджимает хвостовик регулятора к микрометри-



Фиг. 106. Регулятор (вид сверху).



Разрез по АА

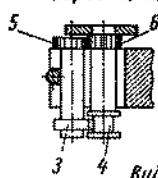


Сечение по ББ

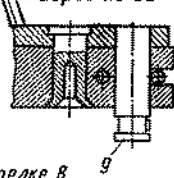


Фиг. 107. Регулятор с микрометрическим винтом.

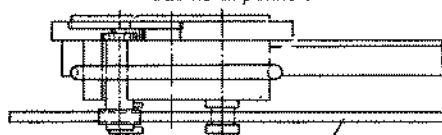
Разрез по АА



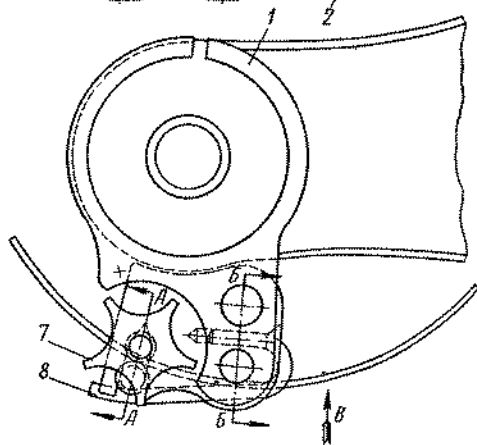
Разрез по ББ



Вид по стрелке В



Фиг. 108. Регулятор с роликовой подачей волоска.



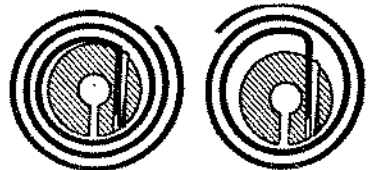
ческому винту. При ввертывании винта 3 регулятор плавно поворачивается в одну сторону, при вывертывании — в обратную сторону.

На фиг. 108 показан регулятор с роликовой подачей волоска. На балансовом мосту с трением вращается стальная полированная обойма 1, к которой снизу прикреплена латунная пластинка 2. В этой пластинке укреплены два ролика 3 и 4, на которых сверху посажены зубчатые колеса 5 и 6, находящиеся в зацеплении. Ролик 4 жестко связан со звездочкой 7, при вращении которой оба ролика также вращаются во взаимно противоположные стороны. Между этими роликами зажимается волосок. Вращая от руки звездочку в ту или иную сторону, мы изменяем действующую длину волоска. Ролик 3 прижимается к ролику 4 при помощи пружинки 8, обеспечивая тем самым зажим волоска. Ролик 4 имеет два пояска, направляющих волосок. Свободный конец волоска с помощью предохранителя 9 направляется в сторону от действующих витков волоска, не мешая их работе. Чтобы укоротить волосок, звездочку вращают против часовой стрелки, а если хотят удлинить, то наоборот, вращают по часовой стрелке. При изменении действующей длины волоска с помощью роликов, равновесие баланса сохраняется.

2. КОНЦЕВЫЕ КРИВЫЕ ВОЛОСКА

Для достижения уравновешенности системы баланс — волосок центр тяжести волоска должен находиться на оси вращения баланса.

Установлено, что если внешний и внутренний витки волоска не изготовлены по специальным кривым, то центр тяжести волоска при его раскручивании и закручивании смещается с оси вращения баланса и получается неуравновешенность всей системы баланс — волосок. Эта неуравновешенность вызывает отклонения в ходе часов при их проверке в вертикальных положениях. Такое отклонение зависит от величины амплитуды баланса и от положения точки заштифтовки внутреннего витка волоска по отношению к колодке. На фиг. 109 показаны (в увеличенном виде) две наиболее часто встречающиеся ошибки в креплении внутреннего витка волоска.



Фиг. 109. Неправильное крепление внутреннего витка волоска.

1-я ошибка состоит в том, что при правильно расположенной спирали волоска по центру колодки внутренний виток волоска расположен слишком близко к колодке. Такая заштифтовка волоска недопустима, так как вызывает значительные нарушения хода часов [46].

Можно видеть, что при закручивании волоска во время работы часов его внутренний виток будет наворачиваться на колодку волоска, и тем больше, чем больше амплитуда колебаний баланса. Это приведет к сокращению действующей длины волоска, — боль-

шему при большой амплитуде и меньшему при малой амплитуде. При полном заводе часы будут спешить, при малом заводе — отставать.

Неточность в показании времени часами будет и в том случае, если волосок установлен эксцентрично относительно колодки (в данном случае — смещен вверх). При ходе часов волосок будет задевать за колодку, что вызовет нарушение хода часов в зависимости от амплитуды колебания баланса.

Кроме того, получится так называемый «звон волоска» и несимметричное (однoboкoe) раскручивание спирали волоска во время хода часов (волосок будет «бить»).

До сих пор основным способом изохронизации спирали является способ концевых кривых.

Филлипс определил формы концевых кривых цилиндрической спирали с таким расчетом, чтобы витки спирали при работе оставались концентричными. Требования к концевым кривым предъявляются следующие:

а) центр тяжести концевой кривой должен лежать на перпендикуляре, восстановленном от центра спирали к радиусу, соединяющему начало концевой кривой с центром спирали;

б) расстояние центра тяжести концевой кривой от оси спирали, т. е. оси баланса, должно быть равно

$$d = \frac{r_0^2}{l},$$

где l — длина концевой кривой.

Координаты центра тяжести концевой кривой по Филлипсу определяются формулами

$$x_1 = -\frac{r_0^2}{l} \cos \theta;$$

$$y_1 = -\frac{r_0^2}{l} \sin \theta,$$

где θ — угол между осью y_0 и направлением в точку сопряжения спирали и концевой кривой. Оси x_0 и y_0 взаимно перпендикулярны, причем ось y_0 должна проходить через конец кривой (точку крепления волоска).

Определяя положение центра тяжести концевой кривой, формулы Филлипса не отражают формы самих кривых. На практике применяют большое число различных форм кривых. Кривую строят графическим методом в крупном масштабе и затем при помощи точного пантографа переносят на испытываемую спираль.

Способы построения концевых кривых и экспериментального прибора для контроля профиля концевых кривых достаточно подробно изложены в [6].

Приведем наиболее распространенный графический метод построения кривых.

Для подбора внешней концевой кривой спирали необходимо знать радиус спирали в штифтах регулятора при среднем положении его, который обозначим через R_0 , и максимальный радиус спирали, т. е. радиус R в точке конца основной спирали.

Имея эти данные, можно всегда выбрать подходящую концевую кривую по таблицам, предварительно подсчитав отношение $\frac{R_0}{R}$.

На фиг. 110 приведены одиннадцать концевых кривых и указаны значения координат отдельных точек их по Аксельроду [6]. Строят кривую в масштабе 100 : 1. При построении чертеж располагают так, чтобы ось абсцисс прошла через начало координат кривой и центр спирали, а ось ординат — через конец кривой и центр спирали под углом 90° к оси абсцисс (если угол охвата данной кривой равен 270°).

Начертив кривую, определяют ее длину L и центр тяжести y_0 , который должен лежать на оси ординат на расстоянии $y_0 = \frac{R^2}{L}$ от начала координат. После этого от начала кривой (от оси абсцисс), разбивают ее на маленькие участки l (например, $l = 200$ мм) и из середины каждого участка проводят линии, параллельные сначала оси абсцисс, а затем оси ординат, и определяют их длины сначала до оси абсцисс, а потом до оси ординат. Таким образом определяют плечо каждого участка относительно осей абсцисс и ординат.

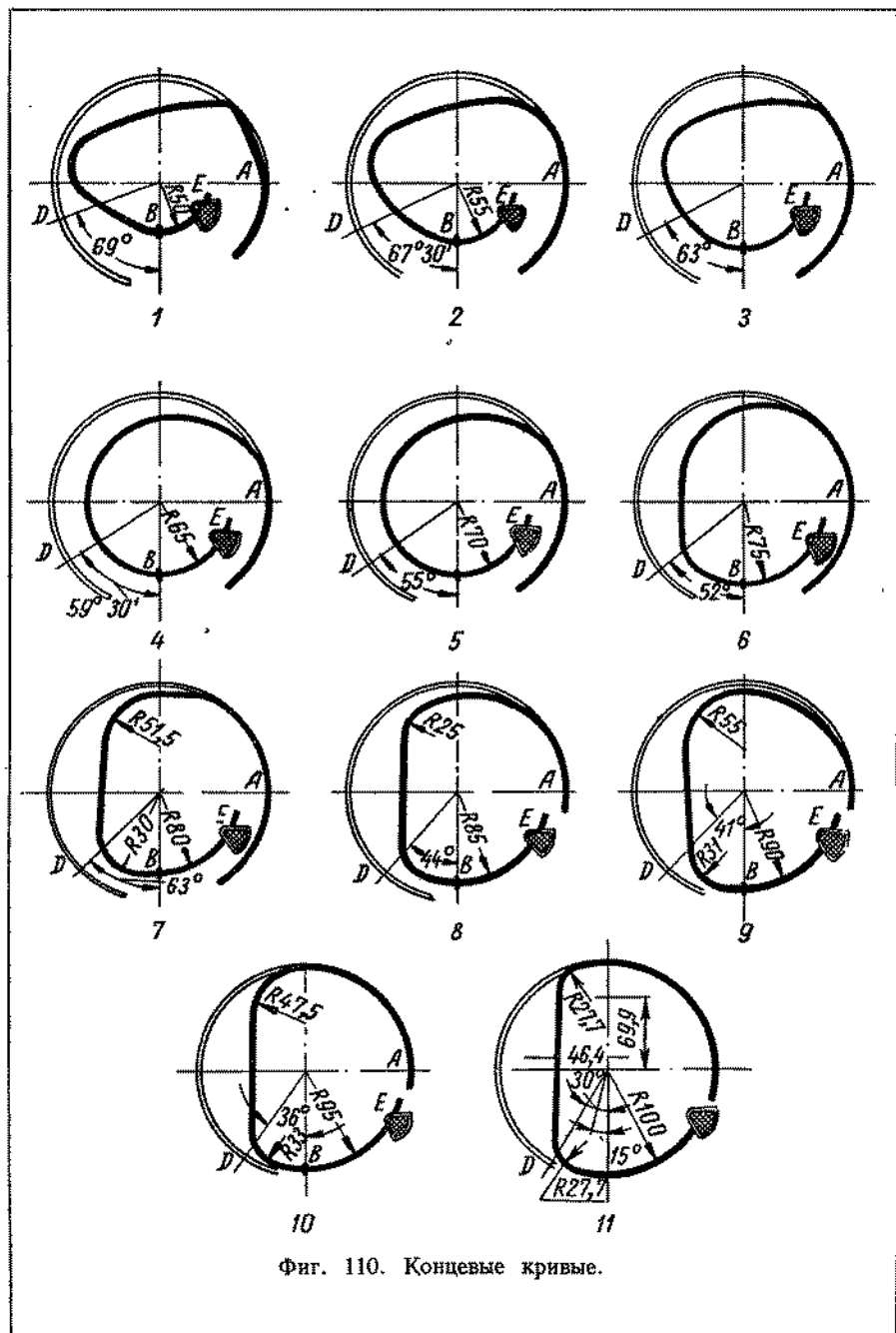
Затем определяют сумму моментов участков l относительно оси ординат $l \sum_{\kappa=1}^n x_i$, которая должна быть близка к нулю. Далее определяют сумму моментов участков l относительно оси абсцисс $l \sum_{\kappa=1}^m y_i$, которая должна быть близка к R^2 . В случае большого расхождения с условиями равенств $l \sum_{\kappa=1}^n x_i = 0$ и $l \sum_{\kappa=1}^m y_i = R^2$ необходимо изменить форму концевой кривой с таким расчетом, чтобы удовлетворить этим условиям, причем надо изменять форму так, чтобы она оставалась плавной и без резких перегибов.

Рассмотрим несколько примеров:

1) $\sum x_i \gg 0$ (сумма положительных моментов больше суммы отрицательных) — надо уменьшить площадь 1-го квадранта или увеличить площадь 2-го и 3-го квадрантов;

2) $\sum x_i \ll 0$ (сумма положительных моментов меньше суммы отрицательных) — надо увеличить площадь 1-го квадранта или уменьшить площадь 2-го и 3-го квадрантов;

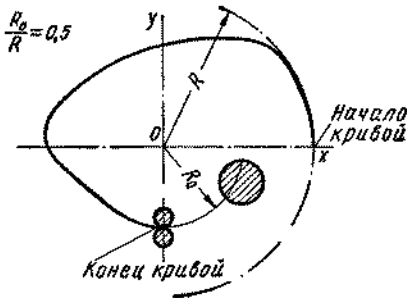
3) $\sum y_i \gg 0$ (сумма положительных моментов больше суммы отрицательных) — надо уменьшить площадь 1-го и 2-го квадрантов или увеличить площадь 3-го квадранта;



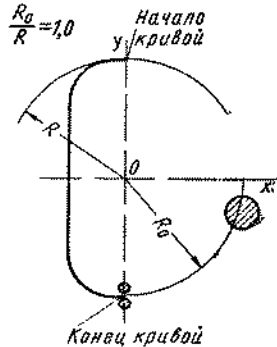
Фиг. 110. Концевые кривые.

4) $\sum y_i \ll 0$ (сумма положительных моментов меньше суммы отрицательных) — надо уменьшить площадь 3-го квадранта или увеличить площадь 2-го и 3-го квадрантов.

Изменив форму кривой, необходимо вновь измерить ее длину L , разбить на такие же по величине участки l и из их середины опять провести линии, параллельные осям абсцисс и ординат, предварительно удалив старые. Затем снова по формулам $l \sum_{k=1}^n x_k = 0$ и $l \sum_{k=1}^n y_k = R^2$ проверить форму конечной кривой на условия Фил-



Фиг. 111. Вид конечной кривой при $\frac{R_0}{R} = 0,5$.



Фиг. 112. Вид конечной кривой при $\frac{R_0}{R} = 1$.

липа. Степень соответствия условиям Филлипса зависит от требований к точности часов.

Для часов обычной точности вполне достаточно, чтобы разница по этим формулам была не больше 1% от суммы моментов или номинального значения R^2 .

Геометрическая форма конечной кривой в основном определяется отношением $\frac{R_0}{R}$ и углом обхвата φ . В тех случаях, когда это отношение мало, конечная кривая будет вытянута по оси абсцисс. При $\frac{R_0}{R} = 0,5$ и $\varphi = 270^\circ$ кривая будет иметь вид, изображенный на фиг. 111 [25].

Когда отношение $\frac{R_0}{R}$ велико, порядка 1,0, то кривая будет вытянута по оси ординат так, как это изображено на фиг. 112.

Первая форма кривой (фиг. 111) очень сложна, а вторая хотя и не сложна, но имеет резкие перегибы. Наиболее благоприятным для работы спирали является тот случай, когда отношение $\frac{R_0}{R}$ находится в пределах 0,65—0,75.

Это положение доказано В. И. Виноградовым и Б. М. Чернягиным [25].

Внешняя концевая кривая волоска по возможности, как указывалось выше, должна иметь плавные геометрические формы, и это относится не только к форме коцевой кривой в плоскости чертежа, но и к ее подъему. Ниже приводим таблицу параметров подъема коцевых кривых волосков наручных и карманных часов [25]:

№ по пор.	Наименование часов (фирма)	Посадочный диаметр платины в мм	Характер подъема кривой	Угол подъема в градусах	Высота коцевой кривой над плоскостью волоска в мм
Наручные часы					
1	Интернационал Ватч	26,5	Коленом	7°12'	0,49
2	Мовадо	23,3	"	11°40'	0,52
3	Мидо	29,5	"	13°	0,48
4	Лемания	27,0	"	14°30'	0,57
5	Вашерон	28,8	Плавный	3°30'	0,36
6	„Победа“	26	Коленом	20°25'	0,236
Карманные часы					
7	Интернационал Ватч	37,8	"	6°40'	0,35
8	Филипп Патек . . .	38,6	Плавный	4°35'	0,45

Волосок не должен иметь искривлений по плоскости, т. е. не должен быть «зоитикообразным», а также не должен иметь эллиптичности и разовитковости.

3. АМОТИЗАТОРЫ ОПОР ОСИ БАЛАНСА

Амортизатор опор оси баланса часов представляет собой устройство, обеспечивающее вибропрочность и вибростойкость цапф, камней и баланса в целом в условиях вибраций, ударов и резких толчков.

Под вибропрочностью понимается способность прибора (часов) противостоять разрушающему влиянию вибрации и продолжать после длительного ее воздействия безотказно выполнять свои функции в соответствии со всеми предъявляемыми к нему требованиями.

Под вибростойкостью прибора времени понимается его способность выполнять свои функции в условиях вибрации. Допустимые величины возникающих при этом колебаний суточного хода оговариваются специальными техническими условиями на данный вид приборов времени.

Параметрами вибрации являются:

I — ускорение в долях ускорения свободного падения g ;

f — частота колебаний в герцах;

S — амплитуда колебаний в мм.

Эти параметры связаны между собой следующей зависимостью (ГОСТ 9482-46):

$$I = \frac{4\pi^2 f^2 S}{9810}.$$

Для приближенных расчетов можно пользоваться формулой

$$I = \frac{2S}{500} \cdot f^2.$$

На фиг. 113 представлен узел амортизированного (небьющегося) баланса для часов марки АЧХ*.

Особенностью данной конструкции амортизационного узла является то, что увеличение сопротивляемости тонких цапф и камней ударам и толчкам достигается за счет эластичного крепления подшипников. Эластичное или, иначе говоря, упругое крепление подшипников позволяет камням смещаться при сотрясении так, что толчок воспринимается специальной амортизационной пружиной, а при сильных ударах — утолщенной частью оси баланса, чем и предотвращается излом тонких цапф. Такая конструкция обеспечивает сохранность цапф и камней вне зависимости от направления удара.

Рассмотрим устройство амортизированного баланса АЧХ по элементам (фиг. 113, а).

Сквозной камень 9 запрессован в бушон 5, помещенный на внутреннем конусе накладки баланса 3, которая, в свою очередь, жестко соединена с мостом баланса 1 при помощи винтов 8. Балансовый накладной камень 7 вставлен с легким трением в бушон 5.

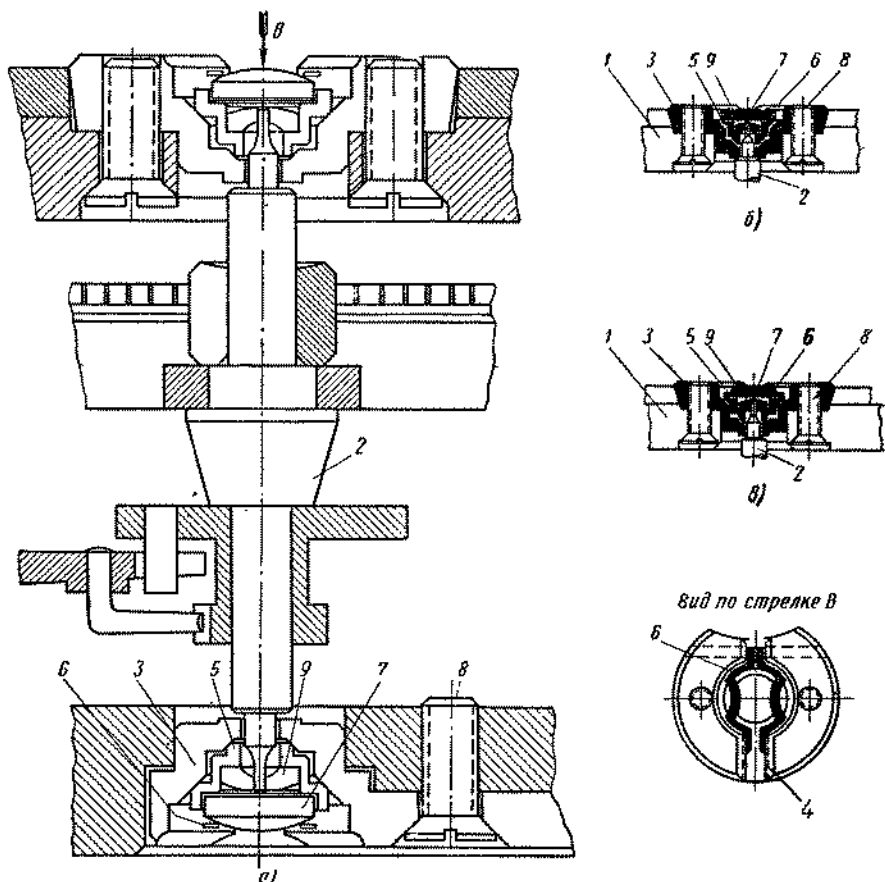
Бушон 5 и накладной камень 7 удерживаются в накладке при помощи фиксирующей пружины 6. Эта пружина обладает такой упругостью, которая дает возможность бушону иметь при ударе и толчке, превышающих нормальные эксплуатационные условия работы, небольшие горизонтальные и вертикальные перемещения, что смягчает удар и возвращает цапфу и камни от разрушений.

После удара бушон возвращается в первоначальное положение. Как видно из фигуры, бушон 5 имеет конические опорные фаски, и накладка 3 представляет собой как бы коническое гнездо для бушона. Это сделано для того, чтобы происходило самоцентрирование бушона при скольжении его по внутренней конической поверхности накладки. Вид по стрелке В показывает, что фиксирующая пружина одним своим концом (усиками) входит в специальный паз накладки баланса 3, а другим разрезным концом скользит по направляющим накладки 4.

Рассмотрим взаимодействие элементов узла амортизированного (небьющегося) баланса для АЧХ при радиальном ударе и при ударе

* Индекс АЧХ означает — авиационные часы хронофлейт, а АЧХО — авиационные часы хронофлейт с обогревом.

в направлении оси баланса, т. е. при осевом ударе. Допустим, что часы подверглись радиальному (боковому) удару (фиг. 113, а). Тогда бушон 5, камни 7 и 9 будут перемещаться вместе с осью баланса 2 по конусу накладки 3 до тех пор, пока утолщенная часть



Фиг. 113. Узел амортизированного баланса.

оси баланса не войдет в соприкосновение со стенкой накладки 3, чем и будет погашен удар. При этом цапфы баланса ударной нагрузки на себя не воспринимают и поэтому сохраняются в целости.

При осевом ударе (фиг. 113, б) бушон 5 с камнями 9 и 7 отрываюся от накладки баланса, перемещаясь в осевом направлении. Ось баланса также перемещается в направлении удара до тех пор, пока заплешико баланса не войдет в соприкосновение с накладкой баланса 3, как это показано на фиг. 113, б. Упираясь в накладку баланса, заплешико оси принимает на себя весь удар, защищая тем

самым цапфу и камни от поломки. Фиксирующая пружина 6, независимо от направления удара, возвращает в исходное положение бушон 5 вместе с камнями 7, 9 и осью баланса 2. Приведенный тип конструкции амортизирующего устройства является наиболее надежным по сравнению с амортизацией посредством пружинящих удлинненных цапф баланса или пружинящих накладок, применяемых иногда в швейцарских часах.

В зарубежных часах иногда встречается амортизация всего механизма относительно корпуса часов.

При этом механизм часов (обычно наручных с круглой платиной) вставляется в корпус с небольшим радиальным зазором. Механизм охватывается тонким стальным кольцом, имеющим несколько (3÷5) пружинящих лапок, упирающихся в крышку корпуса.

При закрытой крышке механизм оказывается прижатым к корпусу. Сила этого прижатия такова, что механизм при изменении положения часов и при случайных легких сотрясениях не перемещается в корпусе. Но при ударе (например, вследствие падения часов) происходит некоторое смещение механизма в корпусе за счет деформации пружинящих лапок кольца, чем и смягчается влияние удара.

Следует отметить, что эта конструкция не гарантирует надежной противоударной защиты.

4. ДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ХОДА ЧАСОВ

При регулировании балансовых часов на точность хода производят следующие операции:

- 1) балансировку, или уравнивание баланса на параллельных ножевых опорах;
- 2) грубое регулирование периода колебания баланса на эталонном вибраторе;
- 3) динамическое регулирование колебательной системы часов на приборе П-12 или ППЧ-4;
- 4) регулирование часов по суточным ходам в контрольно-испытательных станциях.

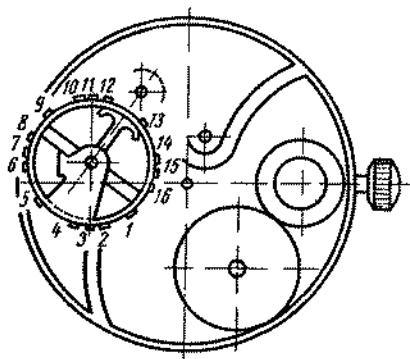
Балансировка, или уравнивание баланса производится путем установки баланса на балансовых весах (параллельные горизонтальные ножевые опоры из корунда). При этом балансу придается вращательное движение, в процессе которого определяется место перевеса.

Уравнивание баланса достигается за счет замены винтов баланса, подкладки регулировочных шайб под винты или высверливанием головок винтов.

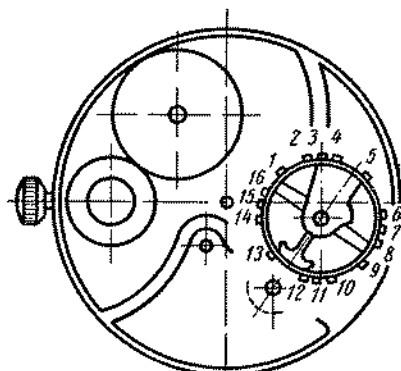
Грубое регулирование периода колебания баланса достигается методом сравнения колебаний испытуемого узла баланса с колебаниями баланса эталонного вибратора.

Путем укорачивания или удлинения рабочей части волоска испытуемого баланса достигается совпадение колебаний с эталонным балансом.

Методика динамического регулирования колебательной системы часов будет приведена на примерах карт динамической балансировки, разработанных А. М. Торговым, Е. В. Куликовым и Д. Г. Барановым [26].

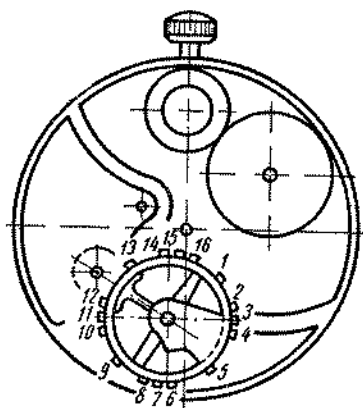


Фиг. 114. Карта № 1 динамической регулировки часов в четырех положениях.

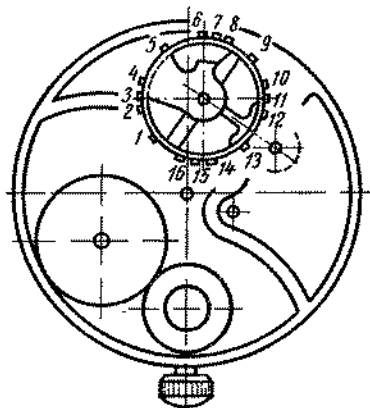


Фиг. 115. Карта № 2 динамической регулировки часов в четырех положениях.

После проверки точности вибрации колебательной системы часы испытываются в четырех вертикальных положениях: головкой вправо, влево, вверх и вниз. Испытания производятся на приборах П-12



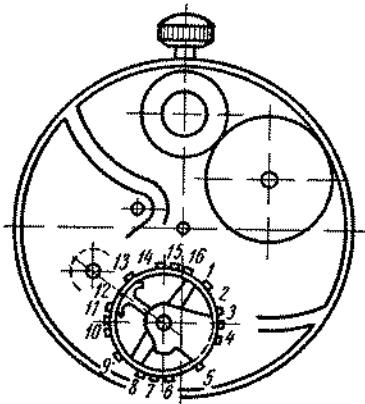
Фиг. 116. Карта № 3 динамической регулировки часов в четырех положениях.



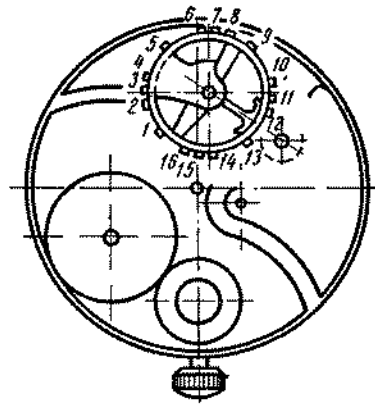
Фиг. 117. Карта № 4 динамической регулировки часов в четырех положениях.

или ППЧ-4 при амплитудах колебания баланса около 160° . На фиг. 114—117 изображены указанные положения часов (применительно к часам «Победа»), указаны наименования дефектов и методы исправления их.

Номера регулировочных шайб и количество шайб устанавливаются в соответствии с приведенной ниже таблицей, составленной для наручных часов «Победа» [26]:

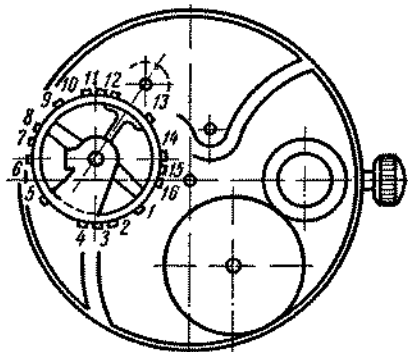


Фиг. 118. Карта № 1 динамической регулировки часов в трех положениях.



Фиг. 119. Карта № 2 динамической регулировки часов в трех положениях.

Можно производить динамическую балансировку часов на этих же приборах, но в трех вертикальных положениях, изображенных на фиг. 118, 119 и 120 [26].



Фиг. 120. Карта № 3 динамической регулировки часов в трех положениях.

Относительное опережение или отставание часов в положении «головкой вправо» устанавливается вычислением разницы между показанием прибора в положении «головкой вправо» и средним значением показаний прибора при испытании в положениях головкой «вверх» и «вниз».

№ регулировочной шайбы	Толщина подкладываемой или снимаемой регулировочной шайбы	Динамическая балансировка		Повторная вибрация изменением массы баланса	
		Регулировочные шайбы подкладываются в соответствии с правилом динамич. балансировки		Среднее изменение суточного хода в сек.	
		Среднее изменение разницы показаний прибора проверки хода часов в двух положениях: 1) головкой вверх и вниз или 2) головкой вправо и влево При подкладывании или снятии у винтов баланса одной регулировочной шайбы (в сек.) См. карты 1 и 2	Среднее изменение опережения или отставания в положении головкой вправо по сравнению с двумя другими положениями — головкой вверх и вниз при подкладывании или снятии у винтов баланса одной регулировочной шайбы (в сек.) См. карту 2	При симметричном подкладывании или снятии у винтов баланса двух регулировочных шайб	При подкладывании или снятии у винтов баланса одной регулировочной шайбы (при динамической балансировке)
1	2	3	4	5	6
1	0,01	25	17	±20	±10
2	0,02	50	35	±40	±20
3	0,03	75	52	±60	±30
4	0,04	100	70	±80	±40
5	0,05	125	87	±100	±50
Замена двух винтов длинных на два коротких винта (или наоборот) вызывает:				около +4 мин.	

1. Знак (+) соответствует подкладыванию регулировочных шайб под винты баланса или замене коротких винтов на длинные.
 2. Знак (—) соответствует снятию регулировочных шайб у винтов баланса или замене длинных винтов на винты короткие.
 3. Знак (+) указывает на изменение хода часов в сторону отставания, знак (—) — в сторону опережения.
 4. Амплитуда колебаний баланса при испытании механизмов на приборе в вертик. положении при динамической балансировке должна быть не более 160°.

5. ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПУСКОВОГО РЕГУЛЯТОРА БАЛАНСОВЫХ ЧАСОВ

Типовой расчет спускового регулятора приведем на примере радиомаячных часов [14].

Из чертежа спуска радиомаячных часов берем следующие основные данные для расчета:

угол покоя	$r = 1^{\circ}30'$;
угол импульса на палете	$i_n = 6^{\circ}30'$;
" " на зубе	$i_z = 2^{\circ}$;
" притяжки	$\tau = 12^{\circ} \div 13^{\circ}30'$;
" подъема баланса	30° ;
" анкерной вилки	10° .

Спуск анкерный швейцарский, неравноплечий.

В целях выравнивания непостоянства крутящего момента заводной пружины применен стабилизатор импульса планетарного типа.

Путем замера устанавливаем, что вращающий момент на оси анкерного колеса при максимальном угле закручивания пружинки подзавода $M_{х.к} = 2,5$ гмм.

Определение момента инерции баланса

По конструктивным размерам частей баланса вычисляем аналитически величину момента инерции баланса.

При расчете мы не учитываем моменты инерции оси баланса, эллипса и колодки волоска ввиду их малости. В целях компенсации ошибки, получаемой от этого приближения, моменты инерции перекладки и двойного ролика подсчитываем без вычета центральных отверстий.

Результаты подсчетов сводим в таблицу:

№ по пор.	Наименование деталей	Материал	Момент инерции в г.мм.сек ²
1	Внешний обод баланса	Латунь	$2225 \cdot 10^{-6}$
2	Внутренний обод баланса	Сталь	$1570 \cdot 10^{-6}$
3	Перекладка	"	$346 \cdot 10^{-6}$
4	Двойной ролик	"	$9 \cdot 10^{-6}$
5	Головки больших винтов баланса (14 шт)	Латунь	$2660 \cdot 10^{-6}$
6	Головки малых винтов баланса (4 шт.)	"	$296 \cdot 10^{-6}$
	Общий момент инерции баланса J_0		$7106 \cdot 10^{-6} =$ $= 0,0071$ г.мм.сек ²

Примечание. При определении J_0 приняты удельные веса: для стали $\gamma = 7,85$ г/см³; для латуни $\gamma = 8,5$ г/см³.

Затем подсчитываем теоретическую суточную ошибку спускового регулятора.

Величина суточной ошибки хода определяется следующей формулой:

$$\Delta t = \frac{86400}{4\pi A} (A_0 i + A_1 r) \cdot \frac{1}{\Phi},$$

где $A = \frac{J_0 \omega_0^2}{2}$ — кинетическая энергия баланса;

A_0 — работа освобождения в *гмм*;

i — угол импульса в радианах;

A_1 — работа импульса в *гмм*;

r — угол покоя в радианах;

Φ — амплитуда колебаний баланса в радианах.

Так как i и r заданы, J_0 нами определено, то приступим к определению A_0 и A_1 .

А. Построение графиков моментов на анкере для углов освобождения и импульса на входной и выходной палетах

Входная палета

а) Освобождение. Из схематического чертежа (фиг. 121) следует, что:

$$M_a = NO_a a + \mu NO_a b;$$

$$M_{xk} = NO_{xk} C - \mu NO_{xk} d;$$

$$M_a = \frac{O_a a + \mu O_a b}{O_{xk} C - \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}.$$

Значения плеч для разных положений зуба на палете определяются из построения по конструктивным размерам в масштабе 100 : 1. Построение различных положений производится методом обкатки, т. е. анкерная вилка представляется неподвижной, а ходовое колесо обкатывается вокруг центра вращения анкера, причем центр его на чертеже перемещается.

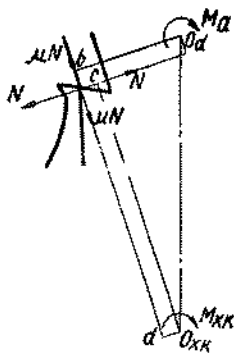
Ввиду громоздкости построение здесь не приводим.

Полученные из построения величины плеч и подсчитанные значения M_a без учета трения (полагая $\mu = 0$) и M_a с учетом трения сведены в следующую таблицу:

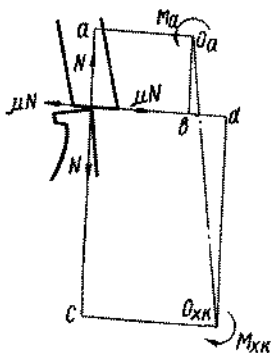
φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} C$	$O_{xk} d$	M_a в <i>гмм</i> без учета трения	M_a в <i>гмм</i> с учетом трения
0°	49,2	230	402,7	83,3	0,305	0,535
$\frac{1}{3} r = 0^\circ 30'$	51,3	230	402,3	87,8	0,318	0,553
$\frac{2}{3} r = 1^\circ 00'$	53,2	230	401,5	91,8	0,333	0,565
$r = 1^\circ 30'$	55,7	230	400,5	96,2	0,348	0,585

б) Импульс на палете. Из схематического чертежа (фиг. 122) выводим следующее расчетное уравнение:

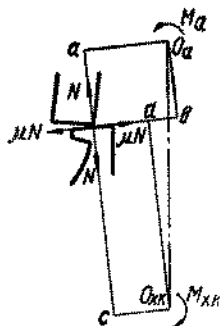
$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{xk} c + \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}$$



Фиг. 121. Схема усилий на входной палете при освобождении.



Фиг. 122. Импульс на палете (входная палета).



Фиг. 123. Импульс на зубе (входная палета).

Определяя величины плеч из построения, составляем следующую таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} c$	$O_{xk} d$	M_a в мм без учета трения	M_a в мм с учетом трения
r	209,5	110,5	189,5	364,5	2,75	1,96
$r + \frac{i_n}{8}$	201,8	110,5	188,0	364,8	2,68	1,91
$r + \frac{i_n}{4}$	195,2	110,5	187,5	364,8	2,60	1,84
$r + \frac{3i_n}{8}$	188,3	110,5	188,0	364,8	2,50	1,77
$r + \frac{1i_n}{2}$	182,8	110,5	187,5	364,6	2,44	1,72
$r + \frac{5i_n}{8}$	176,6	110,5	188,2	364,6	2,35	1,65
$r + \frac{3i_n}{4}$	171,3	110,5	188,2	364,4	2,28	1,59
$r + \frac{7i_n}{8}$	166,0	110,5	189,0	364,1	2,19	1,54
$r + i_n$	161,0	110,5	190,2	363,8	2,12	1,48

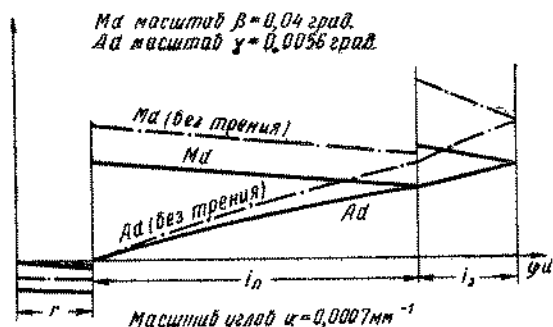
в) Импульс на зубе. Из схематического чертежа (фиг. 123) выводим следующее расчетное уравнение:

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{xk} c + \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}.$$

Из построения определяем величины плеч и моментов, сведенные в следующую таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} c$	$O_{xk} d$	M_a в гмм без учета трения	M_a в гмм с учетом трения
$r + i_n$	178,5	78,2	121,5	393,1	3,68	2,31
$r + i_n + \frac{i_3}{4}$	178,2	79,0	129,5	93,1	3,45	2,21
$r + i_n + \frac{i_3}{2}$	177,8	79,8	138,0	393,1	3,22	2,10
$r + i_n + \frac{i_3}{4}$	177,4	80,7	145,8	393,1	3,05	2,02
$r + i_n + i_3$	177,0	81,5	153,8	393,1	2,87	1,94

По полученным значениям M_a строим график $M_a - \varphi_a$ для входной палеты (фиг. 124). По этому графику путем графического интегрирования получаем кривую работы $A_a - \varphi_a$.



Фиг. 124. График моментов и работы освобождения и импульса на входной палете.

Назначаем масштабы:

Масштаб углов φ_a : $\alpha = 0,0007 \text{ мм}^{-1}$;

Масштаб моментов M_a : $\beta = 0,04 \text{ г}$;

Тогда масштаб работы A_a : $\gamma = \alpha \beta K = 0,0056 \text{ г}$ (K — отрезок интегрирования взят равным 200 мм).

По графику определяем работу импульса, затраченную (без трения) и полезную A_{1a} .

Определяем к. п. д. на входной палете:

$$A_1 a = 69 \cdot 0,0056 = 0,386 \text{ гмм};$$

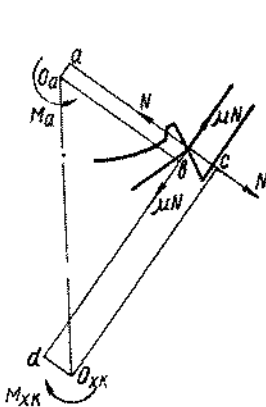
$$A_2 a = 47,9 \cdot 0,0056 = 0,268 \text{ гмм};$$

$$\eta = \frac{47,9}{69} = 0,695.$$

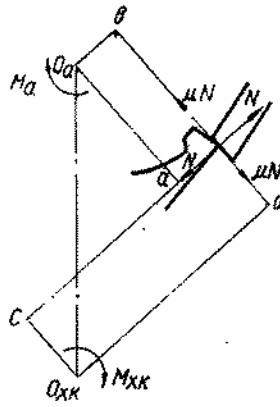
Выходная палета

а) Освобождение. Из схематического чертежа (фиг. 125) выводим расчетное уравнение

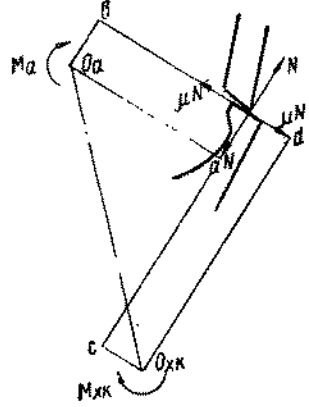
$$M_a = \frac{O_a a + \mu O_a b}{O_{\gamma A} C - \mu O_{\gamma A} d} \cdot M_{\gamma K},$$



Фиг. 125. Схема усилий на выходной палете при освобождении.



Фиг. 126. Импульс на палете (выходная палета).



Фиг. 127. Импульс на зубе (выходная палета).

Из построения определяем величины плеч и моментов, сведенные в следующую таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{\gamma A} C$	$O_{\gamma K} d$	M_a в гмм без учета трения	M_a в гмм
0	57,2	232	400,8	96,5	0,358	0,595
$\frac{1}{3} r$	55,2	232	401,5	93,5	0,343	0,580
$\frac{2}{3} r$	53,2	232	402,0	91,0	0,330	0,567
r	50,8	232	402,8	67,0	0,315	0,545

б) Импульс на палете. Из схематического чертежа (фиг. 126) выводим расчетное уравнение

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{xk} C + \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}$$

Величины плеч и моментов сводим в таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} C$	$O_{xk} d$	M_a в гмм без учета трения	M_a в гмм
r	182,2	152,5	265,0	314,5	1,72	1,26
$r + \frac{1}{8} i_n$	187,0	152,5	257,8	320,2	1,81	1,34
$r + \frac{1}{4} i_n$	192,5	152,5	250,2	326,2	1,93	1,42
$r + \frac{3}{8} i_n$	198,7	152,5	241,8	333,0	2,05	1,51
$r + \frac{1}{2} i_n$	204,8	152,5	233,0	339,0	2,20	1,60
$r + \frac{5}{8} i_n$	211,0	152,5	233,7	345,2	2,36	1,71
$r + \frac{3}{4} i_n$	217,5	152,5	214,7	351,0	2,52	1,82
$r + \frac{7}{8} i_n$	224,5	152,5	204,7	356,7	2,75	1,95
$r + i_n$	231,0	152,5	196,2	361,5	2,95	2,08

в) Импульс на зубе. Из схематического чертежа (фиг. 127) выводим расчетное уравнение:

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{xk} C + \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}$$

Величины плеч и моментов, полученных из построения и расчетов, сводим в таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} C$	$O_{xk} d$	M_a в гмм без учета трения	M_a в гмм
$r + i_n$	256,2	104,5	121,5	393,1	5,26	3,33
$r + i_n + \frac{1}{4} i_3$	252,8	111,2	130,0	393,1	4,85	3,13
$r + i_n + \frac{1}{2} i_3$	249,8	118,0	138,0	393,1	4,52	2,95
$r + i_n + \frac{3}{4} i_3$	246,5	124,8	146,0	393,1	4,22	2,78
$r + i_n + i_3$	243,0	131,8	154,2	393,1	3,93	2,60

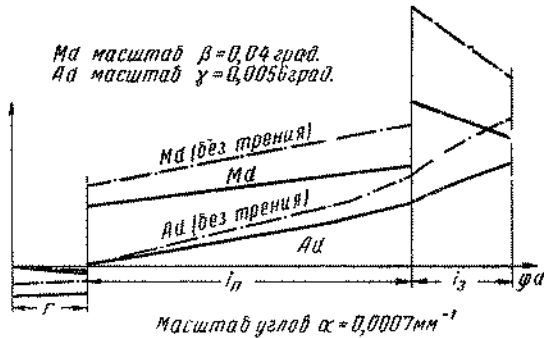
По полученным значениям строим график (фиг. 128) $M_a - \varphi_a$ для выходной палеты. Масштабы берем те же, что и для входной палеты. Интегрируя кривую M_a , получаем график $A_a - \varphi_a$.

По графику определяем работу импульса A_1a и к. п. д. на выходной палете:

$$A_1a = 73,9 \cdot 0,0056 = 0,414 \text{ гмм};$$

$$A_2a = 51,2 \cdot 0,0056 = 0,287 \text{ гмм};$$

$$\eta = \frac{51,2}{73,9} = 0,693.$$



Фиг. 128. График моментов и работы освобождения импульса на выходной палете.

Сравнивая эти данные с данными для входной палеты, находим, что работы импульса отличаются незначительно, а к. п. д. на обеих палетах почти одинаковы.

Б. Построение графиков моментов на оси баланса $M_b - \varphi_b$ и графиков работы освобождения и импульса на оси баланса $A_b - \varphi_b$

Моменты на оси баланса при освобождении анкерной вилки и при импульсе определяются из построения по конструктивным размерам для различных положений эллипса и вилки в масштабе 100 : 1. Построение ведется по методу обкатки. Анкерная вилка изображается неподвижной, а баланс обкатывается вокруг нее. Чертеж построения ввиду громоздкости не приводим.

а) Освобождение анкерной вилки. Из схематического чертежа (фиг. 129) выводим следующее расчетное уравнение:

$$M_b = \frac{O_{ba} + \mu O_{bb}}{O_{ac} + \mu O_{ad}} \cdot M_a.$$

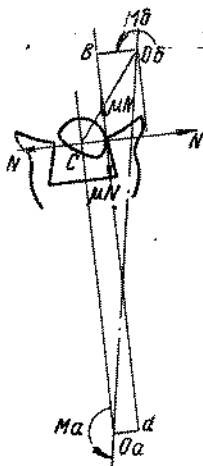
Полученные по построению величины плеч и подсчитанные по ним моменты на оси баланса сводим в таблицу. При этом

полагаем $M_a = \text{const} = 1$, т. е. вносим в таблицу значения выражений

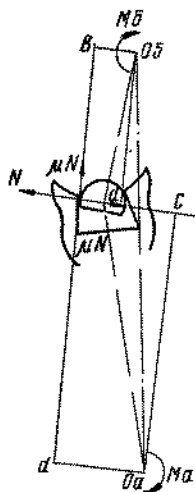
$$\frac{O_{6a}}{O_a C} \text{ и } \frac{O_{6a} + \mu O_{6b}}{O_a C + \mu O_a d}$$

φ_a	φ_0	O_{6a}	O_{6b}	$O_a C$	$O_a d$	$\frac{O_{6a}}{O_a C}$	$\frac{O_{6a} + \mu O_{6b}}{O_a C + \mu O_a d}$
0	0	164,5	24,5	515,0	7,0	0,319	0,326
$\frac{1}{3} r$	$1^\circ 30'$	163,5	26,5	514,0	32,5	0,318	0,323
$\frac{2}{3} r$	3°	162,5	29,0	512,0	59,0	0,318	0,320
r	$4^\circ 30'$	162,5	29,5	509,0	78,0	0,319	0,321

б) И м п у л ь с. Из схематического чертежа (фиг. 130) выводим следующие расчетные уравнения:



Фиг. 129. Схема усилий на вилке при освобождении.



Фиг. 130. Схема усилий на вилке при импульсе.

1) для φ_0 от $4^\circ 30'$ до 18° :

$$M_b = \frac{O_{6a} - \mu O_{6b}}{O_a C + \mu O_a d} \cdot M_a$$

2) для φ_0 от 18° до $24^\circ 30'$:

$$M_b = \frac{O_{6a} + \mu O_{6b}}{O_a C + \mu O_a d} \cdot M_a$$

3) для φ_6 от $24^\circ 30'$ до 30° ;

$$M_6 = \frac{O_{6a} - \mu O_{6b}}{O_{aC} - \mu O_{aD}} \cdot M_a.$$

Расчетные данные сводим в таблицу.

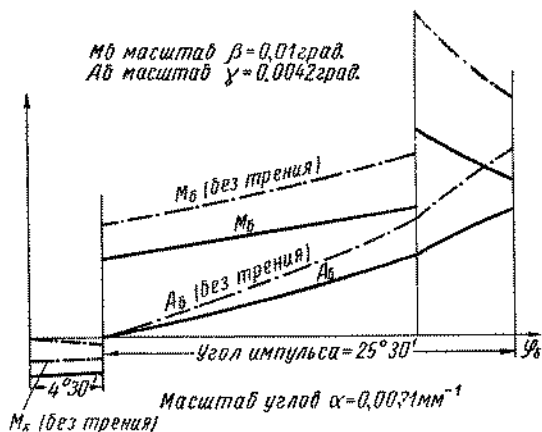
φ_a	φ_6	O_{6a}	O_{6b}	O_{aC}	O_{aD}	$\frac{O_{6a}}{O_{aC}}$	$\frac{O_{6a} \pm \mu \cdot O_{6b}}{O_{aC} \pm \mu \cdot O_{aD}}$
r	$4^\circ 30'$	170,5	53,5	509,0	77,0	0,334	0,312
$r + \frac{1}{8} i_n$	$6^\circ 57'$	171,5	44,0	507,5	77,0	0,338	0,318
$r + \frac{1}{4} i_n$	$9^\circ 24'$	172,2	34,0	506,5	77,0	0,340	0,323
$r + \frac{3}{8} i_n$	$11^\circ 51'$	172,5	24,5	505,5	77,0	0,341	0,327
$r + \frac{1}{2} i_n$	$14^\circ 15'$	172,0	15,0	505,2	77,0	0,340	0,329
$r + \frac{5}{8} i_n$	$16^\circ 42'$	171,0	5,5	505,2	77,0	0,339	0,329
$r + \frac{3}{4} i_n$	$19^\circ 09'$	169,5	3,8	505,5	77,0	0,336	0,331
$r + \frac{7}{8} i_n$	$21^\circ 36'$	167,5	13,5	506,5	77,0	0,331	0,327
$r + i_n$	24°	164,5	23,0	508,0	77,0	0,324	0,323
$r + i_n + \frac{1}{4} i_3$	$25^\circ 30'$	162,5	29,0	509,0	77,0	0,319	0,318
$r + i_n + \frac{1}{2} i_3$	27°	163,2	27,5	512,0	54,5	0,319	0,317
$r + i_n + \frac{3}{4} i_3$	$28^\circ 30'$	164,0	25,0	513,5	29,5	0,320	0,315
$r + i_n + i_3$	30°	164,5	24,0	515,0	6,5	0,320	0,313

Умножая значения дробей из последних двух граф предыдущей таблицы на соответствующие значения M_a из таблиц моментов на анкере, получим таблицу $M_6 - \varphi_6$ для входной и выходной палет.

φ_6	Входная палета		Выходная палета		Зона
	M_6 в гмм без трения	M_6 в гмм	M_6 в гмм без трения	M_6 в гмм	
0°	0,098	0,174	0,114	0,194	Освобожденные То же " "
$1^\circ 30'$	0,101	0,179	0,109	0,187	
$3'$	0,106	0,181	0,105	0,181	
$4^\circ 30'$	0,111	0,188	0,100	0,175	

φ_6	Входная палета		Выходная палета		Зона
	M_6 в гмм без трения	M_5 в гмм	M_6 в гмм без трения	M_6 в гмм	
4°30'	0,918	0,618	0,574	0,398	Импульс на палете То же " " " " " " " "
6°57'	0,906	0,607	0,612	0,426	
9°24'	0,884	0,594	0,657	0,459	
11°51'	0,852	0,578	0,698	0,494	
14°15'	0,830	0,566	0,749	0,526	
16°42'	0,797	0,543	0,800	0,562	
19°09'	0,766	0,526	0,846	0,602	
21°36'	0,726	0,504	0,911	0,638	
24°	0,687	0,478	0,956	0,672	
24°	1,19	0,746	1,70	1,07	
25°30'	1,10	0,702	1,55	0,995	
27°	1,03	0,665	1,44	0,935	
28°30'	0,976	0,635	1,35	0,876	
30°	0,920	0,608	1,26	0,814	

По данным таблицы строим графики $M_6 - \varphi_6$ и $A_6 - \varphi_6$ для входной палеты (фиг. 131) и для выходной палеты (фиг. 132).



Фиг. 131. График моментов и работы освобождения и импульса на оси баланса для входной палеты.

Масштабы графиков:

масштаб углов φ_6 : $\alpha = 0,0021 \text{ мм}^{-1}$;

масштаб моментов M_6 : $\beta = 0,01 \text{ г}$;

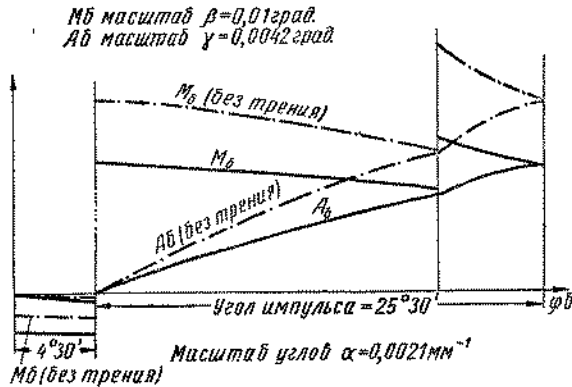
масштаб работы: $\gamma = 0,0042 \text{ г}$.

По графикам работы получаем общий к. п. д. спуска

$$\eta_{вх} = \frac{61,2}{92} = 0,67 \text{ (для входной палеты);}$$

$$\eta_{вых} = \frac{66,2}{97,4} = 0,68 \text{ (для выходной палеты).}$$

Средний к. п. д. спуска $\eta = 0,675$.



Фиг. 132. График моментов и работы освобождения и импульса на оси баланса для выходной палеты.

Работа импульса баланса:

на входной палете: $A_{i6} = 0,2599 \text{ гмм};$

на выходной палете: $A_{i6} = 0,27824 \text{ гмм}.$

Средняя работа импульса:

$$A_{i6} = 0,269 \text{ гмм}.$$

Работа освобождения баланса:

на входной палете $A_{осв. б} = 0,0142 \text{ гмм};$

на выходной палете $A_{осв. б} = 0,0145 \text{ гмм}.$

Средняя работа освобождения:

$$A_{осв. б} = 0,01435 \text{ гмм}.$$

Определение кинетической энергии баланса

$$A = \frac{J_{б} \omega_{б}^2}{2};$$

здесь $\omega_{б}$ — скорость баланса в момент прохождения положения равновесия;

$$\omega_{б} = \frac{2\pi}{T} \Phi;$$

Определим суточную ошибку хода, вызываемую изменением амплитуды колебаний баланса в рабочем диапазоне $240-210^{\circ}$.

При амплитуде $\Phi = 240^\circ \left(\frac{4}{3} \pi \right)$ угловая скорость баланса будет:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{0,4} \cdot \frac{4}{3} \pi = 67 \text{ рад/сек.}$$

Кинетическая энергия баланса:

$$A = \frac{0,0071 \cdot 4450}{2} = 15,8 \text{ эмм.}$$

Изменение суточного хода, вызванное влиянием спускового механизма, при амплитуде колебаний $\Phi = 240^\circ$ будет:

$$\begin{aligned} (\Delta t)_{240} &= \frac{86\,400}{4\pi \cdot A} (A_0 i + A i \cdot r) \cdot \frac{1}{\Phi} = \\ &= \frac{86\,400}{4\pi \cdot 15,8} (0,01435 \cdot 0,4451 + 0,269 \cdot 0,0785) \cdot \frac{3}{4\pi} = 2,8 \text{ сек.} \end{aligned}$$

При амплитуде $\Phi = 210^\circ = \frac{7}{6} \pi$ соответственно получим:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{0,4} \cdot \frac{7}{6} \pi = 58,5 \text{ рад/сек.}$$

$$A = \frac{0,0071 \cdot 3420}{2} = 12,1 \text{ эмм.}$$

$$(\Delta t)_{210} = \frac{86\,400}{4\pi \cdot 12,1} (0,01435 \cdot 0,4451 + 0,269 \cdot 0,0785) \cdot \frac{6}{7\pi} = 4,2 \text{ сек.}$$

Суточная ошибка хода, вызываемая изменением амплитуды от 240° до 210° , будет:

$$\Delta t = (\Delta t)_{210} - (\Delta t)_{240} = 4,2 - 2,8 = 1,4 \text{ сек.}$$

Расчетная величина суточной ошибки хода подтверждается данными испытаний радиомаячных часов, показавшими уклонение суточного хода за 6 суток на 6,5 сек. при максимальной разности между двумя соседними суточными ходами 1,5 сек.



Фиг. 133. Механизм хронометра с анкерным спуском.

6. ПОВЕРОЧНЫЙ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ХРОНОМЕТРА С АНКЕРНЫМ СПУСКОМ

Фирма Ланге, как и фирма Тиц Киль, выпускает хронометры с анкерными спусками, предназначенные для использования в неблагоприятных в смысле тряски и вибраций условиях, в которых не могут работать хронометры

с пружинными спусками. Механизм такого хронометра изображен на фиг. 133.

Спусковой регулятор этого хронометра имеет следующие параметры:

Спуск — анкерный, швейцарский, смешанный; угол подъема анкера — 12° ; угол подъема баланса — 42° .

Вращающий момент на оси анкерного колеса

$$M_{\text{хк}} = 16,5 \text{ гмм}; \text{ момент инерции баланса } J_6 = 0,218 \text{ гммсек}^2.$$

Входная палета

Угол покоя $r = 2^\circ 53'$; угол импульса на палете $i_n = 4^\circ 40'$; угол импульса на зубе $i_z = 4^\circ 00'$; угол потеряннго пути $0^\circ 27'$; угол притяжки $\tau = 13^\circ 08' \div 15^\circ 58'$.

Выходная палета

угол покоя $r = 2^\circ 04'$; угол импульса на палете $i_n = 5^\circ 53'$; угол импульса на зубе $i_z = 2^\circ 50'$; угол потеряннго пути $1^\circ 13'$; угол притяжки $\tau = 15^\circ 08' \div 17^\circ 15'$; определим суточную ошибку хода.

А. Построение графика моментов на анкере

Входная палета

а) Освобождение. Расчетная формула

$$M_a = \frac{O_a a + \mu O_a b}{O_{\text{хк}c} - \mu O_{\text{хк}d}} \cdot M_{\text{хк}}.$$

Полученные величины плеч и значения M_a сводим в таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{\text{хк}c}$	$O_{\text{хк}d}$	M_a в гмм без трения	M_a в гмм
0	48,5	212	353,5	77,5	2,26	3,88
$\frac{1}{2} r = 1^\circ 26'$	54	212	351,0	87,5	2,54	4,18
$r = 2^\circ 53'$	59,5	212	348,5	97,5	2,82	4,51

б) Импульс на палете. Расчетная формула

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{\text{хк}c} + \mu O_{\text{хк}d}} M_{\text{хк}}.$$

Полученные значения величин сводим в таблицу:

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{\text{хк}c}$	$O_{\text{хк}d}$	M_a в гмм без трения	M_a в гмм
r	202	86,5	142,0	333,0	23,4	16,2
$r + \frac{1}{8} i_n$	196	86,5	140,0	333,5	23,0	15,9
$r + \frac{1}{4} i_n$	189,5	86,5	138,5	334,0	22,6	15,5

φ_a	O_{a^a}	O_{a^b}	O_{xk^c}	O_{xk^d}	M_a в г.мм без трения	M_a в г.мм
$r + \frac{3}{8} i_n$	184	86,5	137,0	334,5	22,2	15,1
$r + \frac{1}{2} i_n$	178,5	86,5	136,0	335,0	21,7	14,7
$r + \frac{5}{8} i_n$	172,5	86,5	135,5	335,5	21,0	14,2
$r + \frac{3}{4} i_n$	168	86,5	135	336,0	20,5	13,8
$r + \frac{7}{8} i_n$	163,5	86,5	134,0	336,5	20,2	13,5
$r + i_n$	159	86,5	133,5	336,5	19,7	13,1

в) Импульс на зубе. Расчетная формула

$$M_a = \frac{O_{a^a} - \mu O_{a^b}}{O_{xk^c} + \mu O_{xk^d}} \cdot M_{xk^c}$$

φ_a	O_{a^a}	O_{a^b}	O_{xk^c}	O_{xk^d}	M_a в г.мм без трения	M_a в г.мм
$r + i_n$	160,5	84,5	127	338	20,8	13,7
$r + i_n + \frac{1}{4} i_2$	160,5	84,5	134	338,5	19,8	13,2
$r + i_n + \frac{1}{2} i_2$	160,5	84,5	140	338,5	18,9	12,8
$r + i_n + \frac{3}{4} i_2$	160,5	84,5	148	339	17,9	12,2
$r + i_n + i_2$	160,5	84,5	155,5	389	17,0	11,8

Строим график $M_a - \varphi_a$ (фиг. 134); интегрируя, получаем график $A_a - \varphi_a$.

Затраченная работа импульса $A_{i^a} = 3,10$ г.мм.

Полезная работа импульса $A_{i^a} = 2,092$ г.мм.

К. п. д. на входной палете

$$\eta_{ax} = \frac{2,092}{3,10} = 0,675.$$

Выходная палета

а) Освобождение

$$M_a = \frac{O_a a + \mu O_a b}{O_{\text{хк}} C - \mu O_{\text{хк}} d} \cdot M_{\text{хк}}$$

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{\text{хк}} C$	$O_{\text{хк}} d$	M_a в гмм без трения	M_d в гмм
0	62,5	197	340,5	122,5	3,04	4,71
$\frac{1}{2} r$	59	197	342,5	118	2,84	4,50
r	55	197	344,0	113	2,64	4,26

б) Импульс на палете

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{\text{хк}} C + \mu O_{\text{хк}} d} \cdot M_{\text{хк}}$$

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{\text{хк}} C$	$O_{\text{хк}} d$	M_a в гмм без трения	M_d в гмм
r	170	113	214	291,5	13,1	9,8
$r + \frac{1}{8} i_n$	175	113	207	297,5	14,0	10,4
$r + \frac{1}{4} i_n$	180,5	113	199	302,5	15,0	11,0
$r + \frac{3}{8} i_n$	185,5	113	191,5	307,5	16,0	11,7
$r + \frac{1}{2} i_n$	191	113	183	312	17,2	12,5
$r + \frac{5}{8} i_n$	196,5	113	175	317	18,5	13,3
$r + \frac{3}{4} i_n$	202,5	113	166,5	321	20,1	14,3
$r + \frac{7}{8} i_n$	209	113	157,5	325,5	21,9	15,3
$r + i_n$	215,5	113	148,5	329,5	23,9	16,6

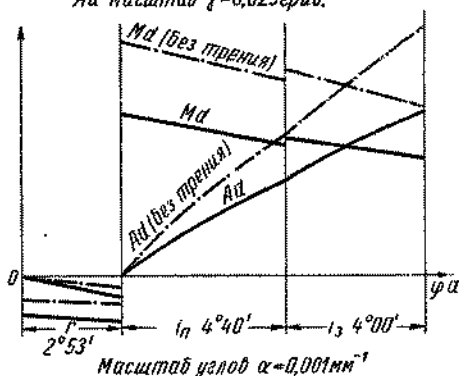
в) Импульс на зубе

$$M_a = \frac{O_a a - \mu O_a b}{O_{xk} C + \mu O_{xk} d} \cdot M_{xk}.$$

φ_a	$O_a a$	$O_a b$	$O_{xk} C$	$O_{xk} d$	M_a в гмм без трения	M_a в гмм
$r + i_n$	223,5	98	125	339	29,5	19,6
$r + i_n + \frac{1}{4} i_3$	220	105	132,5	339	27,4	18,4
$r + i_n + \frac{1}{2} i_3$	216	112	141,5	339	25,2	17,1
$r + i_n + \frac{3}{4} i_3$	207,5	113	148	343	23,2	15,8
$r + i_n + i_3$	215,5	113	137	348	26,0	17,8

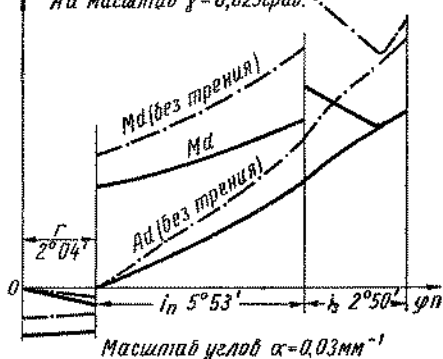
Строим графики $M_a - \varphi_a$ и $A_a - \varphi_a$ (фиг. 135), по графику определяем $A_a = 3,053$ гмм; $A_a = 2,163$ гмм.

M_d масштаб $\beta = 0,2$ град.
 A_d масштаб $\gamma = 0,025$ град.



Фиг. 134. График моментов и работы освобождения и импульса на входной палете.

M_d масштаб $\beta = 0,2$ град.
 A_d масштаб $\gamma = 0,025$ град.



Фиг. 135. График моментов и работы освобождения и импульса на входной палете.

Отсюда к. п. д. на выходной палете будет

$$\eta_{вых} = \frac{2,163}{3,063} = 0,708.$$

Б. Построение графиков моментов и работы освобождения и импульса на оси баланса

Расчетные формулы:

а) Освобождение анкерной вилки

$$M_b = \frac{O_b a + \mu O_b b}{O_a C - \mu O_a d} \cdot M_a.$$

б) Импульс

для φ_b от $10^{\circ}35'$ до 21° ;

$$M_b = \frac{O_{6a} - \mu O_{6b}}{O_{aC} - \mu O_{ad}} \cdot M_a.$$

для φ_b от 21° до 28° ;

$$M_b = \frac{O_{6a} + \mu O_{6b}}{O_{aC} + \mu O_{ad}} \cdot M_a.$$

для φ_b от 28° до 42° ;

$$M_b = \frac{O_{6a} - \mu O_{6b}}{O_{aC} + \mu O_{ad}} \cdot M_a.$$

Входная палета
Строим таблицу значений величин

φ_a	φ_b	O_{6a}	O_{6b}	O_{aC}	O_{ad}	M_b в гмм без трения	M_b в гмм	Зона
0	0	145	18,5	528	83	0,62	0,11	Освобождение
$1^{\circ}26'$	$5^{\circ}02'$	141	30,5	533	23,2	0,67	1,15	То же
$2^{\circ}53'$	$10^{\circ}05'$	146	13	529	23,2	0,78	1,28	"
$2^{\circ}53'$	$10^{\circ}05'$	145	60	529,5	23,2	6,42	4,14	Импульс на па- лете
$3^{\circ}28'$	$12^{\circ}07'$	147	53	528	23,2	6,42	4,16	То же
$4^{\circ}03'$	$14^{\circ}10'$	148	46,5	526,8	23,2	6,36	4,13	"
$4^{\circ}38'$	$16^{\circ}12'$	149	39,5	526	23,2	6,30	4,08	"
$5^{\circ}13'$	$18^{\circ}15'$	149,5	33	525,5	23,2	6,20	4,02	"
$5^{\circ}48'$	$20^{\circ}17'$	150	26	525	23,2	6,00	3,93	"
$6^{\circ}23'$	$22^{\circ}20'$	150	19	525	23,2	5,86	4,0	"
$6^{\circ}58'$	$24^{\circ}22'$	149,5	12,5	525,5	23,2	5,75	3,87	"
$7^{\circ}33'$	$26^{\circ}25'$	149	5	526	23,2	5,60	3,70	"
$7^{\circ}33'$	$26^{\circ}25'$	149	5	526	23,2	5,90	3,88	Импульс на зубе
$8^{\circ}33'$	$29^{\circ}55'$	147,5	7	527,5	23,2	5,55	3,67	То же
$9^{\circ}33'$	$33^{\circ}25'$	144,5	18,5	530	23,2	5,15	3,40	"
$10^{\circ}33'$	$36^{\circ}55'$	141	30	532,5	23,2	4,75	3,11	"
$11^{\circ}33'$	$40^{\circ}25'$	142,5	25	532,5	45	4,55	3,04	"

Значения M_b получаем, взяв соответствующие значения M_a из таблиц $M_a - \varphi_a$ и помножая их на полученные из построения коэффициенты.

Выходная палета

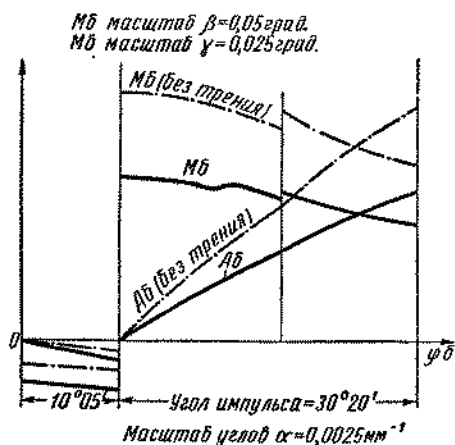
φ_a	φ_b	O_{6a}	O_{6b}	O_{aC}	O_{ad}	M_b в гмм без трения	M_b в гмм	Зона
0	0	144,5	19	529	81	0,83	1,35	Освобождение
$1^{\circ}02'$	$3^{\circ}37'$	139	35	534	23,2	0,74	1,22	То же
$2^{\circ}04'$	$7^{\circ}14'$	143,5	23	530,5	23,2	0,715	1,19	"
$2^{\circ}04'$	$7^{\circ}14'$	143	70	531	23,2	2,53	2,43	Импульс на па- лете

φ_a	φ_b	O_{0a}	O_{0b}	O_{0c}	O_{0d}	M_0 в гмм без трения	M_0 в гмм	Зона
2°43'	9°48'	145	61	529	23,2	3,84	2,66	Импульс на палете
3°32'	12°22'	148	53	527	23,2	4,22	2,91	То же
4°16'	14°56'	149	44	526	23,2	4,54	3,15	"
5°	17°30'	150	35	525,5	23,2	4,90	3,42	"
5°44'	20°04'	150,5	27	525	23,5	5,30	3,69	"
6°28'	22°38'	150,5	18	525	23,2	5,76	4,15	"
7°12'	25°12'	150	9	525,5	23,2	6,25	4,38	"
7°57'	27°49'	149	1	526	23,2	6,78	4,67	"
7°57'	27°49'	149	1	526	23,2	8,35	5,51	Импульс на зубе
8°39'	30°16'	148	8	524	23,2	7,70	5,10	То же
9°22'	32°47'	146	16	529	23,2	6,95	4,61	"
10°04'	35°14'	143	24	531	23,2	6,25	4,12	"
10°47'	37°45'	141	32	533	23,2	6,88	4,38	"

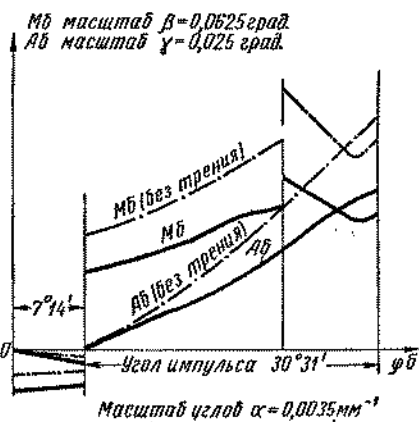
По полученным данным строим графики $M_0 - \varphi_0$ и $A_0 - \varphi_0$ (фиг. 136 и 137). По графикам работ получаем к. п. д. спуска:

для входной палеты $\eta_{вх} = \frac{1,989}{3,03} = 0,656$;

для выходной палеты $\eta_{вых} = \frac{2,083}{3,04} = 0,685$



Фиг. 136. График моментов и работы освобождения и импульса на оси баланса для входной палеты.



Фиг. 137. График моментов и работы освобождения и импульса на оси баланса для выходной палеты.

Средний к. п. д. спуска $\eta = 0,67$.

Работа импульса на входной палете:

$A_{вх} = 1,989$ гмм;

на выходной палете $A_{вых} = 2,083$ гмм.

Средняя работа импульса $A_i = 2,036$ гмм.

Работа освобождения:

На входной палете $A_{осв. вх} = 0,208$ гмм.

На выходной палете $A_{осв. вых} = 0,16$ гмм.

Средняя работа освобождения $A_{осв} = 0,184$ гмм.

В. Определение суточной ошибки хода, вызываемой изменением амплитуды колебаний баланса от 240 до 210°

Рабочий диапазон амплитуд колебаний баланса 210—240°.

При амплитуде $\Phi = 240^\circ$ имеем:

угловая скорость баланса:

$$\omega_6 = \frac{2\pi}{0,5} \cdot \frac{3\pi}{2} = 60 \text{ сек}^{-1};$$

кинетическая энергия баланса:

$$A = \frac{0,218 \cdot 3600}{2} = 393 \text{ гмм.}$$

При амплитуде $\Phi = 210^\circ$:

$$\omega_6 = \frac{2\pi}{0,5} \cdot \frac{7\pi}{6} = 46,7 \text{ сек}^{-1};$$

$$A = \frac{0,218 \cdot 2200}{2} = 240 \text{ гмм.}$$

Для входной палеты имеем:

угол импульса $i = 30^\circ 20' = 0,520$;

угол освобождения $r = 10^\circ 05' = 0,176$

$$\Delta t_{(240)} = \frac{86400}{4\pi \cdot 393} (0,208 \cdot 0,520 + 1,989 \cdot 0,176) \frac{2}{3\pi} = 1,7 \text{ сек.}$$

$$\Delta t_{(210)} = \frac{86400}{4\pi \cdot 240} (0,208 \cdot 0,520 + 1,989 \cdot 0,176) \frac{6}{7\pi} = 3,6 \text{ сек.}$$

Суточная ошибка хода для входной палеты будет:

$$\Delta t_{вх} = 3,6 - 1,7 = 1,9 \text{ сек.}$$

Для выходной палеты соответственно получим:

$$i = 30^\circ 31' = 0,532; \quad r = 7^\circ 14' = 0,126;$$

$$\Delta t_{(240)} = \frac{86400}{4\pi \cdot 393} (0,16 \cdot 0,532 + 2,083 \cdot 0,126) \frac{2}{3\pi} = 1,3 \text{ сек.};$$

$$\Delta t_{(210)} = \frac{86400}{4\pi \cdot 240} (0,16 \cdot 0,532 + 2,083 \cdot 0,126) \frac{6}{7\pi} = 2,7 \text{ сек.}$$

$$\Delta t_{вых} = 2,7 - 1,3 = 1,4 \text{ сек.}$$

Средняя суточная ошибка хода будет:

$$\Delta t = \frac{1,9 + 1,4}{2} = 1,65 \text{ сек.}$$

Расчетная величина суточной ошибки хода подтверждается данными испытаний хронометров с анкерными спусками.

ГЛАВА X

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ

Механические часы и часовые механизмы можно по назначению их распределить на следующие группы:

- 1) часы индивидуального пользования;
- 2) часы коллективного пользования;
- 3) технические часы;
- 4) секундомеры;
- 5) будильники;
- 6) специальные часовые механизмы.

К часам индивидуального пользования относятся наручные и карманные часы, в том числе часы с секундомером, карманные хронометры, часы с репетиром, часы с календарем и другими устройствами.

К часам коллективного пользования относятся настольные, каминные, настенные, напольные часы и шахматные, а также башенные часы.

Технические часы представляют собой очень большую группу часов различного назначения, в которую входят:

а) столовые хронометры, предназначенные для применения в лабораториях, в геодезии, для береговой службы военноморских сил и гражданского морского флота и т. п.;

б) морские или судовые хронометры, предназначенные для применения на море и имеющие карданный подвес, обеспечивающий горизонтальное положение механизма;

в) авиационные часы разных видов;

г) транспортные часы (автомобильные, танковые, корабельные и т. п.).

Секундомеры — это переносные приборы времени, служащие для измерения небольших отрезков времени, порядка десятков секунд и долей секунды.

В различных отраслях народного хозяйства для целей хронометража производственных процессов, а также для медицинских, спортивных и специальных целей применяется большое количество

секундомеров: однострелочные и двухстрелочные, трех-, шести-, десяти- и тридцатисекундные, шестидесятисекундные и т. п.

Будильники представляют собой приборы времени, отличительной чертой которых является наличие сигнального механизма, дающего звонок в заранее установленное время. Обычно будильники выполняются на базе настольных, а иногда карманных часов.

Специальные часовые механизмы применяются для различных целей. К этим приборам времени относятся: отметчики времени, замыкатели для мин замедленного действия, часовые трубки для артиллерийских снарядов (работа трубки начинается в момент выстрела и заканчивается разрывом снаряда у цели на заданной дистанции), часовые механизмы для самопишущих приборов, реле времени, часовые тахометры и т. д.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСОВ И ХРОНОМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Приведем характеристики некоторых типов часов. Часы наручные женские марки «Заря», калибр 14 (размер по посадочным местам платины $14 \times 18,5$ мм), спуск анкерный на 16 рубиновых камнях, продолжительность работы часов от одной полной заводки пружины 30 час. Средний суточный ход при температуре $+20 \pm 5^\circ \text{C}$ не должен выходить из пределов $\pm 1,5$ мин.

Часы наручные мужские марки «Победа», калибр 26 мм (механизм круглый диаметром 26 мм), спуск анкерный на 15 рубиновых камнях.

Суточный ход часов при температуре $+20 \pm 5^\circ \text{C}$ в различных положениях не должен выходить из пределов ± 60 сек. Продолжительность работы часов от полной заводки пружины должна быть не менее 32 час. Эти часы выпускаются в различных модификациях: с боковой секундной стрелкой, с центральной секундной стрелкой, в герметическом корпусе и с амортизированным узлом баланса, с центральной секундной стрелкой в герметическом корпусе и с амортизированным узлом баланса и т. д.

Карманные часы марки «Молния», калибр 36 мм, спуск анкерный на 15 рубиновых камнях, продолжительность хода от одной заводки пружины 32 часа. Суточный ход ± 45 сек.

Калибры наручных и карманных часов определяются обычно по посадочному размеру платин и измеряются в линиях или в миллиметрах.

Линия — единица измерения малых длин, применявшаяся во многих странах до введения в них метрической системы мер. В России линия была равной $\frac{1}{10}$ дюйма = 2,54 мм; во Франции линия равнялась $\frac{1}{12}$ пуса = 2,2558 мм; в Великобритании линия $\frac{1}{12}$ дюйма = 2,1167 мм; в Швейцарии линия 2,0833 мм.

В часовой промышленности многих стран до настоящего времени применяется либо швейцарская линия, либо французская

(парижская). Приводим таблицу калибров наручных и карманных часов из французских нормалей:

Посадочный диаметр в мм	12	14	16	18	20	22	24	27
Высота механизма в мм	2,8	3,2	3,2	3,2	3,6	3,6	3,6	4,0

Посадочный диаметр в мм	30	33	36	39	42	45	48
Высота механизма в мм	4,0	4,5	4,5	5,0	5,6	6,4	7,2

Часы настенные маятниковые согласно ГОСТ 703-54 изготавливаются следующих типов:

Типы и основные параметры

Типы	Продолжительность хода часов от одной полной заводки пружины	Допустимое отклонение от точного времени при температуре $+20 \pm 5^\circ \text{C}$	Интервал подачи боя	Спуск	Двигатель
Часы настенные маятниковые с боем	16 суток	За 24 часа ± 1 мин. за 14 суток ± 6 мин.	Через каждый час и каждый полчаса	Несвободный анкерный	Пружина в барабане
Часы настенные маятниковые без боя	8 суток	За 24 часа ± 1 мин. и за 7 суток ± 3 мин.	Нет	То же	Пружина без барабана

Многие настенные маятниковые часы имеют специальные устройства для подачи сигналов в заранее определенное время. Эти сигналы осуществляются путем ударов молоточка (или нескольких молоточков) по звучащей пружине или по нескольким пружинам, имеемым тонфедерами, гонгами или звукопружинами.

Механизм, подающий сигналы, называется боевым механизмом. Чаще всего применяются боевые механизмы, подающие сигналы (бой) каждый час и, кроме того, отбивающие полчаса. Применяются также механизмы, отбивающие часы, полчаса и четверть часа (главным образом в напольных часах).

Боевые механизмы в часах являются механизмами самостоятельного действия, имеющими собственный источник энергии; они свя-

заны с часовым механизмом лишь в части согласования действия по времени.

Различают два основных вида механизмов боя: со счетным колесом и с гребенкой.

На фиг. 138 показана схема колесной передачи механизма боя со счетным колесом [20]. Барабан 1 посредством заводной пружины передает движение трибу 2, на одной оси с которым посажены добавочное колесо 3 и счетное колесо.

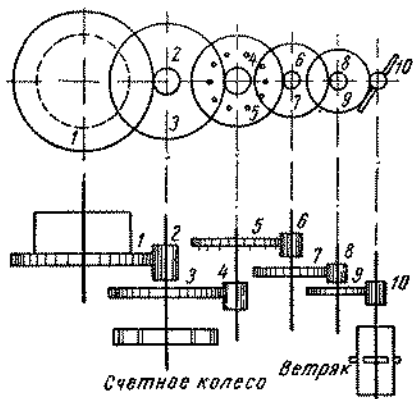
Счетное колесо регулирует число ударов боевого молоточка. Колесо 3 передает движение трибу 4, на одной оси с которым посажено штифтовое колесо 5, несущее на себе подъемные штифты. Штифтовое колесо 5 через триб 6 передает движение стопорному колесу 7, которое посажено на одной оси с трибом 6.

На стопорном колесе 7 укреплен замыкающий штифт. Колесо 7 через триб 8 передает движение колесу «повестки» 9, сидящему на одной оси с трибом 8. На ободу колеса «повестки» 9 имеется штифт. Колесо «повестки» 9 через триб 10 передает движение ветряку, который регулирует скорость вращения колес при помощи двух лопастей (крыльев).

При вращении ветряка вследствие центробежной силы крылья отходят в стороны и, встречая сопротивление воздуха, притормаживают быстрое вращение ветряка и обеспечивают относительно равномерный сбег колесной системы.

Штифтовое колесо 5 обычно имеет по окружности обода 9—10 штифтов, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга.

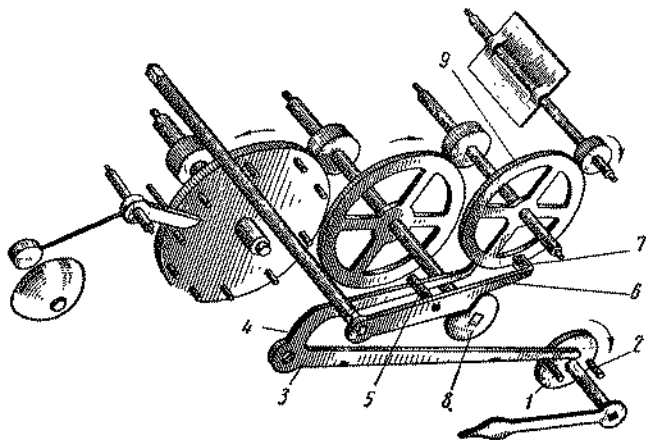
Работа механизма боя, представленного кинематической схемой (фиг. 139), происходит следующим образом: минутный триб 1, снабженный двумя штифтами 2, совершает один оборот в час. Через каждые полчаса один из штифтов 2 подходит к подъемному рычагу 3 и поднимает его. Но так как рычаг 3 сделан за одно целое с рычагом замыкания 4 и находится с ним на одной оси, то при этом будет подниматься и рычаг 4. Этот рычаг, поднимаясь, будет давить на штифт 5 и заставит поворачиваться рычаг отмыкания 6, который своим угольником держит штифт 7, тем самым удерживая всю колесную систему в застопоренном состоянии. Поднимаясь, рычаг 6 выходит из паза кулачка 8 и начинает скользить по поверхности кулачка.



Фиг. 138. Принципиальная схема механизма боя со счетным колесом.

В это время происходит повестка боя, т. е. система боя пришла в движение, и штифт 7 упал на конец рычага замыкания 4, не позволяя вращаться колесной системе.

При дальнейшем повороте минутного триба 1 подъемный рычаг падает со штифта 2, рычаг замыкания тоже падает, освобождает стопорное колесо 9 и механизм боя приходит в действие.



Фиг. 139. Кинематическая схема механизма боя.

Распределение впадин по окружности счетного колеса должно соответствовать количеству ударов, отбивающих полные часы и полчаса.

Боевой механизм с гребенкой имеет такую же колесную систему, как и механизм со счетным колесом, только вместо счетного колеса у него имеется гребенка с улиткой, почему и рычажная система имеет несколько иной вид.

Морские хронометры и палубные часы выпускаются по техническим условиям, в которых регламентированы следующие качественные показатели:

№ по пор.	Наименование показателя	Морской хронометр	Палубные часы
1	Суточный ход: а) в различных температурах в горизонтальном положении циферблатом вверх	± 4 сек.	± 10 сек.
	б) в различных положениях при постоянной температуре $+20^\circ \text{C}$	—	± 10 сек.

Продолжение таблицы

№ по пор.	Наименование показателя	Морской хронометр	Палубные часы
2	Максимальная разность между двумя последовательными суточными ходами при всех температурах	$\pm 2,5$ сек.	± 6 сек.
3	Максимальная разность среднесуточных ходов между двумя положениями: горизонтальным (циферблатом вверх) и вертикальным (головкой вверх) при постоянной температуре $+20^{\circ}\text{C}$	—	± 10 сек.
4	Отклонение хода от пропорциональности температуре (вторичная ошибка компенсации) . .	$\pm 1,5$ сек. в сутки	± 5 сек. сутки
5	Среднее отклонение суточного хода E при различных температурах (положение горизонтальное)	$\pm 0,5$ сек.	$\pm 1,5$ сек.
6	Температурные коэффициенты (на 1°C от $+20^{\circ}\text{C}$):		
	а) линейный α	$\pm 0,1 \frac{\text{сек. сут.}}{\text{град.}}$	$\pm 0,4 \frac{\text{сек. сут.}}{\text{град.}}$
	б) квадратичный β	$\pm 0,01 \frac{\text{сек. сут.}}{\text{град.}}$	$\pm 0,03 \frac{\text{сек. сут.}}{\text{град.}}$
7	Восстановление хода R (при температурах)	± 2 сек.	± 6 сек.

Примечание. Хронометры и палубные часы испытываются на точностные параметры при температурах в $^{\circ}\text{C}$ $+36$; $+20$; $+4$; $+20$ и $+36$ (подробно об этом будет сказано ниже).

Авиационные бортовые часы типа АЧХ предназначены для установке на самолетах и состоят из трех механизмов: механизма часов с 6-суточным заводом; механизма секундомера; механизма времени полета.

Блок-схема часов АЧХО дана на фиг. 140, а внешний вид часов — на фиг. 141.

Отдельные механизмы часов АЧХ имеют следующее назначение.

1. Основной механизм часов обладает 8-суточной продолжительностью хода, что достигается наличием между барабаном и централь-

ным трибом дополнительной пары — передаточного колеса с трибом и наличием заводной пружины соответствующих размеров. Для повышения точности хода часы при эксплуатации рекомендуется заводить каждые 5 суток.



Фиг. 140. Схема часов АЧХО.

Механизм на 15 камнях. Период колебания баланса — 0,4 сек. Баланс монометаллический с элинварным волоском. При работе часов минутная и часовая стрелки движутся непрерывно, показывая время на большой шкале.



Фиг. 141. Внешний вид часов.

2. Механизм «времени полета» служит для показания времени нахождения самолета в пути (верхняя шкала «время полета», фиг. 141).

На шкале времени полета имеются две стрелки — минутная и часовая.

Механизм времени полета (фиг. 142) располагается под циферблатом часов. Пуск его в ход производится нажимом на левую (заводную) кнопку красного цвета.

Первый нажим на кнопку включает механизм времени полета в работу. Останов его производится вторым нажимом, при этом стрелки на циферблате прекращают движение. Установка

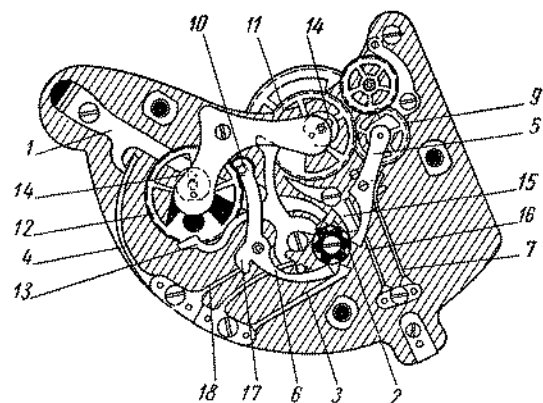
в нулевое положение стрелок производится третьим нажимом на левую кнопку.

Перевод стрелок следует производить при выключенном механизме времени полета. Для перевода стрелок нужно вытянуть левую головку до упора и, вращая ее в нужную сторону, переставить

стрелки. После перевода стрелок вернуть головку в прежнее положение. Для того чтобы механизм времени полета выключить, необходимо после перевода стрелок нажать на левую головку еще два раза.

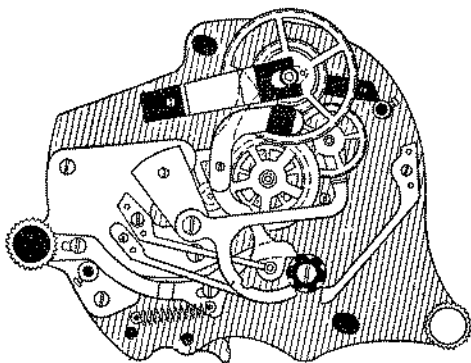
3. Механизм секундомера служит для замера коротких промежутков времени. Секундная стрелка секундомера расположена в середине большой шкалы. Мелкие деления большой шкалы служат для отсчета секунд. Нижняя шкала служит для отсчета минут действия секундомера. Эта шкала имеет 60 делений, так что минутная стрелка секундомера делает один оборот в течение часа. Механизм секундомера (фиг. 143) расположен с задней стороны часов.

Пуск в ход механизма секундомера производится нажимом на правую головку, вторым нажимом секундомер останавливается, а третий нажим возвращает стрелки на нулевое положение.



Фиг. 143. Механизм секундомера АЧХО.

Часы АЧХО должны безотказно работать в диапазоне температуры внешней среды от $+50$ до -60°C . Для нормальной работы часов при температуре ниже -25°C должен включаться электрообогреватель. Вибрационная устойчивость часов характеризуется величиной смещения стрелок механизма полетного времени и минутной стрелки секундомера при 15-минутной вибрации с частотой от 20 до 80 герц и перегрузке 1,5 g.



Фиг. 142. Механизм времени полета часов АЧХО.

Подробное описание работы механизма секундомера часов АЧХО приведено в § 3 «Секундомеры и часы с секундомером».

На стрелки и цифры циферблата (имеющего черный фон) наносится светящаяся масса, что позволяет видеть показания часов в темноте.

Часы не должны давать за сутки погрешность более ± 1 минуты (при комнатной температуре).

Величина смещения стрелок механизма полетного времени не должна превышать 0,5 деления, а минутной стрелки хронографа — 0,3 деления своих шкал. После 2-часовой вибрации часы не должны иметь механических повреждений и должны нормально отсчитывать время.



Фиг. 144. Часы АВРМ.



Фиг. 145. Механизм АВРМ.

Точность хода часов должна соответствовать допускам, указанным в нижеследующей таблице:

№ суток	Температура окружающей среды	Продолжительность испытания	Допустимая суточная поправка	Допустимая вариация
1	$+20 \pm 5^\circ \text{C}$	24 часа ± 30 мин.	± 1 мин.	—
2	$-25 \pm 5^\circ \text{C}$	То же	.	3 мин.
3	$+20 \pm 5^\circ \text{C}$.	.	3 .
4	$+50 \pm 5^\circ \text{C}$.	.	2 .
5	$+20 \pm 5^\circ \text{C}$.	.	2 .

Авиационные рантовые часы марки АВРМ, изображенные на фиг. 144, представляют собой механизм часов с восьмидневным заводом, заключенный в цилиндрический алюминиевый корпус [46].

Механизм АВРМ с мостовой стороны изображен на фиг. 145. Ободок часов служит для заводки их, для перевода стрелок и для крепления стекла. Крышка корпуса изготавливается из пластмассы.

Восьмидневная продолжительность хода достигается наличием между барабаном и центральным трибом дополнительной пары — передаточного колеса с трибом и наличием заводной пружины соответствующих размеров. Механизм на 14 камнях. Период колебания баланса 0,4 сек.

Баланс монометаллический с эливарным волоском,

Часы имеют стрелки: часовую, минутную и секундную. Секундная стрелка расположена в центре циферблата.

На стрелки и цифры циферблата (имеющего черный фон) наносится светящаяся масса, позволяющая видеть показания часов в темноте.

Заводка часов осуществляется вращением ободка влево, вращение вправо — холостое. Хотя часы АВРМ имеют восьмисуточный завод, но для повышения точности хода часов заводить часы рекомендуется каждые 5 суток. При вытягивании ободка часов «к себе» обеспечивается переключение механизма с заводки на перевод стрелок; вращением ободка в соответствующую сторону стрелки переводятся в требуемое положение.

При переводе стрелок ободок следует удерживать в положении «на себя» во избежание переключения. Обратное переключение механизма с перевода стрелок на завод осуществляется нажимом на ободок «от себя». Часы не должны давать погрешность более ± 1 мин. за сутки (при комнатной температуре).

Будильники относятся к балансовым часам, имеющим анкерный (штифтовый или швейцарский) спуск. Будильники бывают с сигнальным механизмом, производящим звон или (реже) музыкальную мелодию. Чаще всего будильники имеют два самостоятельных механизма (механизм хода и механизм сигнала), приводимых в действие отдельными двигателями.

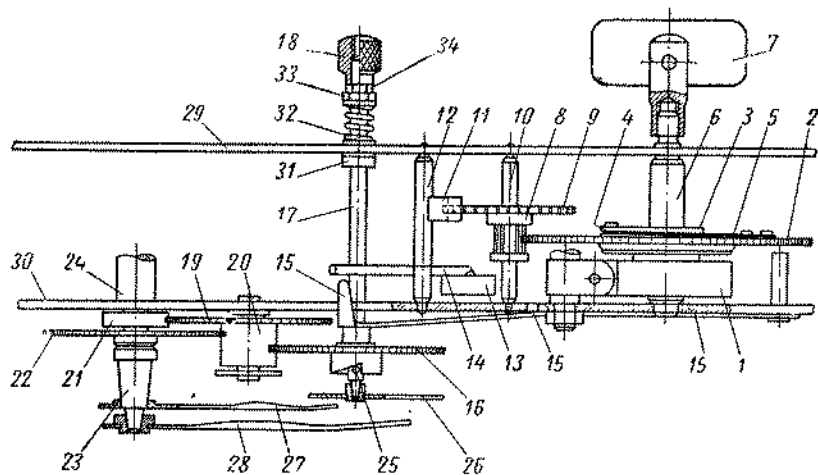
По ГОСТ 3145-51 должны выпускаться будильники 1-го и 2-го классов, технические характеристики которых приведены в нижеприведенной таблице.

Класс будильника	Суточный ход будильника в минутах	Допустимое отклонение момента сигнала от показания будильника в мин.	Техническая характеристика				
			Спуск	Двигатель	Сигнальная стрелка	Спираль	Количество камней
1	В пределах $\pm 1,5$	В пределах ± 3	Свободный анкерный	Пружина в барабане	Центральная	Элинвар	Не менее 7
2	В пределах $\pm 2,5$	В пределах ± 5	Свободный штифтовый	Пружина без барабана	Центральная или боковая	Бронза или элинвар	2, 4 или без камней

Сигнальный механизм будильника (фиг. 146) предназначается для звуковой сигнализации при любых, произвольно задаваемых показаниях сигнальной стрелки. Он состоит из двигателя сигнального механизма, скобочного колеса с осью и трибом, скобочного валика со скобкой и молотком и сигнального валика с сигнальным колесом, муфтой и штифтом сигнальной муфты.

Связь сигнального механизма с часовым механизмом будильника осуществляется через стрелочный механизм и сигнальное колесо 16 с муфтой.

Перевод сигнальной стрелки осуществляется от руки вращением кнопки 18, которая навернута на сигнальный валик 17. На другом конце сигнального валика 17, со стороны передней пластины 30, насажена тугой посадкой сигнальная стрелка 26, установленная



Фиг. 146. Сигнальный механизм будильника.

таким образом, что в момент освобождения стебля молотка 14 от защелки 15 должна показывать такое же время, как часовая и минутная стрелки. Поворачивая сигнальный валик за кнопку 18 против часовой стрелки, мы производим ее установку на нужное время.

Узел сигнального валика с сигнальным колесом состоит из сигнального валика 17 с муфтой боя, сигнального колеса 16 с муфтой, в которой имеется впадина, штифта сигнальной муфты 25 и защелки 15.

Сигнальный валик можно повернуть от руки за кнопку 18, но с некоторым усилием, которое возникает от того, что с помощью пружины 32 и гаек 33 и 34 муфта 31, сидящая жестко на валке 17, прижимается к задней пластине 29. Это усилие достаточно велико, чтобы при трении муфты сигнального колеса 16 о штифт 25 сигнальный валик не вращался и не сбивалась установка сигнальной стрелки 26.

Трение муфты сигнального колеса 16, посаженного свободно на валик 17, о штифт 25 создается давлением пружинящей защелки 15, все время прижимающей сигнальное колесо с муфтой к штифту 25.

В момент совмещения впадины муфты сигнального колеса 16 со штифтом 25 защелка 15 сдвигает сигнальное колесо к сигнальной

стрелке и освобождает стебель 14 молотка 13, давая возможность совершать молотку колебательные движения.

Защелка 15 представляет собой стальную изогнутую пружинящую пластинку, один конец которой закреплен жестко на платине, а другой, пружинящий, сквозь отверстие которого свободно проходит сигнальный валик 17, изогнут так, что, выступая за край передней платины 30, сдерживает все время стебель 14 молотка 13 до момента освобождения.

Заводка сигнального механизма. Для того чтобы сигнальный механизм смог работать, нужно обязательно завести пружину 1. Заводка осуществляется от руки ключом 17, накрученным на правую резьбу валика 6 сигнального двигателя.

Узел колеса двигателя сигнального механизма устроен таким образом, что при вращении валика 6 колесо двигателя 2, находящееся в зацеплении с трибом 8 скобочного колеса 9, когда сигнальный механизм застопорен защелкой 15, остается неподвижным, а вращается храповик 3, жестко сидящий на валике 6. Этот храповик пропускается собачкой 4, которая скользит по его косым зубьям. Собачка 4 укреплена на колесе 2 и все время прижата к зубьям храповика 3 пружиной 5, тоже укрепленной на колесе 2. При заводке, вращая по часовой стрелке валик 6, на крючок которого своим отверстием надета пружина 1, мы закручиваем пружину вокруг валика 6.

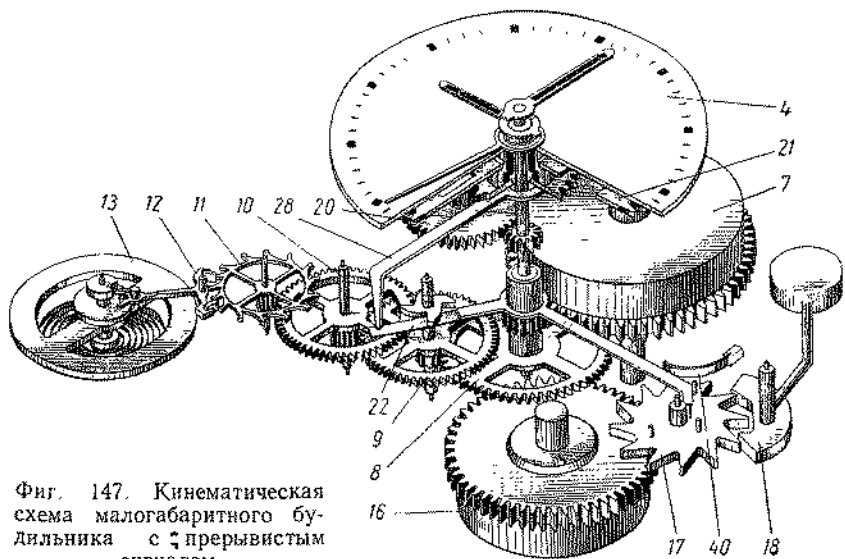
Другим концом пружина 1 закреплена за одну из колонок платин.

Таким образом, заводка будет происходить до тех пор, пока вся пружина 1 не закрутится на валик 6. После окончания заводки пружина стремится развернуться в обратном направлении, т. е. против часовой стрелки, и вращать колесо двигателя сигнального механизма 2 через храповик 3 и собачку 4 тоже против часовой стрелки.

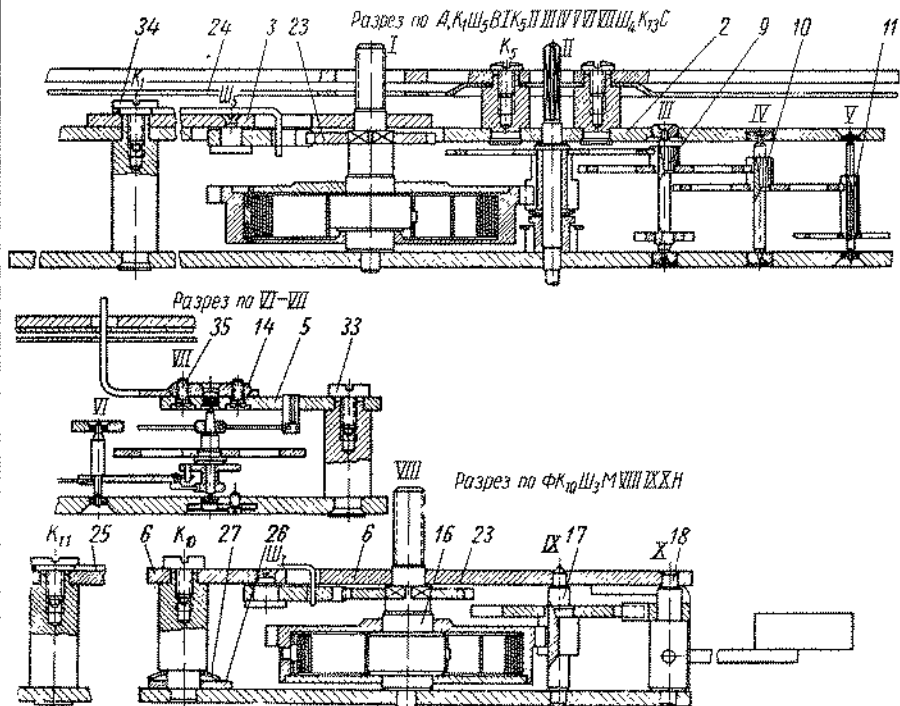
Передача момента от пружины 1 с валика 6 происходит через храповик 3 и собачку 4 колесу двигателя сигнального механизма 2, а от колеса 2 через триб 8 на валик 10 и скобочное колесо 9. Со скобочного колеса 9 вращательное движение преобразуется в колебательное через скобу 11 и передается на скобочный валик 12 и молоток 13. Вся система даже при заведенной пружине будет неподвижна до тех пор, пока защелка 15 не освободит стебель 14 молотка 13.

Действие сигнального механизма. Итак, сигнальная стрелка 26 установлена на нужное нам время. Сигнальный механизм находится в заведенном состоянии и только застопорен защелкой. Защелка освободит его в то время, которое мы задали сигнальной стрелке. Происходит это так.

Часовой механизм находится в действии. Часовая стрелка 27 получает движение от минутника 21, сидящего на оси среднего валика 24, через триб 20 вексельного колеса 19. А так как сигнальное колесо с муфтой 16 тоже находится в зацеплении с трибом вексельного колеса и имеет одинаковое число зубьев с часовым колесом,

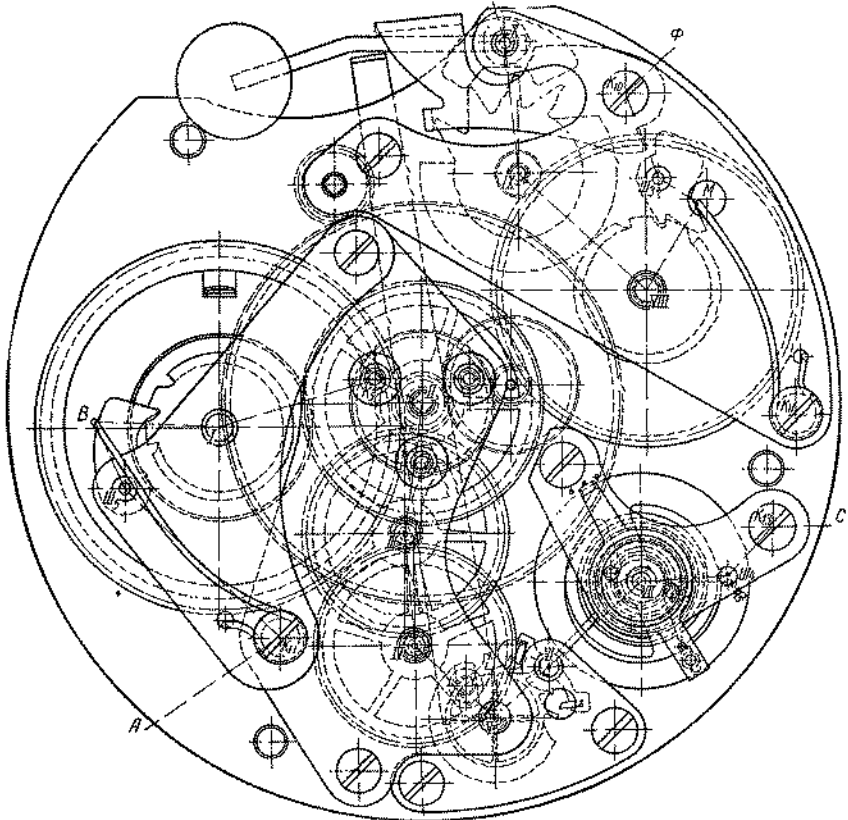


Фиг. 147. Кинематическая схема малогабаритного будильника с прерывистым сигналом.



Фиг. 148. Разрез по барабану и спуску.

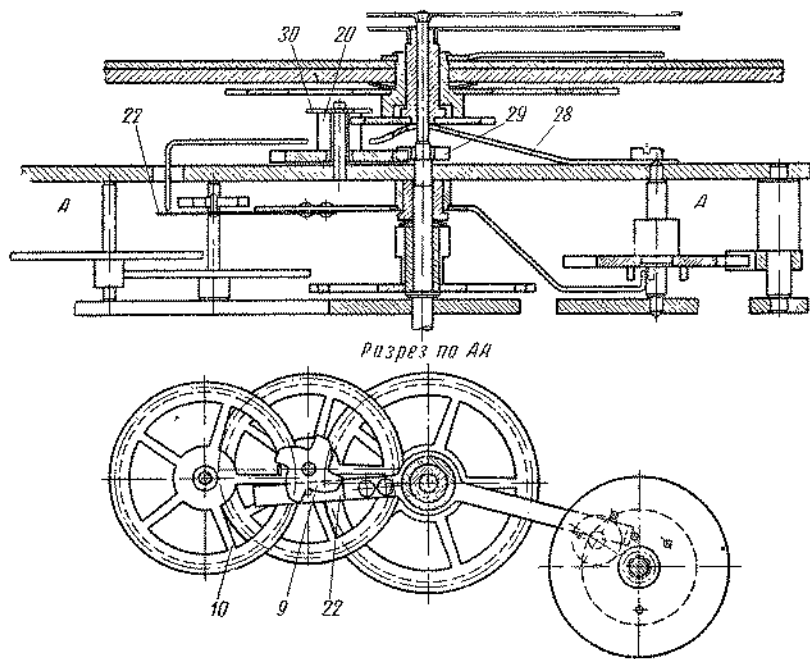
то оно также получает движение от него и совершает 1 оборот за 12 час., как и часовое колесо. Кроме того, при сборке сигнальная стрелка 26 насаживается на сигнальный валик 17 в момент, когда штифт 25 находится во впадине муфты сигнального колеса 16,



Фиг. 149. Механизм малогабаритного будильника в разрезе.

а часовая стрелка насаживается на трубку 23 часового колеса 22 — с таким расчетом, чтобы она показывала тот же час, что и сигнальная стрелка 26. Следовательно, движения их уже согласованы, и теперь на какой угол мы повернем при установке сигнальную стрелку, такой же угол должны пройти часовое колесо 22 и сигнальное колесо 16 с муфтой, чтобы опять впадина муфты совпала с направлением штифта 25 и муфта с сигнальным колесом 16 смогла бы переместиться, под нажимом защелки 15, по вертикали до штифта 25, освободив стержень 14 молотка 13. Механизм малогабаритного будильника с прерывистым сигналом боя представлен на фиг. 147 в виде кинематической схемы и изображен в разрезе на фиг. 148, 149 и 150.

Конструкция механизма сигнала и взаимосвязь его с механизмом хода разработаны инженером И. А. Шубиным. Часовой механизм этого будильника приводится в действие от заводной пружины, заключенной в барабане. Барабан через посредство зубчатого венца передает движение центральному трибу с центральным колесом 8, которое через триб промежуточного колеса передает движение



Фиг. 150. Разрез по стрелкам.

промежуточному колесу 9. Промежуточное колесо через секундный триб и секундное колесо 10 передает движение анкерному трибу и анкерному колесу 11.

Механизм сигнала действует от самостоятельной пружины, заключенной в барабан 16, венец барабана передает движение трибу скобочного колеса 17, которое приводит в колебательное движение скобу 18. Спускная скоба с ударником и скобочное колесо представляют собой спусковой регулятор, не имеющий собственных колебаний.

Заводка пружины сигнала производится от руки посредством кнопки. Раскручивание барабана происходит за счет стопорения вала барабана храповым колесом 23 и собачкой (фиг. 148). Взаимосвязь механизма хода с механизмом сигнала осуществляется по двум направлениям: по времени включения сигнала и по заданию программы работы сигнала.

Включение сигнала происходит с помощью пружины запора боя 28 (фиг. 147), которая, постоянно действуя на часовое колесо будильника, стремится поджать его к сигнальному зубчатому колесу 21. Однако поджатие часового зубчатого колеса к сигнальному колесу может произойти только при совпадении выступа на часовом колесе с выемкой на втулке сигнального колеса.

Установка времени включения сигнала производится путем смещения вышеуказанного выступа и выемки на определенный угол. При совпадении этих элементов пружина запора боя приподнимается от платины часового механизма и освобождает рычаг 22, который входит в зацепление с программным кулачком, посаженным на ось промежуточного колеса.

При дальнейшем повороте кулачка рычаг поворачивается вокруг своей оси и другим концом освобождает поочередно штифты, расположенные на скобочном колесе, давая тем самым возможность проворачиваться скобочному колесу на определенный, заранее заданный угол. Рычаг 22, когда он не находится в зацеплении с программным кулачком, всегда отводится пружинной 40 в свое крайнее положение. Это положение устанавливается кнопкой установки боя на определенную программу предварительных сигналов. Кривая кулачка рассчитана на полный спуск заводной пружины сигнала.

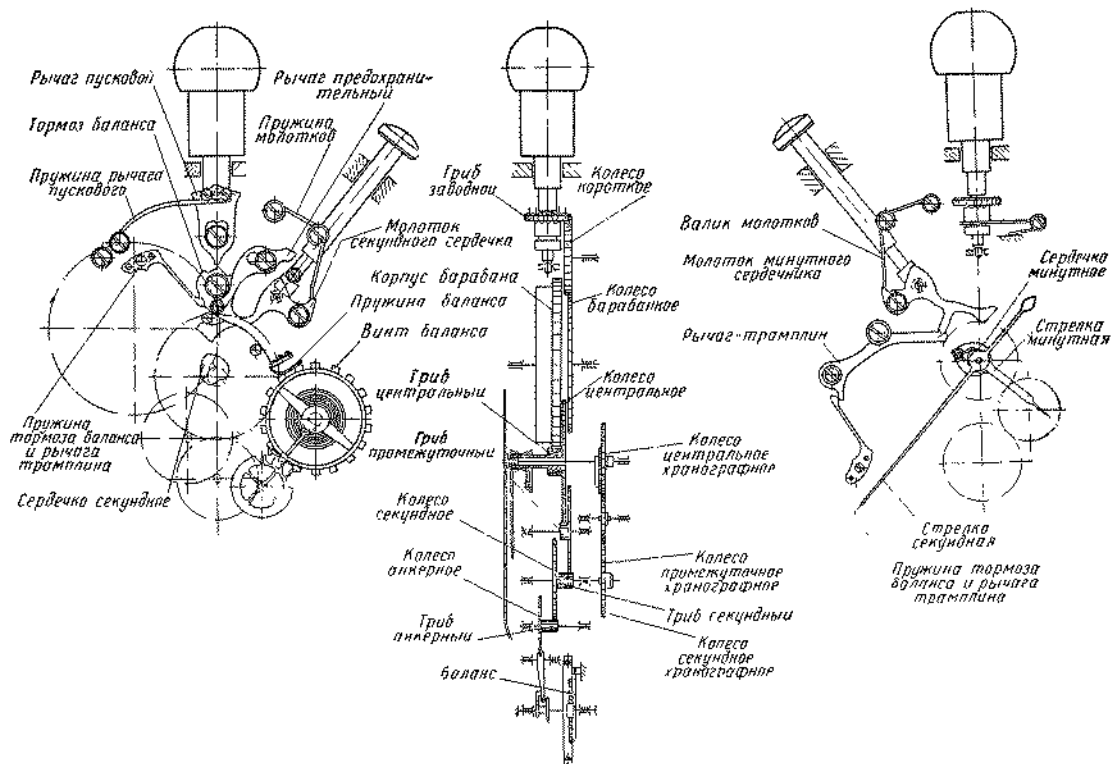
3. СЕКUNДОМЕРЫ И ЧАСЫ С СЕКUNДОМЕРОМ

Секундомеры. В зависимости от точности секундомеры должны изготавливаться следующих классов:

Класс секундомера	Скачок секундной стрелки через доли секунды	Средняя поправка в секундах за			Максим. допустимое отклонение в сек. за		
		30 и 60 сек.	15 мин.	30 мин.	30 и 60 сек.	15 мин.	30 мин.
1	0,1	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
2	0,1 или 0,2	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 1,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$
3	0,1 или 0,2	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 1,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$

Так как секундомеры отличаются от обычных часов характерной кинематикой и конструкцией осложнений, описание их устройств приводится более подробно.

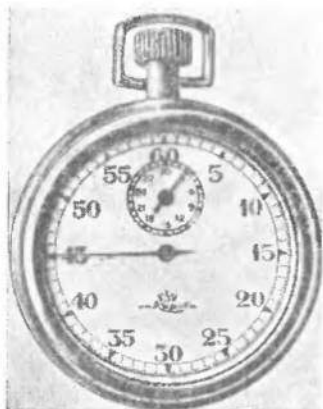
Наиболее простым типом является однострелочный секундомер, предназначенный для измерения коротких промежутков времени в минутах, секундах и долях секунды. Кинематическая схема изображена на фиг. 151. На фиг. 152 изображен этот секундомер с циферблатной стороны, а на фиг. 153 — с мостовой стороны (крышка корпуса снята). Секундомер имеет две стрелки: секундную для от-



Фиг. 151. Кинематическая схема однострелочного секундомера.

счета секунд и долей секунд и минутную для отсчета числа минут действия секундомера.

Большая (секундная) шкала разделена на 60 больших делений, соответствующих секундам. Каждое большое деление разделено на 5 малых делений, так что цена малого деления равна 0,2 секунды. Пуск, останов и сброс стрелок на нуль осуществляются посредством особого механизма, расположенного под циферблатом и называемого



Фиг. 152. Секундомер СМ-60.



Фиг. 153. Секундомер СМ-60
(вид с мостовой стороны).

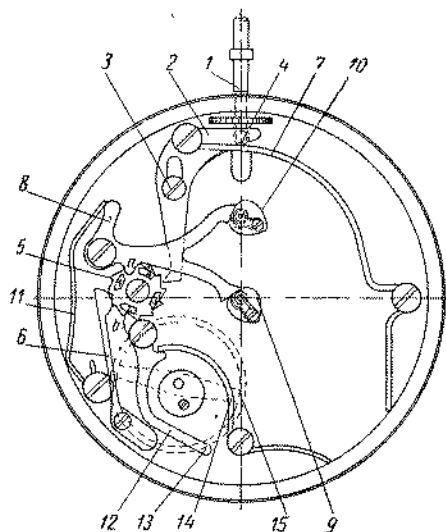
компликацией. При останове и пуске секундомера осуществляется торможение и освобождение баланса. Такой тип секундомера называют секундомером с прерывным ходом. Пуск секундомера в ход осуществляется первым нажимом на заводную головку [46].

При втором нажиме секундомер останавливается, а при третьем нажиме стрелки сбрасываются в нулевое положение. Механизм компликации может иметь различное устройство [24]. Рассмотрим действие одной из разновидностей этого механизма. На фиг. 154 показан механизм в положении, когда стрелки установлены на нуль и неподвижны. Для пуска в ход следует нажать на заводную головку. Заводная головка, при нажатии, с помощью ключа 1 передает движение пусковому рычагу 2.

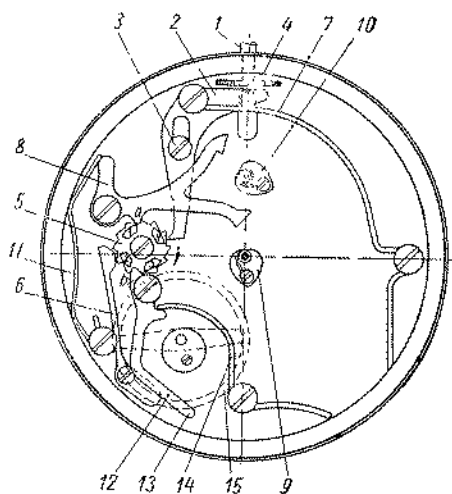
Пусковой рычаг 2 совершает поступательное движение по двум направляющим, одной из которых является цилиндрическая часть винта 3, а другой — штифт 4, скользящий в пазу платины.

Управление рычажной системой осуществляется колонным колесом 5, имеющим четыре колонки, и расположенным внизу храповым колесом с двенадцатью зубьями. Поворот колонного колеса производится пусковым рычагом 2.

Пусковой рычаг 2, надавливая на зуб храпового колеса, поворачивает колонное колесо по часовой стрелке. В это время противоположный зуб колонного колеса скользит по скосу пружины колонного колеса 6 и отгибает ее на некоторый угол до того момента, когда вершина зуба храпового колеса соскользнет со скоса пружины и последняя своим скосом упадет на следующий зуб храпового колеса.



Фиг. 154. Положение complications секундомера в момент установки стрелок на нуле.



Фиг. 155. Положение complications секундомера, когда механизм находится в движении.

Как только отпустим заводную головку, пружина 7 вернет пусковой рычаг 2 в начальное положение.

При пуске в ход колонка 1 надавливает на выступ *a* двойного молотка 8 и приподнимает его из впадины между колонками 1 и 4, и выступ *a* устанавливается в крайнем правом положении на колонке 1. Это перемещение двойного молотка освобождает сердечки 9 и 10, и стрелки получают возможность вращаться. Для предотвращения самопроизвольного отхода двойного молотка 8 от колонного колеса 5 имеется пружина двойного молотка 11, которая прижимает молоток к колонному колесу. Одновременно с поворотом колонного колеса тормоз баланса 12 под действием пружины 14 своим выступом *b* с колонки 2 попадает во впадину между колонками 2 и 3 и освобождает баланс, прижатый штифтом 13. С этого момента баланс 15 начинает совершать колебательные движения — механизм пущен в ход.

Для остановки механизма секундомера нужно произвести повторное нажатие на заводную головку, при этом пусковой рычаг 2 повернет колонное колесо на один зуб (фиг. 155). В это время выступ *b*

Вследствие наличия этих уступов тормоз баланса может занимать два положения, соответствующие пуску и останову механизма.

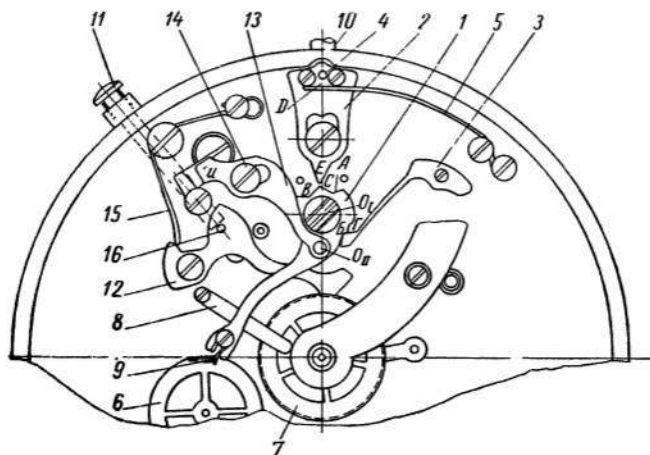
При возврате стрелок на нуль пусковой рычаг 2 и тормоз баланса 1 остаются в неизменном положении, соответствующем останову механизма.

Управление хроноскопом осуществляется в три приема, причем пуск и останов, а также останов и пуск — могут происходить без промежуточного между ними сбрасывания стрелок на нуль, так как механизм возврата стрелок на нуль в данной конструкции изолирован.

Следовательно, возвращение стрелок на нуль можно осуществлять по желанию, надавливая на кнопку 11, в то время, когда часовой механизм хроноскопа остановлен. Чтобы пустить механизм в ход, нажимают на заводную головку, и пусковой рычаг опускается вниз. Направляющей для пускового рычага служит прорезь D, сделанная в мосту, по которому перемещается штифт 4. Вершина C, образующая уступами A и B тормозного рычага 1 при остановленном



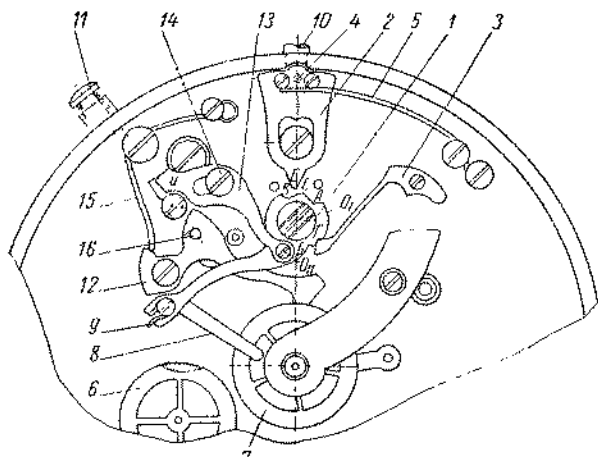
Фиг. 157. Однострелочный хроноскоп фирмы Лемания.



Фиг. 158. Механизм хроноскопа в момент остановки.

механизме, по отношению к осевой линии заводной головки повернута на небольшой угол влево, и поэтому при опускании пускового рычага его выступ E скользит по наклонной плоскости тормоз-

ного рычага к точке *A*. В момент, когда выступ *E* дойдет до точки *A*, дополнительным нажатием на заводную головку поворачивают тормозной рычаг *1* вокруг оси O_1 по часовой стрелке. В это время пружина *3* из уступа *B* попадает в уступ *Г* и фиксирует тормозной рычаг в данном положении. Поворачиваясь по часовой стрелке, тормозной рычаг освобождает баланс *б* и колесо *7*, прижатое плоской пружиной *8*, и часовой механизм приходит в движение. После



Фиг. 159. Механизм хроноскопа в движении.

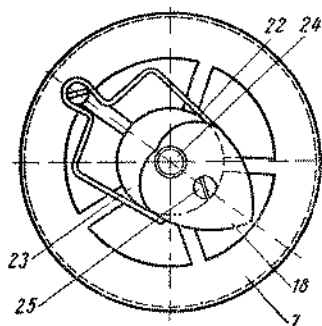
того как усилие нажатия будет снято с заводной головки, пусковой рычаг *2* возвращается в исходное положение пружиной *5*. Для того чтобы во время движения часового механизма нечаянным нажимом на кнопку управления *11* не привести в движение молотки *12* и *17*, устанавливающие стрелки на нуль (молоток *17* на схеме не показан), имеется специальное предохранительное устройство. Это устройство состоит из предохранительного рычага *13*, запирающего штифт *11* при движении тормозного рычага по часовой стрелке, т. е. в момент включения секундомера.

Рычаг *13* связан с тормозным рычагом шарниром O_1 . При движении тормозного рычага *1* по часовой стрелке рычаг *13* передвигается влево, скользя своим пазом по винту *14*, закрепленному в барабанном мосту.

Рычаг *13* имеет выступ *и*, изогнутый под прямым углом к плоскости рычага. При движении рычага влево этот выступ *и* входит в выточку штифта *11* и запирает этот штифт, лишая его возможности перемещаться вниз.

Останов механизма осуществляется вторым нажимом на заводную головку. При движении механизма расположение complications будет такое, как показано на фиг. 159. При втором нажиме на заводную

головку выступ *E* пускового рычага 2 упрется в точку *B* и повернет тормозной рычаг 1 против часовой стрелки. Фиксирующая пружина 3 перейдет из уступа *Г* в уступ *Б*, а длинный конец рычага 1 приблизится к балансу 6, и штифт 9 войдет в зацепление с зубьями баланса и остановит его. Одновременно рычаг 1 прижмет пружину 8 к колесу 7 и остановит колесную систему механизма хроноскопа. При движении рычага 1 против часовой стрелки рычаг 13 передвинется вправо, освободит штифт кнопки управления 11 и даст возможность ему перемещаться.



Фиг. 160. Узел секундного сердечка.

Возврат стрелок на нуль осуществляется нажимом на кнопку управления 11. Штифт 11 постоянно находится в соприкосновении со штифтом 16, который соединяет молоток секундного сердечка 12 с молотком минутного сердечка 17 (на фиг. не показан), расположенным под молотком 12 со стороны циферблата. Чтобы привести в движение молотки 12 и 17, нужно преодолеть усилие пружины 15 и соответствующей ей пружины 20. Молотки 12 и 17 ударят по сердечкам 18 (фиг. 160) и 19. Сердечко 18 находится под колесом 7, а сердечко 19 — на циферблатной стороне (на схеме не показано).

Принцип работы узлов сердечек опишем на примере секундного сердечка (фиг. 160) [24]. Сердечко 18 крепится винтом 25 на диске 23.

В момент удара молотка 12 по сердечку 18 происходит вращение диска 23 с секундной стрелкой, а колесо 7 с пружиной 22 остаются неподвижными. При движении механизма колесо 7 вращается, захватывая диск с сердечком при помощи вилокобразной пружины 22. Таким образом, при возврате стрелок на нуль приходится преодолевать сопротивление пружины 22, а при движении механизма эта пружина осуществляет фрикционную связь колеса 7 со стрелкой хроноскопа.

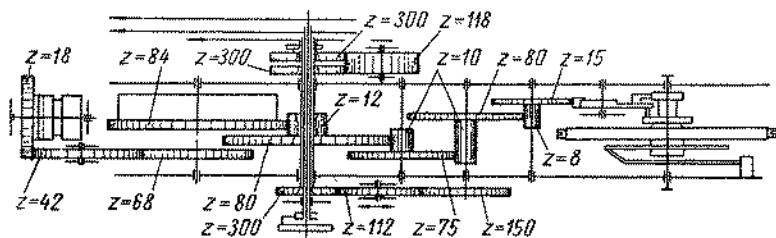
Сердечки по профилю изготавливают: в форме логарифмической спирали и в форме архимедовой спирали.

Двухстрелочный секундомер отличается от обычного однострелочного секундомера тем, что он имеет непрерывный ход часового механизма независимо от того, включены или выключены стрелки.

Обе стрелки установлены в центре циферблата и могут быть пущены в ход, остановлены и возвращены на нуль при последовательных нажатиях на заводную головку. Обе стрелки работают совместно, как одна секундная стрелка в обычных секундомерах. Вспомогательную стрелку можно остановить при помощи дополнительной кнопки.

В секундомере, кинематическая схема которого изображена на фиг. 161, управление рычагами осуществляется посредством колонного колеса. Поворот колонного колеса осуществляется собачкой, которая приводится в движение пусковым рычагом при нажатии на заводную головку. Зацепившись за зуб храпового колеса, собачка тянет за собой колонное колесо. Рычаги управления будут перемещаться по колонному колесу.

Для того чтобы пустить секундомер, перемещаем нажатием на заводную головку заводной рычаг, который тянет за собой собачку. Колонное колесо при этом поворачивается на один зуб храпового колеса. Молоток поднимается на колонку колонного колеса, тем



Фиг. 161. Кинематическая схема двухстрелочного секундомера.

самым второй конец молотка освобождает сердечко основного хронографного колеса и дает возможность этому колесу вращаться. Одновременно с молотком рычаг основной секундной стрелки падает между колонками колонного колеса.

Промежуточное колесо приходит в зацепление с основным хронографным колесом. Один конец рычага тормоза прокатывается по колонке и остается в том же положении, как и до пуска. Основное хронографное колесо вращается одновременно со вспомогательным колесом, которое посредством сердечка связано с этим колесом.

Чтобы остановить секундомер, снова перемещаем вторым нажатием на заводную головку заводной рычаг, который тянет за собой собачку, снова поворачивающую колонное колесо на один зуб храпового колеса.

Тормозной рычаг падает между колонками и останавливает основное хронографное колесо. Одновременно рычаг основной секундной стрелки выводит из зацепления хронографное колесо с промежуточным хронографным колесом. Стрелки останавливаются. Молоток перемещается на колонку, не касаясь другим концом сердечка. Часы продолжают идти, а стрелочный механизм остановлен.

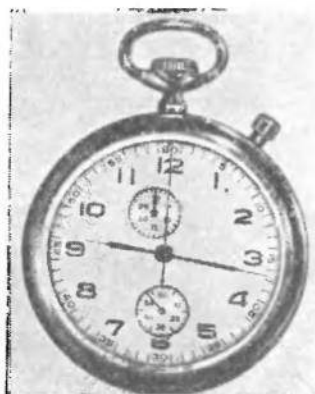
Для возврата на нуль производим третье нажатие на заводную головку, рычаг также повернет колонное колесо на один зуб храпового колеса. Тормозной рычаг поднимется на колонку и освободит основное хронографное колесо. Молоток опустится между колонками и вторым концом ударит по сердечку, а так как основное

колесо свободно, то сердечко под действием удара быстро поворачивается и становится в нулевое положение.

Секундные стрелки также станут на нуль.

При следующих нажатиях на заводную головку цикл повторится сначала.

Часы с секундомером марки ЧСМ (фиг. 162) представляют собой механизм карманных часов, к которому добавлен секундомерный



Фиг. 162. Часы с секундомером ЧСМ.



Фиг. 163. Вид механизма ЧСМ с мостовой стороны.

механизм, расположенный на мостах под крышкой корпуса. Механизм ЧСМ на 17 камнях. На фиг. 163 изображен вид механизма с мостовой стороны. Часы с секундомером имеют 5 стрелок [46].

Три стрелки относятся к часам: часовая и минутная, расположенные посередине циферблата, и секундная стрелка (нижняя шкала). Эти стрелки служат для отсчета показаний текущего времени. Две стрелки относятся к секундомерному механизму: секундная, расположенная в центре циферблата, и минутная стрелка секундомера, служащая для отсчета минут действия секундомера (верхняя шкала, разделенная на 30 делений).

Стрелка минутного счетчика имеет периодические перемещения каждую минуту, когда секундная стрелка проходит нулевое положение. Период колебания баланса 0,4 сек. Баланс монометаллический с элинварным «брегетированным» волоском. Часы не должны давать погрешность за сутки более 1 мин. (при комнатной температуре).

Пуск секундомерного механизма в ход осуществляется первым нажимом на пусковую кнопку (выступающую из корпусного кольца). Останов секундомерного механизма осуществляется вторым нажимом и при третьем нажиме на пусковую кнопку происходит сброс стрелок на ноль.

Работа механизма секундомера описанных в предыдущем параграфе авиационных часов АЧХО происходит в три такта [46]:

- 1) пуск механизма секундомера в ход;
- 2) остановка его и
- 3) возврат стрелок в нулевое положение.

Пуск секундомера осуществляется нажатием на пусковую головку. При этом посредством системы рычагов происходит включение секундного и минутного хронографных колес, и механизм секундомера начинает работать.

Остановка секундомера осуществляется вторым нажатием на пусковую головку. При этом происходит выключение секундного и минутного хронографных колес, и механизм секундомера останавливается.

Возврат стрелок в нулевое положение производится третьим нажатием на пусковую головку. При этом посредством удара двойного молотка по сердечкам достигается возврат стрелок в нулевое положение. Таким образом, весь цикл работы механизма секундомера осуществляется за три нажатия на пусковую головку. Для большей ясности проследим работу рычагов во всех трех положениях (фиг. 144).

Взаимодействие частей механизма секундомера приводим из описания конструкции часов АЧХО [29].

Положение I — пуск в ход. При нажатии на правую головку пусковой рычаг 1 перемещается и поворачивает колонное колесо 2 на один храповой зуб. В этом положении колонное колесо задерживается фиксирующей пружинкой 3. Пусковой рычаг возвращается в свое начальное положение под действием пружины 4. При повороте колонного колеса мост рычага секундомера 5 и рычаг качающегося триба 6 соскакивают с колонок под действием пружин 7 и 8, падают во впадины колонного колеса и включают колесо 9 и колесо качающегося триба 10 в зацепление с секундным 11 и минутным 12 хронографными колесами, после чего механизм секундомера начинает работать.

Одновременно колонка колонного колеса, нажимая на выступ двойного молотка 3, поднимает его из впадины на колонку. Двойной молоток, поворачиваясь вокруг своей оси, освобождает сердечки 14, и последние вместе с секундным и минутным хронографными колесами начинают вращаться. Тормоз 15, находясь на колонке колонного колеса, скользит по ней, оставаясь в неизменном положении.

Положение II — остановка механизма. Вторым нажатием на правую головку пусковой рычаг 1 перемещается и поворачивает колонное колесо 2 еще на один храповой зуб. При этом мост рычага секундомера 5 и рычаг качающегося триба 6, поднимаясь из впадин на колонки колонного колеса, выключают колесо 9 и колесо качающегося триба 10 из зацепления с секундным и минутным хронографными колесами 11 и 12, после чего механизм секундомера останавливается.

Одновременно тормоз 15 секундомера соскакивает с колонки, под действием пружины 16 падает во впадину колонного колеса и начинает давить своей рабочей поверхностью на секундное хронографное колесо 11. Двойной молоток 13, находясь на колонке колонного колеса, скользит по ней, оставаясь в неизменном положении.

Положение III — возврат стрелок. Третьим нажимом на правую головку пусковой рычаг 1 перемещается и поворачивает колонное колесо 2 еще на один храповой зуб. Мост рычага секундомера 5 и рычаг качающегося триба 6 скользят по колонкам колонного колеса, оставаясь в неизменном положении. Колонка колонного колеса, нажимая на тормоз 15, поднимает его из впадины на колонку и отводит рабочую часть тормоза от зубьев секундного хронографного колеса 11. Колесо становится свободным от тормоза. Двойной молоток 13 соскакивает с колонки под действием пружины 17, падает во впадину колонного колеса и ударяет по секундному и минутному сердечкам 14. Сердечки под действием силы удара двойного молотка приходят во вращение и вместе с минутной и секундной стрелками секундомера возвращаются в нулевое положение.

В дальнейшем работа механизма секундомера повторяется в той же последовательности.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЧАСОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Часовой тахометр относится к группе специальных часовых механизмов и представляет собой прибор для измерения угловой скорости вращающихся деталей механизмов. На фиг. 164 представлена кинематическая схема часового тахометра, который позволяет измерять угловые скорости в диапазоне от 0 до 1000 оборотов в минуту.

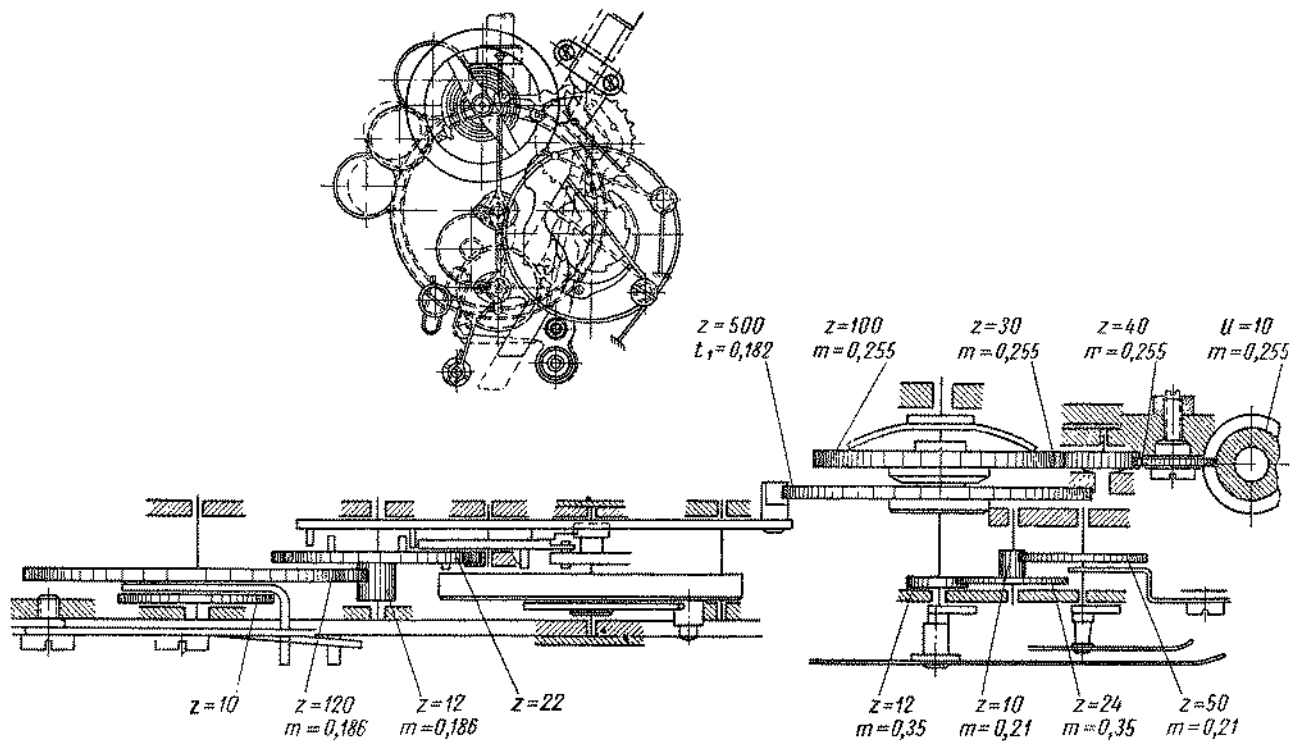
Механизм тахометра состоит из механизма счетчика оборотов, часового механизма и системы рычагов, координирующих действия обоих механизмов посредством периодического замыкания хронометрового колеса ($z = 500$) счетчика оборотов фиксирующим штифтом рычага останова.

Двигателем часового механизма является заводная пружина, которая одним концом крепится на платине прибора, вторым связана с рычагом заводного колеса. В свою очередь, рычаг заводного колеса жестко связан с храповым колесом ($z = 10$) и заводным колесом ($z = 120$). На рычаге заводного колеса смонтирована пружина храповика, играющая роль собачки. Вращение от заводного колеса ($z = 120$) передается на триб анкерного колеса ($z = 12$), который жестко посажен на одной оси с анкерным колесом ($z = 22$).

Спуск в данной конструкции является штифтовым с импульсом по зубу анкерного колеса.

Передаточное число от заводного до анкерного колеса определяется формулой

$$i = \frac{z_3}{z \cdot a \cdot m} = \frac{120}{12} = 10.$$



Фиг. 164. Кинематическая схема часового тахометра.

Импульс посредством анкерной вилки передается на регулятор часового механизма, состоящий из баланса и упругой спирали. Период колебания баланса $T = 0,37$ сек.

Теоретическая продолжительность работы часового механизма, необходимая для замера числа оборотов, равна 6 секундам. Законченный цикл работы часового механизма осуществляется за 1 оборот анкерного колеса.

Завод часового механизма и приведение его в действие осуществляется пусковым рычагом, который перемещается нажатием на заводную головку. Перемещаясь, пусковой рычаг увлекает за собой рычаг свускового заводного колеса, изгибая связанную с ним заводную пружину.

Пусковой рычаг одновременно с заводом механизма производит возврат большой и малой стрелок тахометра в нулевое положение. Возврат осуществляется нажатием выступов пускового рычага на сердечки стрелок. Пусковой рычаг возвращается в первоначальное положение пружиной пускового рычага.

Механизм счетчика оборотов. На рабочем валике тахометра, несущем измерительный наконечник, жестко посажен червяк u ($z = 10$), передающий вращение с измеряемого вала на колесо червяка ($z = 40$). Колесо червяка передает вращение через пару вексельных колес ($z = 30$) на центральное колесо ($z = 100$), фрикционно связанное осью большой стрелки тахометра.

Таким образом, передаточное число от рабочего валика тахометра до большой стрелки может быть выражено:

$$i = \frac{u}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_6} \cdot \frac{z_6}{z_8} \cdot \frac{z_8}{z_4} = \frac{10}{100} = \frac{1}{10}.$$

От оси большой стрелки вращение с понижением угловых скоростей передается на ось малой стрелки через пару трибов $z' = 12$ и $z'' = 10$ и пару колес $z = 21$ и $z = 50$.

Передаточное отношение от большой стрелки до малой:

$$i = \frac{z_1'}{z_1} \cdot \frac{z_1'' z_2}{z_2' z_2} = \frac{1}{10}.$$

Таким образом, скорость вращения большой стрелки v_{\max} при максимальном числе измеряемых оборотов — 1000 об/мин будет равна $v_{\max} = 1,66$ об/сек, что соответствует одному обороту за 0,6 сек.

А скорость вращения малой стрелки будет в 10 раз ниже, т. е. $v_{1\max} = 0,166$ об/сек, что соответствует одному обороту за 6 сек.

Как было указано выше, рабочий цикл тахометра осуществляется за 1 оборот анкерного колеса. Штифты анкерного колеса, совершив оборот (6 сек.) и действуя на штифты рычага останова, поворачивают его. При повороте рычаг останова фиксирующим штифтом сто-

порит хронометровое колесо ($z = 500$), а следовательно фиксирует положение стрелок.

Хронометровое колесо $z = 500$ жестко закреплено на оси большой стрелки. После стопорения системы вращение от рабочего валика тахометра может передаваться на центральное колесо, но это не будет влиять на положение стрелок, так как центральное колесо будет вращаться вхолостую.

Часовой тахометр марки СК, выпускаемый отечественной часовой промышленностью, предназначен для измерения угловых скоростей (чисел оборотов) вращающихся валов и измерения окружных (линейных) скоростей шкивов, ремней и т. п. Максимальные пределы измерений этим тахометром:

угловых скоростей до 10 000 об/мин.
окружных „ „ 1 000 м/мин.

Время работы тахометра при каждом замере — 4 сек., из них 3 сек. затрачивается на измерение, 1 сек. на пуск и останов.

Допустимая погрешность показаний тахометра (при проверке его по приборам 1-го класса точности), при установке его в нормальном положении (шкала горизонтальна, приводной вал и поверяемый вал соосны), при температуре окружающей среды и деталей прибора в пределах $20 \pm 5^\circ \text{C}$, не должна превышать $\pm 1\%$ от соответствующего верхнего предела измерений в следующих диапазонах измеряемых угловых скоростей:

Пределы измерений угловых скоростей в об/мин	Допустимая погрешность показаний в об/мин	Пределы измерений угловых скоростей в об/мин	Допустимая погрешность показаний в об/мин
0—1000	10	5000—6000	60
1000—2000	20	6000—7000	70
2000—3000	30	7000—8000	80
3000—4000	40	8000—9000	90
4000—5000	50	9000—10 000	100

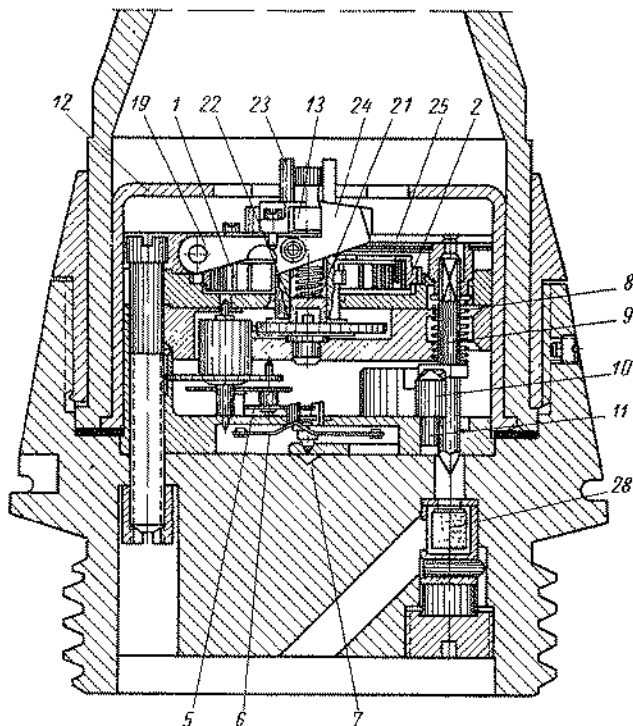
Погрешность показаний при измерении окружных скоростей не должна превышать $\pm 2\%$ от соответствующего верхнего предела измерений данного диапазона окружных скоростей.

Вариация показаний тахометра при температуре $+20 \pm 5^\circ \text{C}$, определяемая как разность между наибольшим и наименьшим показаниями на одной и той же отметке шкалы, при пятикратной проверке не должна превышать половины величины основной допустимой погрешности.

Часовые механические трубки применяются при артиллерийской стрельбе. Они служат главным образом для воспламенения в районе цели снарядов, снаряженных черным или бездымным порохом. В тех случаях, когда механизмы трубки предназначаются для возбуждения детонации в разрывном заряде и снабжаются для этого

капсюлями, детонаторами и промежуточными зарядами взрывчатого вещества, они называются взрывателями. Таким образом, взрыватель состоит из трубки и детонирующего устройства.

Если механическая трубка или взрыватель действуют от удара о какую-то преграду, то их называют ударными. Если же они про-



Фиг. 165. Механизм трубки Тиль-Крупп в разрезе.

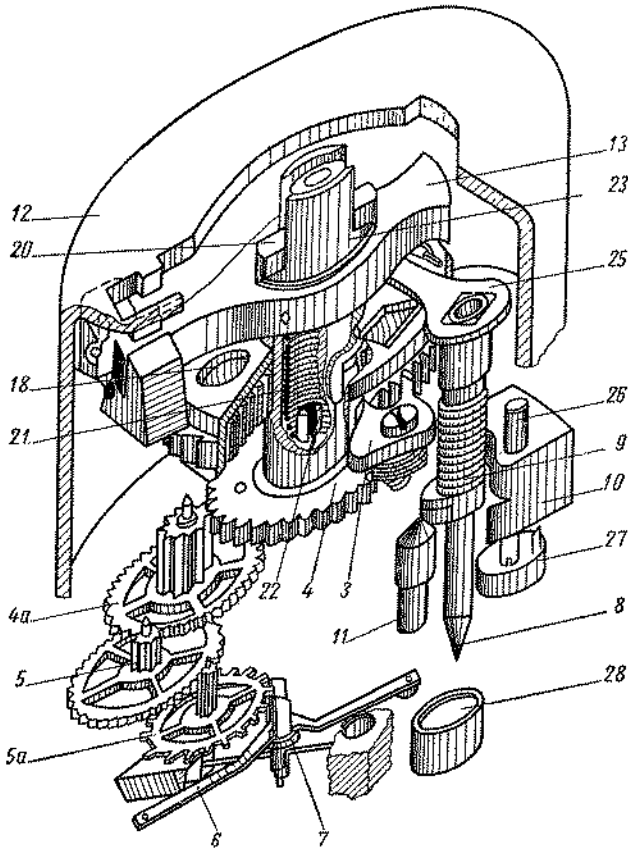
изводят разрыв снаряда в воздухе до соприкосновения снаряда с целью, то их называют дистанционными. Если трубки соединяют в себе ударный и дистанционный механизмы, то их называют трубками двойного действия.

На фиг. 165 и 166 показан в разрезе механизм трубки Тиль-Крупп.

В трубке [28] заводная пружина 1 помещается в барабане 2, который стопорится пружиной защелкой 3. Заводная пружина 1 с момента сборки и до выстрела находится в напряженном состоянии.

В момент выстрела под действием сил инерции зацеп 24 освобождает рычаг 13. Под действием заводной пружины 1 рычаг 13 начинает вращаться (по фиг. 165 вправо), пружина 21 поднимет рычаг 13 до упора в крышку установочной чашки 12. При этом

рычаг все же остается в сцеплении с трубчатой осью 23, так как втулочка 20 входит своим мостиком в разрез оси. Главное колесо 4 через трубчатую ось 23 передает вращение рычагу 13, который скользит по внутренней поверхности крышки 12 до тех пор, пока не станет против прорези в крышке. Затем под действием пружины 21



Фиг. 166. Механизм трубки в разрезе.

рычаг 13 приподнимется, встанет в прорезь и повернется в ней, как только мостик втулки 20 выйдет из паза в оси 23. Этот поворот совершится под действием раскручивания винтовой пружины 21.

На верхний конец бойка 8 надета легкая стальная пластинка 25, которая оканчивается отогнутым кверху язычком, входящим до выстрела в кольцевую часть вырезной втулки 20.

Во время вращения рычага 13 язычок стальной пластинки 25 скользит по внутренней поверхности втулки 20.

При выстреле центробежный предохранитель *10*, вращаясь на оси *26* и натягая пружину *27*, отойдет в сторону и выведет свой зуб из-под фланца ударника. При полете снаряда боек будет удерживаться в заведенном положении только благодаря невозможности соскользнуть с конической головки детали *11* ранее поворота стальной пластинки *25*.

В тот момент, когда рычаг *13* и втулочка *20* выйдут за пределы чашки *12*, отогнутый кверху язычок стальной пластинки *25* выйдет из кольцевой части втулочки *20* и переместится вправо по дугообразному пазу верхней плашки. При этом фланец бойка соскочит с головки детали *11* и жало разобьет капсюль *28*.

Вернемся к рассмотрению часового механизма трубки.

После выстрела пружина *1* приводит в движение часовой механизм, а именно — главное колесо *4*, промежуточное колесо *4а*, второе промежуточное колесо *5*, спусковое колесо *5а*, баланс *6* и волосок *7*. Спусковое колесо *5а*, получив крутящий момент от заводной пружины с помощью передачи, давит зубом на плоскость импульса палеты и при этом поворачивается на своей оси, сообщая импульс балансу. Баланс *6* отклонится на определенный угол, изгибая прямой волосок *7*. Как только зуб спускового колеса *5а* соскочит с первой палеты, волосок возвратит баланс в первоначальное положение и зуб спускового колеса упадет на плоскость покоя второй палеты. При дальнейшем движении зуб спускового колеса начнет скользить по плоскости импульса этой палеты, сообщая импульс балансу и отгибая волосок в другую сторону. Это происходит до тех пор, пока зуб спускового колеса не соскочит со второй палеты. После этого волосок опять возвратит баланс в исходное положение и на плоскость покоя первой палеты упадет следующий зуб спускового колеса, и цикл колебаний будет повторяться.

Часовые механизмы к самопишущим приборам представляют собой пружинный двигатель, работающий совместно с передачей и спусковым регулятором, вращающий с постоянной скоростью барабан, на который накручена миллиметровая бумага или диаграммная лента. Постоянная скорость вращения барабана достигается тем, что часовой механизм обеспечивает постепенное раскручивание пружины двигателя с постоянной скоростью. Типичным представителем такого часового механизма является двигатель, передача и спусковой регулятор к барографу. Барограф состоит из комплекта гофрированных коробок, передаточного механизма, барабана с часовым механизмом и корпуса (футляра). Барографы изготовляются двух типов: суточные и недельные (в зависимости от продолжительности одного оборота барабана). Погрешность хода часового механизма не должна превышать ± 5 мин. за 24 часа для суточного барографа и ± 30 мин. за 168 час. для недельного барографа. Такие же часовые механизмы ставятся в метеорологические термографы, которые также изготовляются двух типов: суточные и недельные. Запись производится пером с чернилами на диаграммной ленте, укрепляемой

на барабане. Несколько отличный часовой механизм имеет пишущий хронограф.

Пишущий хронограф — прибор, предназначенный для регистрации моментов наблюдаемых явлений. Хронограф осуществляет механизацию процесса подразделения интервалов между ударами часов на мелкие доли. В хронографе системы Гиппа бумажная лента приводится в движение от часового механизма (барабан с заводной пружиной и регулятор скорости центробежного типа).

Многошкальные приборы времени. Некоторые приборы времени имеют циферблаты с дополнительными шкалами, предназначенными для величин, измерение которых связано с измерением времени. Так, например, измерение скорости, расстояния, числа ударов пульса, производительности станка может быть связано с измерением времени [27].

Шкала скоростей показывает скорость передвижения (автомобиля, поезда и т. п.) в километрах в час, причем за базу измерения берется известное расстояние между двумя ориентирами, например, километровыми столбами.

В момент проезда мимо километрового столба секундомер или хронограф пускают в ход, а, доехав до следующего столба, останавливают его и по секундной стрелке отсчитывают скорость движения по соответствующей шкале скоростей. Предположим, что секундная стрелка остановилась на отметке 15 сек., против которой на шкале скоростей находится цифра 60; эта цифра и будет означать искомую скорость автомобиля в километрах в час (при базе измерения 250 м).

Если хронограф снабжается циферблатом, позволяющим без предварительного подсчета определять число ударов пульса в минуту, то расчет шкалы производится из следующих соотношений:

$$\frac{a}{x} = \frac{y}{60};$$

отсюда

$$xy = 60a,$$

где x — искомое число ударов пульса в минуту;

y — время наблюдения в сек;

a — база наблюдения (заранее принятое число ударов пульса).

Для шкал с базой наблюдения в 30 ударов пульса $x \cdot y = 1800$. Пользоваться таким пульсомером очень просто. Хронограф пускают в ход и подсчитывают число ударов пульса, принятое за базу наблюдения (в нашем случае 30). На 30-м ударе пульса хронограф останавливают и по центральной секундной стрелке и шкале пульсомера отсчитывают число ударов пульса в минуту.

Для шкал расстояний базой является скорость распространения звука в воздухе (330,7 м/сек); такие шкалы находят применение в артиллерии.

Применяются наручные хронометры, имеющие дополнительную шкалу для определения часовой производительности станка или рабочего.

Расчет шкал производится из следующего соотношения:

$$\frac{y}{3600} = \frac{1 \text{ деталь}}{x \text{ деталей}};$$

отсюда

$$xy = 3600,$$

где x — часовая производительность станка;

y — время изготовления одной детали в сек.

Чтобы определить часовую производительность станка, необходимо в начале операции пустить секундомер, а в конце остановить. Секундная стрелка покажет по специальной шкале количество деталей, изготавливаемых в 1 час.

ГЛАВА XI

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСОВ. ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОЧАСЫ

Электрическими часами называют такие часы, которые в качестве привода используют электрическую энергию. Последняя может использоваться для поддержания колебаний маятника или баланса, для приведения в движение электромагнитных механизмов часов, для осуществления подзавода механических двигателей часов и т. п. [43].

Электрические часы с каждым днем находят все более широкое применение в самых различных отраслях науки и техники. Они применяются для контроля и автоматизации производственных процессов, в системах унификации времени, в системах управления, сигнальных устройствах и т. п.

Существенным преимуществом электрических часов является отсутствие ручного завода и возможность полного согласования показаний удаленных друг от друга часовых механизмов, т. е. создание системы единого времени для учреждения, крупного предприятия, города и даже района.

Первые электромеханические часы в России были изготовлены в 1839 г.

После Великой Октябрьской социалистической революции отечественная часовая промышленность стала быстро развиваться.

В 20-х годах производство электромеханических часов было сосредоточено главным образом в Тресте точной механики и на Ленинградском электромеханическом заводе НКПС.

В 30-х годах на 2-м Московском часовом заводе было организовано производство первичных часов с электроприводом и вторичных часов.

Современная электрочасовая промышленность Советского Союза выпускает множество самых различных по устройству и назначению электрических часов: часы с электроприводом и электроподзаводом, вторичные часы различных систем, электрические башенные часы, сигнальные и программные часы, электросекундомеры и хроноскопы, высокоточные электрочасовые механизмы типа кварцевых часов и печатающего хронографа.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСОВ

До настоящего времени не было разработано единой и исчерпывающей классификации электрических часов. Это объясняется отчасти быстрым ростом отечественной электрочасовой промышленности, быстрым увеличением номенклатуры электрических часов, опережающей литературную публикацию.

Наиболее принятая классификация электрических часов приведена в табл. 1а и 1б [43].

Согласно этой таблице электрические часы классифицируются: по физическому признаку и по назначению.

По физическому признаку электрические часы делятся на независимые, групповые и синхронные.

Независимые часы существуют двух типов: а) с электроприводом и б) с электроподзаводом. Часы с электроприводом бывают прямого и косвенного действия. В часах с электроподзаводом подзавод может осуществляться электромагнитом или электродвигателем.

Групповые электрические часы подразделяются на первичные и вторичные. В качестве первичных часов могут быть использованы любые независимые часы, снабженные для этой цели специальным контактным устройством, посылающим импульсы тока в цепь вторичных часов, управляя их работой.

Первичные часы делятся на [43]:

1. Первичные часы, посылающие импульсы постоянного тока переменного или постоянного направления для приведения в действие вторичных импульсных часов, снабженных электромагнитным механизмом для перемещения стрелок.

2. Первичные часы, посылающие периодические импульсы тока для корректировки хода вторичных часов, которые имеют самостоятельный источник энергии и ходовой узел, т. е. по своей сути являются самостоятельными часами.

3. Первичные часы, посылающие импульсы тока во вторичные часы большой мощности (типа башенных часов). При этом импульсы тока первичных часов используются для включения подзавода вторичных часов, имеющих, как правило, в таком случае гиревой привод, а также для включения и застопоривания механизма, управляющего перемещением стрелок.

Синхронные часы образуют самостоятельную, довольно своеобразную группу электрических часов, отличающихся от всех прочих плавностью перемещения стрелок и отсутствием какого бы то ни было спускового регулятора. Синхронные часы бывают с самопуском и без самопуска и состоят из синхронного двигателя, передаточного и стрелочного механизма.

По назначению электрические часы делятся на программные, показывающие, печатающие и астрономические.

Показывающими часами называют часы, предназначенные для указания времени при помощи стрелок и циферблата. Подобные часы

выполняются в виде независимых маятниковых или балансовых часов, групповых и синхронных часов. Перемещение стрелок показывающих часов может быть различным; например, с перемещением через минутный интервал, с перемещением через секундный интервал и с плавным непрерывным перемещением.

Программные и печатающие часы могут быть созданы на базе независимых часов, синхронных часов и на базе вторичных импульсных часов.

Программные часы имеют три разновидности [43]:

1) сигнальные часы, дающие замыкание контактов по заранее установленной программе в пределах 12 час. или суток, включая звуковой, световой или иной сигнал определенной продолжительности;

2) процедурные часы, дающие замыкание контактов (сигнал) через определенный заранее установленный интервал времени;

3) реле выдержки времени, применяемые обычно при автоматизации производственных процессов и включаемые в систему автоматизации в комплексе с другими регулирующими и управляющими приборами.

К программным часам следует отнести также ряд специальных исполнительных электрочасовых механизмов типа автоматов включения и выключения уличного и лестничного освещения, вентиляции и т. п.

Печатающие часы имеют две основные разновидности [43]:

1) табельные часы, позволяющие получать при нажатии на соответствующий рычаг отпечаток (число, месяц, часы, минуты) на специальных картах, предназначенных для контроля времени прихода на работу и ухода. Табельные часы обычно имеют циферблат;

2) штемпели времени, дающие отпечаток числа, месяца, часов и минут, предназначенные для регистрации времени различных процессов. Штемпели времени могут не иметь циферблата.

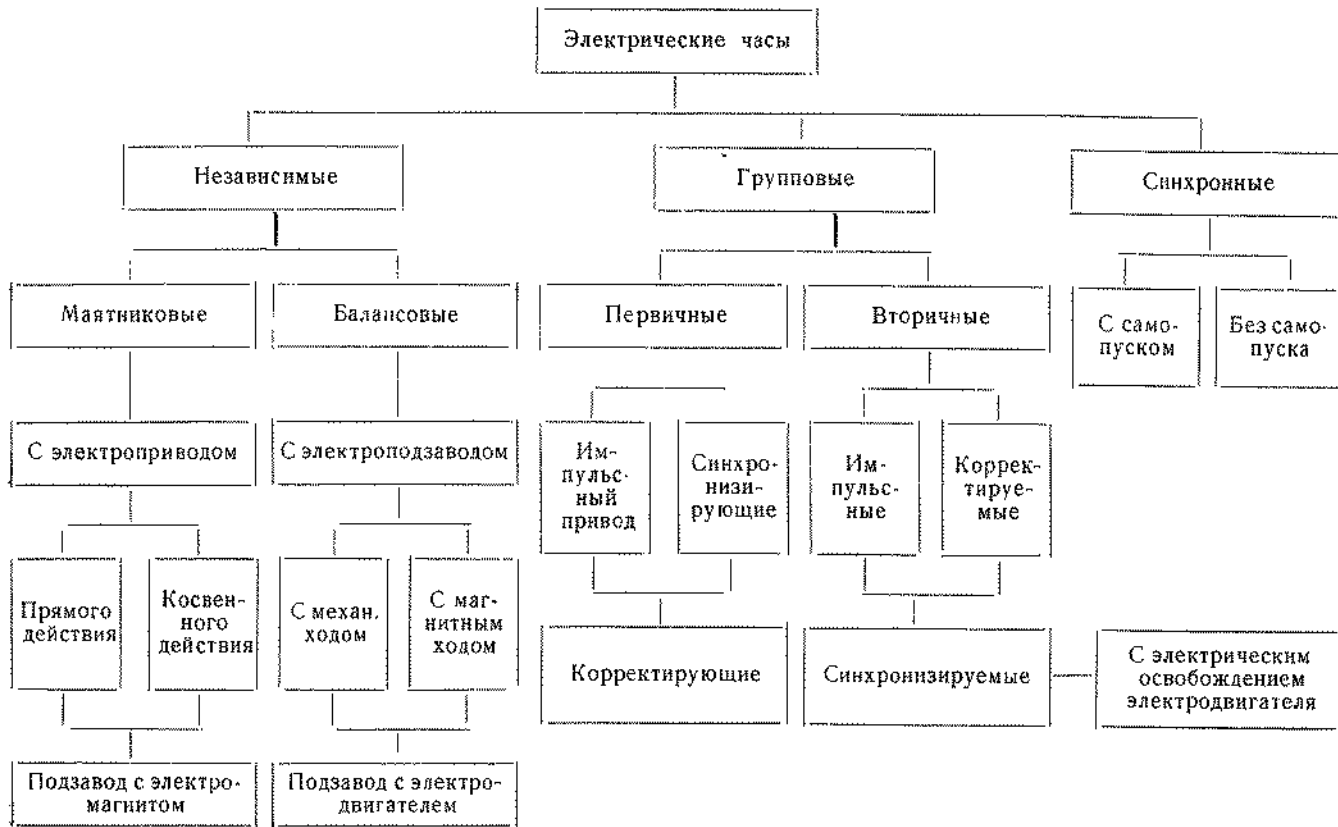
Астрономическими часами называют высокоточные электрические часы, предназначенные для точного хранения времени и для регистрации значения текущего среднего или звездного времени при производстве астрономических наблюдений.

Астрономические часы подразделяются на отметчики времени и хранители времени.

Группу первых в настоящее время образуют так называемые печатающие хронографы, регистрирующие значение текущего времени с точностью $\pm 0,005$ сек. при точности хода, не превышающей $0,006 - 0,008$ сек. за сутки.

Группу вторых образуют кварцевые часы с суточной ошибкой хода, не превышающей $0,001$ сек., и так называемые атомные часы, отличающиеся еще более высокой точностью.

Классификация электрических часов по физическому признаку



Классификация электрических часов по назначению



2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОЧАСОВ. ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ

Под первичными электрическими часами обычно понимают любые часы, имеющие собственный источник энергии — двигатель, спусковой регулятор и контактный узел, дающий ежеминутно или ежесекундно импульсы тока в линию вторичных часов. Первичные часы по принципу своего действия могут быть чисто механическими, могут также иметь электрический привод — двигатель или электрический подзавод механического двигателя. Следовательно, основным отличительным признаком первичных часов является наличие контактного узла, дающего импульсы [44].

Вторичные часы представляют собой своеобразный электромагнитный механизм, срабатывающий от поступающих импульсов тока и движущий стрелочный механизм. Электрические вторичные часы обычно выполняются в двух конструктивных видах: с качающимся якорем и с вращающимся якорем. В первом случае колебательные движения якоря электромагнитов преобразуются во вращательное движение стрелок с помощью храпового устройства; во втором случае связь стрелок с якорем осуществляется через зубчатое зацепление.

Как уже упоминалось, существует разновидность вторичных электрических часов, имеющих самостоятельный двигатель и регулятор хода и корректируемых первичными часами. Но этот тип часов применяется значительно реже, чем вышеописанные.

В целом в электрочасовых системах находят применение главным образом следующие механизмы и устройства: первичные часы, вторичные часы, аккумуляторная батарея или какой-либо другой источник электрического тока, питающий всю систему; сеть проводов, соединяющих первичные и вторичные часы между собой и с источником питания; некоторые вспомогательные механизмы для корректировки показаний часов и их контроля [44].

Несмотря на большое разнообразие конструктивных оформлений и принципов действия этих основных механизмов и устройств, некоторые их детали и узлы входят составной частью почти во все электрочасовые механизмы. К ним относятся, прежде всего, контакты, электромагниты и реле, искрогасительные приспособления, источники питания электрическим током.

Контакты. В работе электрических часов существенное значение имеет периодическое срабатывание контактов, надежность и безотказность работы которых по сути дела определяют качество работы всей установки. Контакт представляет собой устройство для замыкания и размыкания проводника, несущего ток. Контактная система состоит из контактных пружин, стоек, на которых крепятся эти пружины, и изоляционных прокладок. Включение контактов в цепь последовательное. Основным параметром, определяющим работу контактов, является сопротивление, которое оказывают контакты

проходящему через них току. Это сопротивление, называемое переходным, зависит от целого ряда факторов. Основными из них являются: материал, из которого изготовлены контакты, конструкция, форма контактов, площадь соприкосновения контактирующих поверхностей, давление между этими поверхностями и их состояние, т. е. степень окисления, загрязнения и износа.

Для электрических часов основным требованием, предъявляемым к работе контактов, является наличие возможно меньшего переходного сопротивления.

Для изготовления контактов наиболее часто применяются серебро, платина, платиносеребряный сплав ПС-12 с 12% платины, платино-иридиевый сплав, вольфрам. Иногда для изготовления особо ответственных контактов применяют золото или покрывают контактные поверхности родием с толщиной покрытия порядка 4—7 микрон.

Низкая температура плавления, способствующая искровому износу контактов, ограничивает применение чистого серебра. Платина придает тугоплавкость контактам и предохраняет их от износа при искрении.

Серебро — наиболее дешевый из применяемых благородных металлов, легко обрабатывается, обладает хорошими тепло- и электропроводностями. Образующаяся со временем на поверхности контакта пленка окисла является полупроводником и не ухудшает качества работы контактов. Серебряные контакты не могут применяться в конструкциях, предназначенных для работы в помещениях, где возможно наличие сернистых газов, а также в конструкциях, имеющих детали из материалов с сернистыми включениями (вулканизированная резина, эбонит и т. п.), так как серебро образует с серой соединения, вредно отражающиеся на работе контактов и способствующие их разрушению. Серебряные контакты применяются при давлениях порядка 5—25 г.

Платина в процессе работы не окисляется, дает малое переходное сопротивление, легко обрабатывается. Применяется при контактных давлениях порядка 1—5 г.

Для контактов, находящихся в тяжелых условиях работы, предпочтительно применение сплава платины с иридием; добавление последнего повышает твердость сплава, но в световой дуге такие контакты сгорают.

В случае питания часов от осветительной сети в качестве контактного материала применяют вольфрам. Он способен противостоять образованию световой дуги, так как обладает высокой температурой плавления. Через такие контакты может быть пропущен ток в несколько ампер.

Вольфрам тверд и хорошо сопротивляется механическому износу, но хрупок, плохо обрабатывается, покрывается неэлектропроводной пленкой и требует высоких контактных давлений, достигающих 60—80 г.

Весьма важное значение в работе контактов имеют их конструкция и форма. В практике часто наблюдается явление вибрации контактных пружин. Вибрация приводит к дробным замыканиям цепи и появлению так называемых «дробных импульсов». Последние вызывают ложные срабатывания вторичных механизмов и ошибку в их показаниях.

Дробное соединение контактов вызывается тем, что соприкосновение подвижного контакта с неподвижным происходит ударно, вследствие чего подвижной контакт отскакивает от поверхности неподвижного и снова на нее падает. Дробное контактирование вредно также и тем, что возникающая при размыкании искра усиливает износ контактных поверхностей.

Для устранения явления вибрации контактную систему выполняют так, чтобы кинетическая энергия каждого подвижного контакта поглощалась соответствующей неподвижной опорной пружиной.

Опорная пружина изготавливается из более толстого материала, чем основные контактные пружины. Она устанавливается с внутренней стороны между контактирующими пружинами, причем ее длина принимается равной $\frac{2}{3}$ длины основных пружин.

Контактные пружины изготавливаются из нейзильбера, алюминиевой или марганцовистой бронзы. Пружинны, изготовляемые из этих материалов, хорошо обрабатываются, длительное время сохраняют свою упругость и форму, приданную им при регулировке.

На фиг. 167 приведены основные формы контактов и контактных пружин, применяемых в электрических часах [44].

Как показано, контакты *1* прикрепляются к концам контактных пружин *2* приваркой или расклепкой. Наиболее распространен плоскоострый контакт *а*. Он крепится расклепкой.

Контакт типа *б* приварен; приварка более экономична с точки зрения расхода благородных металлов. Подобный контакт применяется почти исключительно в реле.

В реле механизмов применяется сферический клепаный контакт типа *в*. В некоторых устройствах применяется двойной сферический контакт *ж*. С целью устранения нарушения работы контактов применяют спаренные контакты типов *г* и *д*, снижающие нарушения в работе в 40—50 раз.

Иногда применяются контакты с напайками из благородных металлов, как это показано на пружинах *е*.

Ножевые контакты *з* и стоечные *и* применяются в поляризованных реле.

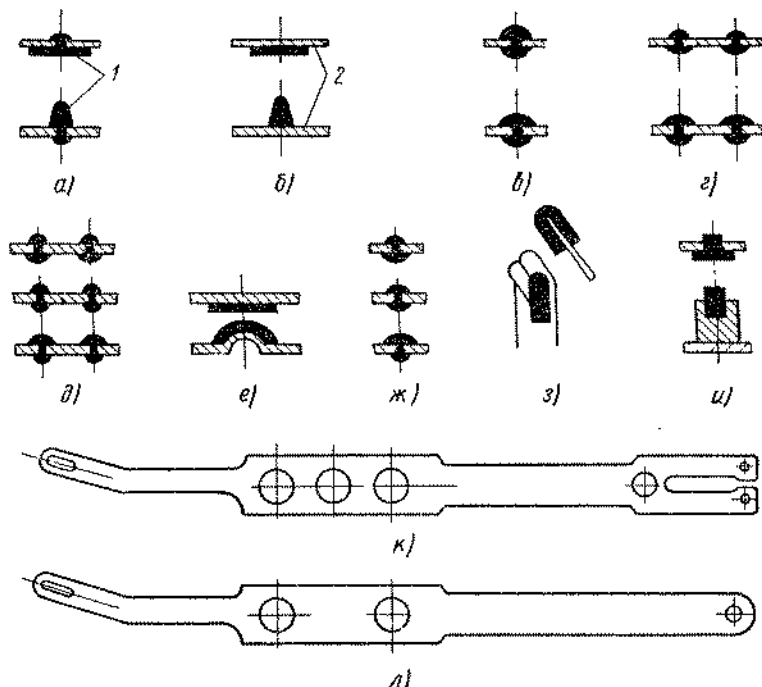
Наиболее распространенные формы контактных пружин показаны на этой же фигуре — пружины для двойных контактов *к* и одинарных *л*.

Изоляционные прокладки изготавливаются из листового эбонита, из технического или зеркального гетинакса и текстолита.

Для повышения изолирующей способности эти материалы пропитываются бакелитовым лаком.

Электромагниты и реле. Не менее важным узлом электрических часов являются электромагниты — неизбежная принадлежность реле, вторичных, а иногда и первичных электрических часов.

Допустимая величина тока, который способны пропускать контакты, замыкающие электрическую цепь, зависит от размеров контактов, контактного материала и т. п. Контакты обычно изготавливаются на допустимую нагрузку по току порядка 0,4—0,45 а. В электро-часовых системах обычно требуется подключать к первичным часам

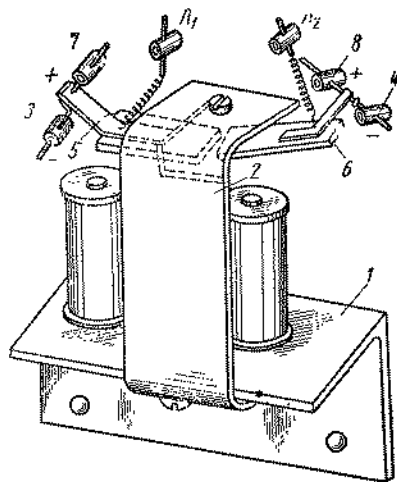


Фиг. 167. Различные формы контактов и контактных пружин.

такое количество вторичных часов, что нагрузка на контакты значительно превышает допустимую. В целях облегчения работы контактов применяют переходные поляризованные реле. В этом случае контакты первичных часов замыкают только цепь питания электромагнитов реле, потребляющих небольшой ток. Контакты же самого реле, рассчитанные на значительно большую нагрузку, подключаются к сети вторичных часов.

В последнее время все более широкое распространение получают поляризованные электромагниты. Применение реле с поляризованными электромагнитами вызвано необходимостью посылки в часовую

сеть импульсов тока, поочередно меняющих свое направление, что необходимо для предохранения вторичных часовых механизмов от ошибочного срабатывания при возникновении «дробного импульса».



Фиг. 168. Кинематическая схема поляризованного реле.

На фиг. 168 показано устройство реле с поляризованными электромагнитами [44].

Как показано на фигуре, якорь 5 и 6 имеют возможность поворачиваться на центрах, установленных в скобе, прикрепленной к верхней части постоянного магнита 2. Якорь несет плоские контактные пружины, соединяющиеся с контактами стоек, с которыми подключается батарея. Оба провода линии часовой сети в состоянии покоя соединены между собой и подключены к положительному полюсу батареи.

Ток, поступающий от первичных часов, создает в электромагнитах реле магнитные потоки противоположного направления. Если магнитный поток какого-либо электромагнита совпадет с магнитным потоком постоянного магнита, то он усилится. Благодаря этому якорь, находящийся в этом магнитном потоке, притянется к сердечнику.

Одновременно магнитный поток другого электромагнита, имеющий обратное направление с магнитным потоком постоянного магнита, ослабевает и якорь, находящийся в этом потоке, будет удерживаться в исходном положении.

С прекращением импульса тока, поступавшего от первичных часов, магнитные потоки электромагнитов прекратятся и притянутый ранее якорь займет исходное положение.

Следующий импульс тока, поступающий на электромагниты реле, будет иметь противоположное направление, и взаимодействие магнитных потоков электромагнитов с магнитным потоком постоянного магнита изменится на обратное, т. е. сработает якорь, ранее оставшийся в покое.

При этом в сеть вторичных часов пойдет импульс тока противоположного направления. Таким образом, механизмы вторичных часов, также имеющие поляризованные реле, будут работать бесперебойно, так же, как если бы они были включены прямо в сеть первичных электрочасов.

Принцип работы схемы первичных часов, производящих перемену направления командных импульсов, будет рассмотрен несколько ниже.

Контакты переходного поляризованного реле допускают нагрузку по току до $0,6 \text{ а}$, т. е. к контактам реле можно подключать до 60 вторичных электрочасов.

Для защиты контактов реле от искрообразования выводные клеммы реле обычно шунтируют сопротивлением 600 ом , имеющим бифилярную намотку.

Искрогасительные приспособления [44]. Как известно, при прохождении тока через замкнутые контакты вокруг них создается некоторое магнитное поле. При размыкании контактов это магнитное поле почти мгновенно исчезает, причем такое быстрое сокращение магнитных силовых линий создает на обмотках электромагнита э. д. с. самоиндукции величиной, достигающей несколько сот и даже тысяч вольт.

Эта э. д. с. при размыкании контактов создает пробой воздушного промежутка, разделяющего контактные поверхности, и образует дугу.

Для сохранения контактов от обгорания стремятся создать для возникающей э. д. с. самоиндукции иной путь, шунтируя контакты безиндукционным сопротивлением.

В этом случае неизбежно возникает некоторый непроизводительный расход энергии источника тока, особенно вредно сказывающийся там, где от качества работы источника зависит работа и точность всей системы. Но с этими потерями приходится мириться, так как ущерб, причиняемый ими, значительно меньше, нежели от нарушения работы контактов. Обычно выбирают шунтирующее сопротивление в 2—3 раза большим, чем общее омическое сопротивление всей цепи электромагнитов, включаемых данной контактной группой.

Существующие в настоящее время методы расчета контура искрогашения не дают достаточной точности, кроме того, подбираемый контур многозначен, т. е. искра может быть погашена не одним каким-либо определенным по величине сопротивлением, а несколькими, поэтому сопротивление для искрогашения обычно подбирают опытным путем.

Несколько реже применяется схема искрогашения шунтированием самих обмоток электромагнита.

В случае, когда индуктивность основного контура мала, применяют в качестве меры искрогашения шунтирование контура конденсатором.

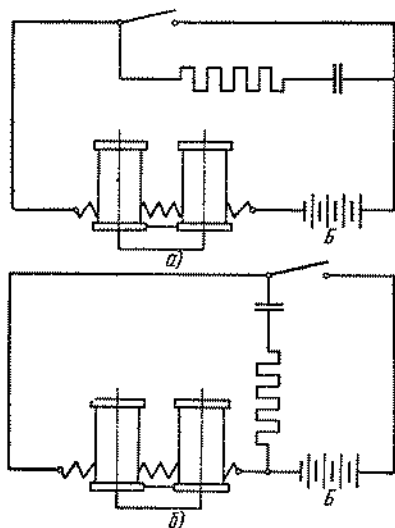
На фиг. 169 показаны схемы искрогашения с помощью последовательно включенных безиндукционного сопротивления и конденсатора.

На схеме фиг. 169, *а* искрогасящее устройство подключено параллельно контакту, на схеме фиг. 169, *б* — параллельно электромагниту.

Э. д. с. самоиндукции, возникающая при размыкании контактов, заряжает конденсатор, который затем разряжается на обмотку электромагнита. Таким образом, искрообразование значительно ослабляется.

Практически емкость конденсатора выбирается из расчета, чтобы на каждый генри индуктивности основной цепи приходилась одна микрофарада. Обычно применяются конденсаторы в 2 микрофарады.

Иногда при разряде конденсатора часть тока все же пробивает контакты в виде короткой, но сильной искры. Последнее явление устраняется последовательным включением с конденсатором омического сопротивления.



Фиг. 169. Схемы искрогашения.

Источники электрического тока. Необходимым условием работы всех электрических часов является наличие какого-либо источника электрического тока. Для независимых электрических часов в качестве источника тока может быть использована осветительная сеть любого напряжения (110—220 в). Питание синхронных часов также осуществляется от сети переменного тока. В случае несоответствия напряжения осветительной сети требуемому для питания часов применяются соответствующие повышающие или понижающие трансформаторы [44].

Электрочасовые системы, состоящие из первичных и вторичных часов, а также синхронизируемые электрические часы работают от источников постоянного тока. В качестве таких источников используются различные батареи и аккумуляторы. Напряжение источников постоянного тока бывает различным для различных часов и колеблется в пределах 2—60 в. Наиболее часто применяются источники тока напряжением в 24 в для электрочасовых систем и в 6 и 12 в для индивидуальных электрических часов типа АТО и автомобильных часов.

Основным требованием, предъявляемым к работе источников тока, является требование длительного сохранения ими неизменной э. д. с.

Вообще говоря, источники тока в процессе работы электрических часов находятся под нагрузкой не постоянно. Электрочасовые механизмы рассчитываются на небольшое потребление энергии, что в большинстве случаев достигается прерывистым характером включения часов в сеть питания, при значительных перерывах по времени между включениями и незначительным расходом тока при включении.

В качестве примера работы источника тока можно рассмотреть работу импульсных вторичных часов, включенных в общую систему электрочасовой установки. Питание этих часов производится импульсами тока длительностью в 2 сек., с интервалами между замыканиями в 1 мин. Таким образом, источник тока находится под нагрузкой только $\frac{1}{30}$ часть всего рабочего времени.

Такой режим работы способствует самозаряду источника в моменты отключения питания и его длительной работе.

В случае, когда нагрузка на источник тока велика (при питании от источника тока мощных электрочасовых систем), применяется так называемое буферное питание, заключающееся в подзаряде аккумуляторов источника в процессе его работы.

При этом в схему установки вводится выпрямитель достаточной мощности и реле, которое автоматически переключает часы на питание от этого выпрямителя в то время, когда аккумуляторы подзаряжаются.

3. ЧАСЫ ГИРЕВЫЕ С ЭЛЕКТРОПОДЗАВОДОМ

Первичные часы с электроподзаводом. Одним из основных, широко используемых типов электрических первичных часов являются первичные электрические часы, выпускаемые нашей промышленностью под маркой ЭПЧГ (электропервичные часы гиревые).

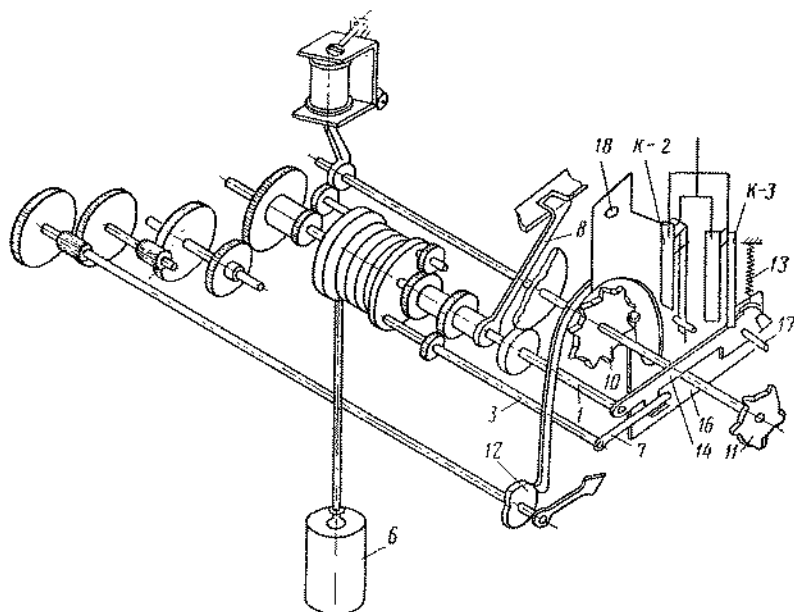
Эти часы — механические, снабжены электрическим механизмом подъема гири, срабатывающим автоматически и ежeminутно поднимающим гирю на исходную высоту и контактными группами, выдающими в цепь вторичных часов секундные или минутные импульсы. Часы снабжены также особым устройством, позволяющим автоматически устанавливать вторичные часы на правильное показание в случае их отставания от первичных часов при перерыве питания током сети вторичных часов. В этом случае вторичные часы останавливаются, а первичные, имеющие в качестве источника энергии гиревой двигатель, будут продолжать работу до полного опускания гири. Первичные часы могут, таким образом, работать без тока в течение 12 час.

При включении электропитания вновь опустившаяся гиря будет поднята до исходной высоты, а вторичные часы установлены на правильное показание времени. Устройство, производящее эту операцию,

называется накопителем импульсов, поэтому часы типа ЭПЧГ называют еще электрическими часами с накопителем импульсов.

Рассмотрим устройство и работу этих часов [43].

На фиг. 170 приведена схема колесного механизма и на фиг. 171—полная кинематическая схема часов ЭПЧГ.



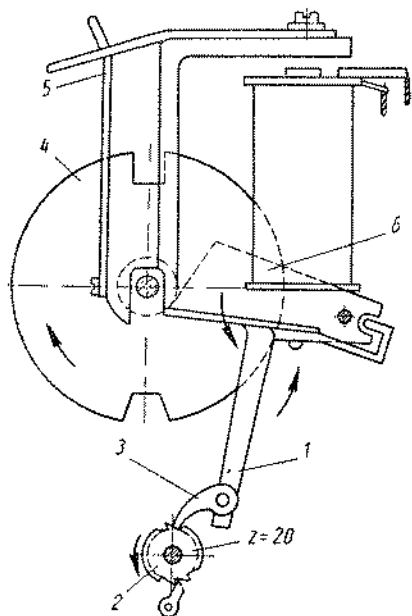
Фиг. 171. Полная кинематическая схема часов.

Барaban планетарного механизма свободно посажен на ось 1 (фиг. 170) и получает вращение от гири 6, подвешенной к свободному концу струны, накрученной на барабан. В барабане свободно вращаются оси 4 и 3, на которых закреплены шестерни z_2 , z_3 и z_9 , обкатывающиеся по центральным колесам z_5 , z_6 и z_7 .

На оси 3 посажен рычаг 7. Колеса z_5 и z_1 жестко посажены на втулку 2, а колеса z_6 и z_8 — на втулку 9. Эти втулки свободно вращаются на оси 1. К колесу z_7 , свободно вращающемуся на втулке 9, прикреплен рычаг 8, который входит в вырез в платине часов и удерживает это колесо в неподвижном состоянии. Колесо z_1 сцепляется с колесом z_{11} , посаженным на минутную ось. Передаточное отношение между осями минутной 13 и секундной 14 стрелок равно 60. На секундной оси посажены секундная стрелка и кулачок 12. На оси 5 установлены пятикулачковая шайба 11, десятикулачковая шайба и храповое колесо 15 механизма подзавода z_{15} .

Периодический подзавод гири производится электромагнитом, показанным на фиг. 172, к якорию электромагнита прикреплен рычаг 1,

несущий на своем свободном конце ведущую собачку 3. При замыкании цепи электромагнита якорь притягивается к сердечнику катушки, и ведущая собачка переводится на один зуб храпового колеса 2. При обратном ходе якоря под действием пружины 5 ведущая собачка поворачивает храповое колесо на один зуб. При этом барабан вращается, наматывая на себя струну, к которой подвешена гиря. На оси якоря с легким трением посажен инерционный груз 4, который приводится в движение якорем через зубчатую передачу, состоящую из зубчатого сектора 6 и триба, жестко связанного с инерционным грузом. Последний смягчает удары при срабатывании электромагнита и делает более плавным вращение барабана.



Фиг. 172. Механизм подзавода гири.

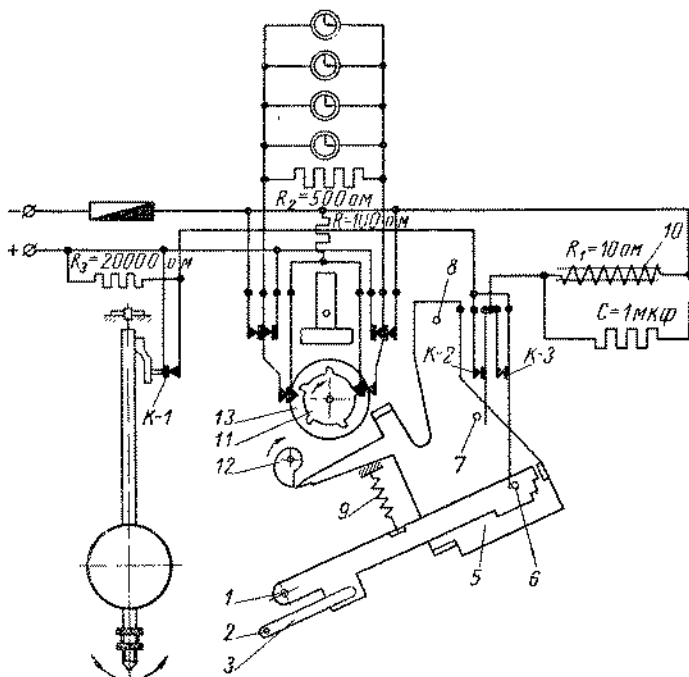
На фиг. 173 показана электрическая схема часов ЭПЧГ и схема замыкания их контактов. Электромагнит завода 10 включен в цепь батареи через два последовательных контакта $K-1$ и $K-2$, причем $K-2$ имеет параллельный контакт $K-3$. Контакт $K-1$ замыкается при каждом колебании маятника вправо, но электромагнит срабатывает только в том случае, когда одновременно будут замкнуты контакты $K-1$ и $K-2$. Контакт $K-2$ является подготовительным и разомкнут штифтом 7, посаженным на рычаг 5, вращающийся на оси 8. Замыкание этого контакта происходит в момент схода рычага 5 с кулачка 12, сидящего на секундной оси часов. Включение электромагнита подзавода происходит ровно через одну минуту, в момент отклонения маятника вправо.

При образовании цепи: плюс батареи, $K-1$, $K-2$, минус батареи — якорь электромагнита притянется, а собачка его захватит зуб храпового колеса. При разрыве маятником контакта $K-1$ храповое колесо обратным ходом якоря поворачивается на один зуб. В этом положении контакт $K-2$ остается замкнутым, а пятикулачковая шайба 11, управляющая посылкой импульсов тока в линию вторичных часов, замыкает одну из групп контактного устройства, посылая импульс в линию вторичных часов.

Устройство и принцип работы самой контактной группы одинаковы для всех первичных часов, применяемых в электрочасовых системах, поэтому они будут рассмотрены несколько ниже в разделе «Первичные часы ЭПЧ с электроприводом прямого действия».

При повороте шайбы 11 батарея сначала замыкается на сопротивление 100 ом, которое затем включается последовательно в линию вторичных часов. Затем сопротивление это замыкается накоротко, и в линию вторичных часов поступает полный ток.

При последующем колебании замыкается контакт К-1, причем контакт К-2 еще замкнут, и включает электромагнит подзавода в цепь



Фиг. 173. Электрическая схема часов ЭПЧГ и схема замыкания их контактов.

батареи. Электромагнит срабатывает еще раз и при размыкании контакта К-1 поворачивает храповое колесо еще на один зуб.

При этом пятикулачковая шайба отключает цепь вторичных часов. Импульс, посылаемый в линию вторичных часов, длится в течение всего периода колебания маятника.

Благодаря наличию сопротивления 100 ом ток, поступающий в линию вторичных часов, нарастает постепенно, чем уменьшается искрообразование при размыкании контактов.

После второго срабатывания электромагнита десятикулачковая шайба 13, сидящая соосно с пятикулачковой шайбой, поворачивает рычаг 5 вправо (см. фиг. 173). В этом положении рычаг 5 удерживается 40—50 сек. При повороте рычага 5 вправо его штифт 7 размыкает контакт К-2, разрывая цепь электромагнита подзавода.

Для уменьшения искрения в контактах токопосылающего устройства, в его цепь введено сопротивление 500 ом . С той же целью произведена защита контактов $K-1$, $K-2$ и $K-3$ сопротивлением 100 ом и емкостью 1 мкф ; кроме того, параллельно контакту $K-1$ подключено сопротивление 2000 ом .

Планетарный механизм и взаимодействие рычагов подзавода и накопителя импульсов рассмотрим на фиг. 171 [43].

Рычаг 7, жестко посаженный на ось 3, при наличии тока в цепи питания часов совершает возвратно-поступательное движение, поворачиваясь против часовой стрелки при опускании гири и возвращаясь в исходное положение при ее подъеме. Рычаг 14, посаженный на ось барабана, своей отогнутой лапкой прижат пружиной 13 к рычагу 7 и движется вместе с ним.

Через 40—50 сек. после подзавода рычаг 14 освобождает рычаг 16, который к этому времени запирается кулачком 12, сидящим на секундной оси часов. При освобождении рычаг 16 под действием своего веса поворачивается по часовой стрелке.

Освобождение этого рычага и одновременно замыкание контакта $K-2$ было описано выше при рассмотрении фиг. 173.

Если ток, питающий часы, будет отключен, то электромагнит подзавода перестанет срабатывать и импульсы в линию вторичных часов не будут посылааться, но первичные часы будут продолжать работать под действием опускающейся гири. При этом, как было описано выше, рычаги 7 и 14 будут поворачиваться против часовой стрелки, причем рычаг 14 в своем движении замкнет контакт $K-3$, включенный параллельно контакту $K-2$. В процессе всей работы часов без тока рычаг 14 останется поднятым, а контакт $K-3$ замкнутым.

Если питание часов будет вновь восстановлено, то маятник при каждом своем колебании, замыкая контакт $K-1$, будет посылать импульсы тока в цепь электромагнита подъема гири, который, срабатывая, будет поднимать гирю и посылать пропущенные импульсы в линию вторичных часов, вследствие поворота пятикулачковой шайбы.

Посылка пропущенных импульсов прекратится в тот момент, когда гиря займет исходное положение, а рычаг 14 разомкнет контакт $K-3$.

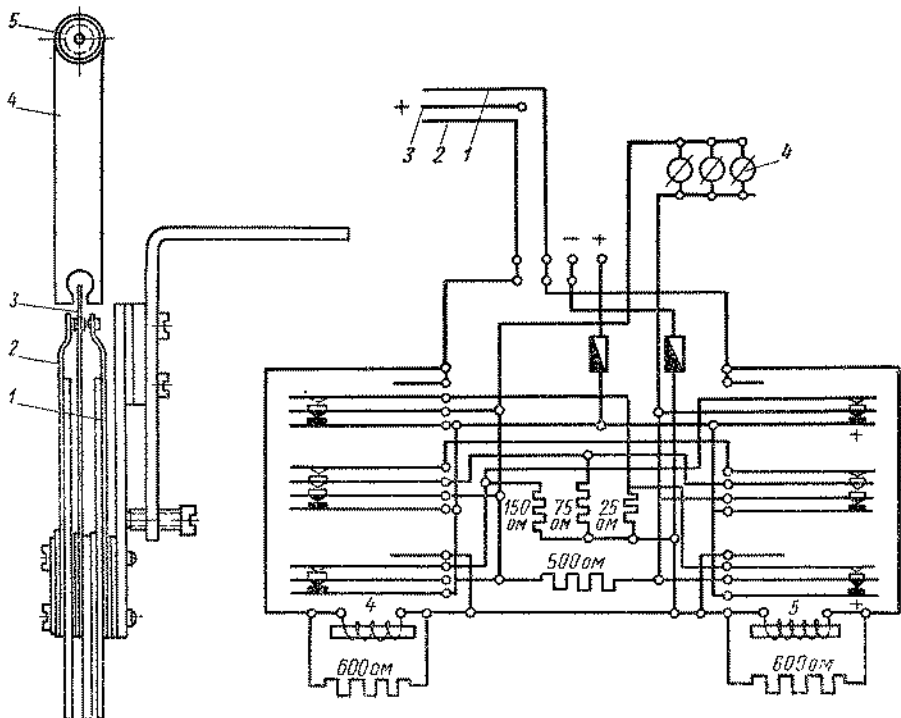
Кроме выдачи минутных импульсов часы ЭПЧГ снабжены устройством, выдающим в линию вторичных часов секундные импульсы.

На фиг. 174 показано контактное устройство для посылки секундных знакопеременных импульсов в линию вторичных часов.

Контактный рычаг 4 из изоляционного материала соединен со втулкой 5, посаженной неподвижно на ось якоря посредством крепежного винта. Рычаг 4 охватывает контактную пружину 3, к которой подведен положительный полюс батареи. При колебании секундного маятника эта пружина входит в соприкосновение попеременно то с пружиной 1, то с пружиной 2; так как контакты эти связаны непосредственно с маятником, то контактное давление на них весьма

мало (около 3 г), поэтому импульсы тока поступают не сразу в линию вторичных часов, а на обмотки кодовых реле, обладающих значительно более сильными контактами.

Правое реле 5 срабатывает при замыкании пружин 3 и 1, а левое реле 4 — при замыкании пружин 3 и 2. Реле при срабатывании



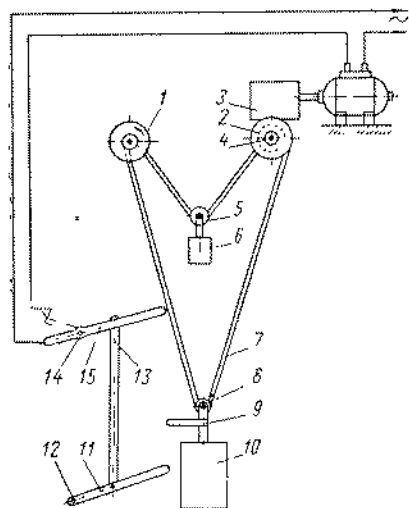
Фиг. 174. Контактное устройство для посылки секундных импульсов.

замыкает свои контакты в такой последовательности, что в начальный момент батарея включена в линию вторичных часов через сопротивление 150 ом, а затем параллельно этому сопротивлению подключается сопротивление 75 ом. В дальнейшем параллельно двум предыдущим сопротивлениям подключается сопротивление 25 ом. Наконец, в конце хода якоря включается полный ток батареи, минуя эти сопротивления. При отпуске якоря производится размыкание контактов в обратном порядке. Благодаря этому ток в линии вторичных часов нарастает и исчезает постепенно, чем сильно снижается искрение на контактах.

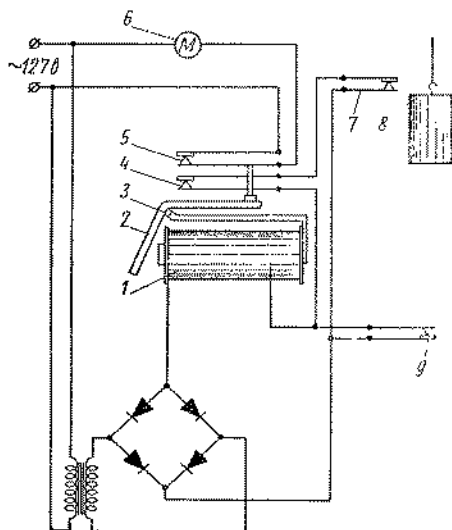
Параллельно обмоткам кодовых реле включены сопротивления по 600 ом, а параллельно линии вторичных часов включено сопротивление 500 ом. Эти сопротивления уменьшают искру на контактах пружин 1, 2 и 3 и на контактах кодовых реле.

Вышеописанный механизм подзавода гири наиболее распространен и применяется в первичных электрических часах. В большинстве случаев электрический подзавод гири находит применение и в механизмах башенных часов. Рассмотрим несколько наиболее интересных конструкций [43].

На фиг. 175 приведен механизм электрического подзавода с бесконечной цепью. На валу электродвигателя посажен червяк 3,



Фиг. 175. Механизм электрического подзавода.



Фиг. 176. Схема подъема гири с самоблокировкой электродвигателя.

ведущий червячное колесо 2, на оси которого жестко посажено колесо 4. Через это колесо и колесо 1 часового механизма перекинута бесконечная цепь 7. На цепь надеты блоки 5 и 8, несущие гири для приведения в действие часов (гиря 10) и для натяжения цепи (гиря для планки 11 и 15 посажены на оси 12 и 14 и соединены между собой тягой 13). В показанном на фигуре положении цепь электродвигателя разомкнута, и гиря 10 при работе часов опускается вниз. После того как гиря опустится до определенного положения, палец 9, закрепленный на блоке 8, нажмет на планку 11 и опустит ее, замкнув цепь электродвигателя. Гирия будет подниматься до тех пор, пока палец 9 не разомкнет цепь электродвигателя нажатием на верхнюю планку 15.

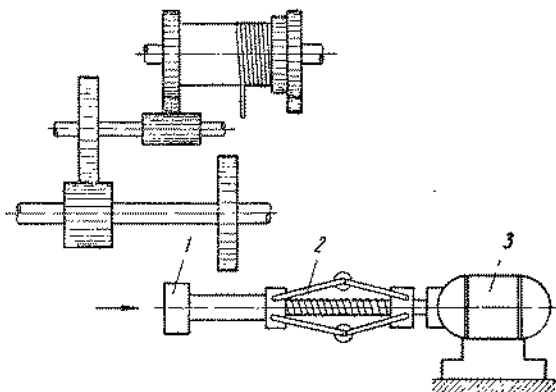
На фиг. 176 показана другая схема подъема гири башенных часов с самоблокировкой электродвигателя.

Гирия 8 подвешена на струне и в своем движении перемещается между контактами 7 и 9. В показанном на фигуре положении цепь электродвигателя 6 и цепь катушки 1 реле разомкнуты. Гирия при своем опускании вниз замкнет контакт 9 цепи катушки, получающей пи-

тание от сети переменного тока 127 в через понижающий трансформатор и купроксные выпрямители. Якорь 2 притянется к сердечнику 3 катушки и замкнет своим плечом контакт блокировки катушки 4 и контакт цепи электродвигателя 5. Электродвигатель, вращаясь, поворачивает барабан, на который наматывается струна гири. После того как гиря поднимется до определенного положения, она разомкнет верхний контакт 7 цепи катушки реле. Якорь вернется в исходное положение и разомкнет контакт цепи электродвигателя и блокировочный контакт 4. Процесс подъема гири прекращается, и гиря, опускаясь, приводит в действие часовой механизм.

На фиг. 177 показана схема электрического подзавода с автоматическим сцеплением и расцеплением электродвигателя.

По мере опускания гири замыкаются контакты, включающие электродвигатель 3, несущий на своем удлиненном валу колесо 1, связанное с центробежным регулятором 2. При запуске электродвигателя грузики регулятора под действием центробежной силы раздвигаются и перемещают колесо 1 до сцепления с колесной системой подъема гири. После того как гиря будет поднята до исходного положения, цепь электродвигателя разомкнется и колесо 1 под влиянием пружин регулятора переместится по валу электродвигателя и выйдет из зацепления с механизмом подзавода.



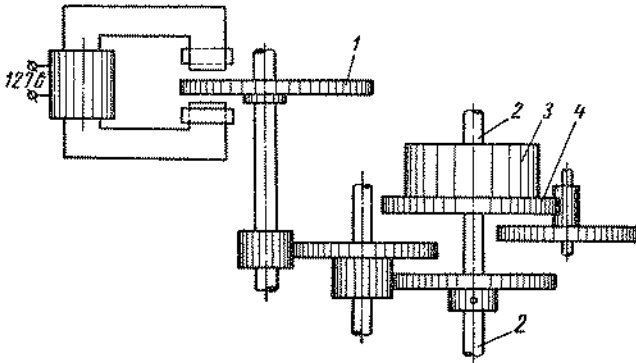
Фиг. 177. Схема электрического подзавода с автоматическим сцеплением и расцеплением.

4. ЧАСЫ ПРУЖИННЫЕ С ЭЛЕКТРОПОДЗАВОДОМ

Существуют механизмы подзавода и для часов, имеющих в качестве двигателя не гирю, а спиральную или винтовую пружину. Простейший по конструкции механизм подзавода пружины с асинхронным двигателем показан на фиг. 178 [43].

Ротор 1 электродвигателя, питаемого от сети переменного тока, соединен посредством зубчатых колес с заводным валиком 2 пружинного двигателя. Пружина, вложенная в барабан 3, одним своим концом присоединена к валу 2, а другим — к барабану, жестко соединенному с барабанным колесом 4. Электродвигатель, вращая вал 2, заводит заводную пружину, которая, сообщая вращающий момент барабану, приводит в движение колесный механизм часов.

Подобные конструкции подзавода могут выполняться четырех различных принципов действия:



Фиг. 178. Автоматический подзавод с асинхронным двигателем.

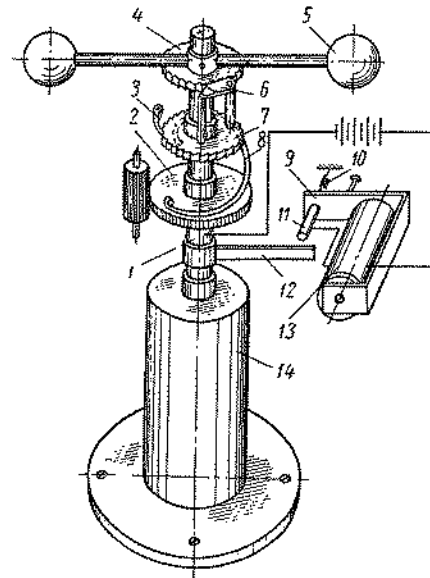
1) механизм с постоянно включенным двигателем, скорость вращения которого определяется сопротивлением, оказываемым заводящейся пружиной;

2) механизм с постоянно включенным двигателем, но снабженный тормозом, останавливающим двигатель при достижении пружиной максимального момента;

3) механизм, постоянно включенный в сеть, но автоматически присоединяющийся и отключающийся от заводного устройства пружины в меру надобности осуществления подзавода;

4) механизм с двигателем, включающимся при необходимости подзавода и отключающимся по его окончании.

На фиг. 179 показан механизм электрического подзавода с инерционным грузом. Подобный тип механизма подзавода применяют в механизмах стенных, настольных и автомобильных электрических часов.



Фиг. 179. Механизм электрического подзавода с инерционными грузами.

Такой механизм имеет, как правило, так называемый резерв хода, назначение которого заключается в том, чтобы тяговое усилие на ведущих осях часового механизма не прерывалось в момент подзавода.

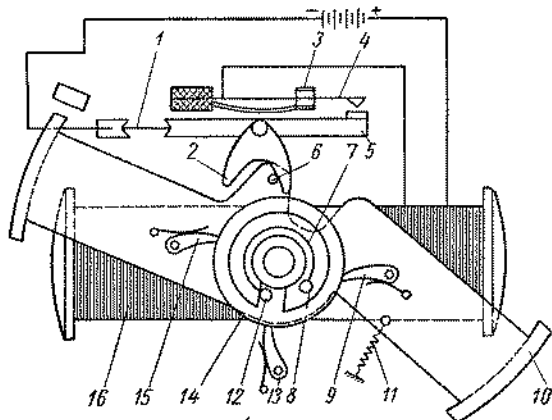
В данном случае резерв хода достигается за счет начального закручивания пружины, один конец которой присоединен к неподвижному барабану 14, а другой — к вращающемуся валику 1. На валике жестко посажены инерционные грузики 5 и храповое колесо 4, сцепляющееся с собачкой 6, установленной на другом храповом колесе 7. Это колесо, а также барабанное колесо 2 часового механизма свободно вращаются на валике 1. Промежуточная короткая пружина 8 одним концом присоединена к барабанному колесу, а другим — к храповому колесу 7. Заводная пружина вращает валик 1 вместе с инерционными грузами и храповым колесом 4 против часовой стрелки. Храповое колесо 4 упирается в собачку 6 и вращает в том же направлении храповое колесо 7, которое закручивает промежуточную пружину 8. Последняя сообщает вращающий момент барабанному колесу 2 часового механизма. Батарейка одним своим полюсом присоединена «на корпус» (к валику 1), а другим — к выводу катушки 13 электромагнита. Другой вывод катушки электромагнита присоединен к штифту 11, который электрически изолирован от якоря 9. На заводном валике 1 жестко посажен палец 12, который вращается вместе с валиком против часовой стрелки под действием раскручивающейся заводной пружины. Когда палец 12 придет в соприкосновение со штифтом 11, цепь электромагнита замкнется, и якорь 9 притянется к сердечнику катушки 13. При этом палец получит толчок, под действием которого заводной валик с инерционными грузами повернется по часовой стрелке и подзаведет пружину в барабане 14. Так как непосредственно после притяжения якоря инерционные грузы еще продолжают движение по инерции, цепь электромагнита размыкается, и якорь возвращается пружиной 10 в исходное положение.

Во время движения груза в обратном направлении (по часовой стрелке) при заводе пружины в барабане, барабанное колесо остается под действием вращающего момента, развиваемого пружиной 8; храповое колесо 7 удерживается при этом в неподвижном состоянии собачкой 3, посаженной на неподвижную ось. Угол подзавода пружины, равный углу поворота инерционных грузов по часовой стрелке, зависит от силы толчка, сообщаемого якорем пальцу 12.

Наибольшее распространение получил механизм подзавода, применяемый в часах автомобилей «Победа» и «ЗИМ» [43].

На фиг. 180 показан такой механизм. Катушка электромагнита 16, питаемая от источника постоянного тока напряжением 12 в (автомобильный аккумулятор), укреплена на платине часов. При отсутствии тока в катушке винтовая пружина 11 вращает якорь 10, ось вращения которого совпадает с осью минутного (центрального) колеса часов. На якорь установлены две собачки 9 и 15 с рифлеными рабочими поверхностями, входящими в сцепление с такой же поверхностью диска 14, свободно посаженного на пустотелую ось среднего колеса. Сцепление диска 14 со средней осью часов осуществляется пальцем 12, запрессованным в диск. Этот палец входит в вырез, сделанный в буртике средней оси. Якорь при повороте по часовой

стрелке под действием пружины 11 сообщает вращающий момент средней оси часового механизма. Замыкание цепи электромагнита осуществляется контактным устройством, которое состоит из контактного рычага 5, подпираемого плоской пружиной 1, и контактной пружины 4, изгиб которой ограничивается упором 3. Палец 6, запрессованный в якорь, в конце хода последнего поворачивает поводок 2, установленный на оси контактного рычага 5, вследствие чего рычаг



Фиг. 180. Механизм подзавода автомобильных часов.

теряет свое неустойчивое равновесие и быстро замыкает цепь катушки электромагнита.

Ток потечет по цепи от положительного полюса батареи через обмотку катушки, контактную пружину 4, изолированную от корпуса, контактный рычаг 5 и корпус часов к отрицательному полюсу батареи. Якорь притянется к полюсам катушки и растянет (заведет) пружину 11. При этом палец 6 повернет

поводок 2 влево и разомкнет контакт цепи катушки.

Для того чтобы во время срабатывания электромагнита часы не были лишены вращающего момента, установлена промежуточная пружина 7, которая одним своим концом прикреплена к штифту 12, а другим — к штифту 8, запрессованному в буртик центральной оси.

Винтовая пружина 11 несколько изгибает промежуточную пружину 7, доводя штифт 12 до соприкосновения со стенкой выреза в буртике. При срабатывании электромагнита диск 14 удерживается в неподвижном состоянии собачкой 13. Пружина 7, сокращаясь, сообщает вращающий момент центральной оси часового механизма.

В качестве регулятора в этих часах применяется анкерный приставной спусковой регулятор.

5. ЧАСЫ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Маятники с приводом прямого действия имеют различные конструкции, отличающиеся главным образом местом установки электромагнитов, сообщающих маятнику импульс силы. В большинстве таких конструкций электромагниты или катушки соленоидов устанавливаются в нижней части часов под стержнем

маятника, реже в их верхней части. Принцип действия часов с маятником, имеющим привод прямого действия, наиболее наглядно может быть рассмотрен на отечественных часах типа ЭПЧ или ЭПЧМ («Электропервичные часы» или «Электропервичные часы мощные»).

Основное отличие этих часов от механических заключается в том, что маятник в электрических первичных часах с приводом прямого действия является не только регулятором хода, но и двигателем по отношению ко всему механизму часов. Маятник в строго определенные отрезки времени посредством механизма замыкает систему контактов, включая источник электрического тока в сеть электрических вторичных часов с одной стороны и с другой замыкает контакты, включающие электромагнит, поддерживающий его колебания. Амплитуда колебания маятника поддерживается магнитным полем, создаваемым электрическим током в электромагнитах. Описываемые часы состоят из следующих основных узлов: маятника с приводом прямого действия; храпового механизма; контактного устройства с подгонным ключом; механизма — повторителя, представляющего собой механизм вторичных часов.

На фиг. 181 показана схема электропривода маятника прямого действия. Узел привода состоит из маятника 1, подвешенного с помощью специальной плоской пружины 2 к кронштейну 3, электромагнита 7, контактной группы 5, искрогасящей катушки 8, гребенки 10, закрепленной на стержне маятника с помощью кронштейна 4, и флажка 9, подвешенного с помощью серыги к контактной группе маятника. Якорь 6 закреплен на конце стержня маятника. Схема привода маятника питается от источника постоянного тока [44].

Если маятник из вертикального положения отклонить на некоторый угол и отпустить, то он начнет совершать колебания. При этом, за счет сил трения, амплитуда колебания маятника будет постепенно уменьшаться.

При колебании маятника гребенка 10 вступает во взаимодействие с флажком 9 контактной группы 5. Последовательность работы этой контактной группы, гребенки и флажка показана на фиг. 182.

В положении I маятник движется справа налево. Гребенка 10 находится значительно правее флажка и приближается к нему.

В положении II показано действие гребенки 10 на флажок 9. Гребенка отклоняет флажок и приходит в положение III; маятник продолжает свое движение влево до крайнего положения.

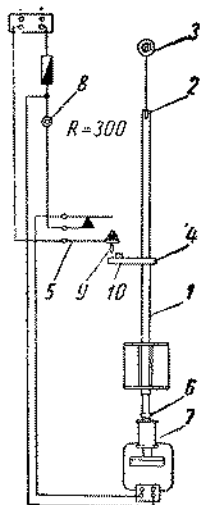
При обратном движении маятника наступают положения IV, V и VI, при которых флажок свободно проходит через гребенку. Таким образом, маятник совершает свободные колебания, число которых в зависимости от регулирования и напряжения источника тока может достигать от 8 до 20.

С каждым колебанием маятника амплитуда его уменьшается. Наконец, амплитуда уменьшается настолько, что при крайнем откло-

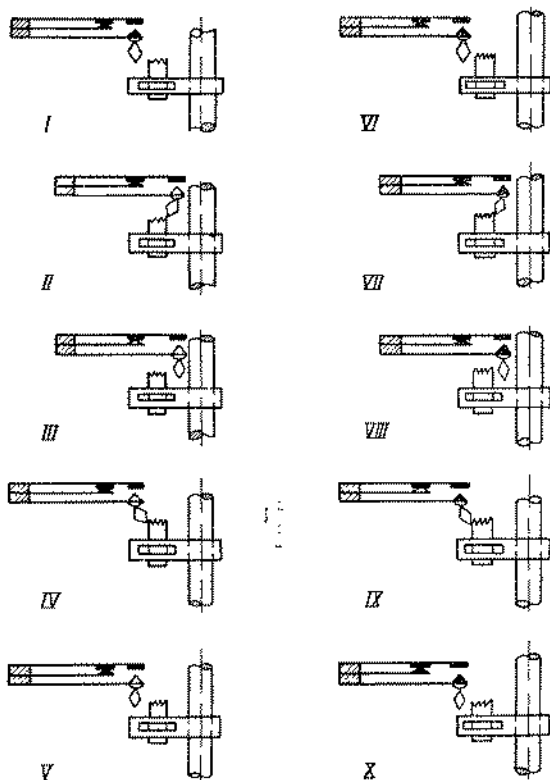
нении маятника влево флажок задерживается в одном из вырезов гребенки (положение VII).

Маятник начинает свое движение вправо. Так как флажок оказался заклиненным в вырезе гребенки, то он, выравниваясь, своим нижним концом упирается в гребенку, а верхней частью давит снизу вверх на нижнюю пружину контактной группы.

Контакт нижней пружины соединится с контактом верхней пружины.



Фиг. 181. Схема электропривода маятника прямого действия.



Фиг. 182. Последовательные фазы работы флажка с гребенкой в часах с электроприводом прямого действия.

жины. В то же время средняя пружина какой-то отрезок времени также будет соединена своим контактом с верхней пружиной.

Дальнейшее давление флажка вверх приведет к подъему нижней и верхней пружин, а также к разрыву контакта между средней и верхней пружинами, т. е. система придет в положение VIII. С движением гребенки вправо собачка начнет опускаться (положение IX). Верхняя пружина замкнется со средней, после чего нижняя пружина разомкнет свой контакт с верхней, придя в положение X.

Рассмотрим действие электрического тока. В состоянии покоя

контактной группы, когда флажок не производит замыкания контактных пружин (фиг. 181), электрический ток в цепи электромагнита 7 отсутствует. Замыкание нижней пружины с верхней создает цепь тока через электромагнит маятника. В первоначальный кратковременный момент параллельно электромагниту маятника 7 включена искрогасительная катушка 8. Затем следует размыкание средней пружины с верхней. Замкнутыми остаются только контакты верхней и нижней пружин; сохраняется цепь тока через электромагниты маятника.

Электромагнит электропривода маятника установлен на вертикальной оси, проходящей по стержню магнита в состоянии покоя. Прохождение тока по электромагнитам создает в них магнитный поток, силовые линии которого пересекают якорь 6 маятника, закрепленный в нижней части стержня, притягивая его к электромагнитам. Прежде чем маятник успеет дойти до вертикального положения, флажок 9 контакта 5 выходит из гребенки 10, разрывая цепь электромагнитов. Магнитный поток в электромагните 7 исчезает, и маятник, получив новый импульс силы, свободно движется вправо.

После ряда колебаний амплитуда маятника уменьшится и процессе включения электромагнита электропривода повторится.

Рассмотрим схему посылки импульсов в линию вторичных часов, показанную на фиг. 183. Диск 29, приводимый во вращение механизмом часов, делает один оборот за две минуты и попеременно замыкает расположенные по обем его сторонам контакты. Эти контактные пружины отрегулированы таким образом, что в состоянии покоя пружина 32 прижата к пружине 31, а пружина 28 прижата к пружине 27. На указанной схеме провода линии вторичных часов 13 и 14 присоединены к положительному полюсу батареи.

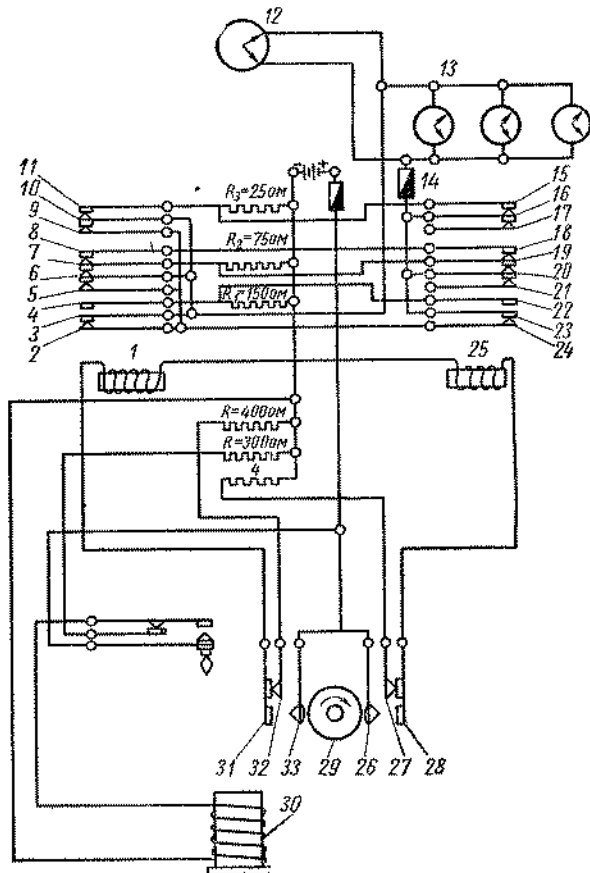
При нажатии пальца диска 29 на контактную пружину 33 она замкнется с пружиной 31, которая, изогнувшись, отключится от пружины 32. При этом ток потечет через обмотку кодового реле 1, которое, сработав, воздействует на контактные пружины 3, 6 и 10, размыкая пружины 2 и 3, 5 и 6, 9 и 10. При этом линия 13 вторичных часов будет отключена от положительного полюса батареи, а линия 14 останется включенной. В следующий момент времени замкнувшиеся контакты 3 и 4 создадут цепь линии вторичных часов через сопротивление 150 ом. Ток при этом протекает через замкнутые контакты 24 и 23 правой контактной группы.

При дальнейшем перемещении якоря реле 1 замкнутся контакты 6 и 7, включив линию вторичных часов через сопротивление 75 ом, параллельно сопротивлению 150 ом.

Вслед за тем контактами 10 и 11 включится сопротивление 25 ом, параллельно двум предыдущим сопротивлениям.

Наконец, при дальнейшем ходе якоря реле 1 замкнутся контакты 6, 7 и 8, включающие линию вторичных часов, минуя сопротивления, причем в линию вторичных часов поступит полный ток, и часы сработают.

При размыкании контактным диском пружин *31* и *33* реле *1* отпустит свой якорь. Размыкание контактных пружин левой группы произойдет в обратном порядке, причем в линию вторичных часов будут вновь последовательно подключаться сопротивления *25*, *75* и *150 ом*.



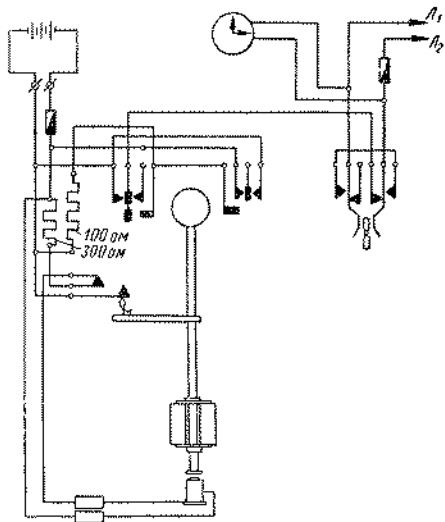
Фиг. 183. Электрическая схема часов с приводом маятника прямого действия.

Такое ступенчатое введение сопротивлений создает постепенное нарастание тока в линии вторичных часов, предохраняя контакты часов от искрения и обгорания при их замыкании и размыкании.

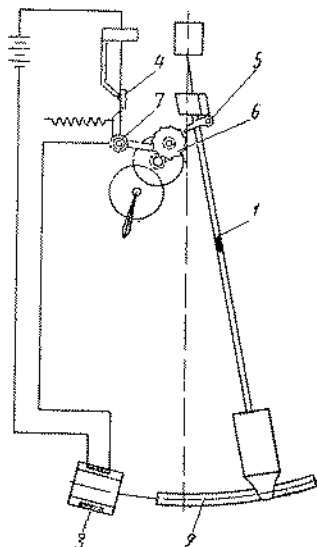
Кодовое реле *25* срабатывает при воздействии контактного диска *29* на пружины *26*, *27* и *28*, причем реле приводит в действие правую контактную группу, посылающую импульс тока в линию вторичных часов. Посылка импульса также производится при последовательном включении сопротивлений и работа правой контактной группы во всем аналогична работе левой группы.

На фиг. 184 приводится полная схема часов ЭПЧ [44].

На фиг. 185 показана схема электрочасов типа АТО, называемых иначе индивидуальными электрическими часами [43]. Часы АТО также имеют привод маятника прямого действия. Питание часов осуществляется от сухой батареи. На стержне 1 маятника подвешен



Фиг. 184. Схема часов ЭПЧ.



Фиг. 185. Схема часов АТО.

груз 2, снабженный стержнем. Этот стержень при колебании маятника перемещается внутри соленоидной катушки 3. Одновременно в процессе колебания маятник собачкой 5 перемещает храповое колесо 6. Это колесо с одной стороны ведет стрелочный механизм часов, а с другой стороны перемещает контактный рычаг 7, производя замыкание и размыкание его с контактом 4. Работа схемы рассчитана таким образом, что замыкание контактов происходит в тот момент, когда маятник, перемещаясь справа налево, приблизит конец стержня к отверстию в катушке; возникающее при этом магнитное поле катушки создает усилие, втягивающее стержень маятника в катушку. Размыкание контактов происходит за некоторое время до полного отклонения маятника влево.

6. ПЕРВИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОЧАСЫ С ПРИВОДОМ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

В первичных часах с приводом косвенного действия маятник получает импульс от падающего груза (или от изогнутой пружины), а энергия электромагнита расходуется лишь на подъем этого груза. Благодаря такой конструкции маятник часов с приводом косвенного действия получает совершенно одинаковые импульсы как по вели-

чине, так и по длительности, чего нет в часах с приводом прямого действия, где величина импульса и его продолжительность могут колебаться, что вызывается целым рядом причин и, прежде всего, непостоянством напряжения питающего тока. Вполне очевидно, что часы с приводом косвенного действия отличаются значительно более высокими точностными показателями.

Рассмотрим одну из схем первичных часов с приводом косвенного действия, показанную на фиг. 186.

Стержень 13 маятника снабжен контактом 8. В процессе колебания, при движении маятника влево, контакт 8 замкнется с контактом 9, укрепленным на импульсном рычаге 6. Импульсный рычаг 6 может под действием собственного веса опускаться, вращаясь относительно оси 7, и удерживается за штифт 5 во взведенном состоянии якорем 12 электромагнита 1. Сам якорь в спокойном состоянии удерживается пружиной 2, как это показано на схеме.

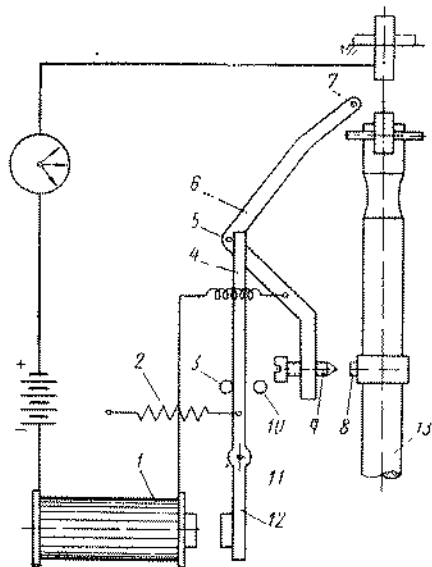
При замыкании контактов 8 и 9 на катушку электромагнита поступает ток; электромагнит, сработав, притянет якорь, который, повер-

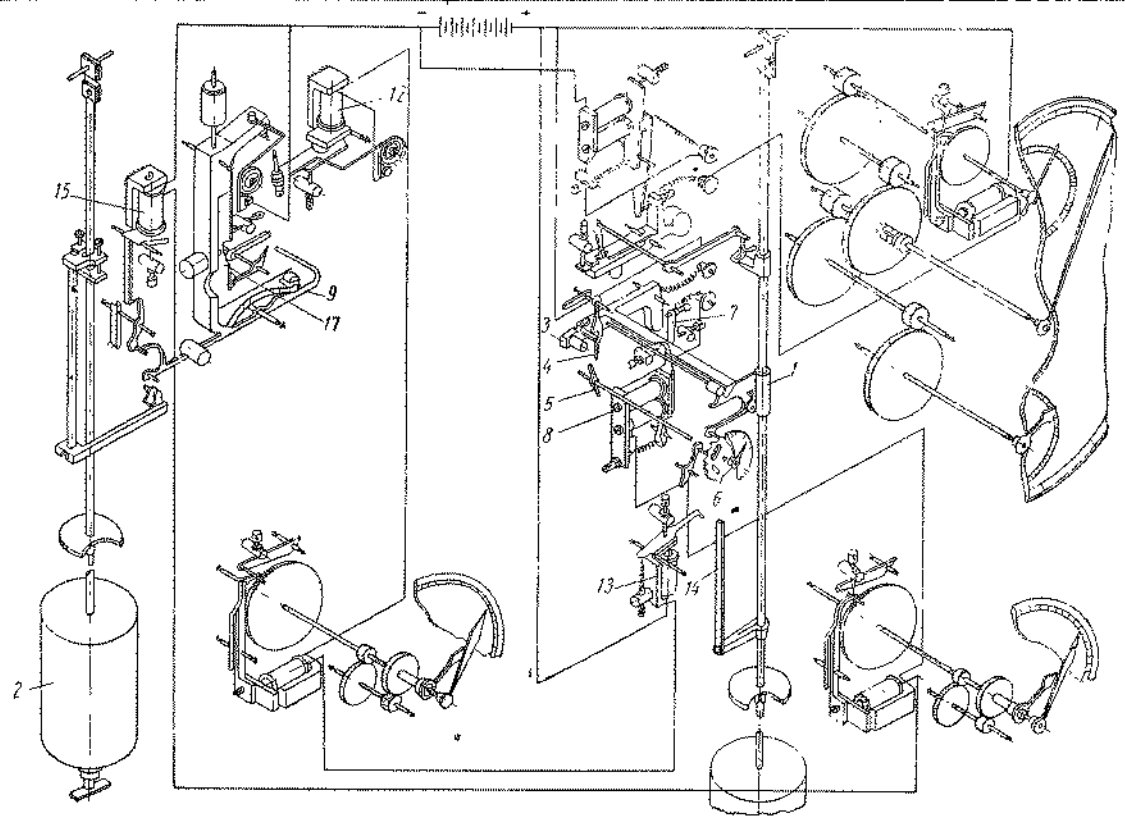
Фиг. 186. Схема первичных часов с приводом косвенного действия.

нувшись относительно оси 11, отойдет от опорного штифта 3 к штифту 10. Освобожденный при этом импульсный рычаг нажмет на стержень маятника и, сообщая, таким образом, ему импульс, отклонит маятник вправо. Импульс будет сообщаться до тех пор, пока импульсный рычаг не ляжет штифтом 5 на якорь электромагнита. При этом маятник, продолжая перемещаться вправо, разомкнет цепь электромагнита, разомкнув контакты 8 и 9. Электромагнит отпустит, и якорь под действием пружины 2 вернется в исходное положение, подняв при этом и импульсный рычаг. Этим схема будет подготовлена к сообщению следующего импульса.

Таким образом, величина импульса зависит исключительно от веса рычага, а длительность импульса — от угла перемещения рычага. Величины же эти могут быть точно отрегулированы.

Маятник с приводом косвенного действия нашел применение в астрономических часах с двумя маятниками системы Шорта. Часы эти отличаются большой точностью показаний, что достигается как применением привода косвенного действия, так и тем, что один из двух маятников этих часов колеблется совершенно свободно, не затрачивая





Фиг. 187. Принципиальная схема астрономических часов.

энергию на приведение в действие каких-либо механизмов, и синхронизирует колебания другого, рабочего маятника, ведущего часовой механизм. На фиг. 187 приведена принципиальная схема таких астрономических часов. Маятник 1 является рабочим маятником. Он также имеет привод косвенного действия, как и свободный маятник 2. Импульс рабочему маятнику сообщается импульсным падающим рычагом 3, который удерживается во взведенном состоянии защелкой 4. В процессе колебания маятник 1 собачкой перемещает храповик 6, на оси которого находится палец 5, опирающийся на защелку 4. При падении импульсный рычаг не только сообщает импульс маятнику, но и замыкает контакт 7, включая электромагнит 8, который производит обратный подъем импульсного рычага. При срабатывании электромагнита 8 срабатывает также электромагнит 15, освобождающий защелку импульсного рычага 9, сообщающего импульс свободному маятнику 2. Импульсный рычаг 9, сообщив импульс маятнику, другим своим концом освободит защелку, удерживающую рычаг 17, который при этом опустится и поднимет импульсный рычаг 9 в исходное положение. Кроме того, рычаг 17, опустившись, замкнет цепь электромагнита 12, который, сработав, отбросит рычаг в исходное положение. При срабатывании электромагнита 12 одновременно срабатывает электромагнит 13, назначение которого — синхронизировать колебания рабочего маятника относительно колебаний свободного маятника. Синхронизация рабочего маятника осуществляется пружиной 14, установленной на его стержне. При срабатывании электромагнита 13 эта пружина упирается своим свободным концом в якорь электромагнита и в силу перемещения самого рабочего маятника прогибается. Энергия прогнувшейся пружины создает дополнительный импульс на рабочий маятник: положительный, если маятник перемещается в этот момент вправо, и отрицательный, если маятник перемещается влево.

От рабочего маятника через систему соответствующих рычагов и электромагнитов приводятся также в действие вторичные часовые механизмы, несущие стрелки для показания времени.

7. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСОВ

В основном существует два типа вторичных электрических часов: с вращающимся якорем и с качающимся якорем. Вторичные часы, как одни, так и другие, имеют в качестве двигателя электромагнит и состоят из передаточного механизма, циферблата и стрелок. Перемещение стрелок производится скачкообразно с минутным или, реже, секундным интервалом перемещения. Вторичные часы, предназначенные для работы в установках единого времени с большим количеством вторичных часов, снабжаются также узлом обратного контроля.

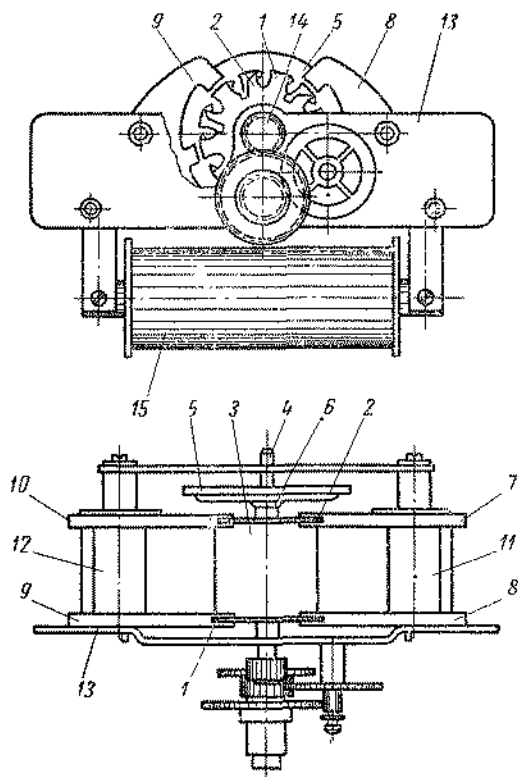
На фиг. 188 показан механизм вторичных часов с вращающимся якорем. Якорь состоит из двух дисков 1 и 2, между которыми расположен постоянный магнит 3. Диски имеют специальные зубья-полюсы

и расположены друг относительно друга таким образом, что их зубья взаимно смещены на полшага. Весь узел якоря насажен на ось 4, на одном конце которой фрикционно, с помощью пружинки 6, насажен инерционный диск 5. Диски якоря размещены между полюсными наконечниками катушки электромагнита 15: диск 1 — между полюсными наконечниками 8 и 9, а диск 2 — между наконечниками 7 и 10. Наконечники соединены попарно колонками 11 и 12 и укреплены на платине 13. Платина 13 несет также стрелочный механизм, состоящий из зубчатых колес. Вращение стрелочного механизма осуществляется якорем через триб 14.

Показанный на схеме механизм рассчитан на ежеминутное перемещение стрелок. Подобный же механизм может быть использован и для ежесекундного перемещения, но при этом необходимо изменить соответствующим образом зубчатые пары стрелочного механизма.

Расположение дисков якоря относительно полюсных наконечников таково, что в спокойном состоянии, когда в обмотку электромагнита не поступает ток, широкая часть зубьев диска 1 приходится против полюсного наконечника 9, а широкая часть зубьев диска 2 — против полюсного наконечника 7, и наоборот: когда диск 1 установится против наконечника 8, диск 2 будет взаимодействовать с наконечником 10.

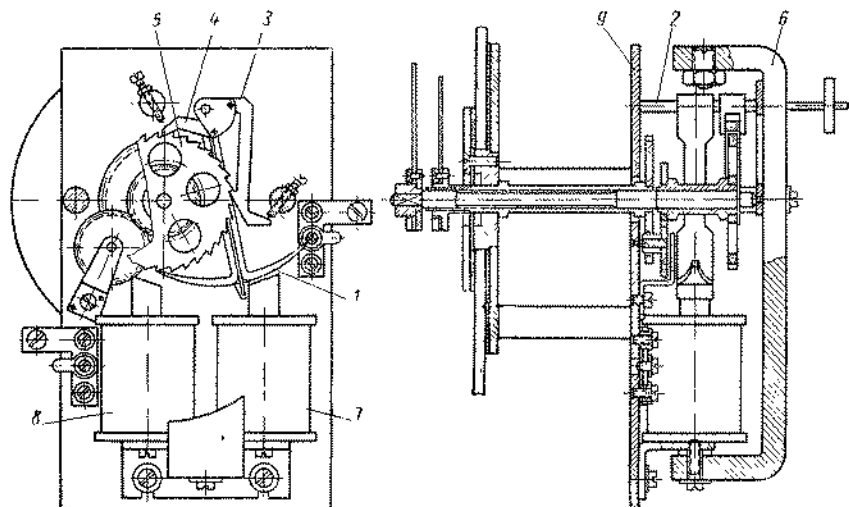
Благодаря такому распределению магнитный поток постоянного магнита якоря 3 будет проходить через систему в направлении, определяемом положением якоря. В положении, изображенном на фиг. 188, диск 1 взаимодействует с наконечником 9, а диск 2 — с наконечником 7. Очевидно, что в силу специальной формы зубьев дисков магнитный поток постоянного магнита 3 пройдет там, где воздушный зазор между зубьями дисков и наконечников мал, т. е.



Фиг. 188. Механизм вторичных часов с вращающимся якорем.

в рассматриваемом случае магнитный поток пойдет от постоянного магнита через диск 1 и наконечник 9 в катушку электромагнита, выйдя из которой, через наконечник 7 и диск 2 возвратится к другому полюсу постоянного магнита.

Если при поступлении тока на обмотку электромагнита возникнет магнитный поток, обратный по направлению потоку постоянного



Фиг. 189. Механизм вторичных часов с качающимся якорем.

магнита, то этот дополнительный магнитный поток ослабит удерживающее действие постоянного магнита и усилит поток, проходящий через полюсные наконечники и диски, имеющие в это время большой воздушный зазор. В результате якорь повернется на один зуб. Вполне очевидно, что для последующего поворота якоря магнитный поток электромагнита должен быть изменен по направлению.

Вибрация якоря после его поворота устраняется с помощью инерционного диска 5.

Механизм вторичных часов с вращающимся якорем относительно маломощен и применяется в основном для вторичных часов небольших размеров; более мощные механизмы, устанавливаемые во вторичных часах крупных размеров, типа уличных, с диаметром циферблата от 60 см и более, снабжены так называемым качающимся якорем.

Механизм вторичных часов с качающимся якорем изображен на фиг. 189 [43].

Якорь 1, изготовленный из листового материала, подвешен на оси 2. На этой же оси укреплены собачки 3 и 4, прижимающиеся под действием собственного веса к храповому колесу 5 и перемещающие его при качаниях якоря. Якорь качается в магнитном поле, создаваемом постоянным магнитом 6. Нижний конец магнита раздвоен

и выполнен в виде двух сердечников, на которые насажены катушки электромагнитов 7 и 8. Вся система укрепляется на платине 9. Вращение храповика через колеса передается на стрелки часов.

В положении, изображенном на фиг. 189, якорь отклонился вправо и приблизился к сердечнику катушки 7. Магнитный поток постоянного магнита 6 проходит при этом через якорь и сердечник катушки 7, так как на этом пути воздушный зазор между якорем и сердечником меньше, чем между якорем и сердечником катушки 8. Таким образом, положение якоря при отсутствии тока на обмотках электромагнитов фиксируется магнитным полем постоянного магнита.

Если в катушки 7 и 8 поступит ток, создающий магнитное поле такого направления, что магнитный поток постоянного магнита, протекающий через катушку 7, будет ослаблен, а на катушке 8 усилен, то якорь переместится к катушке 8.

Очевидно, что для последующего перемещения якоря магнитный поток электромагнитов должен быть изменен по направлению.

8. ЭЛЕКТРОЧАСОВЫЕ УСТАНОВКИ ЕДИНОГО ВРЕМЕНИ

Принцип действия электрочасовых установок единого времени основан на передаче первичными электрическими часами, установленными на часовой станции, электрических командных импульсов вторичным часам, механизмы которых преобразуют эти импульсы в перемещение стрелок.

Благодаря этому возникла возможность показания единого времени в пределах промышленных предприятий, учебных заведений, крупных жилых зданий, районов и даже целых городов.

Удобство использования установок единого времени определяется еще и тем условием, что для установки единого времени требуется незначительное (от 1 до 4 шт.) количество дорогостоящих и сложных первичных часов и большое количество несложных и относительно дешевых вторичных механизмов. Таким образом, экономическая выгода вполне очевидна при сравнении с индивидуальной эксплуатацией независимых часовых механизмов.

Благодаря простоте конструкции вторичные часовые механизмы безотказно работают в тяжелых климатических условиях, при резких колебаниях температуры и большой влажности, равно как и в производственных помещениях, насыщенных пылью или парами, вредно действующими на обычные часовые механизмы. Последнее допускает самое широкое использование вторичных часов и создает перспективы их дальнейшего почти неограниченного развития.

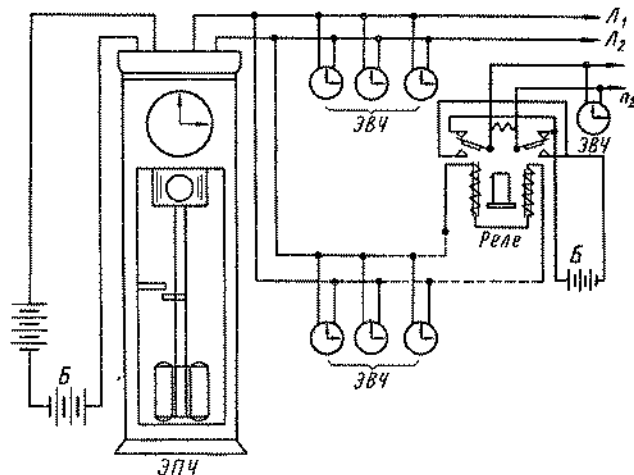
Простейшая электрочасовая установка единого времени состоит из одних первичных часов, не более 15 шт. вторичных и проводки, их соединяющей. В качестве питания установка снабжается рядом последовательно соединенных сухих элементов.

В случае, если установка насчитывает большее количество вторичных часов, система снабжается аккумуляторной батареей с подзарядкой от выпрямителя.

Построение схемы электрочасовой установки определяется количеством вторичных часов и степенью их удаленности от первичных. От первичных часов прокладываются двухпроводные линии питания. Вторичные часы включаются в линию параллельно.

Принципиальная схема электрочасовой установки единого времени показана на фиг. 190 [45].

Установки единого времени разделяются на независимые, когда импульс во вторичные часы передается непосредственно первичными



Фиг. 190. Принципиальная схема электрочасовой установки единого времени.

часами, и зависимые, когда для передачи импульса используются промежуточные механизмы (в основном переходные реле).

Каждая электрочасовая установка обычно состоит из следующих составных частей:

1. Часовой станции, включающей: а) первичные часы, посылающие командные импульсы тока в линию вторичных часов; б) источник тока; в) вторичные контрольные электрические часы. Кроме того, часовая станция может включать приборы обратного контроля.

2. Часовых линий, включающих: а) переходные реле; б) вторичные часы; в) провода линий, соединяющих вторичные часы с часовой станцией.

Система обратного контроля. В тех случаях, когда к одним первичным часам подключается большое число (до нескольких сотен) вторичных, контроль за работой вторичных часов становится весьма трудным. Существуют различные методы контроля, но наибольшее распространение получили два из них. Первый — метод дублирования показаний, заключающийся в том, что вторичные часы подключаются к первичным группам, причем часы каждой группы дубли-

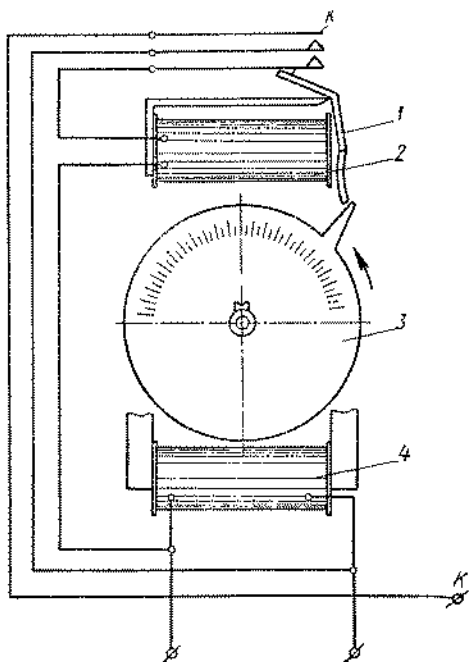
руются вторичным контрольным механизмом, устанавливаемым на щите часовой станции. Рядом с этим контрольным циферблатом располагается подронный ключ для установки на правильное время одновременно всей группы вторичных часов в случае ее отставания. Такая система нашла применение на часовых станциях московского метро. Она громоздка и сложна.

В последнее время возникла новая схема контроля вторичных часов, так называемая система обратного контроля, нашедшая применение в высотных зданиях Москвы, где вторичные циферблаты часовых станций насчитываются сотнями.

Система обратного контроля основана на том принципе, что сеть вторичных часов, подключаемых к первичным, разбивается на отдельные линии, причем командные импульсы от первичных часов поступают не одновременно во все линии, а последовательно, с интервалами в несколько секунд, так что первая линия получает импульс в начале текущей минуты, а последняя линия — в конце этой минуты, т. е., если вся система насчитывает 300 вторичных часов и разбита на 5 отдельных линий, по 60 вторичных часов в каждой линии, то импульсы могут выдаваться в каждую линию с интервалами в 12 сек. Обычная продолжительность импульса 2 сек.

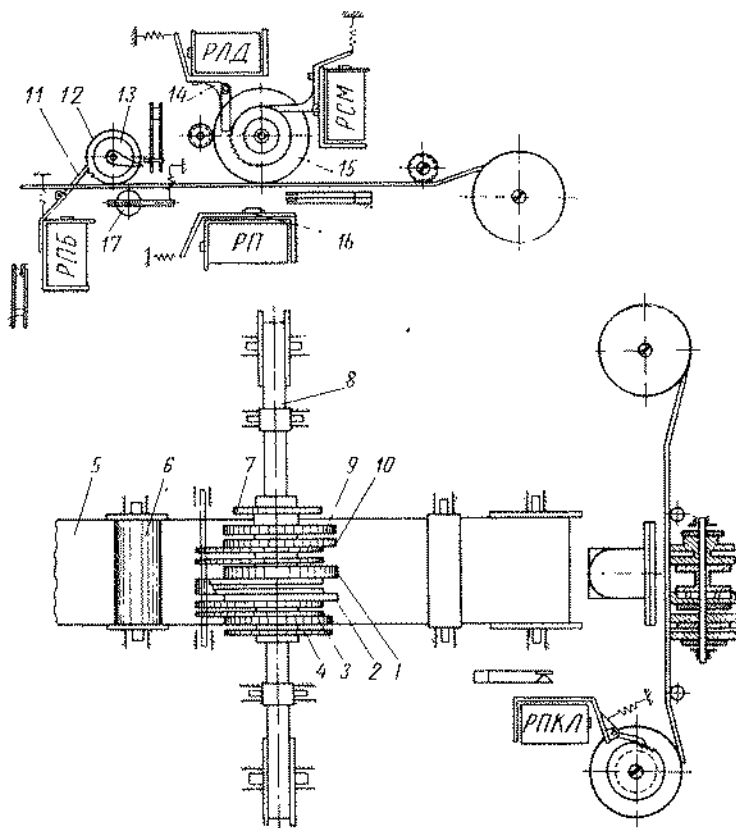
Вторичные часы, входящие в систему обратного контроля, снабжаются так называемым узлом обратного контроля, показанным на фиг. 191. Этот узел состоит из диска 3, установленного на минутной оси часов и несущего контактный палец, неподвижного указателя, по которому устанавливается первоначально диск 3, разбитый для этой цели на 60 делений; быстродействующего реле 2 с якорем 1 и контактной группы 4. Установка диска производится соответственно номеру вторичных часов.

Назначение контактов следующее: контакт блокировки *K* удерживает реле 2 все то время, пока длится импульс, что необходимо для нормальной работы контрольного механизма, работой которого управляет контакт *K*.



Фиг. 191. Узел обратного контроля вторичного часового механизма.

Этот контакт регулируется таким образом, что в течение первой минуты замыкаются контакты часов № 1 каждой линии, причем в последовательности выдаваемых в линию импульсов в течение второй минуты замыкаются контакты часов № 2 каждой линии и т. д.



Фиг. 192. Схема печатающего устройства системы обратного контроля.

Система обратного контроля в качестве контрольного механизма включает печатающий прибор, который может отпечатывать значение текущего времени (т. е. часы и минуты), числа месяца и порядковый номер линии вторичных часов. Печатающее реле *РП* этого механизма включается последовательно через реле обратного контроля *РОК* в линию вторичных часов, кроме того, к линии вторичных часов подключены: реле счетного механизма *РСМ* этого прибора, управляющее перестановкой дисков текущего времени и реле линейного диска, управляющее перемещением линейного диска.

Схема печатающего устройства показана на фиг. 192. На общей оси свободно посажены оцифрованные диски: часов *1*, десятков ми-

нут 2, минут 3, чисел месяца 10 и порядкового номера линии 9. При срабатывании реле РСМ собачка, помещенная на якоре этого реле, поворачивает храповое колесо 4, которое сообщает перемещение дискам, отмечающим время. Диск чисел месяца переставливается ежедневно от руки. Реле линейного диска РЛД перемещает линейный диск также с помощью храповика 7 и собачки 14.

Бумажная лента 5 перемещается с помощью роликов 17 и 12, притянутых друг к другу пружиной. Ролик 12 является ведущим, движение ему сообщается от храповика 6, который перемещается собачкой 11, установленной на якоре реле протяжки бумаги РПБ. Ведущий ролик 12 имеет палец 13, размыкающий контакт цепи реле блокировки. Нанесение отпечатка производится с помощью копировальной ленты, перемещением которой управляет особое реле РПКЛ способом, аналогичным перемещению бумажной ленты. Отпечаток наносится печатающим реле РП, имеющим для этой цели кожаный молоточек на якоре, который, печатая, наносит удар по бумажной и копировальной лентам, прижимая их к оцифрованным дискам.

Рассмотрим работу системы обратного контроля в целом [43]. При посылке импульса тока в первую линию вместе со вторичными часами этой линии срабатывает реле РСМ и РЛД печатающего устройства, устанавливая на счетных дисках значение текущего времени и номер сработавшей линии часов. При срабатывании вторичных часов контакт К определенного номера часов этой линии даст кратковременное замыкание, вызвав срабатывание включенного в схему реле обратного контроля РОК, которое, разомкнув свой соотвествующий контакт, предотвратит срабатывание печатающего реле РП. Таким образом, при нормальной работе вторичных часов отпечатка на ленте не получается.

Если какие-либо из вторичных часов отстают или остановились, то реле обратного контроля этих часов своевременно не работает. В результате этого печатающее реле отпечатает на ленте день недели, время в часах и минутах, а также номер линии. По числу минут и номеру линии нетрудно обнаружить неисправно работающие вторичные часы.

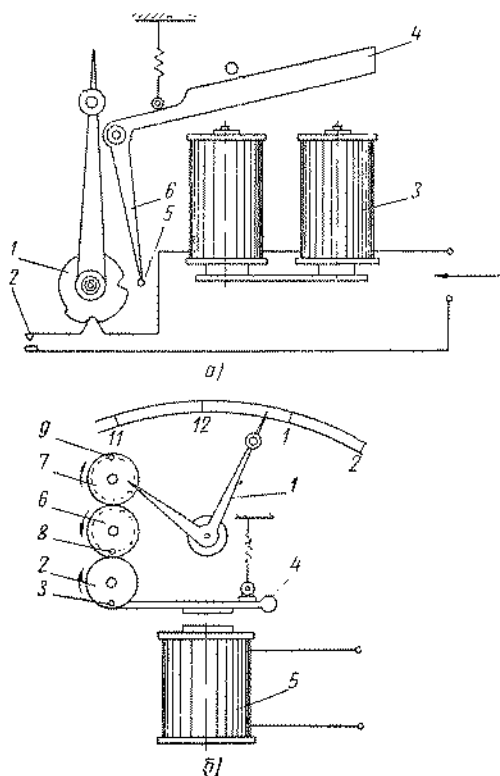
При последующих посылках импульсов в остальные линии вторичных часов в печатающем механизме будет срабатывать только линейное реле, устанавливая номер срабатывающей линии.

Перевод стрелок и подгонка вторичных часов. Перевод стрелок и подгонка вторичных часов может осуществляться двояко: либо с часовой станции, либо непосредственно на месте установки вторичных часов.

Подгонка и перевод стрелок вторичных часов с часовой станции осуществляется либо одновременно во всей группе вторичных часов, что производится в случае отсутствия системы обратного контроля, когда на часовой станции можно судить о нарушении работы вторичных часов только по нарушению работы первичных, либо в отдельных линиях группы вторичных часов, когда на станции имеется какая-нибудь система обратного контроля.

Подгонка и перевод стрелок вторичных часов с часовой станции может осуществляться от руки и автоматически.

Индивидуальная подгонка и перевод стрелок вторичных часов непосредственно на месте их установки обычно осуществляется от руки и производится в случае выхода из строя каких-либо одних вторичных часов группы.



Фиг. 193. Схемы механизмов ежечасной коррекции вторичных часов.

корпусе первичных часов, причем контактная система подгонного ключа включена в линию параллельно с основной.

Автоматическая подгонка может осуществляться путем регулярной, например ежечасной, коррекции, либо путем восстановления пропущенных импульсов.

Системы ежечасной коррекции показаны на фиг. 193, а и б; роль корректора выполняет электромагнит 3, якорь 4 которого снабжен ударным рычагом 6 со штифтом 5.

Минутная стрелка жестко соединена с кулачком 1, фрикционно сидящим на минутной оси вторичных часов.

Ежечасно от первичных часов на электромагнит 3 поступает корректирующий импульс. Если минутная стрелка занимает правиль-

Индивидуальная подгонка от руки осуществляется с помощью переносного подгонного ключа, который конструктивно выполнен аналогично контактной группе первичных часов ЭПЧ, с той лишь разницей, что замыкание правой и левой контактных групп производится не диском, а «ключом» — специальным рычажком, переключаемым рукой.

Контактная система и ключ смонтированы в корпусе, удобном для переноски и снабженном соединительными проводами для подключения к линии питания часов.

Подгонка и перевод стрелок вторичных часов с часовой станции от руки осуществляется также с помощью вполне подобной контактной системы с ключом, но размещенной непосредственно в

ное положение, то контакт 2 разомкнут и электромагнит не получает импульса.

Если минутная стрелка корректируемых часов по каким-либо причинам отклонилась от истинного положения, то кулачок 1 своим выступом замкнет контакт 2, и магнит, сработав, притянет якорь, причем рычаг 6 штифтом 5 наносит удар по кулачку 1; удар штифта придется на наклонную поверхность выступа кулачка, который под действием удара повернется. В тот момент, когда штифт 5 войдет во впадину кулачка, — что будет соответствовать правильному положению стрелки, — разомкнется контакт 2, управляемый кулачком, и прервет цепь электромагнита.

На фиг. 193, б показана вторая схема механизма ежечасной коррекции. При получении корректирующего импульса от первичных часов электромагнит 5 притянет якорь 4, который, сработав, освободит шестерню 2. Шестерня 2 повернется под действием пружины (на фигуре не показанной), что вызовет вращение шестерен 6 и 7, несущих штифты 8 и 9. Если в момент коррекции минутная стрелка, фрикционно сидящая на минутной оси, будет иметь отклонение от правильного положения, то штифты 8 и 9 нажимом на ее плечо устаноят стрелку на верное показание.

Подгонка и перевод стрелок вторичных часов с помощью восстановления пропущенных импульсов осуществляется накопителем импульсов, устанавливаемым в первичных часах. Устройство и работа такого накопителя импульсов была уже рассмотрена ранее при описании часов ЭПЧГ.

Питание установки единого времени электрочасовых станций. В электрочасовых установках энергия источников электрического тока расходуется в основном на приведение в действие вторичных часов и переходных реле. Кроме того, расходуется энергия на поддержание колебаний маятника при наличии в установке первичных часов типа ЭПЧ, а также на работу различных корректирующих и контрольных механизмов, в случае наличия таковых [45].

Малый и прерывистый расход тока характерен для часовых установок единого времени любого типа.

Для питания электрочасовых установок применяют: сухие и наливные элементы, аккумуляторы; осуществляют питание от сети переменного тока через выпрямитель и от сетей постоянного тока. Реже используют источники тока, предназначенные в основном для питания каких-либо других установок.

Сухие и наливные элементы не могут обеспечить значительного тока, так как обладают большим внутренним сопротивлением. Ввиду этого обстоятельство элементы подобных типов могут быть использованы только для питания маломощных часовых установок, что сильно снижает их применение. Кроме того, подобные элементы неудобны и тем, что сухие быстро высыхают, а наливные требуют за собой постоянного ухода.

Чаще в качестве источника питания часовой установки используются аккумуляторы. Аккумуляторы применяются кислотные и щелочные, переносные и стационарные.

Рекомендуется в основном использовать щелочные аккумуляторы, так как последние меньше боятся коротких замыканий и допускают большую разрядную силу тока, что позволяет применять аккумуляторы с меньшей емкостью.

В часовых системах приняты два режима работы аккумуляторов: 1) «заряд — разряд» и 2) буферная подзарядка.

Режим «заряд — разряд» требует наличия двух комплектов источников питания, так как пока один комплект питает установку, другой получает подзарядку.

Второй способ заключается в непрерывном подзаряде аккумуляторов через выпрямитель от сети переменного тока (либо непосредственно от сети постоянного тока) с непрерывным пополнением расхода энергии при точном соблюдении баланса прихода и расхода энергии.

Вообще для буферной подзарядки аккумуляторов применяются выпрямители, динамомашины, сети постоянного тока.

В редких случаях применяется питание электрочасовой установки непосредственно от выпрямителя, но оно неудобно в том отношении, что в моменты перерывов в подаче энергии такая часовая система работать не будет.

Мощность и емкость источника питания всецело зависят от размеров питаемой установки и определяется индивидуально для каждой установки при ее проектировании.

9. УСТРОЙСТВО И РАБОТА СИНХРОННЫХ ЧАСОВ

По своему устройству и принципу действия синхронные часы напоминают вторичные электрические часы с вращающимся якорем. Питание синхронные часы получают обычно от сети переменного тока с частотой 50 герц.

Отличием от названных вторичных часов является то, что ротор мотора синхронных часов имеет значительно большее количество полюсов, нежели вращающийся якорь вторичных, так как синхронные часы получают не минутные импульсы тока, а 50 положительных и 50 отрицательных импульсов тока в секунду. Ротор синхронных часов вращается непрерывно и стрелки этих часов имеют плавное перемещение.

На фиг. 194 показана схема устройства мотора синхронных часов. Между многополюсными башмаками 1 и 2 электромагнита 3 вращается на оси 4 многополюсный ротор 5.

Как известно, скорость вращения ротора синхронного мотора зависит от частоты питающего тока и числа пар полюсов ротора, что выражается формулой

$$n = 60 \frac{f}{p} \text{ об/мин,}$$

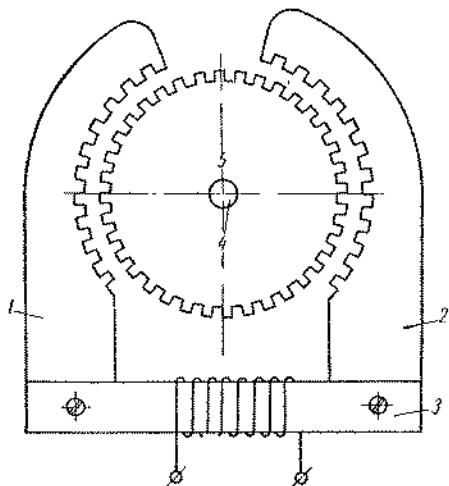
где n — число оборотов ротора;

f — частота тока;

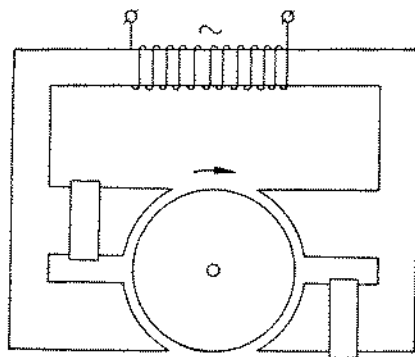
p — число пар полюсов.

Передача вращения ротора к стрелкам осуществляется с помощью нескольких пар зубчатых колес.

Учитывая большую скорость вращения ротора, достигающую 3000 об/мин для быстроходных моторов и 150—400 об/мин для тихоходных, первые пары колес обычно изготовляют из текстолита, чем достигается бесшумность работы передачи.



Фиг. 194. Схема устройства мотора синхронных часов.



Фиг. 195. Схема синхронного мотора с самопуском.

Синхронные моторы, применяемые в часах, изготовляются двух типов: с самопуском и без самопуска. Мотор без самопуска выполняется по схеме, показанной на фиг. 194. Такой мотор при включении питания сам «с места» не берет. Для запуска таких роторов применяют специальные пружинящие рычаги, нажимом на которые в момент запуска сообщают ротору предварительные обороты, необходимые для ввода мотора в синхронизм, т. е. сообщения ротору числа оборотов, равного (или незначительно большего) числу его рабочих оборотов.

Моторы с самопуском (схема показана на фиг. 195) имеют несколько отличное устройство башмаков электромагнита. Башмаки имеют сплошной, расщепленный надвое полюс. На эти полюсы надеты со смещением дополнительные обмотки, создающие в моменты запуска дополнительное поле, сообщающее ротору необходимый импульс для троганья и входа в синхронизм.

Как это видно из вышеприведенной формулы для числа оборотов ротора, стабильность скорости вращения ротора зависит исключительно от стабильности частоты питающего тока. При отсутствии стабилизации частоты питания синхронные часы дают суточные ошибки

хода, достигающие значения нескольких десятков минут, поэтому синхронные часы включают в сеть через стабилизатор частоты.

Кроме того, правильность работы синхронных часов в некоторой степени зависит от стабильности напряжения питающей сети.

Значительное падение напряжения вызовет выпадение мотора из синхронизма и его остановку, большое повышение напряжения вызывает нагрев обмотки, могущий привести к повреждению часов.

К недостаткам этих часов следует также отнести довольно быстрый износ осей колес механизма, обусловленный непрерывным и быстрым их вращением.

Все вышеперечисленное в настоящее время сильно ограничивает применение синхронных часов, обладающих в то же время целым рядом положительных свойств, как, например, простота конструкции, независимость действия, отсутствие специальных источников питания, непрерывность и плавность перемещения стрелок и т. п.

ГЛАВА XII

ХОДОВЫЕ КАЧЕСТВА ЧАСОВ И ИХ ИСПЫТАНИЯ

Колебания суточного хода часов и других приборов времени можно разделить на две группы:

1) случайные колебания хода, как результат электрических и магнитных влияний, влияния влажности воздуха, морской качки, тряски, ударов и прочих случайных причин;

2) систематические колебания хода, как результат: а) устойчивых изменений, происходящих в спирали, балансе и в смазке; б) влияния износа осей; в) изменений атмосферного давления и г) изменений температуры.

Случайные колебания хода приборов времени имеют произвольный знак и не поддаются вычислению. До известной степени к ним приложимы законы случайных ошибок наблюдений.

1. ФОРМУЛЫ И ПОКАЗАТЕЛИ АТТЕСТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОЧНЫХ ПРИБОРОВ ВРЕМЕНИ

Считая все колебания хода первой группы случайными и относя к ним также колебания хода от влияния барометрического давления, ход хронометра можно представить функцией

$$\omega = F(t, z),$$

где t — температура в °С;

z — эпоха (момент времени, определяемый датой и долей суток).

Для исследований хронометров формула суточного хода будет иметь вид:

$$\omega = \omega_0 + \alpha(z - z_0) + \beta(t - t_0) + \gamma(t - t_0)^2,$$

где ω — суточный ход при данных условиях t и z ;

ω_0 — суточный ход при начальных t_0 и z ;

t — температура в °С;

t_0 — начальная температура;

z — эпоха;

z_0 — начальная эпоха;

β и γ — коэффициенты температурной компенсации;

α — коэффициент ускорения хода.

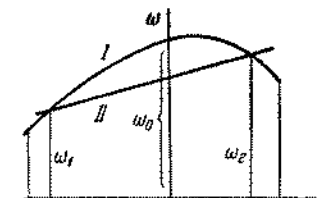
Практика показывает, что почти у всех хронометров наблюдается ускорение хода с течением времени, что является следствием ряда причин, изложенных выше.

У новых хронометров, ввиду ряда изменений, происходящих в системе баланс — спираль, ускорение хода наблюдается в большей степени, чем у старых. Обычно коэффициентом ускорения хода пренебрегают, т. е. считают $\alpha = 0$, тогда формула хода принимает вид:

$$\omega = \omega_0 + \beta(t - t_0) + \gamma(t - t_0)^2.$$

Если известен ω_0 , т. е. ход хронометра при нормальной температуре t_0 , то, определяя хода ω_1 и ω_2 при двух каких-либо температурах t_1 и t_2 , легко определить коэффициенты компенсации β и γ , составив и решив систему двух уравнений с двумя неизвестными. Регулируя ход хронометра при температурах t_1 и t_2 , близких к крайним пределам температур эксплуатационных условий хронометров, стараются получить одинаковые хода при этих температурах.

Температуры t_1 и t_2 в этом случае называются температурами компенсации.



Фиг. 196. Параболическая кривая хода часов.

Средняя температура $\frac{t_1 + t_2}{2}$ носит название температуры регулирования.

Для наглядности суждения о ходе хронометра вычерчивают график хода, для чего откладывают в определенном масштабе по оси абсцисс температуры, а по оси ординат соответствующие суточные хода; получая точки пересечения и соединяя их, будем иметь параболическую кривую I (фиг. 196).

При малом значении члена второго порядка кривую можно заменить близкой к ней прямой II.

Испытания приборов времени необходимы для оценки характеристик хода с точки зрения изохронизма, температурной компенсации и случайных колебаний хода.

В любой стране, имеющей собственную часовую промышленность, существуют специальные лаборатории для исследования и аттестационных испытаний точных приборов времени, например: в Швейцарии — Невшательская и Женевская лаборатории, в Англии — Нью-Теддингтонская и Гринвичская лаборатории, во Франции — Парижская и Безансонская лаборатории и т. п.

Эти лаборатории организованы либо при астрономических обсерваториях, либо при институтах. В СССР для исследования и аттестационных испытаний точных приборов времени имеется Контрольно-испытательная лаборатория в НИИЧАСПРЭМ (КИЛ).

В регламентах аттестационных испытаний точных приборов времени в каждой стране есть свои особенности и отличия.

В КИЛ НИИЧАСПРОМ установленный регламент испытаний во многом совпадает с регламентом Невшательской обсерватории и очень близок к требованиям регламента Международного конкурса точных приборов времени.

По правилам Международного конкурса любые переносимые часы (вне зависимости от конструкции), прошедшие испытания по установленному регламенту и получившие аттестат хода, получают наименование хронометра.

Хронометры классифицируются по так называемому оценочному числу, определяемому по следующим формулам:

морские хронометры

$$N = 42E + 60C + 2,4S + 4,5R;$$

хронометры всех остальных видов

$$N = 21E + 30C + \frac{2}{3}S + 4,5P + 1,2R.$$

В этих формулах:

N — оценочное число, характеризующее качество хронометра;

E — среднее отклонение суточного хода. Для определения E сначала подсчитывают средний суточный ход по каждому периоду путем деления алгебраической суммы наблюдаемых суточных ходов на их число. Затем определяют отклонения суточных ходов по каждому периоду от среднего суточного хода того же периода. Сумма абсолютных значений этих разностей, деленная на их число, и даст искомое значение среднего отклонения суточного хода;

C — температурный коэффициент, исчисляемый по формуле

$$C = \frac{\omega_{32} - \omega_4}{28};$$

S — вторичная ошибка (отклонение хода от пропорциональности температуре), исчисляемая по формуле

$$S = \frac{\omega_{32} + \omega_4}{2} - \omega_{18};$$

R — восстановление хода, определяемое разностью суточных ходов последнего и первого температурных периодов испытаний, например $R = \omega_{пер} - \omega_{пер}$;

P — среднее отклонение суточного хода в различных положениях. Для определения P сначала подсчитывают среднее арифметическое средних суточных ходов по пяти первым периодам испытаний. Затем находят отклонение средних суточных ходов от только что полученного среднего хода по пяти периодам.

Сумма абсолютных значений полученных разностей, деленная на их число, т. е. на пять, и даст искомое значение P .

Лучшие оценочные числа, полученные до настоящего времени (т. е. рекорды), таковы:

Морские хронометры 1-го класса	2,6
Палубные часы	2,7
Карманные хронометры 1-го класса	2,5
" " 2-го "	3,3
Наручные хронометры	5,0

НИИЧАСПРОМ проведены сравнительные испытания ходовых качеств хронометров различных фирм; для характеристики приводим сводную таблицу качественных показателей образцов этих хронометров.

№ по пор.	Наименование показателей	Обозначение	Показатели хода в секундах по фирмам хронометров			
			Эриксон	Юз	Гамилтон	Нарлэн
1	Суточный ход (при всех температурах)	ω	До + 1,98	До +3,14	До +1,07	До +1,17
2	Среднее отклонение суточного хода от ср.-суточного по периодам	E_c	± 0,25	± 0,77	± 0,18	± 0,27
3	Максим. разница между двумя последними ходами .	Δ	+ 1,33	+ 3,22	- 0,63	- 1,10
4	Температурный коэф. (в сек. на 1° от +1° С) . .	C	- 0,029	- 0,033	- 0,013	- 0,006
5	Отклонение хода от пропорц. температуры	S	+ 0,46	+ 0,101	+ 0,31	- 0,26
6	Восстановление хода (при всех температурах)	R	+ 0,36	- 1,76	- 0,54	+ 0,89

Точность часов широкого пользования, например, наручных и карманных, оценивается величиной среднего суточного хода за несколько дней и максимальным суточным ходом за этот период. Максимальный суточный ход таких часов ограничивается обычно пределами 1 мин. 45 сек. и 30 сек.

Точность прецизионных часов и хронометров, как мы видели выше, определяется ходовыми качествами в различных положениях, при различных температурах, стабильностью их хода во времени и т. д.

Суточный ход наручных часов-хронометров не выходит из пределов 5—6 сек. Точность первоклассных маятниковых и кварцевых часов по вариации определяется тысячными долями секунды.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЧАСОВ

Разница между показаниями часов и «истинным» текущим временем называется поправкой часов. Когда часы поставлены точно по текущему времени, их поправка равна нулю. Если часы в данный

момент показывают больше времени, чем есть фактически, — знак поправки отрицательный (минус).

Для того чтобы получить «истинное» время, нужно алгебраически прибавить поправку к показанию часов. Например: часы показывают 12 час. 5 мин. 25 сек. и мы знаем, что по сравнению с «истинным» временем они идут впереди на 1 мин. 20 сек. (их поправка — 1 мин. 20 сек.). «Истинное» время будет равно: 12 ч. 5 мин. 25 сек. + (—1 мин. 20 сек.) = 12 час. 4 мин. 5 сек.

Если часы в данный момент показывают меньше времени, чем есть фактически, — знак у поправки положительный (плюс). Например, часы показывают 10 час. 20 мин. 35 сек. и мы знаем, что по сравнению с «истинным» временем они отстали на 1 мин. 15 сек. (их поправка +2 мин. 15 сек.), то «истинное» время будет равно:

10 час. 20 мин. 35 сек. + 2 мин. 15 сек. = 10 час. 22 мин. 50 сек.

Изменение поправки часов за сутки называется с у т о ч н ы м х о д о м ч а с о в. Величина суточного хода определяется как разность поправок.

Каким образом нужно подсчитывать суточные хода по поправкам, легко уяснить из примеров:

Пример 1. Часы поставлены 1 ноября по хронометру с поправкой — 22 сек. При съемке времени 2 ноября получена поправка — 45 сек. Значит, часы ушли вперед на 45 сек. — 22 сек. = 23 сек. Суточный ход = — 23 сек.

Пример 2. 2 ноября часы поставлены по хронометру с поправкой — 25 сек. 3 ноября получена поправка — 2 сек. Следовательно, часы отстали (по сравнению с первым показанием) на 25 сек. — 2 сек. = 23 сек. Суточный ход = + 23 сек.

Пример 3. 3 ноября часы по хронометру не ставились. Поправка была — 2 сек. Часы продолжали ходить. 4 ноября была получена поправка + 1 мин. 30 сек. Сначала часы шли впереди хронометра на 2 сек., а затем отстали от него на 1 мин. 30 сек. Следовательно, в общем часы отстали на 2 сек. + 1 мин. 30 сек. = 1 мин. 32 сек. Суточный ход будет = + 1 мин. 32 сек.

Пример 4. 4 ноября поправка была + 1 мин. 30 сек., а 5 ноября + 35 сек. Часы отставали от хронометра, а затем отставание уменьшилось. Следовательно, часы ушли вперед (по сравнению с поправкой от 4 ноября) на 1 м. 35 с. — 35 сек. = 55 сек. Суточный ход = — 55 сек.

Пример 5. 5 ноября поправка была + 35 сек., а 6 ноября получена поправка — 25 сек.

Часы отставали от хронометра, а затем ушли вперед. Всего часы ушли вперед на 35 сек. + 25 сек. = 1 мин. Суточный ход = — 1 мин.

Из этих примеров можно вывести следующее правило: для нахождения суточного хода нужно алгебраически вычитать первую поправку из второй.

Для лучшего усвоения этого правила приведем таблицу.

Знаки поправок одинаковые			Знаки поправок разные		
Поправки		Суточн. ход	Поправки		Суточн. ход
1-я	2-я		1-я	2-я	
—45 сек.	—2 сек.	+43 сек.	—45 сек.	+2 сек.	+47 сек.
—2 "	—45 "	—43 "	+2 "	—45 "	—47 "
+45 "	+2 "	—43 "	+45 "	—2 "	—47 "
+2 "	+45 "	+43 "	—2 "	+45 "	+49 "

Приведенный суточный ход. В практике регулирования для ускорения работы иногда приближенно определяют суточные хода часов следующим образом. Испытуемые часы сверяют по другим точным часам или хронометру за какой-нибудь отрезок времени, а потом подсчитывают так называемый приведенный суточный ход.

Вариация хода часов и ее вычисление. Важнейшим показателем качества часов является постоянство их хода [29].

Например, имеем двое часов: у одних из них постоянный суточный ход, равный 2 мин.; у вторых суточный ход непостоянный, они то уходят вперед, то отстают примерно на 1 мин. за сутки.

Первые часы лучше, так как ход их постоянен и их суточный ход можно легко уменьшить регулированием. При пользовании вторыми часами мы не сможем точно определить «истинное» время. Если эти часы вчера были точно поставлены по хронометру (или по радиосигналам проверки времени), то сегодня мы не знаем, ушли они вперед или отстали. Такие часы регулировать будет трудно. Изменение хода часов за сутки называется вариацией хода. Вариация хода равна разности смежных суточных ходов. Поясним примерами [29].

Пример. За 6 час. ход проверяемого механизма равен — 10 сек. В сутках 24 часа, следовательно, за 24 часа суточный ход должен быть в 4 раза больше, т. е. приведенный суточный ход будет

$$-10 \cdot 4 = -40 \text{ сек.}$$

Подсчет приведенных суточных ходов можно производить по формуле

$$X = \frac{A \cdot 24}{B},$$

где X — приведенный суточный ход (в сек.);

A — ход часов за время проверки (в сек.);

B — время проверки (в час.).

Пример 1. Вчера суточный ход часов был + 2 м. 10 с. Сегодня + 1 м. 06 с. Значит, часы сегодня стали меньше отставать, чем вчера, и суточный ход их изменился на:

$$2 \text{ м. } 10 \text{ с.} - 1 \text{ м. } 06 \text{ с.} = 1 \text{ м. } 04 \text{ с.}$$

Величина 1 м. 04 с. будет вариацией суточного хода.

Пример 2. 10 мая суточный ход был — 2 м. 10 с.; 11 мая — 1 м. 04 с. Часы 11 мая стали меньше спешить и суточный ход их изменился на 2 м. 10 с. — 1 м. 04 с. = 1 м. 06 с. Вариация 1 м. 06 с.

Пример 3. 11 мая суточный ход был — 1 м. 04 с., а 12 мая — 1 м. 09 с. Часы 12 мая начали идти быстрее на 1 м. 09 с. — 1 м. 04 с. = 5 сек. Вариация 5 сек.

Пример 4. 12 мая суточный ход был — 1 м. 09 с., а 13 мая + 20 сек. Как мы видим, часы 12 мая уходили вперед, а 13 мая начали отставать (у суточных ходов знак минус сменился на плюс). В этом случае для вычисления вариации абсолютные величины суточных ходов нужно сложить:

$$1 \text{ м. } 09 \text{ с.} + 20 \text{ сек.} = 1 \text{ м. } 29 \text{ с.}$$

Пример 5. 13 мая ход часов был + 20 сек., а 14 мая — 1 м. 10 с. Часы 13-го отставали, а 14-го ушли вперед. Знак суточных ходов изменился. Вариация будет 1 м. 10 с. + 20 сек. = 1 м. 30 с. Из рассмотрения приведенных здесь примеров можно вывести следующее правило для вычисления вариаций:

Если суточные хода имеют одинаковые знаки, то для получения вариации нужно из большего по абсолютной величине суточного хода вычесть меньший.

Если суточные хода имеют разные знаки, то для получения вариации нужно сложить их абсолютные величины.

Постановка часов по хронометру. Обычно в заводской практике для проверки часов пользуются морскими или столовыми полусекундными хронометрами. Хронометр называется полусекундным, потому что его удары совершаются через полсекунды и, соответственно, секундная стрелка хронометра делает скачки через полсекунды. Есть разные способы постановки проверяемых часов по хронометру. В том случае, если для целей регулирования ставят часы по хронометру в то время, когда часы еще не находятся в корпусе и циферблат не закрыт стеклом, применяют следующий простой способ: минутную и часовую стрелки часов ставят по минутной и часовой стрелкам хронометра, вытягивая заводную головку и вращая ее в нужном направлении [46].

Затем головку возвращают в первоначальное положение и деревянной палочкой передвигают секундную стрелку и ставят ее (на ходу) в соответствие с секундной стрелкой хронометра. Данный способ имеет тот недостаток, что при слишком тугой посадке секундной стрелки может произойти порча деталей спускового механизма. Если стрелка сидит слабо, то ее передвижение может еще больше ослабить посадку.

При постановке секундной стрелки часов по секундной стрелке хронометра замечают на глаз положение последней и, считая на слух удары хронометра, устанавливают секундную стрелку часов в нужное положение.

Выполнение этой работы требует специального навыка. Часы, имеющие секундомерные механизмы и секундомеры, ставить по хронометру просто. В этом случае секундная стрелка сбрасывается на ноль, часовая и минутная стрелки переставляются при помощи заводной головки по хронометру, и когда секундная стрелка хронометра проходит через ноль (60 сек.), включается механизм секундомера.

Если не предъявляется высоких требований к точности постановки часов (или секундная стрелка отсутствует, как, например, у маленьких женских часов), то постановка часов по хронометру и съемка времени осуществляются при использовании только часовой и минутной стрелок. Ошибка в отсчете при этом получается довольно значительная, порядка ± 10 сек. Этот способ постановки по хронометру является наиболее простым с точки зрения последующих подсчетов.

Нетрудно видеть, что в данном случае 1-я поправка равна нулю, а 2-я поправка получается при съемке времени и равна суточному ходу часов и имеет тот же знак, что и суточный ход.

Несколько сложнее постановка по хронометру таких часов, где невозможна перестановка секундной стрелки (механизм заключен

в корпус, циферблат и стрелки закрыты стеклом, снятие стекла по условиям проверки недопустимо).

В данном случае постановка имеет свои особенности, которые следует учесть во избежание ошибок. Часовая стрелка ставится по хронометру, а минутная — так, чтобы число минут, показываемое хронометром и часами, не отличались более чем на 1 мин. (или на 30 сек.)

При этом необходимо, чтобы показания минутной стрелки проверяемых часов были по возможности точно согласованы с показаниями секундной стрелки. Например, если секундная стрелка часов показывает 15 сек., то минутная стрелка должна быть поставлена на соответствующий штрих минутной шкалы $+ \frac{1}{4}$ деления. Если же минутная стрелка будет поставлена, например, на $\frac{3}{4}$ минутного деления, то при последующей съемке времени возможна ошибка на 1 мин. [46].

Примеры постановки

Пример 1. Хронометр в данный момент показывает 3 ч. 25 м. 50 с. Секундная стрелка часов показывает 15 сек. Мы ставим часовую стрелку часов на 3 часа, а минутную на 26 мин. $+ \frac{1}{4}$ деления минутной шкалы. Тогда показания стрелок будут согласованы и поправка будет равна — 25 сек.

Можно в данном случае поступить иначе и поставить минутную стрелку на 25 мин. $+ \frac{1}{4}$ деления. Тогда поправка будет равна $+ 35$ сек.

Пример 2. Хронометр показывает 2 ч. 15 м. 10 с. Секундная стрелка часов показывает 37 сек. Ставим часовую стрелку на 2 часа, минутную на 15 мин. плюс немного более половины деления минутной шкалы. Тогда поправка будет — 27 сек. Можно поставить и иначе — минутную стрелку часов на 14 мин. плюс немного более половины деления шкалы. Тогда поправка будет $+ 33$ сек.

Из этих примеров легко понять, что при постановке часов по хронометру методом поправок всегда возможно установить их так, чтобы поправка была не меньше 30 сек. Но удобнее установить часы на наименьшую поправку, так как это упрощает последующий подсчет суточных ходов по поправкам.

Практически постановку часов по хронометру при методе поправок осуществляют так [29]: сначала вышеописанным способом устанавливают часовую и минутную стрелки, а затем, когда секундная стрелка хронометра подошла к 55 сек., начинают на слух отсчитывать удары хронометра, следя за секундной стрелкой проверяемых часов.

При ударе 55-й секунды хронометра счет начинают с нуля, тогда десятый по счету удар совпадает с ударом 60-й секунды по хронометру. На 10-м ударе замечают на ходу положение секундной стрелки часов и вычисляют поправку. При известном навыке ошибка при таком определении поправки не превышает половины секунды.

Съемка времени в часах при проверке

Секундомеры. Наиболее простой является съемка времени с секундомеров. При пуске секундомера по хронометру 1-я поправка равна нулю. Если через определенный промежуток времени отсчи-

таный по хронометру секундомер остановить, то по положению стрелок секундомера можно определить 2-ю поправку, которая будет равна ходу секундомера за данный промежуток времени.

Часы с секундомерами (определение хода только за один промежуток времени, часы при начале проверки точно установлены по хронометру, т. е. 1-я поправка равна нулю). Сначала сравнивают положение минутной и часовой стрелок проверяемых часов с положением минутной и часовой стрелок хронометра, для того чтобы определить поправку в минутах (и часах). Затем останавливают секундомерный механизм, когда секундная стрелка хронометра будет проходить через нулевое положение, и по положению секундной стрелки проверяемых часов определяют поправку в секундах. Суммируя обе поправки, находят величину хода часов.

Часы, идущие непрерывно. Сложнее съемка времени с часов, идущих непрерывно в течение нескольких суток, причем они только один раз поставлены по хронометру, а суточные хода подсчитываются по изменениям поправок.

В данном случае для часов АЧХ и ЧСМ 1-я поправка равна нулю, а для карманных часов и АВРМ представляет определенную величину, зафиксированную при постановке часов по хронометру. Для съемки времени сначала проверяют с хронометром положение минутной и часовой стрелок для определения поправки в минутах и часах, а затем находят поправку часов, заметив положение секундной стрелки хронометра и считая удары хронометра на слух. Для следующей проверки нет необходимости вновь ставить часы по хронометру.

Возможно, пользуясь 2-й и 3-й поправками, вычислить следующий ход часов и т. д.

3. ПРИБОРЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВРЕМЕНИ И КОНТРОЛЯ ХОДА ЧАСОВ

Точное время определяется при астрономических наблюдениях. Применяемые методы различны в зависимости от того, ведутся ли наблюдения в стационарной обсерватории или в полевых условиях, на судне, на самолете и т. д. Известно, что благодаря относительно равномерному вращению Земли вокруг своей оси, каждое небесное светило проходит через вертикальную плоскость, проведенную с севера на юг (т. е. через меридианную плоскость) в строго определенный для данного места момент. Звездные каталоги указывают такие моменты прохождения, и достаточно сопоставить их с временем маятниковых часов или хронометра (вообще любого хранителя времени), чтобы произвести коррекцию этих часов, т. е. получить точное время.

В период между двумя определениями времени необходимо сохранять его при помощи хранителей времени, т. е. маятниковых, кварцевых часов или хронометров.

В настоящее время в астрономическом институте имени Штернберга в Москве хранение времени обеспечивается несколькими фунда-

ментальными маятниковыми часами, защищенными от колебаний атмосферного давления и от колебаний температуры. Эти часы находятся в помещении, расположенном глубоко под землей, где круглый год поддерживается нормальная комнатная температура.

Кроме механических часов, астрономический институт имени Штернберга при МГУ имени Ломоносова имеет разработанные НИИЧАСПРОМ кварцевые часы, работающие от пьезо-электрических колебаний кварца.

Для удовлетворения потребностей часового производства и различных научных учреждений недостаточно определения и хранения точного времени в астрономических институтах и обсерваториях. Необходимо также сообщать это время всем нуждающимся в нем. Поэтому сигналы точного времени передаются, как указывалось выше, по радио и по проводам.

Чтобы дать возможность предприятиям часовой промышленности и потребителям хронометров, полубных часов, радиомаячных часов и других приборов времени, относящихся к классу высокопрецизионных часов, проверять их путем сравнения с контрольным прибором времени и получать на них аттестаты или бюллетени хода, организована хронометрическая служба. Такая служба существует, как указывалось выше, при специальных обсерваториях, а в СССР при НИИЧАСПРОМ и при Научно-исследовательском бюро времени Института мер и измерительных приборов в Москве.

Для регистрации времени применяются хронографы: пишущие — с цилиндром или с лентой — и печатающие. В области измерительной астрономии эти приборы требуются для точной регистрации моментов прохождения звезд через меридиан. В пишущих хронографах регистрация осуществляется при помощи перьев или фотографическим путем.

Обычно хронографы с лентой имеют скорость передвижения ленты до 10 см/сек. При больших скоростях ленточные хронографы не применяются (ввиду большого расхода ленты, бумаги), в этих случаях используются хронографы с цилиндром.

Пишущие перья хронографа приводятся в движение от поляризованных магнитных систем, отсчет производится при помощи шкалы, точно соответствующей длине секунды.

Печатающие хронографы дают возможность регистрации и отсчитывания времени при помощи типографского шрифта.

Для быстрого определения суточных ходов часов применяются различные приборы, действующие по принципу сравнения частоты колебания баланса испытуемых часов с постоянной частотой эталонного кварцевого или камертонного генератора.

При этом каждый удар часов (тиканье часов) регистрируется в виде точки на барабане или на калиброванной диаграммной бумаге, накрунутой на барабан, вращающийся с постоянной скоростью.

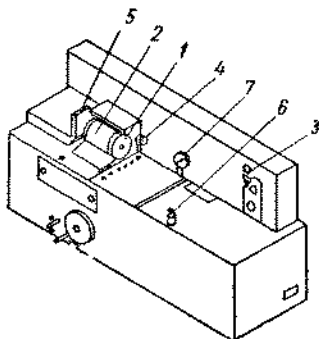
Наиболее распространены следующие конструкции таких приборов:

Фирма или название прибора	Скорость регистрирования (длина секунды) в см	Способ стабилизации частоты колебаний
Стробоскопический ком- паратор	100	Маятник или камер- тон
Джибс	230	Кварц в термостате
Вестерн-Электрик	75	Камертон в термо- стате
Сименс-Штрауман	60	Маятник
Белли	15	Камертон в термо- стате
ППЧ-4 (завода „Физ- прибор“, Москва)	75	Кварцевый стабили- затор
П-12 (завода „Физпри- бор“, Москва)	Для диапазона скоро- стей	Эталонная частота сети, питающей синхр. двигатель

На фиг. 197 показана схема устройства американского самопишущего прибора фирмы «Вестерн-Электрик» [46].

Прибор этот включается в сеть электрического тока. Ток проходит через специальное радиоламповое устройство, называемое усилителем, которое заставляет колебаться камертон и питает отрегулированным на частоту камертона и усиленным электрическим током синхронный мотор. Так как камертон всегда колеблется со строго постоянной собственной частотой, то вал мотора также будет вращаться равномерно с постоянной скоростью.

От вала мотора вращение через зубчатую передачу сообщает барабану 1, на котором намотана разграфленная диаграммная лента 2. Частота камертона и передача к барабану подобраны так, чтобы барабан совершал полный оборот за $\frac{1}{6}$ секунды. Проверяемые часы закрепляются в держателе 3. Держатель можно поворачивать и, благодаря этому, часы можно испытывать в любом положении. Задняя крышка часов соприкасается с металлической чувствительной пластинкой микрофона, который помещен в держателе. Со стороны стекла часы удерживаются пружинным зажимом держателя 4. Микрофон воспринимает каждый звук удара (тиканье) часов и преобразует его в электрический ток. Ток усиливается, пройдя через усилитель, и заставляет работать электромагнит, помещающийся под барабаном. Одновременно с ударом хода часов электромагнит притягивает пластинку

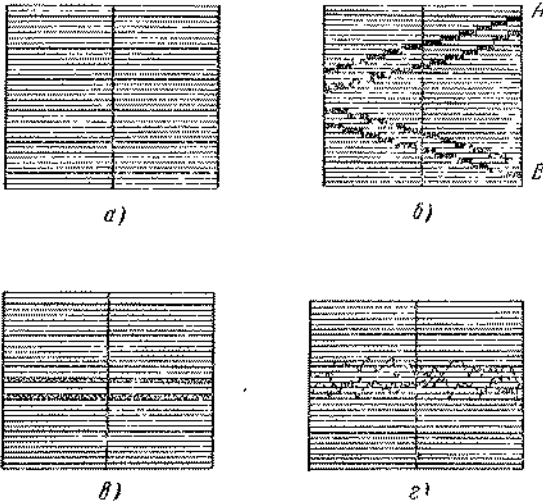


Фиг. 197. Схема устройства прибора Вестерн Электрик.

(якорь) 5 с укрепленным на ней ударником, который через копирующую ленту с каждым ударом наносит точку на ленте барабана. В промежутках между ударами часов микрофон не посылает тока, электромагнит не работает, и якорь с ударником оттянут пружинкой от барабана. С правой стороны панели прибора имеются два переключателя. Левым переключателем включают и выключают ток, поступающий в прибор из осветительной сети. Правый переключатель 6

управляет током, посылаемым микрофоном. Можно присоединить к прибору головной телефон и поставить правый переключатель в положение «Слушать». Тогда ток пойдет не в электромагнит, а в телефон, и, надев наушники, можно слушать усиленные удары хода часов.

Усиление звука регулируют, поворачивая рычаг регулирования усиления 7, видимый сверху крышки барабана. Чтобы получить запись хода, правый переключатель 6 ставят в положение «Запись».



Фиг. 198. Примеры записи хода часов.

Затем нажимают вниз на рукоятку управления и отводят ее до отказа влево. При этом электромагнит с ударником передвигается к левому торцу барабана, мотор начинает работать, а барабан — вращаться. Первую точку ударник наносит у левого края ленты. Во время записи электромагнит и рукоятка управления автоматически и равномерно перемещаются вдоль барабана слева направо. Через тридцать секунд ударник наносит последний удар уже у правого края ленты, а барабан автоматически останавливается. Запись на ленте получается в виде линии, состоящей из точек. В том случае, когда часы имеют точный ход, т. е. баланс их делает ровно 18 000 полуколебаний в час, удары часов, а следовательно и нанесение точек на ленте барабана, следуют через каждые $\frac{1}{5}$ секунды. Барабан также совершает полный оборот за $\frac{1}{5}$ секунды. Поэтому, если бы электромагнит не перемещался вдоль барабана, все наколы ударника попадали бы в одну и ту же точку на ленте.

Благодаря перемещению электромагнита каждая последующая точка располагается правее предыдущей, и вся запись получится в виде составленной из точек прямой, параллельной оси барабана и линиям сетки ленты (фиг. 198, а).

Когда часы отстают, удары хода и нанесение точек ударником следуют друг за другом через промежутки времени, превышающие $\frac{1}{5}$ секунды. При неперемещающемся электромагните точки на ленте разместились бы одна под другой, так как барабан, сохраняющий постоянную скорость вращения (1 оборот в $\frac{1}{5}$ сек.), успеваеет повернуться от одного накола ударника до другого на полный оборот и еще какую-то часть оборота. Расстояние по вертикали между двумя точками на ленте барабана равно длине дуги, пройденной барабаном за время опаздывания каждого удара хода часов.

Благодаря тому, что при записи электромагнит движется направо, ход отстающих часов будет представлен прямой, идущей слева направо с наклоном вниз (линия *B* на фиг. 198, б). Если часы спешат, то барабан не успеваеет повернуться на полный оборот от одного накола ударника до другого, так как промежутки времени между ударами часов меньше $\frac{1}{5}$ секунды.

Каждая последующая точка, наносимая ударником, будет располагаться выше предыдущей. Запись получится в виде прямой, идущей слева направо с наклоном вверх (линия *A* на фиг. 198, б). Таким образом, расстояние по вертикали (т. е. по длине ленты) между крайней левой и крайней правой точками записи дает возможность судить о ходе часов за время записи, т. е. за 30 сек. Интервал деления сетки диаграммной ленты выбран так, что смещение конца линии записи относительно ее левого конца на одно деление соответствует суточному ходу испытываемых часов в 5 сек.

Если линия записи имеет наклон в несколько делений, то суточный ход в секундах равен числу делений, умноженному на 5. Запись хода позволяет не только быстро (за 30 сек.) и довольно точно определить приведенный суточный ход часов, но и судить о некоторых дефектах часов. При неправильной «выкачке» хода, когда промежутки времени между ударами на входной и выходной палете не одинаковы, получится не одна линия записи, а две параллельные (фиг. 198, в). Эти линии будут горизонтальными или наклонными в зависимости от того, каков суточный ход часов. Если ход плохо сложен, слабо закреплен волосок и эллипс, изношены отдельные детали, то точки записи не образуют четкой линии, а будут разбросаны в разные стороны (фиг. 198, г).

По окончании записи, когда барабан автоматически останавливается, вытягивают вниз использованную часть ленты, придерживая в то же время барабан рукой, и отрывают ее.

Полученная диаграмма, характеризуя состояние часового механизма, указывает регулировщику на необходимые исправления, а также может быть приложена к паспорту проверяемых готовых часов.

Применение прибора в цеховых условиях значительно ускоряет процесс регулирования часовых механизмов; обслуживание его несложное.

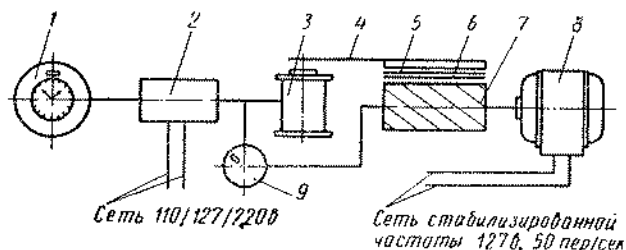
Для испытания очень точных часов, суточный ход которых не должен превышать нескольких секунд, прибор не подходит, так как

ошибки самого прибора и расшифровки записи на ленте составляют около 2—3 сек. суточного хода.

Кроме того, запись дает не действительный суточный ход часов, а приведенный, исходя из хода часов за 30 сек.

Поэтому для окончательной проверки часов, отрегулированных при помощи прибора, нужно все же провести длительные (в течение нескольких суток) наблюдения за их ходом.

Прибор для быстрого контроля суточного хода часов и для регулирования периода колебания баланса под индексом П-12 выпускается заводом «Физприбор» Министерства приборостроения и



Фиг. 199. Принципиальная схема прибора П-12.

средств автоматизации (Москва) и представляет собой механизм для записи хода часов на бумажную ленту с непосредственным отсчетом суточного хода и встроенным стробоскопом.

Усилитель прибора выполнен в виде отдельной малогабаритной приставки.

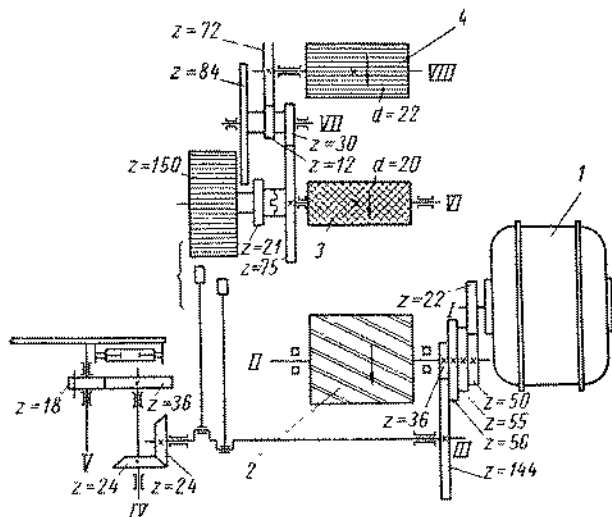
Принципиальная схема прибора П-12 представлена на фиг. 199, где обозначены: микрофон 1, усилитель 2, электромагнит 3, нажимная планка 4, чернильная лента 5, бумажная лента 6, барабан с шестью винтовыми выступами 7, синхронный электродвигатель 8 и стробоскоп 9. Прибор построен на принципе сравнения частоты колебаний баланса контролируемых часов с эталонной частотой сети, питающей синхронный электродвигатель прибора. Барабан с шестью винтовыми выступами и лентопротяжный механизм, продвигающий ленту по барабану, приводятся в действие от синхронного двигателя.

Колебания баланса производят звуковые импульсы, которые посредством микрофона преобразуются в импульсы тока. Импульсы тока проходят через усилитель и тиратрон, воздействуют на электромагнит, который, срабатывая, печатает точку на движущейся бумажной ленте. Положение точки на бумажной ленте зависит от положения винтового выступа, находящегося под лентой в момент удара.

При правильном ходе часов каждый удар планки 4 будет встречать винтовой выступ барабана в одном и том же положении, и все точки расположатся на одной прямой линии, параллельной кромкам ленты.

Если прямая линия, образованная точками на ленте, будет иметь левый наклон, то, значит, часы отстают, если же правый наклон, то часы спешат.

По величине угла наклона этой прямой и по характеру записи можно определить не только приведенный суточный ход часов, но и судить о дефектах в часовом механизме (отклонения хода в разных положениях, недостатки зубчатой передачи и т. п.). В тех случаях,



Фиг. 200. Кинематическая схема прибора П-12.

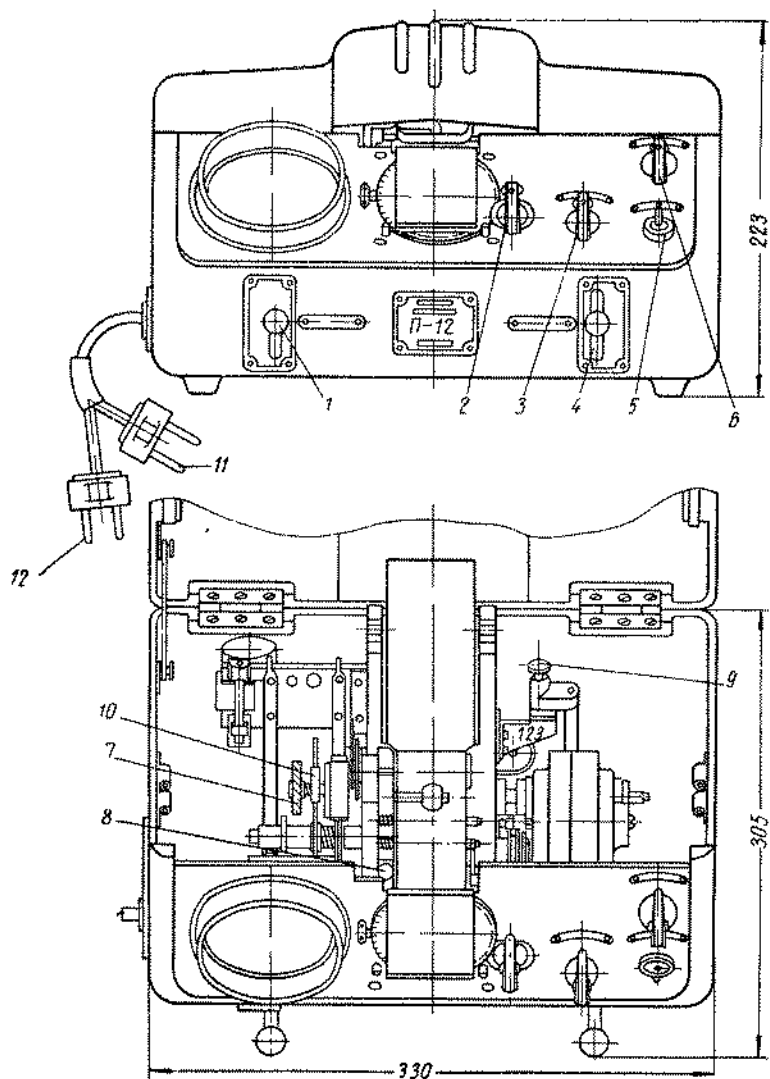
когда суточный ход часов выходит за пределы ± 10 мин., контроль хода можно произвести с помощью стробоскопа. В этом случае смещение вспышек неоновой лампы стробоскопа в направлении движения часовой стрелки будет означать, что часы спешат, а если смещение идет против часовой стрелки, то часы отстают.

Диск стробоскопа вращается синхронно с электродвигателем, питающимся током эталонной частоты. Во время срабатывания электромагнита зажигается неоновая лампа, укрепленная на диске. Если при каждом обороте диска лампа зажигается в одном и том же месте шкалы стробоскопа, то часы идут правильно. Если зажигание лампы и скорость вращения диска не синхронизированы, то вспышки лампы будут смещаться в ту или иную сторону.

Операция «вибрации» или регулирование узла баланса на период колебаний или на число колебаний выполняется на приборе с помощью стробоскопа.

Когда частота колебаний рабочего баланса достигнет частоты колебаний эталонного баланса (колебаний часов с правильным ходом), вспышки неоновой лампы будут происходить в одном и том же месте шкалы стробоскопа.

Кинематическая схема прибора представлена на фиг. 200.



Фиг. 201. Передняя панель прибора П-12.

Синхронный двигатель *I* дает 1500 оборотов в минуту и приводит во вращение барабан *2*, сидящий на оси *II*. Передача движения от оси *I* на ось *II* осуществляется зубчатым колесом $z = 22$, сцепляющимся с одним из трех зубчатых колес, сидящих на оси *II*, переключаемых в зависимости от числа колебаний в час баланса проверяемых часов или часового механизма. С вала барабана *II* движение передается на вал *III* и далее, через пару конических и пару цилиндрических зубчатых колес, на вал стробоскопа *V*.

Два эксцентрика, посаженные на ось *III*, штангами связаны с двумя собачками, поочередно нажимающими на зубья храповика, сидящего свободно на валу барабана *VI*. Этот барабан *3* подает бумажную ленту. Храповик ($z = 150$) с помощью кулачковой муфты может быть связан с валом *VI* непосредственно, либо через перебор (две промежуточные зубчатые пары с общим передаточным отношением 1 : 10). В последнем случае будет замедленное вращение барабана, а следовательно и замедленная в 10 раз подача ленты (что применяется при регулировании хронометров). С вала *VI*, через две зубчатые пары, движение сообщается валу *VIII* барабана подачи чернильной ленты *4*.

На передней панели прибора (фиг. 201) сосредоточены ручки управления электрической частью, а также расположена поворотная шкала, служащая для определения суточного хода проверяемых часов. Назначение ручек управления следующее: *1* — рукоятка включения стробоскопа; *2* — ручка для установки поворотной шкалы; *3* — ручка включения схемы и регулирования накала шкальной лампы; *4* — рукоятка включения записи; *5* — выключатель электродвигателя; *6* — ручка для ручного продвижения бумажной ленты; *8* — винт регулирования четкости отпечатка; *9* — ручка фиксатора электродвигателя.

Проверка часовых механизмов на приборе П-12 производится в полном соответствии с инструкцией завода «Физприбор», приведенной ниже.

Инструкция по работе на приборе П-12

Для пуска прибора в ход необходимо выполнить следующие операции:

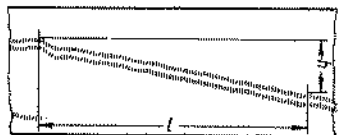
1. Поднять крышку прибора и установить фиксатор электродвигателя *9* (фиг. 201) в положение, соответствующее числу колебаний в час баланса проверяемых часов.

Положение фиксатора электродвигателя	Число колебаний баланса в час
1	9000—18 000—36 000—18 000—12 000
2	9000—18 000—36 000—12 000—14 400—21 600
3	21 600—19 800

2. Поставить на место валик с бумажной лентой. Пропустить ленту в пазу направляющей планки. При этом следует приподнять нажимной ролик, чтобы пропустить ленту между ним и барабаном подачи. Поворотом ручки 7 провести ленту над круглой шкалой прибора.

3. Присоединить усилитель к прибору (усилитель смонтирован в отдельном корпусе вне корпуса прибора). Проверить правильность установленного напряжения.

4. Присоединить шнур 11 (фиг. 20) под табличкой «Сеть—генератор» к сети стабилизированной частоты 127 в, 50 пер/сек и вилку 12 нормальной сети 110, 127 или 220 в.



Фиг. 202. Запись отклонения хода часов на ленте П-12.

5. Присоединить микрофон к усилителю.

6. Включить электродвигатель поворотом ручки 5.

7. Включить электрическую схему прибора поворотом ручки 3. Дальнейшим поворотом той же ручки регулируется сила накала шкальной лампы,

освещающей круглую шкалу прибора.

8. Закрепить проверяемый часовой механизм в зажимных губках микрофона.

9. Поднять рукоятку 4 в положение «Включено». При этом в приборе должны быть слышны ритмические щелчки, соответствующие колебаниям баланса проверяемых часов; на бумажной ленте отпечатываются точки. Четкость отпечатка регулируется винтом 8.

Если рукоятку 4 опустить вниз в положение «30 сек.», то прибор также включится, но в этом случае проверка будет продолжаться только 30 сек., после чего запись автоматически прекратится.

Для определения величины суточного отставания или ухода часов вперед, вращением ручки 2 устанавливают круглую шкалу прибора таким образом, чтобы наклон ее светящихся полос совпадал с наклоном линии, образованной отпечатанными на ленте точками. После этого результат прочитывается против риски указателя.

Наклон линии графика вправо (+) указывает на то, что часы спешат, наклон влево (—) соответствует отставанию часов. В случае проверки хронометров и часов высокой точности целесообразно пользоваться замедленной подачей бумажной ленты. Для этого храповик 10 необходимо передвинуть в левое положение. При этом скорость подачи ленты уменьшится в 10 раз, а наклон линии, отпечатанной на ленте, соответственно увеличится.

Результат, прочитанный на круглой шкале, должен быть в этом случае уменьшен в 10 раз. Например, если при проверке часов при замедленной подаче отсчет по шкале дает отставание часов на 30 сек. в сутки, то фактическое отставание часов будет 3 сек.

При необходимости точность хода часов можно определить по записи на ленте без пользования круглой шкалой. Отношение отрезка h

(фиг. 202) к отрезку l , выраженное в процентах, дает величину f отклонения хода часов за сутки в секундах:

$$f = \frac{h}{l} 100 \text{ сек./сутки.}$$

В тех случаях, когда отклонение хода часов превышает 10 мин. в сутки, величину отклонения можно с достаточной точностью определить, пользуясь стробоскопом. Для этого необходимо с помощью секундомера определить время, в течение которого вспышка неоновой лампы переместится на 180° .

Движение вспышки против часовой стрелки свидетельствует об отставании часов, а по часовой — о том, что часы спешат.

Ниже приведена таблица для определения по полученным замерам времени соответствующих им суточных ходов (для механизмов с числом ударов баланса 18 000 в час.).

№ по пор.	Время перемещения вспышки неоновой лампы на 180° в секундах	Суточный ход	№ по пор.	Время перемещения вспышки неоновой лампы на 180° в секундах	Суточный ход
1	3	48 мин. —	10	12	12 мин. —
2	4	36 " —	11	13	11 " 05 сек.
3	5	28 " 48 сек.	12	14	10 " 17 "
4	6	24 " —	13	15	9 " 36 "
5	7	20 " 34 сек.	14	16	9 " —
6	8	18 " —	15	17	8 " 28 сек.
7	9	16 " —	16	18	8 " —
8	10	14 " 24 сек.	17	19	7 " 35 сек.
9	11	13 " 06 "	18	20	7 " 12 "

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЧАСОВ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПРИЛОЖЕНИЕ I

294

ПРИЛОЖЕНИЕ I

№ по порядку	№	Параметры	№ часов по порядку					
			1	2	3	4	5	6
1	1	Марка часов	„Победа“ К-26	„Победа“	„Звезда“ К-18	„Заря“	„Молния“	Будильник 61-М
2	1	Определение часового прибора	Часы мужские наручные с боковой секундной стрелкой	То же с центральной секундной стрелкой	Часы женские наручные с боковой секундной стрелкой	Часы женские наручные без секундной стрелки, малогабаритные	Часы мужские, карманные с боковой секундной стрелкой	Будильник малогабаритный
3	1	<i>Общая характеристика механизма</i> Диаметр платины в мм а) посадочный б) мостовой	26	26	18×28,5	14×18,5	36 35,5	55,8
	2	Высота механизма в мм а) габаритная (включая минутный триб) б) платины с мостами	4,9	7,75 (с осью секундного колеса)	6,37	5,865	5,6	
	3	Камни	15	15	15	16	15	11
		а) Общее количество б) Из них накладных в) Крепления камней	2 балансовых Запрессовка	То же То же	То же То же	То же То же	То же То же	То же То же

3	4	Мосты	а) Количество б) Разбивка	4 1) барабана центрального колеса 2) промежуточ- ного, секунд- ного анкер- ного колеса 3) вилки 4) баланса	4 То же	4 1) барабана 2) централь- ного, про- межutoч- ного, анкер- ного колеса 3) вилки 4) баланса	4 То же	5 1) барабана 2) централь- ного, про- межutoч- ного, сек- ундного колес 3) анкерно- го колеса 4) вилки 5) баланса	5 1) ангре- нажный 2) барабана хода 3) боя 4) вилки 5) баланса
	5	Отделка механизма	а) платины б) мостов	Никелирова- ние Комбиниро- ванная ажу- ровка	То же То же	То же То же	То же То же	То же То же	То же То же
4	1	<i>Двигатель</i> Барабан: а) Внутренний диаметр б) Глубина (включая рас- точку крышки) в) Диаметр валика г) Крышка (расточенная или нет) д) Отделка		10,45 1,66 3,5 Расточенная Зслочение	10,45 1,66 3,5 То же То же	10,5 1,60 3,5 То же То же	7,4 1,40 2,5 То же То же	13,5 1,43 4,5 То же То же	Хода 19,1 3,23 6,2 Нет Пес- сиви- рова- ние Боя 17,9 3,23 5,2 Нет То же

№ по пер.	№	Параметры	№ часов по порядку												
			1		2		3		4		5		6		
4	2	Пружина: а) толщина б) ширина в) длина г) число витков (спущенной пружины) д) способ крепления к барабану	0,12	0,12	0,12	0,09	0,17	0,22	0,18						
			1,5	1,5	1,5	1,25	1,35	3	3						
			317	317	335	221	420	600	630						
		Приклепана мечевидная накладка к пружине; отверстия в барабане и крышке		То же	То же	То же	То же	То же	То же						
		В стенке барабана ввернут штифт, на который надевается пружина													
5	1	<i>Колесная система</i> Кинематическая схема	72—12	72—12	72—12	30—12	78—12	80—12							
			64—8	80—10	64—8	64—8	75—10	64—8	64—8	64—8					
			60—8	75—10	60—8	60—8	60—8	60—8							
			60—6	80—8	60—6	60—6	60—6								
	2	Диаметр наружный и внутренний: а) Барабан б) Триб центрального колеса	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	
12,238			11,224	120,0	11,50	12,195	1,94	8,73	8,04	16,54	15,35	24,866	22,853		
			2,218	1,273	2,218	1,8	2,193	1,248	1,43	0,815	2,79	1,61	4,061	2,206	

2	в) Центральное колесо	6,893	6,268	9,51	8,50	6,893	6,238	6,67	6,06	11,30	10,42	16,359	14,930
	г) Триб промежуточного колеса	0,962	0,442	1,247	0,8	0,962	0,442	0,935	0,43	1,68	0,82	2,284	1,000
	д) Промежуточное колесо	6,2	5,629	9,106	8,416	6,18	5,609	5,33	4,81	8,89	8,17	13,839	12,553
	е) Триб секундного колеса	0,925	0,425	1,321	0,678	0,925	0,4	0,79	0,365	1,26	0,6	2,055	0,901
	ж) Секундное колесо	6,2	5,629	9,122	8,5	6,18	5,609	4,99	4,51	9,21	7,6	13,627	12,415
	з) Триб анкерного колеса	0,763	0,255	1,027	0,448	0,763	0,23	0,617	0,206	0,972	0,38	1,597	0,559
5													
3	Крепление колес		Центральное колесо запрессовать и расклепать. Промежуточное колесо запрессовать и расклепать. Секундное колесо запрессовать и расклепать. Анкерное колесо запрессовать и расклепать	Центральное колесо запрессовать и расклепать. Промежуточное колесо запрессовать и расклепать. Секундное колесо запрессовать и расклепать. Анкерное колесо запрессовать и расклепать	Центральное колесо запрессовать и расклепать. Промежуточное колесо на цилиндрическую часть триба.	Центральное колесо на обточенные зубья триба с последующей расклейкой. Промежуточное и секундное колеса на цилиндрическую часть триба	Центральное колесо расклепать. Промежуточное колесо запрессовать. Секундное колесо на коническую часть триба запрессовать. Анкерное колесо на коническую часть триба запрессовать	Центральное колесо расклепать. Промежуточное колесо расклепать. Секундное колесо расклепать. Анкерное колесо расклепать					

№ по пор.	№	Параметры		№ часов по порядку							
				1	2	3	4	5	6		
6	1	Спуск		С распределенным импульсом	То же	То же	То же	То же	То же	То же	
	2	Материал и отделка	а) Спускового колеса	Сталь	То же	То же	То же	То же	То же	Латунь	
			б) Вилки	Латунь, золочение	Сталь; полированная наружная поверхность	То же	То же	То же	То же	Сталь	Сталь
			в) Палет	Камень полированный	То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же
3	Наличие фасок и расточки на спусковом колесе		Фаска на зубьях снизу колеса	То же	То же	То же	То же	То же	То же	Фаски нет	
4	Тип анкерной вилки (прямая, боковая)		Прямая	То же	Боковая	Прямая	Прямая	Прямая	Прямая	Прямая	

6	5	Способ крепления анкерной вилки на оси		Запрессовка	То же	То же	То же	То же	То же
	6	Конструкция опор анкерной вилки		Камни	То же	То же	То же	То же	То же
	7	Диаметр цапф оси анкерной вилки		0,11	0,11	0,105	0,09	0,143	0,18
	8	Предохранительный ролик (двойной или одинарный, цельный или составной)		Двойной, цельный	То же	То же	То же	То же	То же
	9	Способ вставки копыя		Колонка и копые — одно целое, приклепана к вилке	То же	То же	То же	То же	То же
	10	Материал эллипса и форма поперечного сечения его	Камень полуовальной формы поперечного сечения	То же	То же	То же	То же	То же	То же

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по порядку											
			1		2		3		4		5		6	
6	11	Геометрические параметры спуска	Диаметр внешней окружности спускового колеса в мм		5,25		5,25		4,6		6,63		8,72	
			Угол импульса на зубе	Вх. 2°	Вых.	Вх. 2°	Вых.	Вх	Вых.	Вх.	Вых.	Вх. 3°	Вых.	Вх.
		Угол импульса на палете	5°40'		5°40'			6°40'	6°45'	5°30'		2°52'	8°	
		Угол покоя	3°	3°	3°	3°		3°28'	3°13'	1°30'		2°30'		
		Угол потерян-ного пути	0°50'	0°50'	0°50'	0°50'		3°55'						
		Углы притяжки	14°30'	11°30'	14°30'	11°30'		11°32'	9°17'	13°	14°30'	12°09'	14°06'	
		Толщина палет (штифтов) в мм						0,35	0,35	0,4	0,4			
		Ширина палет в мм	0,28	0,28	0,28	0,28		0,25	0,25	0,37	0,37			
		Межцентровое расстояние спускового колеса — анкерная вилка в мм	3,10		3,10		3,1	2,63		3,81		5		
		Межцентровое расстояние баланс — анкерная вилка в мм	4,0		4,0		4,0	3,4		4,98		8,402		
7	1	Баланс Тип баланса	Монометаллический		"		"		"		"		"	

7

2	Материал	Латунь	Латунь	Нейзильбер	Нейзильбер	Латунь	Нейзильбер
3	Отделка: а) обода б) верхнего торца	Золочение Полирование	Золочение	Золочение Полирование	Золочение Полирование	Золочение Полирование	Никелирование
4	Способ крепления на оси	Расклепка	То же	То же	То же	То же	То же
5	Обод: а) Диаметр без винтов б) Количество винтов на половине обода в) Наличие свободных отверстий на половине обода	9,52 8 Нет	9,52 8 Нет	9,3 6 Нет	6,8 7 Нет	12,72 6 Нет	14,4 Нет Нет
6	Диаметр цапф в мм: а) верхней б) нижней	0,10 0,10	0,10 0,10	0,095 0,095	0,08 0,08	0,105 0,105	0,17 0,17
7	Краткая характеристика амортизации	Амортизация отсутствует	Полная амортизация	Амортизация отсутствует	То же	То же	То же
8	<i>Волосок</i> Тип волоска	Брекетированный	То же	То же	Плоский	То же	То же
	Материал	Элинвар	Спец. сплав		Элинвар	Элинвар	Сплав Н35ХМВ
	Число витков	16	16	12÷15	11÷13	13	13 ³ / ₄

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по порядку					
			1	2	3	4	5	6
8	4	Шаг	0,14	0,14	0,14	0,12	0,188	0,264
	5	Форма концевой кривой	Резкий выход на поверхность и плавное выгибание в плоскости	То же	То же			
	6	Конструкция замка	Два штифта	То же	То же	Штифт и замыкатель	То же	То же
9	1	<i>Механизм завода и перевода стрелок</i> Тип механизма	Кулачковый	То же	То же	То же	То же	
	2	Перевод стрелок (прямой или обратный)	Прямой	Прямой	Прямой	Обратный	Прямой	
	3	Количество переводных колес, их опоры и закрепление	Два на цельной броши под ремонтурным мостом	То же	Одно на цельной броши, привернуто винтом	Одно на цельной броши под ремонтурным мостом	Два под ремонтурным мостом на цельной броши	
	4	Использование вексельного колеса при переводе стрелок	Используется	То же	Нет	Используется	То же	

9	5	Заводной рычаг (шарнирный или упругий)	Шарнирный	То же	То же	То же	То же	
	6	Фиксация переводного рычага	Ремонтурным мостом	То же	То же	То же	То же	
	7	Число зубьев заводного триба: а) радиальных б) косых	17 10	17 10	20 10	20 10	13 9	Храповик $z = 12$
	8	Число модульных зубьев кулачковой муфты	15	15	15	12	10	
	9	Число зубьев стрелочного механизма	12—32 8—36	12—32 8—36	12—32 8—36	9—24 8—36	14—32 8—42	9—27 8—32
	10	Модуль: а) минутный триб и вексельное колесо б) триб вексельного колеса и часовое колесо	0,14 0,14	0,14 0,14	0,14 0,14	0,19 0,19	0,19 0,175	0,332 0,298
	11	Минутный триб (сквозной или глухой)	Сквозной	То же	То же	То же	То же	
10	1	<i>Внешнее оформление</i> Корпус а) Форма б) Размеры в мм в) Толщина со стеклом	Круглый, с вытянутыми ушками $\varnothing 32-37,4$ по ушкам 8,3	То же $\varnothing 33$	Овальный и прямо- угольный 20,5×30	Круглый и прямо- угольный	Круглый	

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по порядку					
			1	2	3	4	5	6
2		Материалы и покрытие:						
		а) Ранта	Латунь	Свинцовистый нейзильбер	Мельхиор		Нейзильбер	
		б) Кольца	Латунь	Свинцовистый нейзильбер	Мельхиор		Нейзильбер	
		в) Крышки	Нержавеющая сталь	То же	Мельхиор	Латунь	Нейзильбер	
10	3	Циферблат:						
		а) Форма	Круглая, плоская	То же	Овальная плоская	Прямоугольная и круглая	Круглая плоская	
		б) Цвет	Различный	То же	То же	Серебристый		
		в) Оцифровка	Различная	То же	То же	Полная, цифры арабские, полированные рельефные	Полная, цифры арабские, печатные	
		г) Крепление	Две ножки и два боковых винта	То же	2 винта сверху циферблата	2 ножки, 2 боковых винта	То же	

10	4	Стрелки: а) часовая б) минутная в) секундная	Различных оформлений	То же	То же	То же		
	5	Стекло (органическое или силикатное)	Органическое	То же	То же	То же	То же	Силикатное
	6	Диаметр заводной го- ловки	6,8	То же	7,2		5,5	
	7	Крепление механизма к корпусу	Двумя винтами	То же	Механизм вклады- вается в крышку корпуса	То же	Двумя винтами	
11	<i>Дополнительные или особые данные</i>							Сигнальный узел: Хра- повик — ба- рабан — триб- скобочного колеса — скобочное колесо 12—72 10—13

ХАРАКТЕРИСТИКА ИМПОРТНЫХ НАРУЧНЫХ ЧАСОВ

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
1	1	Фирма изготовителя	„П. Мозер“	„Цертина“	„Тимекс“	„Г. Мозер“	„Цертина“
2	1	Определение часового прибора	Часы мужские наручные с боковой секундной стрелкой	То же	Часы мужские наручные с центральной секундной стрелкой	То же	Часы мужские наручные с боковой секундной стрелкой
3	1	<i>Общая характеристика механизма</i>					
		Диаметр платины в мм: а) посадочный б) мостовой	26,6 26	25,5 25,25	25,5 25	26,5 26	25×17,55 24,59×17
	2	Высота механизма в мм: а) габаритная (включая минутник)	5,62	5,88	6,57 (с центральной осью) 4,85	6,38 (с центральной осью) 4,46	5,55
		б) платины с мостами	3,84	3,90			3,50
	3	Камни: а) Общее количество б) Из них накладных	17 3 (2 балансовых, 1 анкерного колеса)	15 2 балансовых	17 4 (2 балансовых, 1 анкерного, 1 промежуточного колеса) То же	То же 4 (2 балансовых и 2 анкерного колеса)	15 2 балансовых
		в) Крепление	Запрессовка	То же	То же	То же	То же

3	4	Мосты: а) Количество б) Разбивка	4 1) барабана 2) центрального, промежуточного, секундного и анкерного колеса 3) вилки 4) баланса	4 То же	5 1) барабана 2) центрального колеса 3) промежуточного, секундного и анкерного колеса 4) вилки 5) баланса	4 То же	4 1) барабана 2) центрального, промежуточного и секундного колес 3) анкерного колеса 4) вилки 5) баланса
	5	Отделка механизма: а) платины	Со стороны циферблата прямая штриховка	Со стороны циферблата ажуровка лучевая	Со стороны циферблата прямая штриховка	Со стороны циферблата чистовая обточка	Со стороны циферблата ажуровка кружками
		б) мостов	Прямая штриховка Никелирование	Концентрическая штриховка с центром вне механизма. Мост вилки — прямая штриховка	Прямая штриховка	То же Никелирование	Концентрическая штриховка Никелирование

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.					
			1	2	3	4	5	
1	<i>Двигатель</i>							
	Барaban:							
	а)	внутренний диаметр в мм	10,67	10,17	10,28	10,91	9,79	
	б)	глубина (включая расточку крышки) в мм	1,84	1,90	1,53	1,61	1,46	
	в)	диаметр валика в мм	3,38	3,38	3,40	3,68	3,26	
	г)	крышка (расточена или нет)	Расточена	Расточена	То же	То же	То же	
	д)	отделка	Прямая штриховка Никелирование	Никелирование	То же	То же	То же	
4	2	Пружина:						
		а)	толщина в мм	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11
		б)	ширина в мм	1,76	1,78	1,43	1,55	1,33
		в)	длина в мм	345	295	325	335	300
		г)	число витков (спущенной)	12,5	11,5	13	12	12
	д)	способ крепления к барабану	Приклепана накладка к пружине, в стенке барабана фрезерован уступ S-образная	То же	То же	То же	То же	
	е)	форма	S-образная	Плоская спираль	S-образная	Плоская спираль	S-образная	
3	Число оборотов валика барабана		6,5	6	5,5	5,5	6	

5	2	Колесная система Кинематическая схема	70—10		72—10		78—10		76—10		80—10	
			D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$
			64—8	64—8	64—8	60—8	64—8	64—8	75—10	62—8	60—8	60—6
			60—8	60—8	60—8	64—8	64—8	75—10	80—8	60—8	60—8	60—6
			70—7	70—7	70—7	80—8	80—8	80—8	80—8	80—8	80—8	80—8
		Диаметр наружный и внутренний в мм:										
		а) Барабан	12,586	11,666	12,092	11,118	12,046	11,238	12,640	11,662	11,588	10,710
		б) Триб центрального колеса	1,860	1,016	1,800	1,010	1,116	0,532	1,862	1,016	1,552	0,900
		Межцентровое расстояние в мм:										
		в) Центральное колесо	9,006	8,228	8,612	7,900	8,250	7,654	8,634	7,906	7,362	6,698
		г) Триб промежуточного колеса	1,234	0,586	1,182	0,544	1,714	0,990	1,190	0,534	0,980	0,460
		д) Промежуточное колесо	7,660	6,908	7,156	6,500	8,073	7,314	8,596	7,860	6,580	5,932
		е) Триб секундного колеса	1,124	0,542	1,028	0,466	1,196	0,588	1,240	0,662	0,938	0,462
		ж) Секундное колесо	7,250	6,700	7,106	6,590	8,050	7,334	8,646	8,058	5,470	4,952
		з) Триб анкерного колеса	0,860	0,174	0,804	0,344	0,928	0,424	0,984	0,470	0,640	0,286

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
5	3	Крепление колес	Центральное и анкерное колеса на обточенные зубья триба с последующей расклепкой Промежуточное и секундное колеса на цилиндрическую часть триба	Центральное и анкерное колеса на обточенные зубья триба с последующей расклепкой Промежуточное и секундное колеса на цилиндрическую часть триба	Центральное и промежуточное колеса на обточенные зубья триба с последующей расклепкой Секундное и анкерное колеса на цилиндрическую часть триба, анкерное с последующей расклепкой	Центральное колесо на цилиндрическую часть триба Промежуточное колесо на обточенную часть триба Секундное и анкерное колеса на обточенную часть триба с последующей расклепкой	На обточенные зубья триба с последующей расклепкой
	4	Отделка	Золочение	То же	То же	То же	То же
6	1	<i>Спуск</i> Определение спуска	С распределенным импульсом	То же	То же	То же	То же

6	2	Материал и отделка: а) спускового колеса б) вилки в) палет	Сталь, наруж- ная поверх- ность полиро- вана Латуиь матовая Камень поли- рованный	То же Сталь, наруж- ная поверх- ность полиро- вана То же	То же То же То же	То же То же То же	То же То же То же
	3	Наличие фасок на анкер- ном колесе	Фаска снизу колеса на зубьях	То же	То же	То же	То же
	4	Тип анкерной вилки (пря- мая, боковая)	Прямая	То же	То же	То же	То же
	5	Способ крепления анкер- ной вилки на оси	Запрессовка	То же	То же	То же	То же
	6	Конструкция опор анкер- ной вилки и ограничителей угла поворота анкерной вилки	Камни Запрессованы два штифта в платину	То же То же	То же То же	То же То же	То же То же
	7	Диаметр цапф оси анкер- ной вилки	0,11	0,10	0,09	0,11	0,09
	8	Предохранительный ролик (двойной или одинарный цельный или составной)	Двойной, цель- ный	То же	То же	То же	То же

№ по пор.	М	Параметры	№ часов по пор.					
			1	2	3	4	5	
9		Способ вставки копыя	В фрезерованную колонку	Колонка и копые — одно целое; приклепана к вилке	То же	То же	В фрезерованную колонку	Колонка и копые — одно целое; приклепана к вилке
10		Материал эллипса и форма поперечного сечения его	Камень полуовальной формы поперечного сечения	То же	То же	То же	То же	То же
6	11	Геометрические параметры: Диаметр выступов анкерного колеса в мм Угол импульса на зубе Угол импульса на палете Угол покоя Угол потеряннго пути Угол притяжки Толщина палет (штифтов) Ширина палет Межцентровое расстояние спусковое колесо — скоба Межцентровое расстояние баланс — анкерная вилка	5,520 Вх. 2°29' Вых. 1°57' 5°48' 5°45' 3°30' 4°35' 1°55' 1°09' 13°18' 13°38' 0,360 0,362 0,286 0,287 3,14	6,640 Вх. 2°55' Вых. 3°04' 6°11' 6°28' 2°47' 3°41' 0°59' 1°40' 13°48' 14°31' 0,424 0,412 0,376 0,376 3,68	5,476 Вх. 2°13' Вых. 2°32' 6°13' 5°40' 3°19' 4°16' 0°53' 1°42' 13°35' 14°30' 0,336 0,346 0,279 0,279 3,12	5,780 Вх. 2°56' Вых. 2°33' 6°17' 6°13' 3°33' 3°46' 0°47' 1°34' 14°40' 13°34' 0,390 0,390 0,30 0,30 3,32	5,252 Вх. 2°38' Вых. 2°36' 6°10' 6°34' 3°33' 2°23' 0°42' 1°14' 15°10' 14°50' 0,347 0,346 0,279 0,279 3,020	
			3,41	4,80	3,41	3,57	3,29	

7	1	<i>Баланс</i> Тип баланса	Монометаллический	То же	То же	То же	То же	
	2	Отделка: а) обода б) верхнего торца	Полирование, никелирование Полирование, никелирование	То же	То же	То же	То же	
				То же	То же	То же	То же	
	3	Способ крепления на оси	Расклепка	То же	То же	То же	То же	
	4	Обод а) Диаметр без винтов в мм б) Количество винтов на половине обода в) Наличие свободных отверстий на по- ловине обода	б/в 10,12 с/в 11,27 7 Нет	б/в 9,85 с/в 10,74 7	б/в 10 с/в 10,99 8	б/в 10,48 с/в 11,47 8	б/в 8,23 с/в 9,01 7 Нет	
				Нет	Нет	1	Нет	Нет
5	Диаметр цапф в мм: а) верхней б) нижней	0,09 0,09	0,07 0,07	0,07 0,07	0,09 0,09	0,07 0,07		
6	Краткая характеристика амортизации	Амортизация отсутствует	Полная, качаю- щийся шатон	Полная, упру- гий шатон, пружинящая накладка	Полная, качаю- щийся шатон	То же		

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
8	1	<i>Волосок</i> Тип волоска	Плоский	То же	То же	То же	То же
	2	Число витков	с/к 11 б/к 10,5	с/к 11,5 б/к 11,5	с/к 11 б/к 10,5	с/к 12,75 б/к 12,25	с/к 10,5 б/к 10,5
	3	Конструкция замка	Штифт замыкатель	То же	То же	То же	То же
9	1	<i>Механизм завода и перевода стрелок</i> Тип механизма	Кулачковый	То же	То же	То же	То же
	2	Заводное колесо	Плоское	То же	То же	То же	То же
	3	Перевод стрелок (прямой или обратный)	Обратный	То же	То же	То же	То же
	4	Количество переводных колес, их опоры и закреп- ление	Одно, на цель- ной броши, под ремонт- арным мостом	То же	То же	Одно, на цель- ной броши под отдельным мостом для вексельного и переводного колес	Одно на цель- ной броши, под ремонт- арным мостом
	5	Использование вексель- ного колеса при переводе стрелок	Используется	То же	То же	То же	То же

9	6	Заводной рычаг (шарнирный или упругий)	Шарнирный	То же	То же	То же	То же
	7	Фиксация переводного рычага	Фиксатором ремонтарного моста	То же	То же	Фиксатором моста заводного рычага	Фиксатором ремонтарного моста
	8	Число зубьев заводного триба: а) радиальных б) косых	18 10	18 10	16 10	13 10	18 10
	9	Число модульных зубьев кулачковой муфты	10	12	12	14	12
	10	Число зубьев стрелочного механизма	10—30 8—32	10—36 9—30	10—30 8—32	15—40 10—45	10—30 8—32
	11	Модуль и межцентровое расстояние в мм: а) Минутный триб и вехсельное колесо б) Триб вехсельный и часовое колесо	0,182 } 0,182 } 3,64	0,149 } 0,175 } 3,42	0,182 } 0,182 } 3,64	0,140 } 0,140 } 3,86	0,143 } 0,143 } 2,87
10	12	Минутник (сквозной или глухой)	Глухой	То же	Сквозной	То же	Глухой
	1	<i>Внешнее оформление</i> Корпус: а) Форма б) Размеры в) Толщина со стеклом	Круглый, с вытянутыми ушками Ø 33 мм, по ушкам 40,5 мм 9 мм	То же Ø 33 мм, по ушкам 40 мм То же	То же Ø 32,75 мм, по ушкам 41 мм 10,5 мм	То же Ø 35,7 мм, по ушкам 43,8 мм 9 мм	Прямоугольный 19×28 мм, по ушкам 39 мм 10 мм

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
10	2	Материалы и покрытие: а) Ранта б) Кольца в) Крышки	Латунь хромированная Нержавеющая сталь	Латунь, плакированная золотом То же	То же То же	Плакировано золотом То же	Латунь, плакированная золотом То же
	3	Циферблат: а) Форма б) Цвет в) Оцифровка	Круглый, плоский Серебристый Неполная; цифры четные рельефные, полированные золотистые. Знаки — прямоугольники	Круглый с опущенными краями Серебристый, покрыт лаком Неполная; цифры четные полированные, рельефные, золотистые Знаки — треугольники	То же Все поле, кроме цифр, покрыто светомассой Неполная; цифры 3—9—12 рельефные, полированные золотистые	Круглый, выпуклый Серебристый. В центре — круг, покрытый эмалью, изображение самолета и облаков Полная; цифры арабские, полированные, рельефные, золотистые	Прямоугольный, выгнут по длине Серебристый, покрыт лаком

10	г) Особые свойства	Минутная шкала полная печатная. Секундная шкала углублена Знаки — черточки 2 ножки, 2 боковых винта	То же	Минутной шкалой служат полированные рельефные кружочки, их 60 штук	Минутная и секундная шкалы полные печатные	Минутная шкала полная, печатная Секундная шкала углублена, цена деления 5 секунд, знаки — черточки То же	
	д) Крепление		То же	То же	То же	То же	
	4	Стрелки: а) часовая б) минутная в) секундная	Фасонные, полированные белые	Фасонные, полированные, золотистые	То же	То же (секундная стрелка окрашена в красный цвет)	Фасонные, полированные, золотистые
	5	Стекло (органическое или силикатное)	Органическое	То же	То же	То же	То же
	6	Диаметр заводной головки в мм	5	5,5	5,75	5	5,34
	7	Крепление механизма к корпусу	Двумя винтами с подкладкой к кольцу корпуса	Двумя винтами к кольцу корпуса	Механизм вкладывается в верхн. часть корпуса, прижимается крышкой	Двумя винтами к кольцу корпуса	Механизм вкладывается в крышку корпуса
8	Ремень: а) Съёмный или нет б) Ширина в мм в) Пряжка	Съёмный 18 Хромированная	То же 12,5 Желтая	То же 15 То же	То же 18 То же	То же 13 То же	

ХАРАКТЕРИСТИКА ИМПОРТНЫХ НАРУЧНЫХ И КАРМАННЫХ ЧАСОВ И ЧАСОВ БУДИЛЬНИКА

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
1	1	Фирма изготовителя	„Николе Ватч“	„Рекорд“	„Сима Ватч К ^о “	„Зенит“	„Артур Имхоф“
2	1	Определение часового прибора	Часы женские наручные, без секундной стрелки, малогабаритные	То же	Часы мужские карманные с боковой секундной стрелкой	То же	Часы-будильник дорожного типа
3	1	<i>Общая характеристика механизма</i> Диаметр платины в мм а) посадочный б) мостовой	19,19×12,73 18,82×12,51	19,20×12,84 19,05×12,55	38,2 (вместе с кольцом) 37,5 (наибольший)	37,5 36,5	56,0 55,1
	2	Высота механизма в мм: а) габаритная (включая минутный триб) б) платины и мостов	4,85 3,53	4,86 3,26	7,5 5,1	5,5 3,43	21,3 11,0
	3	Камни: а) общее количество б) из них накладных в) крепление	15 2 (балансовых) Запрессовка	15 То же То же	15 То же В шатонах	15 То же То же	7 То же То же

3	<p>а) Количество б) Разбивка</p> <p>в) Тип ножек</p>	<p>4</p> <p>1) барабана</p> <p>2) центрального, промежуточного и анкерного колес</p> <p>3) вилки</p> <p>4) баланса</p> <p>Запрессованные в мосты штифты</p>	<p>То же</p> <p>1) барабана и центрального колеса</p> <p>2) промежуточного, секундного и анкерного колес</p> <p>3) вилки</p> <p>4) баланса</p> <p>1—2—4 запрессованные в мосты штифты 3 запрессованные штифты в платину, два отверстия в мосту</p>	<p>5</p> <p>1) барабана и центрального колеса</p> <p>2) промежуточного и секундного колес</p> <p>3) анкерного колеса</p> <p>4) вилки</p> <p>5) баланса</p> <p>Запрессованные в мосты штифты</p>	<p>5</p> <p>То же</p> <p>1.2.3.5. Запрессованные штифты в мосты</p> <p>4. Запрессованные штифты в платину</p>	<p>4</p> <p>1) барабана хода, центр. промежуточного, секундного и анкерного колес</p> <p>2) вилки</p> <p>3) баланса</p> <p>4) барабана боя, скобочного колеса и скобки</p> <p>Запрессованные в платину резьбовые колонки</p>
5	<p>Отделка механизма</p> <p>а) платины</p>	<p>С циферблатной стороны чистовая обработка</p> <p>В просветах баланса ажуровка кружками</p>	<p>Со стороны циферблата ажуровка кружками</p>	<p>То же</p>	<p>Со стороны циферблата лучевая ажуровка</p> <p>Золочение</p>	<p>Со стороны мостов частично ажуровка кольцами</p> <p>Никелировка</p>

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.					
			1	2	3	4	5	
3	5	Отделка механизма б) мостов	Прямая штриховка	Концентрическая штриховка каждого моста отдельно, с центром вне механизма. Мост вилки — прямая штриховка	Комбинированная дуговая штриховка. Вилочный мост — прямая штриховка	Золочение, матирование	Концентрическая штриховка с центром вне механизма. Вилочный мост — прямая штриховка	
4	1	<i>Двигатель</i> Барабан: а) Внутренний диаметр в мм б) Глубина (включая расточку крышки) в мм в) диаметр валка в мм г) крышка (расточенная или нет) д) Отделка	7,82 1,39 2,59 Расточенная Никелирование	7,37 1,00 2,37 То же То же	15,5 2,04 4,98 То же Барабан — лущевание. Никелирование	14,19 1,46 4,58 Не расточена Барабан — золочение Крышка — никелирование	Ход 21,7 3,48 6,96 То же Без отделки	Сигнал 17,2 3,07 5,21 То же То же
	2	Пружина: а) Толщина в мм б) Ширина в мм в) Длина в мм	0,08 1,32 265	0,09 0,90 205	0,18 1,84 480	0,17 1,36 400	0,2 3,29 730	0,14 2,69 710

	4	г) Число витков (случайной пружины) д) Способ крепления	13 ^{1/2}		11 ^{1/2}		12		11		17,5		16	
		е) Форма	Приклепанная накладка, фрезерованный уступ в барабане		Приклепанная накладка по обе стороны пружины, фрезерованный уступ в стенке барабана		То же		В стенке барабана высечен замок. В барабане и крышке прямоугольные отверстия К пружине прикреплена накладка с выступами и высеченным окном		Плоская спираль		Плоская спираль	
		Число оборотов валика барабана	6 ^{1/2}		5 ^{3/4}		—		5 ^{3/4}		—			
5	1	<i>Колесная система</i> Кинематическая схема	70—10 70—7 54—6 40—6		64—10 64—8 60—8 60—6		96—14 80—10 75—10 80—8		85—12 80—10 75—10 70—7		70—10 54—6 50—6 48—6			
	2	Диаметр наружный и внутренний в мм: а) Барабан б) Триб центрального колеса	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$	D_n	$D_{вн}$
			9,056	8,380	9,030	8,204	17,86	16,725	16,556	15,356	2,540	1,444		
			1,408	0,696	1,524	0,736	2,77	1,665	2,540	1,444				

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.									
			1		2		3		4		5	
5	2	в) Центральное колесо	6,512	5,780	6,622	6,00	13,07	12,1	12,538	11,666		
		г) Триб промежуточного колеса	0,704	0,272	0,934	0,440	1,77	0,922	1,646	0,856		
		д) Промежуточное колесо	4,512	4,056	5,378	4,836	8,57	7,895	8,712	8,060		
		е) Триб секундного колеса	0,574	0,220	0,798	0,368	1,23	0,65	1,268	0,662		
		ж) Секундное колесо	3,384	2,918	5,288	4,768	8,27	7,76	8,426	7,756		
		з) Триб анкерного колеса	0,578	0,236	0,604	0,232	0,92	0,47	0,964	0,376		
3		Крепление колес	Центральное на цилиндрическую часть триба, промежуточное, секундное и анкерное колеса на обточенные зубья триба, анкерное колесо с послед. расклепкой	Центральное и анкерное на обточенные зубья триба с последующей расклепкой. Промежуточное и секундное на цилиндрическую часть триба	Центральное на обточенную часть триба с последующей расклепкой, остальные на цилиндрическую часть триба; анкерное с заполнением фиксирующей латунной шайбой	На цилиндрическую часть триба	Центральное на обточенные зубья полого триба с последующей расклепкой. Промежуточное на обточенные зубья триба с последующей расклепкой. Секундное на конусную часть триба со следами фрезы. Анкерное на конусную часть триба без муфты					

4	Отделка	Кольцевая шлифовка и пассивирование	Золочение	То же Матирование	Золочение	
i	<i>Спуск</i> Определение спуска	С распределенным импульсом	То же	То же	То же	То же
2	Материал и отделка: а) спускового колеса б) вилки в) палет г) копы	Сталь, верхний торец полированный Сталь, наружная поверхность полированная Камень полированный Никелирование	Сталь матовая Сталь матовая То же	Сталь полированная То же То же	Сталь матовая Сталь, наружная поверхность полированная То же	Белый металл Белый металл
3	Наличие фасок и расточки на спусковом колесе	Фаска снизу колеса	Фаска с нижней стороны на зубьях		Фаска сверху и снизу колеса на головке зуба	
4	Тип анкерной вилки (прямая, боковая)	Прямая	То же	То же	То же	То же
5	Способ крепления анкерной вилки на оси	Запрессовка	То же	То же	То же	То же

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
6	6	Конструкция опор анкерной вилки и ограничительных упоров	Камни запрессованные; штифты в платину	Фаска с нижней стороны на зубьях	Сталь полированная	Фаска сверху и снизу колеса на головке зуба Жесткие упоры в платине	Белый металл
	7	Диаметр цапф оси анкерной вилки в мм	Верхний 0,10 Нижний 0,10	0,084 0,088		0,10	
	8	Предохранительный ролик (двойной или одинарный, цельный или составной)	Двойной, цельный	То же	Двойной, составной	Двойной, цельный	То же
	9	Способ вставки копыя	В фрезерованную колонку со стороны оси	То же	Колонка и копые — одно целое; приклепана к вилке	В фрезерованную колонку	Колонка и копые — одно целое; приклепана к вилке
	10	Материал эллипса и форма поперечного сечения его	Камень полуовальной формы поперечного сечения	То же	То же	То же	

6	II	Геометрические параметры:								
		Диаметр внешней окружности спускового колеса в мм	5,424		4,780		6,324		6,644	
		Угол импульса на зубе	Вх. 2°38'	Вых. 2°46'	Вх. 2°36'	Вых. 2°53'	Вх. 4°50'	Вых. 4°10'	Вх. 2°39'	Вых. 3°10'
		Угол импульса на палете	5°25'	5°47'	5°29'	5°18'	4°50'	4°10'	5°56'	5°46'
		Угол покоя	4°33'	3°7'	3°15'	5°35'	3°42'	2°45'	3°06'	2°33'
		Угол потеряннго пути	40'	1°48'	0°47'	1°09'			0°43'	1°33'
		Углы притяжки	13°9'	15°6'	12°10'	14°8'	14°55'	16°50'	12°19'	13°04'
		Толщина палет (штифтов) в мм	0,367	0,377	0,362	0,356			0,456	0,456
		Ширина палет в мм		0,287	0,250	0,250			0,370	0,366
		Межцентровое расстояние спусковое колесо — анкерная вилка		3,152		2,77				3,77
Межцентровое расстояние баланс — анкерная вилка		3,392		3,01				5,07		
7	I	<i>Баланс</i>								
		Тип баланса	Биметаллический разрезной	Монометаллический	То же	То же	То же			
		Материал					Белый металл			
3		Отделка:								
		а) обода б) верхнего торца	Полирование, никелирование	Полирование, никелирование То же	Полирование Полирование	Полирование, золочение Полирование, золочение	Полирование Полирование			

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
7	4	Способ крепления на оси	Расклепка	Полирование, никелирование	Полирование	Полирование, золочение	Полирование
	5	Обод:					
		а) Диаметр без винтов и с винтами в мм	б/в 6, 97, с/в 7,74	б/в 68; с/в 7,29	13,51	б/в 13,51; с/в 14,71	14,14
		б) Количество винтов на половине обода	8	8	7	9	7
	в) Наличие свободных отверстий на половине обода	Нет	Нет	Нет	4	Нет	
7	6	Диаметр цапф баланса в мм:					
		а) верхней	0,07	0,07	0,09	0,09	0,16
	б) нижней	0,07	0,07	0,09	0,09	0,16	
7	Краткая характеристика амортизации	Полная, пружинящая наклад-ка, упругий шатон	Амортизация отсутствует	То же	То же	То же	
8	1	<i>Волосок</i> Тип волоска	Плоский	То же	Брегетирован-ный	То же	Плоский
	2	Число витков	10	с/к 11; б/к 10,5	15,25	с/к 17,5; б/к 17	13,5

8	3	Форма концевой кривой			Выход из плоскости коленом Выгибание в плоскости плавное	Выход из плоскости плавный, выгибание в плоск плавное	
	4	Конструкция замка	Штифт, замыкатель	То же	2 штифта	То же	Штифт, замыкатель
9	1	<i>Механизм завода и перевода стрелок</i> Тип механизма	Кулачковый	То же	То же	То же	
	2	Заводное колесо	Плоское	То же	Коронное	Плоское	
	3	Перевод стрелок (прямой или обратный)	Обратный	То же	Прямой	То же	
	4	Количество переводных колес, их опоры и закрепление	Одно, на цельной броши, под ремонтурным мостом	То же	Два, на брошах, под самостоятельным мостом	Два, одно под ремонтурным мостом, другое крепится винтом	
	5	Использование вексельного колеса при переводе стрелок	Используется	То же	То же	То же	
	6	Заводной рычаг (шарнирный или упругий)	Шарнирный	То же	То же	Упругий	

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
9	7	Фиксация переводного рычага	Ремонтурным мостом	То же	То же	Самостоятельным фиксатором	
	8	Число зубьев заводного триба: а) радиальных б) косых	20 8	16 10	14 10	11 9	
	9	Число модульных зубьев кулачковой муфты	13	11	13	9	
	10	Число зубьев стрелочного механизма	9—27 8—32	10—30 8—32	12—32 8—36	12—36 10—40	15—45 12—48
	11	Модуль: а) минутный триб — — вексельное колесо б) триб вексельного колеса — часовое колесо	0,115 0,104	0,119 0,119	0,182 0,182	0,188 0,180	0,249 0,249
	12	Минутник (сквозной или глухой)	Глухой	То же	То же	Сквозной	

10	1	<i>Внешнее оформление</i> Корпус: а) Форма б) Размеры в мм в) Толщина со стеклом в мм	Прямоугольный с ушками под круглый ремень 22×14,5 по ушкам 34,5 10 10	То же 21,69×15,15 по ушкам 33 8,22	Круглый, с рантом и двумя шарнирными крышками Ø 19,4 с шейкой 56,4 12,3	Круглый с рантом и крышкой Ø45 с шейкой 51,5 8,18	
	2	Материал и покрытие: а) ранта б) кольца в) крышки	Латунь, плакированная золотом	То же Нержавеющая сталь	Никелевый сплав хромированный	Нержавеющая сталь	
	3	Циферблат: а) Форма б) Цвет в) Оцифровка г) Особые свойства д) Крепление	Прямоугольный плоский Серебристый, покрыт лаком Неполная, четные цифры арабские, полированные золотистые, рельефные Минутная шкала квадратная печатная; имеет 60 делений 2 ножки, 2 боковых винта	То же Серебристый Полная, цифры арабские полированные золотистые Минутная шкала полная, 60 делений, печатная То же	Круглый плоский Белый эмалевый Полная, цифры арабские печатанные То же Секундная шкала углублена, оцифровка каждые 10 секунда, остальные — черточки То же	Круглый с опущенными краями Серебристый, покрыт лаком Полная, цифры полированные, золотистые, рельефные, арабские То же Секундная шкала углублена, деления через 5 секунда — черточки То же	

№ по пор.	№	Параметры	№ часов по пор.				
			1	2	3	4	5
10	4	Стрелки: а) часовая б) минутная в) секундная	Фасонные полированные золотистые	То же	Фасонные, оксидированные в черный цвет	Полированные золотистые	
	5	Стекло (органическое или силикатное)	Органическое	То же	Силикатное	Органическое	
	6	Диаметр заводной головки в мм	5,65	4,91	7,3	5,81	
	7	Крепление механизма к корпусу		Вкладывается в крышку корпуса	Двумя винтами	То же	
	8	Ремень: а) Съёмный или нет б) Ширина в) Прижка	— Ушки под круглый ремень Ø отв. 4 мм Съёмная, плакированная золотом	Отверстия под круглый ремень Ø 3 мм			
11		Дополнительные или особые данные	Мост барабанный крепится двумя винтами				Сигнальный механизм. Барабанное колесо — барабан — триб скобочного колеса — скобочное колесо 52—68 2—15

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленин В. И., Сочинения, том 14, изд. 4-е, стр. 162.
2. Энгельс Ф., Анти-Дюринг, изд. 1951 г., стр. 49.
3. Полак И. Ф., Курс общей астрономии, ГТТИ, 1951.
4. Подвапиньский В., Часовое мастерство, изд. 1948 г. г. Непокладов, Польша (на польском языке).
5. Отчет НИИЧАСПРОМа «История часов и часовой промышленности в России», 1949 г. Исполнитель В. Н. Пивуныров
6. Аксельрод З. М., Часовые механизмы, изд. ГНТИ, 1947.
7. Левитан Е. И., Часовые механизмы дистанционных трубок, НКАП, Оборонгиз, 1944.
8. Гевондян Т. А. и Киселев Л. Т., Детали механизмов точной механики, Оборонгиз, 1953.
9. Левитан Е. И., Аналитическое исследование графика крутящих моментов пружины часов «Победа», Бюллетень НИИЧАСПРОМа № 5 за 1953 год.
10. Тищенко О. Ф., Часовые зубчатые зацепления, Машгиз, М. 1950.
11. Торгов А. М., Методика проектировочного расчета некоторых основных конструктивных параметров карманных и наручных часов (Отчет НИИЧАСПРОМа, 1953 г.).
12. Зябрева Н. Н., Нормализация и исследование часового зубчатого зацепления. Кандидатская диссертация, МВТУ, 1953.
13. Артоболовский И. И., Теория механизмов и машин, Машгиз, М., 1952.
14. Беляков И. С., Исследование точных приборов времени переносного типа. Кандидатская диссертация, НИИЧАСПРОМ М. 1948.
15. Дроздов Ф. В., Изохронизм основных типов спусковых регуляторов. Докторская диссертация, 1942 г. Москва, МВТУ
16. Беляев В. Н., Анкерный спуск, Машгиз, 1951.
17. Торгов А. М., Углы притяжки в свободных анкерных спусках, НИИЧАСПРОМ, 1950.
18. Богданов Ю. М., Теория и расчет упругих маятников и подвесных пружин, применяемых в приборах времени и гравиметрах, МИИГАЙК, М. 1950.
19. Прейпич Н. Х., Часы астрономические, «Геодезия», Справочное руководство, том VII, М. 1940.
20. Флигельман В. С. и Рогинский И. Ю., Часовые механизмы, Лениздат, 1947.
21. Кунаев И. П., Методика расчета свободных регуляторов анкерного типа по заданному суточному ходу, МВТУ, М. 1947.
22. Штулькерц П., Температурные исследования хронометров, Записки по гидрографии, Ленинград, 1929.
23. Ирк А., Хронометровый ход, Берлин, 1923.
24. Саркин И. Г., Чернягин Б. М. и Антонова З. И., Теоретические и экспериментальные исследования механизмов секундомеров (Отчет НИИЧАСПРОМа, Москва, 1950).
25. Черягин Б. М. и Виноградов В. И., Обеспечение качественного выполнения внешних и внутренних концевых кривых наручных и карманных часов (Отчет НИИЧАСПРОМа, Москва, 1952).

26. Торгов А. М., Куликов Е. В. и Баранов Д. Г., Методика регулировки карманных и наручных часов повышенной точности (НИИЧАСПРОМ, Москва, 1954).
27. Аитонова З. И., О дополнительных шкалах циферблатов наручных и карманных хронометров, секундомеров и хроноскопов. Бюллетень НИИЧАСПРОМА № 1—2 за 1955 г.
28. Рдудловский В. И., Исторический очерк развития трубок и взрывателей, М., Оборонгиз, 1940.
29. Петров Б. Д., Авиационные часы. Описание и краткая инструкция по монтажу и эксплуатации, Машгиз, М., 1948.
30. Андронов А. А. и Хайкин, Теория колебаний, М. — Л., 1937.
31. Цуккерман С. Т., Точные механизмы, Оборонгиз, 1941.
32. Саккелари Н., Описание мореходных инструментов, Л. 1933.
33. Цветков К. А., Курс практической астрономии, М.—Л. 1934.
34. Вилькицкий А., О влиянии давления воздуха на ход хронометра, СПб., 1907 г. (Оттиск из записок по гидрографии).
35. Долгов П., Определение времени в меридиане переносным пассажным инструментом с регистрирующим микрометром, М.—Л., 1935.
36. Теодорчик, Автоколебательные системы, М.—Л., 1944.
37. Андронов А. А. и Неймарк, О движении идеальной модели часов, имеющих две степени свободы (Доклады Акад. Наук, № 1, 1946).
38. Ляпунов, Общая задача об устойчивости движения, М.—Л., 1936 г.
39. Долгов П. Н., Служба точного времени в СССР, М.—Л. 1934.
40. Беляков И. С., Статья «Советский эливар для часовых волосков», Инф. бюллетень Главширпотреба НКВД № 4, октябрь 1938 г.
41. Прусс К. В. (под ред. И. С. Белякова), «Теория хода часов», Обзор № 83, изд. ГНБ МВО, 1947.
42. Чернягин Б. М. (под ред. И. С. Белякова) «Исследование часов и хронометров», Обзор № 110, изд. ГНБ МВО, 1947.
43. Аксельрод З. М., Электромеханические часы, Машгиз, 1952.
44. Трояновский В. В., Электрочасовые системы и механизмы, Машгиз, 1951.
45. Трояновский В. В., Монтаж и обслуживание электрочасовых устройств, Машгиз, 1950.
46. Руководство по сборке часовых механизмов. (Материалы Отдела технич. обучения, 1-й часовой завод).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Время и его измерение. Классификация приборов времени	5
1. Общие принципы, положенные в основу измерения времени	5
2. Краткий исторический обзор развития технических средств измерения времени	8
3. Классификация приборов времени	14
4. Часы как автоколебательная система. Элементы приборов времени	17
5. Развернутая схема механических часов	19
Глава II. Двигатели механических часов	21
1. Характеристика основных типов двигателей	21
2. Устройство и расчет гиревых двигателей	21
3. Устройство пружинных двигателей	24
4. Зависимость крутящего момента пружины от угла закручивания	26
5. Основные соотношения геометрических параметров заводной пружины, барабана и заводного валика	29
6. Типы креплений заводных пружин	33
7. Конструктивные соображения по выбору заводной пружины	34
8. Типы заводных пружин и их изготовление	35
9. Ограничители заводки пружины и выравниватели крутящего момента	38
Глава III. Зубчатые передачи часовых механизмов	40
1. Определение и схема зубчатой передачи часового механизма	40
2. Элементы колес и трибов. Модуль зацепления	41
3. Передаточные числа	43
4. Преобразование сил в зубчатой передаче	47
5. Зубчатая передача в узле механизма заводки часов и перевода стрелок	50
6. Профили зубьев колес и трибов	51
7. Отраслевые нормы на зубчатые зацепления	56
8. Устройства для выравнивания крутящего момента на анкерном колесе	61
Глава IV. Назначение и классификация спусковых механизмов	64
1. Определение и типы спусковых регуляторов	64
2. Принцип действия спусковых механизмов	67
3. Построение спуска Гирама	77
Глава V. Свободный анкерный спуск балансовых часов	79
1. Устройство и функционирование свободных анкерных спусковых механизмов	79
2. Притяжка	82
3. Углы, проходимые анкерным колесом	85
4. Углы, проходимые анкерной вилкой	86
5. Углы, проходимые балансом	87

6. Предохранительное приспособление спускового механизма	88
7. Остановки на плоскости импульса и на плоскости покоя	91
8. Построение швейцарского равноплечевого анкерного спуска	93
Глава VI. Штифтовый и хронометровый спусковые механизмы	95
1. Элементы устройства и функционирования штифтового спуска	95
2. Построение равноплечевого штифтового спуска	96
3. Построение хронометрового спуска	99
4. Сравнительные данные элементов спуска различных хронометров	102
5. Основные положения для конструирования пружинного (хронометрового) спуска	102
6. Конструктивные и ходовые качества современных первоклассных хронометров	107
Глава VII. Основы расчета и конструирования маятникового регулятора	109
1. Математический маятник	109
2. Физический маятник	111
3. Угловая скорость маятника и влияние импульсов	112
4. Типы подвеса маятника	116
5. Способы регулирования периода колебаний маятника	119
6. Точность хода часов. Поправка и суточный ход	121
7. Влияние температуры на период колебания маятника	122
8. Компенсация маятника на температуру	124
9. Барометрическая компенсация маятника	127
Глава VIII. Основы теории, расчета и конструирования балансового регулятора	129
1. Формулы периода колебания баланса	129
2. Неуравновешенный баланс	132
3. Влияние инерции спирали и центробежной силы	135
4. Способы регулирования периода колебания баланса	136
5. Влияние внешних воздействий на колебание баланса	137
6. Влияние на изохронизм хода зубчатой передачи, провисания спирали, угла притяжки	139
7. Температурная компенсация в часовых механизмах	140
8. Сплавы для спиралей	148
9. Испытание волосков (спиралей)	151
10. Направления в конструировании компенсационных балансов	152
11. Влияние низких и высоких температур на точность хода часов и хронометров	154
12. Влияние магнитного поля на ход часов	156
13. Влияние атмосферного давления и влажности воздуха на ход часов	158
Глава IX. Основные конструктивные элементы часов	161
1. Баланс и волосок	161
2. Концевые кривые волоска	165
3. Амортизаторы опор оси баланса	170
4. Динамическое регулирование хода часов	173
5. Графо-аналитический расчет спускового регулятора балансовых часов	177
6. Поверочный графо-аналитический расчет хронометра с анкерным спуском	188
Глава X. Основные типы механических часов и часовых механизмов	196
1. Определение и назначение	196
2. Характеристика часов и хронометров различных типов	197
3. Секундомеры и часы с секундомером	211
4. Специальные часовые механизмы	222

Глава XI. Классификация электрических часов. Первичные и вторичные электрочасы	231
1. Классификация электрических часов	232
2. Принципиальная схема первичных и вторичных электрочасов. Характеристика их основных узлов и деталей	236
3. Часы гиревые с электроподзаводом	243
4. Часы пружинные с электроподзаводом	251
5. Часы с электроприводом прямого действия	254
6. Первичные электрочасы с приводом косвенного действия	259
7. Основные типы вторичных электрических часов	262
8. Электрочасовые установки единого времени	265
9. Устройство и работа синхронных часов	272
Глава XII. Ходовые качества часов и их испытания	275
1. Формулы и показатели аттестационных испытаний точных приборов времени	275
2. Контрольные испытания часов	278
3. Приборы для регистрации времени и контроля хода часов	283
Инструкция по работе на приборе П-12	291
Приложение I	294
Приложение II	306
Приложение III	318
Литература	331



Иван Семенович Беляков
ЧАСОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Технический редактор *Е. Н. Матвеева,*
В. Д. Элькин
Корректор *Д. Э. Семенова*

Сдано в производство 8/1 1957 г.
Подписано к печати 26/IV 1957 г
Т-05687. Тираж 10 000 экз. Печ. л. 21,0.
Уч.-изд. л. 21,0. Бум. л. 10,5.
Формат 60×92/16 Заказ 1626.

1-я типография Машгиза, Ленинград,
ул. Моисеенко, 10.