

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ
МАССЫ И ВРЕМЕНИ

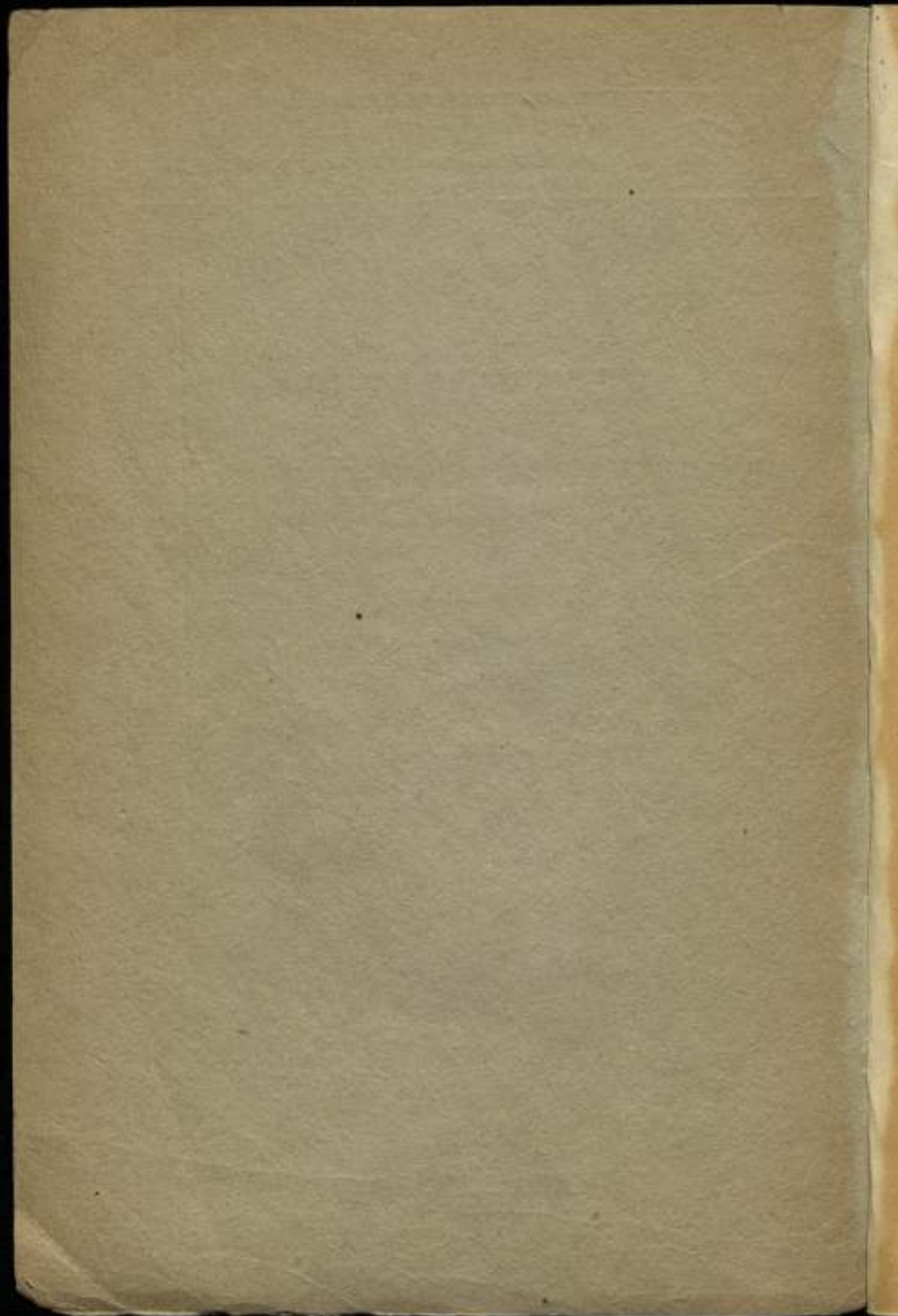
ТРУДЫ ВНИИМ

Сборник

ЛМТ

ВЫПУСК № 2 (57)

ИЗДАНИЕ ВНИИМ
ЛЕНИНГРАД 1947



КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ
МАССЫ И ВРЕМЕНИ

725864

ТРУДЫ ВНИИМ
Сборник

LMT

ВЫПУСК № 2 (57)

Под редакцией
В. Г. Махровского

ИЗДАНИЕ ВНИИМ
ЛЕНИНГРАД · 1947

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпускаемые после войны статьи, посвященные вопросам измерения длины массы и времени, объединены в одном сборнике. Такое объединение статей, необычное в прошлом, соответствует определенным сдвигам, революционизировавшим науку и технику в период последней войны. Жизнь и техника выдвигает комплексные проблемы, требующие методов, ранее известных узкому кругу специалистов. Границы между отдельными дисциплинами исчезают. Методы и выводы одной науки часто с незначительными изменениями переносятся в другую науку, обеспечивая скачкообразный прогресс. Примером может служить современная акустика, перестроившаяся под влиянием достижений в области радиотехники. Электроника находит применение почти во всех областях точных технических измерений. Установлению тесной необходимой связи между ранее редко обособленными отделами и лабораториями ВНИИМ и должны способствовать новые выпуски его трудов.

Это же объединение соответствует и организационным мероприятиям ВНИИМ, отражающим тенденции в развитии современной науки и техники: лаборатории мер длины, массы и времени объединены в первый отдел ВНИИМ — отдел основных единиц.

В сборнике вопросам измерения длины посвящены статьи П. П. Зубрилина и М. М. Забежинского. В первой статье изложены результаты исследования вертикального компаратора Брукса—Питтера, установленного в лаборатории мер длины. В связи с требованиями повышения точности компарирования и скорости этой трудоемкой метрологической операции это исследование представляет практический интерес.

Статья М. М. Забежинского освещает весьма актуальный вопрос об образцах качества поверхности в связи с вступлением в действие соответствующего ГОСТ 27—89—45.

Раздел вопросов измерения массы представлен статьей Г. Д. Коча, намечающей пути повышения точности взвешивания путем фотографической регистрации колебания весов.

Более полно представлен раздел вопросов измерения времени. В этот раздел помещена статья покойного [Н. Х. Прейнча], разработавшего детально программу испытания секундомеров.

Исследование В. Д. Деревянкина подтвердило удачный

подбор звезд покойным Н. Х. Прейlichem при определении в 1924 г. долготы ВНИИМ.

В статье М. П. Павлова изложена программа исследования свободного маятника, осуществление которой несомненно рационализирует методы расчета и конструирования астрономических часов.

Несомненно представляет интерес и статья С. С. Товчи-гречко, посвященная вопросу об определении цены оборота окулярного микрометра переносных астрономических инструментов.

П. П. ЗУБРИЛИН

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ КОМПАРАТОР СИСТЕМЫ БРУКС'а—ПИТТЕР'а ИССЛЕДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Высокие точности, требуемые в настоящее время машиностроительной промышленностью СССР при измерениях больших длин в лабораториях и цехах заводов с целью поддержания единства мер и получения необходимой взаимозаменяемости, а также трудности, возникающие при этом, настоятельно требуют изыскания методов и приборов для измерения образцовых мер с наивысшей метрологической точностью.

Из весьма небольшого числа имеющихся приборов, позволяющих в лабораторной обстановке производить исследование и поверку образцовых мер больших размеров (до 1000 мм), следует отметить вертикальный компаратор системы Брукс'а, изготавливаемый фирмой Питтер'а в Англии. Этот компаратор, несмотря на простоту конструкции и методику применения, позволяет производить довольно быстро чрезвычайно точные сравнительные измерения образцовых плоскопараллельных концевых мер до 1000 мм. В настоящей статье дается описание конструкции прибора, установленного в лаборатории мер длины ВНИИМ и приводятся результаты исследования, полученные автором во время блокады Ленинграда в 1942—1943 гг.

КОНСТРУКЦИЯ

На массивном чугунном кронштейне—основании рис. 1—1 шириной около 360 мм и толщиной 300 мм, укрепленном сквозными болтами на капитальной стене термостатного помещения лаборатории концевых мер ВНИИМа, установлена круглая, массивная, чугунная подставка рис. 1—2 диаметром 250 мм и высотой 95 мм. В нижней части подставки находятся три гнезда с установочными винтами рис. 1—3, расположенными через 120° и предназначенными для установки подставки в канавках, радиально прорезанных на верхней поверхности кронштейна—основания.

В верхней части подставки вырезаны: неглубокая круговая, а в центре цилиндрическая, выточки, куда вкладывается цилиндрическая цапфа рис. 2—2. Верхние круговые края выточки

рис. 2—1 и боковые (образующие) стороны цилиндра-цапфы весьма тщательно обработаны и доведены в отношении параллельности и плоскостности. На круговые края выточки и цилиндра-цапфу накладывается, вращающийся от руки вокруг цапфы, предметный столик (рис. 1—4 и 2—3) с весьма точно обработанными

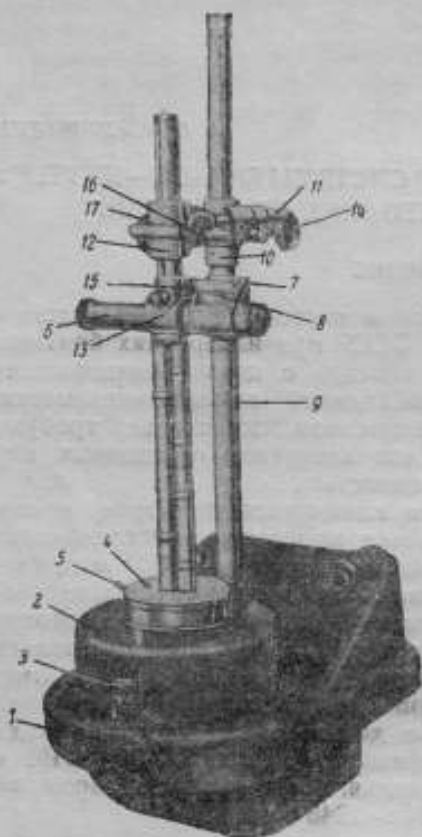


Рис. 1

и доведенными (верхней и нижней) поверхностями, диаметром 120 мм. Верхняя поверхность столика служит для установки исследуемых мер, а нижняя, имеющая такие же круговые выточки-пояски, как у подставки—опорой. Предметный столик, наложенный на подставку с тщательно обработанными поверхностями, можно поворачивать на 360° вокруг своей оси (цапфы) за рукоятку (рис. 1—5 и 5—11). От осевых смещений при вращении предметный столик удерживается образующими цапфы. Для предохранения от коррозии трущихся частей и облегчения движения перед накладыванием столика в камеру, образованные выточками в подставке, наливается чистое парафиновое масло.

Измерительная часть прибора весьма оригинальна и отличается от общепринятых компараторов, так как в основу конструкции, воспринимающей части „датчика“, компаратора системы Брукса положен уровень (рис. 3—1) большой чувствительности, благодаря тому, что его стеклянная трубка,

длиной 225 мм, имеет радиус кривизны около 150 м, а пузырек — 125 мм.

Уровень в виде небольшого желобка укреплен пластичной замазкой в точках Эри¹ на двух полукольцах (рис. 2—5, 7 и 3—2) алюминиевой подставки-держателя. В середине нижней части держателя двумя винтами с мелкой нарезкой (рис. 3—3), укреплен стальная пластинка 45×9 мм (рис. 3—4), на нижней поверх-

¹ Расстояние между точками Эри = $0,57735 L$, где L — длина стержня. Для уровня 225 мм эти расстояния будут: I (от начала) = 47,548 мм; II = 95,096 мм и III (от конца) = 47,548 мм.

ности которой впаяны на расстоянии 18 мм друг от друга два стальных шарика диаметром 6 мм (рис. 3—5), служащих измерительными контактными поверхностями уровня. На верхней поверхности пластинки в небольшой призматической канавке (рис. 3—6) вложен маленький, хорошо отделанный стальной цилиндр 9×2 мм (рис. 3—7), зажимаемый винтами (рис. 3—3) между пластинкой и нижней плоской поверхностью держателя уровня. Регулировкой этими винтами можно давать пластинке и соединенному с ней неподвижно уровню необходимые угловые смещения при установке его в нулевое положение. Держатель уровня (рис. 2—7) заключен в латунную трубку-оправу (рис. 1—6 и 3—8), где он в нерабочем состоянии лежит свободно на двух винтах-опорах (рис. 3—9), расположенных в нижней части оправы (рис. 3—8) в точках Эри. От продольных и поперечных перемещений держатель уровня удерживается прорезом в нижней части оправы (рис. 3—10), через который выходит пластинка с шариками, а вращение около оси — небольшим стерженьком (рис. 3—11), укрепленным

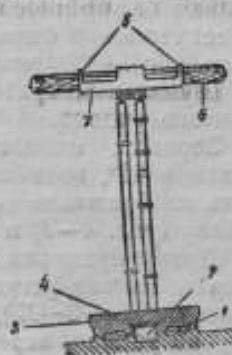


Рис. 2

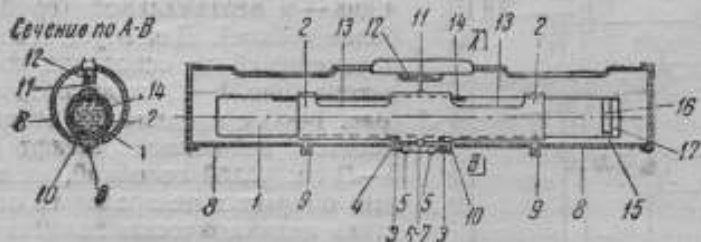


Рис. 3

на выступе посередине держателя уровня (рис. 3—2) и расположенном между двумя проволочными скобками (рис. 3—12), неподвижно укрепленными на планке внутри оправы в середине ее верхней части.

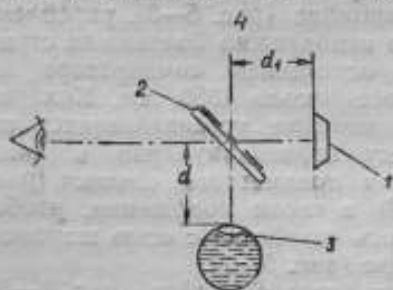


Рис. 4

Оправа уровня — латунная трубка, длиной 252 мм, диаметром около 37 мм, имеет по концам верхней части продольные вырезы длиной 75 мм, шириной 17,5 мм (рис. 3—13), служащие для наблюдения положения пузырька уровня. Наверху, с правой стороны оправы, укреплена рамка (рис. 1—7)

со шкалой и зеркалом, служащим (рис. 1—8 и 4—1, 2) для отсчетов показаний уровня и освещения шкалы, которое осуществляется при

помощи укрепленного на основной муфте (рис. 1—10) специального электроосветителя (рис. 7—1) с лампой типа „дрилипут“ (3V—0,1A), питаемой через трансформатор „Гном“. Для предохранения от хотя бы минимального нагревания уровня, осветитель, включенный только на короткое время, необходимое для отсчетов по шкале, имеет тепловой фильтр. Осветитель направляет на наклонное зеркало (рис. 4—2) пучок света совершенно достаточной интенсивности.

Шкала компаратора индивидуальная, точно рассчитанная для данного уровня.

Зеркало, наполовину посеребренное и наклоненное под углом в 45° , позволяет очень отчетливо, без паралакса, наблюдать изображение конца пузырька уровня, спроектированного на шкалу (рис. 4—1, и 6—3).

Длину пузырька уровня, при желании изменить цену деления шкалы, можно регулировать при помощи небольшой воздушной камеры (рис. 3—17), расположенной в левом конце стеклянной трубки уровня, переливанием в нее части жидкости через маленькое отверстие (рис. 3—15) в стеклянной перегородке (рис. 3—16).

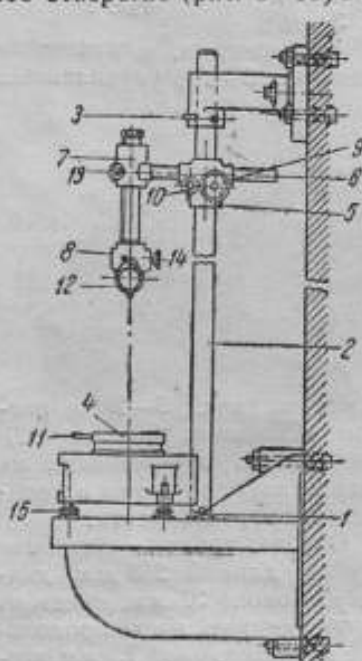


Рис. 5

Оправа с уровнем имеет перемещения: продольное и поперечное — в горизонтальной плоскости и два — в вертикальной (грубое и более тонкое). Для осуществления перемещений на основании компаратора (рис. 1—1) сзади подставки (рис. 1—2) с предметным столиком имеется небольшой штифт (рис. 5—1) с круглой головкой, на который опирается центральным отверстием цилиндрическая колонка (рис. 1—9 и 5—2) длиной около 1500 мм, диаметром 35 мм, верхний конец которой поддерживается тремя регулировочными винтами верхнего кронштейна (рис. 5—3), укрепленного неподвижно болтами на стене над основанием компаратора на высоте около 1350 мм. Колонка при монтаже устанавливается по отвесу перпендикулярно к плоскости предметного столика (рис. 5—4) в таком положении, чтобы ее ось совпала с осью шаровой опоры (рис. 5—1).

На колонку насажена основная муфта (рис. 1—10 и 5—5) с двумя параллельными направляющими (рис. 1—11 и 5—6), перпендикулярными колонке, на конце которых помещена вторая муфта (рис. 1—12 и 5—7) меньших размеров. Во вторую муфту входит трубка длиной около 220 мм, диаметром 30 мм, поддерживаемая при помощи третьей муфты (рис. 1—13 и 5—8) в форме

неполного кольца, оправу с уровнем (рис. 1—6 и 3—8). Обе направляющие первой муфты вращением маховичка (рис. 1—14 и 5—9) кремальеры с зубчатым зацеплением, перемещают оправу с уровнем в поперечном направлении. Маховичек (рис. 1—16 и 5—13) кремальеры второй муфты служат для поднимания и опускания оправы с уровнем, а маховичек (рис. 1—15 и 5—14) третьей муфты для перемещения ее в продольном направлении. Все указанные перемещения кремальер не имеют мертвых ходов, влияющих на результаты измерений в пределах точности прибора. Грубая установка основной муфты (рис. 1—10 и 5—5) производится от руки при предварительном откреплении стопорного винта (рис. 5—10).

Для наблюдения за температурным режимом исследуемых мер, около них помещен точный термометр (рис. 7—2) с делениями на $0^{\circ},1$, а весь прибор окружен застекленной витриной-шкафом, открываемой только во время отсчетов по шкале и установке мер.

Во избежание случайных падений мер со столика применяется изготовленный по конструкции автора специальный предохранитель в виде латунного кольца с державкой, соединенной с муфтой, скользящей по колонке и закрепляемой на ней стопорными винтами на необходимой высоте. Кольцо-предохранитель имеет внутри мягкую прокладку (рис. 7—3).¹

УСТАНОВКА И ЮСТИРОВКА ПРЕДМЕТНОГО СТОЛИКА

После сборки компаратора и тщательной поверки взаимодействия всех его частей приступают к окончательной юстировке, которую начинают с предметного столика (рис. 1—4).

Перед началом юстировки необходимо предметный столик снять с подставки (рис. 1—2), приподняв его за край небольшим латунным рычажком, промыть чистым авиационным бензином внутренние камеры для масла (рис. 2—1), цилиндр-цапфу (рис. 2—2), и пояски, на которых лежит столик. Затем налить в камеры (рис. 2—1) парафиновое масло, как рекомендует фирма Питтер'а, или, как сделали мы, — вазелиновое („медицинское“) и осторожно (без ударов) наложить столик на центральную цапфу (рис. 2—2) и поясок (рис. 2—1). Если при пробе столик будет легко приподниматься, то следует дать ему некоторое время (1—2 часа) полежать спокойно, после чего он надлежащим образом займет свое место. Хорошее прилегание втушек поясков подставки и столика друг к другу характеризуется тем, что столик при поворотах за ручку (рис. 1—5) вокруг своей оси, будет легко вращаться и может быть приподнят только рычажком. Избыток масла, вытесненный столиком из камер (рис. 2—1, 2), собирается тряпкой или пропускной бумагой.

¹ Термометры и предохранителя в конструкции прибора Брукса-Питтер'а не было. В дальнейшем ходе работ предполагается заменить термометр термометрами.

В горизонтальное положение столлик приводится при помощи небольшого чувствительного уровня, который накладывается на его измерительную поверхность (рис. 1—4). Вращением столлика без перекалывания уровня, регулировкой трех установочных винтов (рис. 1—3) подставки, находят такое положение, когда уровень, положенный на измерительную поверхность столлика, при всех поворотах последнего вокруг своей оси (по крайней мере через 45°), не даст заметных отклонений.

Полученное положение фиксируется контргайками установочных винтов (рис. 1—3 и 5—15) подставки (рис. 1—2).

После этого приступают к предварительной установке колонки (рис. 1—9), для чего сначала на нее надевают основную муфту (рис. 1—10), поддерживающую в собранном виде всю систему уровня, а также муфту предохранителя (рис. 7—8). Затем колонку верхним концом вводят между тремя винтами (рис. 5—3) верхнего кронштейна (рис. 5), а нижним устанавливают на шаровую опору (рис. 5—3). Регулируя тремя винтами колонку, приблизительно, устанавливают в вертикальное положение которое контролируют отвесом.

Окончательная установка и юстировка производится при помощи уровня компаратора (рис. 1—6 и 3—1). С этой целью уровень двумя регулировочными винтами (рис. 3—9), поддерживающими опрау-держатель (рис. 3—8) с уровнем в точках Эри, приводится в среднее положение шкалы (10-е деление), т. е. в такое, когда правый („рабочий“) конец пузырька (рис. 3—14 и 6) будет останавливаться после успокоения, примерно, около 10-го деления шкалы. Окончательная юстировка колонки производится при помощи уровня (компаратора), для чего основная муфта (рис. 1—10), одетая на колонку, вращается от руки через 90° вокруг нее на разных высотах через 200—250 мм и после каждого поворота наблюдается положение пузырька уровня, приведенного заранее в среднее положение. Отклонения пузырька уничтожаются регулировкой трех винтов (рис. 5—3) верхнего кронштейна. Регулировка этими винтами продолжается до тех пор пока от поворотов основной муфты во всех положениях правый („рабочий“) край пузырька не будет сохранять среднего положения. Во избежание повреждений при поворотах основной муфты, опускать уровень ниже 100 мм — не следует.

УСТАНОВКА УРОВНЯ В НУЛЕВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Установка уровня компаратора в нулевое (исходное) положение и приведение его показаний к средней точке шкалы производится следующим способом. Открепляется стопорный винт (рис. 5—10) основной муфты (рис. 5—5). Муфта, поддерживаемая рукой, очень медленно опускается, со скольжением по колонке, вниз до тех пор, пока шаровые измерительные поверхности (рис. 3—5) уровня не окажутся на расстоянии около 8—10 мм от центра измерительной поверхности предметного столлика (рис. 1—4, 5—4). В этом положении основная муфта закрепляется стопорным

винтом. Вращением маховичка (рис. 1—16) второй муфты (рис. 1—12), держатель с точным уровнем медленно и плавно опускают до тех пор, пока его шаровые измерительные поверхности (рис. 3—5) не придут в соприкосновение с поверхностью предметного столика, после чего очень осторожно продолжают опускание еще, но не более 0,5—0,6 мм. Таким образом, приподнятый уровень (рис. 3—1) с винтов, его приводят в „свободное“ положение, т. е. в такое, когда он, под действием собственного веса, только лишь опирается на измерительную поверхность столика (рис. 1—4) двумя измерительными шариками (рис. 3—5) и становится не связанным со своей оправой (рис. 3—8). Установка измерительных шариков уровня (рис. 3—5) симметрично относительно центра поверхности столика (на глаз), производится продольными и поперечными перемещениями кремальер (рис. 1—14, 15 и 5—9, 14) перед окончательным опусканием уровня (рис. 1—6). После этого, если замечается, что пузырек уровня выходит за пределы шкалы (рис. 6), или правый край его слишком смещен относительно середины шкалы, то кремальерой (рис. 1—16 и 5—13) поднимают муфту с уровнем (рис. 1—13) и осторожной (тонкой) регулировкой двух винтов (рис. 3—3) стальной пластинки (рис. 3—4), находят такое

положение уровня, когда правый „рабочий“ край пузырька, при опущенном до соприкосновения со столиком уровня, будет находиться в середине шкалы. Подняв кремальерой уровень, поворачивают столик за ручку (рис. 5—11 и 1—5) на 180° и, опустив уровень, как было указано, снова наблюдают положение пузырька. Если он уходит с середины шкалы, то регулировкой теми же винтами снова приводят его в среднее положение.

Эту юстировку продолжают до тех пор, пока повороты столика вокруг своей оси не перестают оказывать большого (не более 0,2—0,3 деления шкалы) влияния на показания пузырька уровня. Такую юстировку считают окончательной.

Как было указано, все измерения производятся преимущественно вблизи центра предметного столика, но так как иногда приходится пользоваться для продольных и поперечных перемещений уровня кремальерами (рис. 1—14, 15) в пределах всей поверхности столика, то необходимо исследовать постоянство показаний уровня и в этих положениях. С этой целью уровень при помощи кремальеры (рис. 1—14) основной муфты (рис. 1—10) устанавливают на поверхности столика не менее чем в трех поперечных положениях, причем перестановка кремальер производится непременно только тогда, когда уровень (рис. 1—6) не-

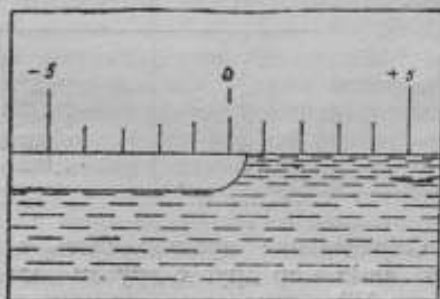


Рис. 6

сколько (10—15 мм) приподнят и измерительные шарики не касаются поверхности столика. То же самое проделывают в продольных положениях, действуя кремальерой (рис. 5—14) средней муфты (рис. 1—13 и 5—8). Обычно эти отклонения благодаря хорошему выполнению кремальер и произведенной юстировке, заметных влияний, при сравнительном методе, применяемом на компараторе, не оказывают. В случае обнаружения больших отклонений уровня, необходимо проверить правильность установки столика и показания уровня в центральном положении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ ШКАЛЫ

Цена одного деления шкалы в нашем исследовании определялась при помощи плоскопараллельных концевых мер предварительно измеренных абсолютным интерференционным методом. Концевые меры применялись следующих размеров:

№№ по порядку	Размеры в мм	
	номинальный	действительный
1	1,004	1,00399
2	1,005	1,00491
3	1,006	1,00591
4	1,007	1,00689
5	1,008	1,00784

Определение производилось в последовательном сравнении указанных мер друг с другом согласно методу, указанному ниже (глава VI).

Порядок сравнения мер был следующий:

мм	и	мм
1,004	и	1,005
1,004	.	1,006
1,005	.	1,006
1,005	.	1,007
1,006	.	1,007
1,006	.	1,008

В результате определения путем сравнения указанных мер друг с другом на компараторе были получены следующие значения для цены одного деления шкалы уровня:

0,208	микрона
0,243	.
0,254	.
0,228	.
0,249	.
0,245	.

Среднее 0,238 микрона

или округляя, можно считать за цену одного деления шкалы 0,24 микрона, со средней квадратичной погрешностью из большого ряда определений: $\varepsilon_1 = \pm 0,017$ микрона.

Средняя квадратичная погрешность результата: $\varepsilon_m = \pm 0,007$ микрона. Наибольшая возможная погрешность $3\varepsilon_m = \pm 0,021$ микрона.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

После приведения всех частей компаратора в должное взаимодействие и окончательной юстировки их, измерение концевых мер с плоскопараллельными поверхностями производится следующим образом.

Открывают стопорный винт (рис. 1—17 и 5—10) основной муфты (рис. 1—10) и, поддерживая ее снизу, поднимают всю измерительную часть по колонке на высоту, не превышающую, примерно, на 10—15 мм номинальный размер исследуемой меры. Затем закрепляют винт (рис. 1—17) и, открепив винт (рис. 1—15) средней муфты (рис. 1—13), поднимают кремальерой (рис. 1—16) держатель вместе с уровнем (рис. 1—6) еще на 20—25 мм. Промывают поверхность столика (рис. 1—4) чистым (авиационным) бензином (но не спиртом) и протирают до суха чистым, тонким (батистовым) полотенцем или марлей (но не стерильной). Устанавливают столик в такое положение, чтобы ручка (рис. 5—11), служащая для поворота столика, находилась справа относительно наблюдателя, примерно, на 90°. После этого весьма осторожно (без ударов) ставят вертикально вблизи центра столика образцовую, поверенную, меру, предварительно промытую и вытертую насухо, такого же номинального размера, как испытуемая.

Берут меру правой рукой у ее основания и легкими, продольными, поперечными и круговыми перемещениями по поверхности столика, „притирают“ к нему меру. „Притирка“ должна быть такой, чтобы между измерительными поверхностями меры и столика чувствовался довольно сильный контакт и потребовалось бы большое усилие при отрывании меры от столика в перпендикулярном к поверхности столика направлении.

Проба „на отрывание“ должна производиться очень осторожно, чтобы случайно не ударить измерительной поверхностью меры по измерительным шарикам уровня, что может повлечь за собой порчу измерительной поверхности меры и стеклянной трубки уровня.

Установив образцовую меру, слева от нее, таким же приемом, устанавливают испытуемую и располагают обе меры по продольному диаметру столика, симметрично (на глаз) около его центра и на таком расстоянии друг от друга, чтобы шарики (рис. 3—5) уровня приходились, примерно, в центре измерительных поверхностей обеих мер.

По конструкции прибора исследуемые меры не должны отличаться по своим размерам друг от друга более, чем на $\pm 0,002$ мм.

Вращением винта кремальеры (рис. 1—16) средней муфты опускают держатель с уровнем (рис. 1—13) до такого положения, чтобы измерительные шарики (рис. 3—5) уровня пришли в со-

прикосновение с серединами измерительных поверхностей установленных мер. Если такого положения не случится, то необходимо кремальерой поднять на 10—15 мм держатель (рис. 1—13) с уровнем и перестановкой мер на столике, а также небольшими перемещениями держателя, кремальерами (рис. 1—14, 15) в продольном и поперечном направлениях, а иногда незначительным вращением основной муфты (рис. 1—10) вокруг колонки (рис. 1—9), найти такое положение, чтобы по возможности, середины исследуемых мер находились под центрами измерительных шариков уровня. Надо заметить, что установка на середины мер возможна только в том случае, когда расстояние между их серединами будет около 18 мм. Во избежание повреждения измерительных мер, в то время, когда измерительные шарики находятся в касании с мерами, передвижение держателя с уровнем — не допускается.

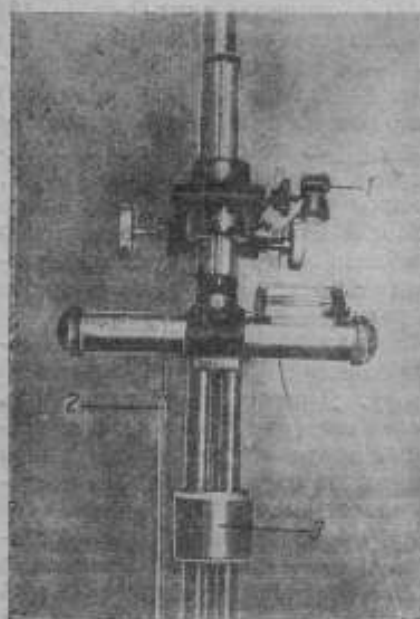


Рис. 7

Затем, маховичком (рис. 1—16) держатель с уровнем медленно опускают и приводят измерительные шарики (рис. 3—5), в касание с поверхностями мер. Еще немного (не более 0,5—0,6 мм, а то стеклянная трубка уровня может разбиться!) продолжают опускание уровня вниз, пока не будет чувствоваться, что он принял „свободное“ положение, дают всей установке „успокоиться“ и принять мерам, близкую друг к другу температуру, на что требуется 15—60 мин. (в зависимости от длины мер), делают отсчеты: а) положения правого конца пузырька уровня, спроектированного на шкалу (рис. 6), стараясь заметить его до 0,1 деления и б) отсчет по термометру (рис. 7—2). Такую установку, с последующими отсчетами, повторяют не-

сколько раз (3—5), записывают показания в дневник и вычисляют среднее арифметическое из них (А).

Произведя первый отсчет, поднимают маховичком держатель с уровнем на 2—5 мм и, для уничтожения небольших погрешностей, происходящих от перекоса предметного столика, поворачивают за рукоятку (рис. 1—5) столик вместе с мерами на 180°. Снова опускают уровень вниз до соприкосновения измерительных шариков с поверхностями исследуемых мер, производят наблюдение в порядке, как было указано выше и получают второй результат (В).

Зная значение цены одного деления шкалы уровня (S) и два результата (A и B)—первое положение (A) правого края пузырька уровня когда образцовая мера находится справа от наблюдателя и (B) второе после поворота столика на 180° , найдем, что:

$$\frac{A-B}{2} \cdot S = \Delta \text{ микрон,}$$

где Δ —разница в размерах между образцовой и исследуемой мерами.

Для того, чтобы определить, какая из двух сравниваемых мер больше другой, необходимо заметить, при записи полученных отсчетов по шкале, расположение мер на предметном столике и считать, что та мера по своим размерам больше, в сторону которой пузырек уровня дает большие показания (отклонения).

Для примера произведем сравнение двух плоскопараллельных концевых мер фирмы Иоганссона, качества „АА“ и „А“ размерами по 100 мм каждая.

Принимая за меру сравнения концевую меру качества „А“ находим, что при положении меры „А“ справа от наблюдателя, отсчет (в среднем) по шкале уровня равен: 11,2 деления шкалы.

При повороте предметного столика, с установленными на нем мерами, на 180° отсчет был 6,8 деления шкалы, следовательно, половина разности между отсчетами определит величину, на которую одна мера больше другой, выраженную в делениях шкалы

$$\frac{11,2-6,8}{2} = 2,2 \text{ деления шкалы.}$$

Известно, что при положении на столике меры „А“ справа от наблюдателя, отсчет (11,2 деления) по шкале получился больше чем после поворота столика на 180° (6,8 деления), т. е. когда мера „А“ была переведена на левую сторону, поэтому можно заключить, что мера „АА“ меньше меры „А“ на 2,2 деления шкалы. Приняв во внимание цену деления шкалы уровня, равную 0,24 микрона, получим, что мера „АА“ меньше меры „А“ на $2,2 \cdot 0,24 = 0,53$ микрона.

Так как действительный размер меры „А“ = 100,00233 мм, то следовательно мера „АА“ равняется

$$100,00233 - 0,00053 = 100,0018 \text{ мм} \pm 3 \mu$$

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КОНЦЕВЫХ МЕР ДО 1000 мм

При определении наибольшей возможной погрешности, получаемой в результате измерений на компараторе системы Брукса-Питтера принята формула:

$$\pm (a + bL),$$

где a — сумма постоянных погрешностей;

bL — сумма погрешностей, пропорциональных длине L меры

В предположении, что весь прибор отъюстирован правильно и дефектов, влияющих на результаты измерений в конструкции, не имеется, погрешность измерения будет зависеть от полученных опытным путем при исследовании компаратора:

1. Постоянных погрешностей: а) погрешности определения цены одного деления шкалы уровня, которая равна $\pm 0,021$ микрона; б) погрешности отсчета по шкале уровня, равной, $\pm 0,024$ микрона, как 0,1 цены одного деления (0,24 микрона) шкалы; в) погрешности, происходящей от разницы в „притирке“ концевых мер к поверхности предметного столика и равной $\pm 0,1$ микрона.

2. Погрешностей, пропорциональных длине (L), измеряемых концевых мер: а) погрешности, равной $\pm 0,66 \cdot 10^{-6} L$, происходящей вследствие разности коэффициентов линейного расширения, сравниваемых мер, в предположении, что она не превышает $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ при отклонении температуры помещения от нормальной (20°C) на $\pm 0^\circ,3 \text{C}$; б) погрешности отсчета термометра $\pm 0^\circ,02 \text{C}$ и в) погрешности поверки термометра $\pm 0^\circ,01 \text{C}$.

Суммируя погрешности пп. 1-го и 2-го найдем, что наибольшая возможная погрешность измерения на вертикальном компараторе системы Брукс'а-Питтер'а будет:

$$\pm 0,045 + 0,66 \cdot 10^{-6} L \text{ микрона.}$$

В случае же, когда меры (образцовая и исследуемая) будут иметь один и тот же линейный коэффициент расширения, эта погрешность будет (с округлением) лишь $\pm 0,05$ микрона.

Что касается погрешностей, происходящих: а) от разности температур между исследуемыми мерами, установленными рядом на предметном столике прибора, б) от „притирки“ мер к столику и в) от непрямолинейности основной колонки, то эти погрешности во внимание не приняты, потому что в случае (а) меры в окружающей среде находятся при одинаковых температурных условиях, не подвергаясь одностороннему нагреву, так как весь прибор защищен особой витриной, а меры, кроме того, — бумажным экраном в виде раздвижной (телескопической) трубы, устанавливаемой на столик. Погрешности (б) и (в) компенсируются вследствие сравнительного метода измерений, применяемого на этом приборе и поворота предметного столика на 180° .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произведенное выше исследование вертикального компаратора системы Брукс'а-Питтер'а и установление методики измерения на нем плоскопараллельных концевых мер до 1000 мм с весьма высокой точностью, позволяет считать этот измерительный прибор одним из самых точных.

Большая простота всех приемов, применяемых в процессе работы на нем, и несложность конструкции дают возможность

в лабораторной обстановке производить исследования образцовых концевых мер с очень высокой точностью, приближающейся для больших размеров к методу интерференции, но требующей гораздо менее времени и расчетов.

Оригинальность конструкции, в основу которой положен уровень большой чувствительности, должна быть учтена приборостроением СССР для использования ее в новых измерительных приборах, конструируемых для лабораторий наших машиностроительных заводов, в особенности оборонного значения, с целью поддержания единства их образцовых мер и получения качественных и взаимозаменяемых изделий.



К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗЦАХ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Всесоюзным комитетом стандартов утвержден новый ГОСТ 2789—45 „Чистота поверхностей. Микрогеометрия поверхности. Классификация и обозначения“. Срок введения стандарта установлен с 1 января 1946 г., но до сих пор на многих заводах отсутствует необходимая аппаратура для измерения $H_{\text{ср}}$.

Многие заводы вышли из этого затруднительного положения, создав образцы чистоты поверхности, аттестованные по шкале ГОСТа 2789—45.

Оценка чистоты поверхности по образцам является непревзойденной по своей простоте и наглядности.

В настоящей статье дается обзор современного состояния вопроса изготовления образцов.

Впервые образцы чистоты поверхности были изготовлены в США, вскоре после первой мировой войны в связи с некоторыми технологическими проблемами.

Еще до первой мировой войны [1] инженеры-механики США обратили внимание на сравнительно большой срок службы двигателей, находящихся на немецких подводных лодках. Более тщательное исследование этих подводных лодок после войны показало, что поршень, цилиндр и др. детали имели очень хорошую чистоту поверхности и были выдержаны по размерам в пределах допусков. Этот факт явился отправной вехой в отношении более внимательного изучения проблемы чистоты поверхности.

Главный конструктор фирмы Барбер-Кольман (Barber Colman Co [2]) США установил образцы чистоты поверхности шести степеней: F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , F_5 и F_6 . Все эти шесть градаций чистоты были воспроизведены на одном бруске. В дополнение к образцам имелась инструкция по их применению. Эти образцы находились во всех цехах и конструкторском бюро, и, таким образом, обозначение чистоты поверхности на чертежах проводилось в соответствии с этими образцами.

Гаррисон — главный инженер завода Cincinnati (Цинцинати) США [3] ввел в качестве образцов набор цилиндрических пробок диаметром в 25 мм, обработанных только шлифовкой с различными степенями отделки и из разных материалов: мягкая сталь, цементированная сталь и т. д.

Были установлены 4 степени отделки, причем указана величина зернистости изждачного круга, которым достигалась соответствующая степень отделки.

Диль — член общества американских инженеров-механиков ввел на заводе шлифовальных станков фирмы Norton Co (Нортон Ко) [4] три класса чистоты обработки: а) точная отделка, б) обыкновенная отделка и в) грубая обработка (рис. 1).

Были изготовлены образцы всех трех классов чистоты для следующих видов обработки: обточка, расточка, шлифовка, строжка и фрезеровка.

На Бранденбургском моторостроительном заводе (Германия) [5] были введены образцы чистоты поверхности только по шлифовке: 1) грубая шлифовка от 16 до 40 микрон $H_{\text{макс}}$; 2) средняя шлифовка от 6 до 16 микрон; 3) точная шлифовка от 3 до 4

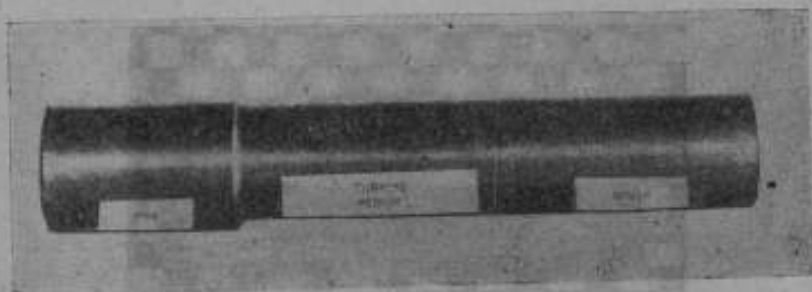


Рис. 1

микрон; и, наконец, для калибров и измерительных инструментов $H_{\text{макс}}$ меньше 2 микрон.

Образцы изготовлены из автоматной стали и форма их была такова, что все 4 градации чистоты были расположены в виде поясков на валу диаметром 10 мм и длиной 135 мм (рис. 2 и 3).

Образцы имели зафиксированные режимы резания, которыми достигалась их окончательная отделка.

Несмотря на то, что в США очень широко применяется профилометр Аббота для оценки чистоты поверхности, все же многие заводы и даже отдельные отрасли промышленности, наряду с прибором Аббота, применяют образцы чистоты поверхности, имеющие числовую оценку согласно Американскому стандарту, введенному в действие в 1940 г.

Так, например, в артиллерийском производстве США [6] введены единые образцы чистоты поверхности в апреле 1941 г. Для разработки образцов была создана комиссия, в состав которой вошли представители артпроизводства, боеприпасов, научно-исследовательских институтов, приемщики военного ведомства и другие. Комиссия поставила перед собой две задачи.

1. Установить требуемую чистоту поверхности для деталей артпроизводства.

2. Установить образцы чистоты поверхности для контрольных целей.

Для выполнения вышеуказанных задач были затребованы у шести заводов образцы чистоты поверхности, которые, по их мнению, соответствуют символам, принятым для обозначения на чертежах чистоты поверхности артиллерийских деталей.

Более 100 образцов были исследованы на различных приборах и в результате приняты единые образцы чистоты поверхности в артопроизводстве США. Образцы классифицируются:

1) по видам обработки (обточка, грубая шлифовка, тонкая шлифовка, фрезеровка, лапид-процесс, полировка и т. д.);

2) по роду материала (сталь, латунь, бронза и монель-металл);

3) по режимам резания.

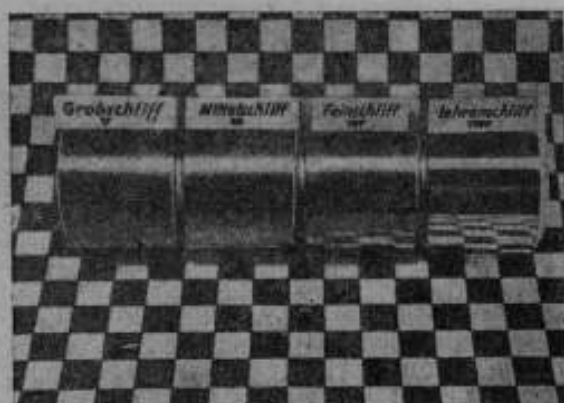


Рис. 2

Режимы резания зафиксированы достаточно подробно. Так, например, в случае обработки резцом зафиксированы его геометрия, подача, скорость резания и состав охлаждающей жидкости.

Комиссия решила все эти образцы чистоты поверхности оформить в виде набора плоских плиток прямоугольной формы, изготовленных из нержавеющей стали подобно тому, как это было осуществлено фирмой Джeneral-Электрик Ко в течение войны. Всего изготовлены 21 плитка, характеризующие семь степеней чистоты поверхности. Каждая из 4 плиток, характеризующих наиболее грубую поверхность, разделялась на 4 отдельных плитки, обработанных различными методами, но характеризующих одну чистоту поверхности. Каждая из 2 разделялась на 2, также соответственно методам обработки. Плитка с наиболее гладкой поверхностью являлась целой и имела размер $50 \times 44,5$ мм. Все эти образцы находились в удобной металлической коробке.

Для оценки чистоты поверхности деталей по образцам комиссия рекомендовала применять визуальный метод и способ оценки на-ощупь.

Подобные образцы чистоты поверхности изготовлены в авиационной промышленности США [7] в 1945 г. (фирма Дуглас и другие) и других отраслях металлообрабатывающей промышленности [10, 12, 13, 14].

В СССР, судя по периодической печати, образцы чистоты поверхности впервые введены на заводе им. Калинина в 1935 г. Они были изготовлены в виде плоскостей прямоугольной формы, цилиндров, разрезанных в осевом сечении (для облегчения) и вкладышей. Образцы нормализовали следующие виды обработки:

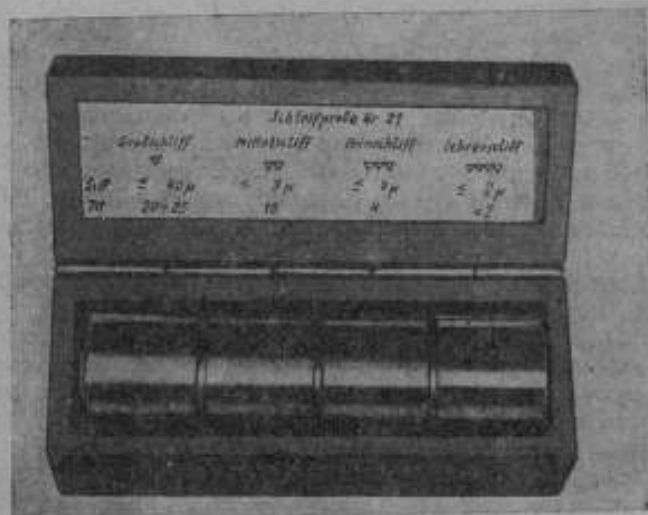


Рис. 3

обточка, шлифовка круглая, расточка, сверление, развертывание, плоская шлифовка, фрезерование лобовым фрезером, фрезерование цилиндрическим фрезером, строгание и опиловка.

Образцы изготовлены таким образом, что они показывают минимальную чистоту поверхности, соответствующую тому или иному условному обозначению. Для предохранения от коррозии образцы покрывались тонким слоем бесцветного лака. Лак изготавливается следующим образом. В железный ящик наливают 85—90 г бензина и прибавляют 10—15 частей олифы, в которую предварительно вводится 2% сиккатива. Смесь хорошо перемешивают до полного растворения олифы, после чего лак готов к употреблению.

Перед покрытием лаком образцы обезжириваются в бензине и травятся в 5-процентном растворе серной кислоты, затем промываются в воде и нейтрализуются в щелочном растворе. Кроме

того, перед погружением в лак образцы прогревают до температуры 110—120°.

Лаборатория резания завода ГАЗ разработала образцы чистоты поверхности по некоторым деталям (в частности по поршневому пальцу) в связи с систематическим ухудшением чистоты поверхности, наблюдавшимся в течение двух лет с 1937 по 1939 г. [8]. Оценка чистоты поверхности деталей относительно образцов производилась при помощи микроскопа Буша.

Горьковский завод фрезерных станков в 1937 г. применял образцы, изготовленные в виде чугунной линейки и на ней с семью разными подачами были профрезерованы отдельные участки, каждый из которых соответствовал определенной степени чистоты поверхности. Таким образом, чистота поверхности оценивалась семибальной шкалой [9].

На заводе им. Павлова [10] образцы нормализовали 7 градаций чистоты обработки, обозначенной ∇ , 3 градации— $\nabla\nabla$ и 3 градации— $\nabla\nabla\nabla$; кроме того имелись образцы врезки резьбы резцом и токарной обточки фасонным дисковым резцом.

Лаборатория резания завода им. П. И. Баранова [10] разработала систему образцов чистоты поверхности в 1939 г. Образцы нормализовали следующие градации: ∇ был подразделен на 3 подкласса (∇ , $\nabla 1$ и $\nabla 2$) и $\nabla\nabla$ —на 2 подкласса ($\nabla\nabla 1$ и $\nabla\nabla 2$); образцы изготовлены по следующим видам обработки: обточка, фрезеровка, круглая шлифовка, плоская шлифовка, развертка и протяжка. Образцы выполнены в виде плоскостей прямоугольной формы и цилиндров, причем на последних имеется два пояска, каждый из которых соответствует определенной степени чистоты. Принятые на заводе образцы изготовлены из стали, бронзы, чугуна, алюминиевых сплавов и дуралюмина.

Кроме того, изготовлены образцы чистоты поверхности в виде деталей—образцов авиадвигателя: палец поршня, золотник, поршень, ролик толкателя, шатуны и т. д.

Оценка чистоты производилась визуально (для грубых поверхностей) и при увеличении в 5 крат и более (для тонкой обработки).

Лаборатория резания завода разработала таблицу подачи в миллиметрах на оборот детали и инструмента для получения чистоты обработки, соответствующей образцам.

Инженеры Лигский и Сухарев [10] разработали образцы чистоты поверхности на одном из авиационных заводов. Образцы выполнены в виде призматических брусков и цилиндров, причем каждая градация чистоты представлена площадкой или пояском поверхности, отделенных от других градаций канавками.

Следует отметить, что инженеры Лигский и Сухарев предложили весьма интересные таблицы по установлению связи между чистотой обработки образцов с допусками на обработку и режимами резания.

Автору этой статьи дополнительно известны образцы чистоты поверхности следующих заводов: 1) Ковровского завода (52 образца), 2) Ижорского завода; 3) ЛОМЗа; 4) завода „Большевик“

(32 образца); 5) завода „Прогресс“ (70 образцов); 6) Кировского завода (27 образцов).

Из краткого обзора видно, что образцы чистоты поверхности не утратили своего значения и при наличии специальных измерительных приборов.

Ввиду отсутствия подробных руководящих материалов по изготовлению образцов чистоты поверхности, автор предлагает руководствоваться следующими отправными положениями при изготовлении образцов.

1. На заводе создается комиссия, в состав которой, помимо других, должны войти обязательно представители ОТК, отдела главного механика и отдела главного конструктора.

2. Под руководством этой комиссии производят отбор деталей как на промежуточных, так и на конечных операциях.

Параллельно с этой работой следует зафиксировать режимы резания, имевшие место при изготовлении отбираемых деталей.

3. Далее следует изготовить образцы всех применяемых на заводе видов обработки с постепенно улучшающейся чистотой, т. е. начиная от грубой обдирочной операции и кончая тщательной доводкой.

Желательно готовить образцы с таким расчетом, чтобы чистота образца могла быть легко отличима на-глаз от чистоты предыдущего.

В случае тонкой шлифовки и доводки следует пользоваться лупой с увеличением в 5—10 раз (при отсутствии микроскопа Буша).

4. После этого комиссия совместно с представителями цехов выбирает те образцы, которые по своей чистоте наиболее близко соответствуют отобранным деталям и изделиям.

5. Создав, таким образом, образцы чистоты, отображающие всю гамму степеней чистоты поверхностей, изготавливаемых заводом, следует их классифицировать по ГОСТу 2789—45, передавая этого в отраслевые исследовательские институты или, в крайнем случае, в Управление мер и измерительных приборов при Совете министров СССР.

6. Рекомендуем готовить образцы чистоты следующих геометрических форм:

а) для обточки и круглой шлифовки — в виде цилиндра, на котором нанесены ряд поясков, отделяющих одну градацию чистоты от другой. Диаметр цилиндра 30—50 мм. Один такой валик длиной 200 мм может отображать 6—7 градаций чистоты;

б) для обработки плоскостей — в виде брусков прямоугольного сечения. Для особо ответственных деталей с небольшими габаритами следует готовить образцы в виде детали.

7. Все образцы следует покрыть бесцветным лаком и поместить в коробку. Один комплект образцов, измеренный в отраслевом исследовательском институте или в Управлении мер и измерительных приборов, следует хранить в качестве основного набора в измерительной лаборатории. Все остальные комплекты

образцов чистоты находятся в ТНБ, ОТК, конструкторском отделе, отделе главного технолога и в цехах.

Кроме того следует разработать инструкцию по применению образцов чистоты поверхности, утвержденную главным инженером завода. В этой инструкции указать ряд данных (режимы резания, геометрия резцов и т. д.), характеризующих образцы чистоты поверхности.

В дополнение к инструкции следует указать порядок пользования образцами.

РЕЗЮМЕ

1. Несмотря на наличие в США огромного числа приборов для измерения чистоты поверхности (профилометр Аббота, прибор Браша и другие), все же образцы широко применяются в заводских условиях, так как они просты в обращении и более наглядно иллюстрируют ту или иную степень чистоты поверхности, чем одна величина N_{ex} .

2. Особенно широко распространены образцы чистоты поверхности в США и, главным образом, в отраслях, связанных с военной промышленностью (артиллерийские и авиационные заводы).

3. Наши передовые отечественные заводы, до введения нового ГОСТа 2789—45, провели большую работу в деле установления образцов чистоты поверхности.

4. Ввиду отсутствия на большинстве наших заводов производственной аппаратуры по измерению чистоты поверхности и введению срока действия нового ГОСТа 2789—45 с 1 января 1946 года необходимо заводам срочно изготовить образцы чистоты поверхности, которые должны быть переданы отраслевым институтам на предмет оценки их по ГОСТу 2789—45.

ЛИТЕРАТУРА

1. Machinist L., 21 ноября 1936 г.
2. American Machinist, 16 мая 1931 г., стр. 581.
3. Abrasive Industry, январь 1931.
4. Mechanical Engineering № 10, 1931, стр. 723.
5. Schleif und Poliertechnik № 7, 1940, стр. 98.
6. Mechanical Engineering, октябрь 1942, стр. 703.
7. Western Machinery and Steel World, июль 1945, стр. 310.
8. Автостроитель, № 8, 1939.
9. Станки и инструмент № 7, 1937.
10. Авиапромышленность № 9 и № 11, 1939.
11. Изготовление образцов чистоты поверхности, Machinery Market № 2199, 1942, стр. 15.
12. Авиационные стандарты по чистоте поверхности, Product Engineering № 11, 1942, стр. 638.
13. Образцы чистоты поверхности, Machinery N. L., № 10, 1944, стр. 192 и 200.
14. Образцы чистоты поверхности в авиационной промышленности, Product Engineering № 9, 1944, стр. 622.

О ПРИМЕНЕНИИ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОЛЕБАНИИ ВЕСОВ

Вопрос о повышении точности измерения массы тел путем взвешивания приобретает все большее и большее значение не только для чисто метрологических целей, но и в области современной науки и техники вообще. „В природе — мера и вес суть главные орудия познания и нет столь малого, от которого не зависело бы все крупнейшее“ — пишет Д. И. Менделеев в своей работе „О приемах точных или метрологических взвешиваний“. Во ВНИИМ неоднократно обращались с просьбой указать способы определения массы порядка 1—2 г с относительной точностью до 10^{-8} — 10^{-6} . Одновременно поступают запросы об определении массы в 1 м с точностью до 10^{-8} , то есть с точностью 10 мкг. Эти запросы научных лабораторий и промышленности должны быть удовлетворены в наискратчайший срок, для чего предстоит проделать значительную работу по улучшению конструкции весов и усовершенствованию методики взвешивания.

В настоящее время наибольшей точности метрология достигла в области определения массы платиноиридиевых килограммов, являющихся национальными эталонами массы, для которых Международное бюро мер и весов при сличениях их с международным эталоном массы, платиноиридиевым килограммом, дает значение массы с относительной точностью $2 \cdot 10^{-8}$.

Такая же точность сличения платиноиридиевых килограммов была осуществлена впервые в России под руководством Д. И. Менделеева в Главной палате мер и весов. Эта точность сличения платиноиридиевых килограммов поддерживалась затем А. Н. Добрыхотовым, учеником Д. И. Менделеева и продолжателем его метрологических традиций и заветов в области мер массы.

При переходе от сличения платиноиридиевых килограммов к сличениям бронзовых килограммов с платиноиридиевым эталоном относительная точность снижается до 10^{-8} , что объясняется слишком большой разностью объемов этих гирь, благо-

даря чему на точности взвешивания резко сказывается погрешность определения плотности воздуха.

Значительно хуже обстоит дело с определенем массы гирь меньших и больших килограмма.

Для миллиграммовой гири, например, относительная точность не превышает $5 \cdot 10^{-7}$. Определение же массы гири в 1 м с метрологической точностью является проблемой вообще, так как мы не имеем для этой цели ни гирь, ни соответствующих весов.

Однако эта проблема должна быть разрешена в ближайшее время.

Работа по дальнейшему повышению точности взвешивания должна развиваться в двух основных направлениях: 1) в направлении создания высокочувствительных весов, обладающих одновременно большим постоянством; 2) в направлении дальнейшей разработки и улучшения техники взвешивания.

Решение этих задач связано с большой научно-исследовательской работой, которая должна дать материал для разработки более полной теории весов и улучшения их конструкции.

Д. И. Менделеев [1] уделил большое внимание вопросам теории весов и разработке методики взвешивания. Богатейшее научное наследство Д. И. Менделеева в этой области использовано еще далеко не полностью. Задача заключается в том, чтобы, используя имеющиеся материалы прошлого, приумножить их новыми исследованиями и, на базе всего этого, обеспечить значительный прогресс весового дела.

Для исследования весов мы решили применить объективный метод регистрации их колебаний. В течение 1946 года нами был спроектирован и изготовлен на заводе „Эталон“ соответствующей конструкции фоторегистр. Запись колебаний осуществляется на фотографической бумаге или пленке.

Схема всей установки представлена на рис. 1—1—барабан фоторегистра диаметром и длиной 20 см; 2—червячная передача от мотора к барабану с передаточным числом 50:1; 3—кассета с лентой; 4—синхронный мотор, действующий 120 об/час; 5—валы для обжима ленты; 6—цилиндрическая линза с фокусным расстоянием 50 мм; 7—установочные винты; 8—призма полного внутреннего отражения, установленная на колонке весов; 9—небольшое зеркальце, установленное на коромысле весов горизонтально; 10—луч света, идущий от осветителя к весам; 11—луч света, идущий от коромысла весов после отражения от зеркала на коромысле и регистрирующий на светочувствительной бумаге кривую колебания весов. Скорость движения ленты постоянна и может быть определена по размерам барабана и числу оборотов мотора. Она равна приблизительно 2,5 см/мин.

Более точное значение скорости определяется по отметкам сигналов времени на фотографической ленте, для чего служит специальное устройство, не показанное на схеме.

Скорость движения ленты подобрана из расчета регистрации колебаний весов при периодах от 20 до 120 секунд, что и со-

ответствует действительным периодам весов, намеченных к изучению.

Д. И. Менделеев придавал большое значение развитию метода объективной регистрации колебаний весов и, даже частично осуществил такую регистрацию для измерения периода колебаний весов с помощью хронографа Марея.

Несмотря на полную естественность фотографического метода, он до настоящего времени не приобрел развития в применении к весам.

Какие же вопросы могут быть решены с помощью фотографического метода регистрации колебаний весов?

Вот их примерный, но далеко не исчерпывающий, перечень.

1. Определение декремента затухания весов в зависимости от различной комбинации материала подушек и призм, различной

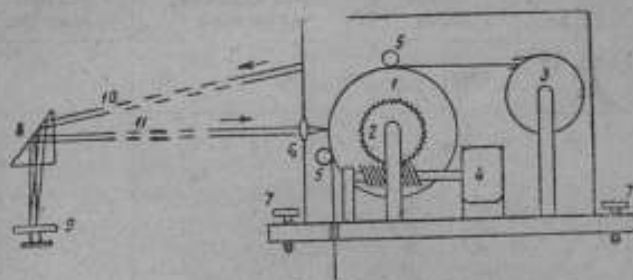


Рис. 1

заточки призм (радиуса кривизны острия призм), различной чувствительности весов и различных размахов колебаний.

2. Определение зависимости периода колебаний весов от амплитуды колебаний, от различной комбинации материала призм и подушек, различной чувствительности весов и т. д.

3. Изучение характера движения коромысла между статическими (крайними) его положениями, в частности, изучение задержек коромысла в крайних положениях, изучение скоростей и ускорений в промежуточных положениях.

4. Уточнение теоретических расчетных формул для чувствительности и периода колебаний весов на основе полученных экспериментальных данных.

5. Разработка новых приемов точного взвешивания путем обработки записи колебаний весов.

Существующая методика взвешивания с наивысшей точностью требует значительного напряжения от наблюдателя, так как процесс взвешивания иногда продолжается более часа, благодаря чему возможны промахи в отсчетах крайних положений коромысла, не говоря уже о том, что отметить момент остановки коромысла в крайнем положении очень трудно вследствие чрезвычайно медленного его движения при подходе к этому положению. Состояние весов за длительный период времени значительно может измениться. Весы будут не такие в конце взвешивания,

какими они были в начале, вследствие ряда изменений в среде, окружающей весы, и изменений с самими весами.

Для уменьшения влияния на результат взвешивания изменения состояния весов, необходимо уменьшить продолжительность взвешивания, но существующая методика, ее направление, наоборот, требует расширения числа манипуляций с весами для увеличения точности взвешивания.

Возникает противоречие, которое должно привлечь наше внимание к этому вопросу и дать импульс к устранению этого противоречия путем разработки новой методики взвешивания, значительно сокращающей время всего процесса взвешивания. Обычно метрологическое взвешивание делается по следующей схеме:

Дата и время	Чашки весов		Наблюдаемые зачетки				Среднее положение L
	лева	пра- вая	l_1	l_2	l_3	l_4	
	A	B					
	A	$B + r$					
	A	B					
	B	A					
	A	B					
	B	A					
	B	$A + r$					
	B	A					

A и B — условные обозначения нагрузок чашек, например, A — эталонная гиря, B — сличаемая гиря или набор гирь, r — добавочный грузик, обычно рейтер, с помощью которого определяется чувствительность весов, l_1, l_2, l_3 и l_4 — отсчеты крайних положений коромысла весов, L — среднее положение, определяемое по значениям l_1, l_2, l_3 и l_4 .

При работе по этой схеме, весы за время взвешивания должны 3 раза арретироваться, а гири 3 раза переносятся с чашки на чашку. Число арретирований значительно возрастет, если для накладывания рейтера также придется прибегать к арретированию, хотя эта операция может быть сделана и на "ходу" весов, если весы снабдить соответствующими приспособлениями.

В весах достаточного постоянства, с хорошо изученной чувствительностью, число строк наблюдения можно сократить до четырех (AB, BA, AB, BA).

Все же остаются, по крайней мере, 3 арретирования и 3 переноса гирь, что значительно повлияет на постоянство весов.

Принципиально же все взвешивание можно свести к 2 строкам наблюдений (AB и BA), так как взвешивание на двух плечах достаточно для устранения влияния неравноплечности весов и учета разномассности нагрузок A и B , а, следовательно, достаточно и для определения точного веса. Обычно этим не ограничи-

взюются, вследствие неуверенности в отсутствии промахов и случайных ошибок, и повторяют эту операцию еще раз, а иногда и несколько раз, с целью получения сглаженного от случайных уклонений результата. При объективной регистрации колебаний весов вполне можно обойтись 2 строками наблюдений (AB и BA) за счет большей многократности фиксации крайних положений при нагрузке AB и нагрузке BA .

Фотографическая запись колебаний весов устраняет личные ошибки наблюдателя, более точно регистрирует положения тормыслов и дает хорошо сглаженные результаты при соответствующем методе обработки фотограмм. Обратимся непосредственно к рассмотрению записи кривой колебания весов Рупрехта на 50 кг (рис. 2).

Здесь кривые MN и CD ограничивают размахи колебания весов при нагрузке AB , а кривая M_1N_1 и C_1D_1 — нагрузке BA . OP — линия нуля шкалы.

Обработка результатов записи производится следующим образом. Нетрудно видеть, что площадь фигуры $OMNL$, деленная на $OL=l$ дает среднее значение ординаты для кривой MN , а площадь фигуры $KCDP$, деленная на $KP=l$, дает среднее значение ординаты кривой CD .

Обозначив площадь фигуры $OMNL$ через s_1 , а площадь фигуры $KCDP$ через s_2 , получим следующие средние значения ординат для MN и CD : для $MN \frac{s_1}{l}$ и для $CD \frac{s_2}{l}$.

Величина ординаты среднего положения для всей серий колебаний, охватываемых фигурой $CMND$, будет равна среднему арифметическому между ординатами $\frac{s_1}{l}$ и $\frac{s_2}{l}$, т.е., будет равна $\frac{s_1 + s_2}{2l}$.

Из совершенно аналогичных рассуждений можно определить ординату среднего положения для фигуры $C_1M_1N_1D_1$, для чего площади соответственно обозначим через s_3 и s_4 ; получим значение искомой величины равное $\frac{s_3 + s_4}{2l}$. Исходя из общих соображений, которые для расчета значения точного веса могут быть применены, при выбранном способе его определения (в данном случае по способу Гаусса), вычислим значение B следующим образом:

$$B = A - \frac{(s_1 + s_2) - (s_3 + s_4)}{4l} \cdot \alpha,$$

где α — чувствительность весов, выраженная в кг на единицу длины. Практически это можно выполнить путем применения планиметра следующим образом. Определив сумму площадей s_1 и s_2 движением ножки планиметра в одном и том же направлении сначала по контуру $OMNL$, а затем по контуру $KCDP$, — обратным движением ножки планиметра вычтем из полученной суммы площади s_3 и s_4 , обводя соответственно контуры OM_1N_1L и KC_1D_1P .

Дальнейшие вычисления ясны сами по себе—они могут быть выполнены на арифмометре.

Величина чувствительности весов или должна быть известна или определяется записью дополнительной кривой для положения грузов $AB+r$ или $BA+r$. Определение чувствительности производится лишь изредка, если весы обладают хорошим постоянством. Такой метод взвешивания на эталонных весах и весах повышенной точности сильно сократит время продолжительности взвешивания.

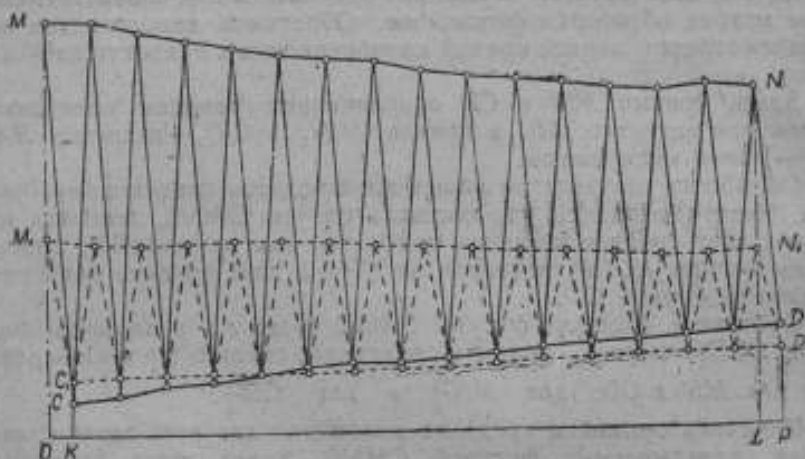


Рис. 2

Сейчас процесс взвешивания на весах Рупрехта № 1 занимает около 80 мин., при предлагаемом же способе его можно сократить до 30—40 мин. Помимо этого полученные фотограммы явятся прекрасным материалом для дальнейшего их изучения. Обработка результатов взвешивания при этом методе значительно упрощается (механизируется), что уменьшит вероятность арифметических ошибок.

Фотографический метод регистрации колебаний весов дает возможность записывать кривую колебаний на неограниченном отрезке времени, что совершенно невозможно при визуальном методе.

Истекший 1946 г. явился для нас подготовительным к выполнению с помощью фоторегистра большой программы исследовательских работ, которые намечены на 1947 г. и последующие годы 4-й сталинской пятилетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Менделеев. Опытные исследования колебания весов и возобновление прототипа или основной образцовой русской меры массы с 1893—1898. Государственное научно-техническое издательство. Ленхинсектор. Ленинград. 1931.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПЫТАНИИ СЕКУНДОМЕРОВ ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СЕКУНДОМЕРОВ

Секундомеры имеют обширное применение в промышленности, технике, науке и даже спорте, как приборы для измерения промежутков времени умеренной длительности. Между тем в литературе почти отсутствуют указания на ошибки, с которыми сопряжено использование секундомеров, и вовсе нет указаний на правильные способы такого использования.

Наиболее часто встречающиеся типы секундомеров изготавливаются в формате карманных часов, т. е. с диаметром циферблата около 43 мм, имеют анкерный спуск, период колебания баланса равный 0,4 сек., и, следовательно, скачок секундомерной стрелки, равный 0,2 сек. Секундомерная стрелка совершает в них полный оборот в 60 сек., а цена деления обычно равна 0,2 сек., значительно реже 0,01 мин., т. е. 0,6 сек., и как исключение — 1 сек. Предел измерения в них чаще всего равен 30 мин., а счет минут ведется по особой стрелке, эксцентрично помещенной на циферблате. Такие секундомеры изготавливаются в виде двух принципиально различных конструкций: а) с непрерывным ходом и б) с прерываемым ходом. В первых баланс и колесный механизм находятся в движении до тех пор, пока действует заводная пружина. Пуск в ход и остановка секундомерной стрелки осуществляется при этом путем включения особого колеса, промежуточного между механизмом и секундомерной стрелкой. В секундомерах второй конструкции кнопка управления действует связанной с нею частью непосредственно на баланс секундомера и, следовательно, то останавливает, то пускает в ход весь механизм секундомера.

Работа с описанными секундомерами совершается в три темпа: при первом нажатии на кнопку управления стрелка секундомера приходит в движение, при втором — стрелка останавливается, при третьем — возвращается в исходное положение.

Видоизмененные описанных секундомеров представляют секундомеры с поворотным циферблатом, имеющие предел измерения 60 сек. (минутная стрелка в них отсутствует). В них кнопка управления выполняет лишь две функции: пуск в ход и остановку секундомерной стрелки. Совмещение стрелки с нулевым делением

циферблата достигается при этом соответствующим поворотом циферблата.

В некоторых случаях карманные часы снабжаются добавочными секундомерной и минутной стрелками и могут, следовательно, применяться для указания момента времени и для непосредственного измерения интервала времени. Практики часового дела называют эти приборы, и без всякого к тому основания, „хронографами“, т. е. приборами, записывающими время. На самом деле здесь нет и речи о какой-либо длительно сохраняющейся записи момента или промежутка времени. Мы будем применять для этого случая термин „часы-секундомер“.

Весьма часто секундомеры связываются с какими-нибудь иными механизмами, например, со счетчиками оборотов (тахоскопами) или счетчиками пути и т. п., и в таком виде применяют в качестве указателей угловой скорости (тахометров) или указателей линейной скорости. Пуск в ход и остановка секундомера, а вместе с ним и счетчика, достигается, в некоторых конструкциях, путем продольного нажатия на ось счетчика и последующего ее отпускания, а в других, более совершенных конструкциях, путем нажатия в том и в другом случае на специальную кнопку управления (нормальное управление).

Более сложными по конструкции являются часы-секундомеры и секундомеры с двумя секундомерными стрелками. Основная секундомерная стрелка управляется обычным путем — при помощи кнопки в заводной головке секундомера. Вторая вспомогательная стрелка имеет специальную кнопку управления, которая при первом нажатии останавливает вспомогательную стрелку, а при втором — связывает ее с основной стрелкой вне зависимости от того идет или стоит эта последняя.

Во всех перечисленных секундомерах секундомерная стрелка, как правило, делает скачок через 0,2 сек. и имеет угловую скорость в 6° в сек. Существуют подобные же приборы и со значительно более быстрым перемещением стрелки, например, такие, где скачки стрелки совершаются даже через каждые 0,01 сек. С точки зрения методики поверки в группу секундомеров из них следует отнести приборы со скачками стрелки через 0,1 сек. при угловой скорости ее в 12° в сек. Центральная секундомерная стрелка совершает в таких секундомерах оборот в 30 сек., а предел измерения равен 15 мин. Кнопка управления работает в них, как обычно, в три темпа, т. е. обеспечивает пуск, остановку и возврат стрелок в исходное положение.

Несколько выше указывалось, что чаще всего секундомерная стрелка описывает один оборот (360°) в 60 сек. Но иногда можно встретить секундомеры, в которых, несмотря на обычный скачок стрелки (0,2 сек.), она совершает полный оборот в 100 сек. Такие секундомеры имеют то удобство, что результат измерения выражается непосредственно в секундах, если только измеряемый интервал лежит в пределах шкалы секундомера (1800 сек.).

Несмотря на это маленькое удобство, такие секундомеры никак нельзя рекомендовать. Действительно, из-за уменьшения

угловой скорости стрелки ($3,6^\circ$ в сек.) в них приходится почти в два раза уменьшать линейную величину наименьшего подразделения. А эта величина и без того мала в обычных секундомерах. Секундомеры со стосекундной шкалой, очевидно, будут почти в два раза более чувствительны к погрешностям в подразделениях циферблата и к погрешностям его центрировки. В СССР такие секундомеры допускаться к производству не должны.

Сделанный краткий обзор наиболее часто встречающихся типов секундомеров позволяет установить следующую наметку их классификации.

1. Секундомеры с непрерывным и прерываемым ходом:

- а) с одной секундомерной стрелкой (0,2 сек.),
- б) с двумя секундомерными стрелками (0,2 сек.),
- в) с одной секундомерной стрелкой (0,1 сек.),
- г) с двумя секундомерными стрелками (0,1 сек.).

2. Часы-секундомеры (0,2 сек.):

- а) с одной секундомерной стрелкой,
- б) с двумя секундомерными стрелками.

3. Секундомеры с одной стрелкой и поворотным циферблатом (0,2 сек.).

4. Секундомеры (0,2 сек.) комбинированные со счетчиками:

а) с управлением путем продольного нажатия и освобождения оси счетчика,

б) с нормальным управлением.

Числа в скобках указывают размер скачка секундомерной стрелки.

Каждый из этих типов и подтипов имеет свои особенности либо в способе применения, либо в пределе измерения, либо в точности, либо в характере встречающихся погрешностей, либо, наконец, в способе их поверки.

Приведенная здесь классификация совершенно не касалась градуировки шкал (циферблатов) секундомеров. По этому признаку секундомеры можно было бы подразделить на три категории:

- 1) секундомеры для измерения времени в общих случаях;
- 2) секундомеры для измерения времени в специальных случаях;
- 3) секундомеры для измерения величин, находящихся в явной функциональной зависимости от времени.

Первые секундомеры характеризуются обычными круговыми шкалами, разделенными на общепринятые интервалы времени: минуты, секунды и их доли.

Вторые, — предназначенные в большинстве случаев для различных видов спорта, — имеют специальную градуировку, позволяющую с удобствами учитывать течение того или иного спортивного состязания. Таковы, например, секундомеры для бокса, снабженные добавочными двух или трехминутными подразделениями, секундомеры для футбола, градуированные на протяжении $\frac{1}{4}$ окружности до 45 мин., и другие.

Секундомеры третьей категории отличаются добавочными

шкалами для измерения величин, зависящих от времени. Здесь можно назвать секундомеры-пульсометры (дают число ударов пульса в минуту по длительности 20 или 30 ударов пульса), секундомеры-спидометры (показывают скорость в километрах в час, в милях в час по времени проезда определенного интервала пути), секундомеры-тахометры, секундомеры-дальномеры (артиллерийские), секундомеры для определения производительности станков и т. п.

Характер градуировки циферблата секундомера, обычно не вызывает каких-либо заметных затруднений при его испытании, так как принципиальное отличие друг от друга секундомеров, перечисленных различных категорий, в конце концов, заключается в увеличенном или уменьшенном диапазоне измерения его шкалы времени.

ПОГРЕШНОСТИ В ПОКАЗАНИЯХ СЕКУНДОМЕРОВ И ИХ ИСТОЧНИКИ

Показания секундомеров сопряжены с рядом погрешностей преимущественно систематического характера. Эти систематические погрешности вызываются различными недочетами сборки и регулировки механизмов секундомеров — недочетами, неизбежными вследствие конструктивных особенностей их устройства.

Из этих недостатков чаще всего оказываются: неправильное начальное положение секундомерной стрелки, ее эксцентриситет, наличие заметного хода секундомера, анизохронность колебаний баланса и неправильности в регулировке системы спуск-баланс. Первый из этих недостатков вызывает, обычно, некоторую постоянную систематическую погрешность, одинаковую для всех показаний данного секундомера. Только в старых, много работавших приборах отмечается иногда известная зависимость начального положения стрелки (положения нуль-пункта) от отсчета, предшествовавшего установке стрелки на нуль.

Вызываемая этим недостатком погрешность приобретает, до известной степени, периодический характер. Эксцентриситет секундомерной стрелки влечет за собою всегда более или менее ясно выраженную периодическую погрешность, являющуюся функцией угла поворота этой стрелки. Ход секундомера дает погрешность, пропорциональную сделанному отсчету. Наконец, отсутствие изохронизма баланса и неправильности в регулировке системы спуск-баланс вызывает зависимость показаний секундомера от степени завода его заводной пружины и от его положения.

Помимо того показания секундомеров искажаются заметными случайными погрешностями, вызываемыми неправильностями в срабатывании механизма управления (эта причина, впрочем, может дать также и систематическую погрешность) ошибками в зубах колес и иными причинами случайного характера.

Балансы секундомеров чаще всего не имеют температурной компенсации, и поэтому ход их часто обнаруживает значительную температурную зависимость (до 11 сек. на 1° в сутки при сталь-

ной спирали и латуном ободу баланса и до 16 сек. на 1° в сутки при бронзовой спирали и латуном ободу баланса). Эта причина может сильно исказить результаты измерений более крупных промежутков времени (порядка 20—30 мин.), но для небольших промежутков (порядка одной минуты и меньше) и температур, приближающихся к комнатным, сколько-нибудь существенного значения не имеет.

Обзор погрешностей, нарушающих правильность показаний секундомеров, в значительной степени предопределяет направление испытаний этих приборов, так как результат испытания должен позволить хотя отчасти исключить совокупность систематических погрешностей и оценить влияние случайных погрешностей. Процесс такого полного испытания, если бы мы пожелали изучить влияние всех буквально источников систематических погрешностей, был бы по необходимости длителен и трудоемок.

Поэтому влияние таких причин, как положение секундомера, степень завода его пружины, влияние температуры и т. п., должно быть исключено путем строгой регламентации условий применения секундомеров.

СПОСОБЫ ПОВЕРКИ СЕКУНДОМЕРОВ

Процесс поверки секундомеров требует сравнения их показаний с показаниями достаточно точных часов. В качестве таких образцовых часов, служащих для определения действительной длительности промеряемого интервала времени, пригодны любые часы, если только совокупное влияние их хода и колебания хода не превышает 5 сек. в сутки, а самый ход часов не больше 3 сек. Интервал в 30 мин., являющийся обычно максимальным в распространенных типах секундомеров, получится тогда с погрешностью не больше 0,1 сек., т. е. с точностью, вполне достаточной для цели испытания.

Таким образом, требования к образцовым часам сравнительно грубы и могут быть удовлетворены уже при относительно простой их конструкции. В частности, для целей испытания вполне пригодны маятниковые часы с маятником на деревянном стержне. Колебания суточного хода подобных часов обычно не превышают 2—3 сек., а регулировка самого хода осуществляется достаточно просто и удобно.

Отметим, что маятниковые часы вообще более удобны с точки зрения самого процесса наблюдений, так как начало и конец заданного промежутка времени отмечается на таких часах более отчетливо и ясно, чем на часах какого-либо иного устройства.

Само сравнение секундомера с показаниями образцовых часов может быть осуществлено при помощи одного из трех следующих способов.

1. Слуховой метод сравнения с ударами маятника. Этот способ наиболее прост и доступен. При его применении прислушиваются к ударам маятника; в момент избранного нулевого удара пускают секундомер в ход, а затем по истечении

должного числа секунд, определяемого счетом, останавливают секундомер и записывают его показание.

Практика показывает, что этот способ, несмотря на его простоту, дает результаты, в огромном большинстве случаев вполне удовлетворительные, так как личные погрешности наблюдателя исключаются, а случайные погрешности наблюдений при навыке могут быть сведены до 0,1—0,2 сек.

Наибольшая точность при подобном рода наблюдениях достигается тогда, когда наблюдатель пускает в ход и останавливает секундомер немедленно по восприятию слухом того удара маятника, который требуется ему. Можно также пускать и останавливать секундомеры так, чтобы щелчки механизма управления совпадали с нужными ударами маятника, но в этом случае личное уравнение наблюдателя будет подвержено несколько большим колебаниям.

Поэтому, несмотря на примитивность этого способа, им нельзя пренебрегать, а наоборот, следует признать его основным. При испытании некоторых типов секундомеров (например, тип 4-а — секундомеры при тахоскопах с пуском от оси счетчика) слуховой способ можно считать даже незаменимым, так как все остальные либо с трудом применимы, либо сопряжены с искажениями результатов систематическими погрешностями.

2. Сравнение при помощи хронографа (предложенное проф. Ф. И. Блумбахом и М. А. Афанасьевым). Этот способ может быть применен в том случае, когда имеются контактные часы-хронограф (желательно, ленточный с длиной секунды 10—20 мм) и контактная клавиша с регулируемой силой упругости нажимной контактной пружины. Клавиша включается при этом последовательно с электромагнитом одного из перьев хронографа и служит для отметки моментов пуска и остановки секундомера. Самый пуск и остановка осуществляются здесь путем последовательных нажатий пружинной клавиши на кнопку управления секундомера. При выполнении этих наблюдений пружина клавиши должна быть так отрегулирована, чтобы щелчки механизма управления секундомера и замыкания тока клавишей совершались одновременно. Если это достигнуто, то запись моментов пуска и остановки на ленте будет всегда совершаться одинаково вне зависимости от быстроты нажатия клавишей на кнопку управления.

Этот второй способ дает результаты очень большой точности, но зато весьма трудоемок, так как связан с последующим измерением ленты и добавочными вычислениями. Поэтому он может быть применен только тогда, когда требуется результат высокой точности и нет приспособлений для осуществления более простого третьего способа.

3. Сравнение при помощи испытателя секундомеров. Испытатель секундомеров, построенный мастерскими ВНИИМа по заданиям автора, разрешает задачу о точном сравнении секундомеров с контактными часами самым простым и

удобным образом. Указанное приспособление до известной степени автоматизирует процессы пуска в ход и остановки испытуемого секундомера, возлагая эти наиболее ответственные моменты работы на электрический контакт маятниковых часов или хронометра. Испытатель секундомеров, схематически изображенный на рис. 1, состоит из тяжелого коленчатого рычага 4—13 с осью вращения 5, регулируемого ограничителя падения 6, пусковой собачки и ее якоря 7, воздействующего на якорь электромагнита 8, кнопочного выключателя грубого пуска 10 и контрольного гальваноскопа 11. Все эти части, а также приспособления 2 и 14 для вертикального или горизонтального крепления испытуемого секундомера 1, смонтированы на солидной \angle -образной деревянной доске. Помимо того в схему прибора входят контакт часов 12 и батарея 9 из нескольких сухих элементов, включаемых так, как это изображено на рис. 1.

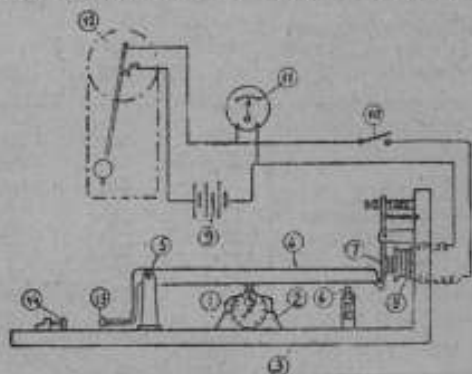


Рис. 1

Прибор работает так. При разомкнутом состоянии ключа 10 рычаг 4, будучи приподнят, зашелкивается на собачке 7 и будет ею удерживаться в приданном положении. Ежесекундные замыкания электрической цепи контакта часов заставят при этом работать только одну стрелку гальваноскопа 11, которая будет, таким образом, отмечать периоды замкнутого и разомкнутого состояния контакта часов. Пуск же самого секундомера 1 осуществится только тогда, когда выключатель грубого пуска 10 будет нажат. В этом случае одновременно с замыканием контакта часов 12 электромагнит 8 притянет якорь с собачкой 7 и рычаг 4 упадет, нажимая силою своей тяжести на кнопку управления секундомера. Остановка секундомера достигается таким же точно способом, только, разумеется, сначала необходимо завести рычаг 4 и приподнять его рукой до зашелкивания на собачке 7.

Итак, как это следует из описания испытателя секундомеров, пуск и остановка испытуемого секундомера осуществляются с помощью его в два приема: 1) грубый пуск — наблюдатель нажимает выключатель 10 в момент разомкнутого состояния контакта часов, 2) точный пуск — контакт часов, замыкаясь, заставляет рычаг 4 падать точно в заранее установленный момент, чем и приводит секундомер в действие или останавливает его. Вся дальнейшая работа наблюдателя сводится, таким образом, к записи показаний испытуемого секундомера и незначительным вычислениям по выводу соответствующих поправок.

Сказанное здесь находит себе подтверждение в данных табл. 1, содержащей выборку из наблюдений, сделанных при испытании секундомера Леонидас № 841652.

Таблица 1

Выдержка из записи наблюдений по испытанию секундомера Леонидас № 841652

7 мая 1935 г.

Точный интервал по часам 2-го разряда	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Показания секундомера при испытании	10,0	20,2	30,1	40,0	49,9	60,0
	10,0	20,2	30,1	40,0	49,9	60,0
	10,2	20,2	30,1	40,0	49,9	60,0
	10,1	20,2	30,2	40,0	49,9	60,0
	10,1	20,2	30,2	40,0	49,9	60,0
	10,2	20,2	30,2	40,0	49,9	60,0
	10,2	20,2	30,2	40,0	49,9	60,0
	10,0	20,2	30,2	40,0	49,9	60,0
	10,1	20,2	30,1	40,0	49,9	60,0
	10,1	20,2	30,1	40,0	49,9	60,0
Средние показания секундомера	10°,10	20°,20	30°,15	40°,00	49°,90	60°,00
Поправки	- 0°,10	- 0°,20	- 0°,15	0°,00	+ 0°,10	0°,00

Испытание секундомера на описанном приборе может совершаться как при вертикальном, так и горизонтальном положении секундомера. В первом случае прибор устанавливается в подставке 2, как это изображено на рис. 1; во втором — секундомер в подставке кладется на горизонтальную доску так, чтобы, с одной стороны, корпус подставки упирался в пружинный упор 14, а, с другой, кнопка управления секундомера касалась утолщения 13 рычага 4 — 13. В остальном процесс наблюдения остается таким же, как в первом случае.

Остановимся еще на весьма важном обстоятельстве предварительной регулировки прибора перед началом наблюдений. Она заключается в подборе должного положения секундомера под рычагом 4 (ближе или дальше от оси 5), чем регулируется сила нажима на кнопку управления, а главным образом в подборе должной высоты падения упомянутого пускового рычага. Эта высота падения регулируется так, чтобы при заведенном положении пускового рычага 4 касался кнопки управления секундомера, а при опущенном он же своевременно встречал регулируемый винт 6 — ограничитель падения. Эта последняя часть регулировки весьма существенна, так как предохраняет секундомер от деформаций и механических повреждений, которых следует опасаться ввиду довольно солидного веса пускового рычага.

О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЯ СЕКУНДОМЕРА

Как мы уже упоминали, результат испытания секундомера должен позволить учесть хоть часть систематических погрешностей, происходящих из-за неправильного положения нуля-пункта секундомера, наличия эксцентриситета стрелки, наличия отличного от нуля хода секундомера и механических запаздываний при пуске-остановке. Помимо того тот же результат должен позволить оценить размер случайных погрешностей секундомера.

Неправильное положение нуля-пункта может быть исключено отсчетом исходного положения секундомерной стрелки и введением соответствующей поправки в отсчет, полученный при измерении некоторого интервала времени; так, например, рекомендует делать Б. Вальтер [2].

Но возможен и другой способ: поправка за положение нуля-пункта стрелки оценивается суммарно вместе со всеми прочими поправками секундомера. Лаборатория времени ВНИИМ придерживается, обычно, этого второго способа, так как он требует меньшего числа вычислений и меньшего внимания при применении секундомера, а между тем первый способ, как это показывает опыт того же Б. Вальтера, не улучшает точности результатов измерений, как этого можно было бы ожидать.

В пользу первого способа говорит лишь одно обстоятельство. Секундомеры, бывшие длительное время в употреблении, показывают иногда зависимость положения нуля-пункта стрелки от показания секундомера предшествующего возврату на нуль. Этот случай мы можем иллюстрировать таким примером: пусть при возвращении стрелки на нуль с показания 10 сек. стрелка чаще всего останавливается на значении $+0,2$ сек. (0,2 сек.), при возвращении с 20 сек. — на значении 0,0 сек. при возвращении с 30 сек. — на значении $-0,2$ сек. (59,8 сек.) и т. п.

Тогда суммарные поправки, получаемые в результате испытания подобного секундомера, будут для разных его показаний содержать различные поправки нуля-пункта, так как каждое испытание связано с многократным возвращением стрелки на нуль с некоторого почти постоянного показания. При пользовании же секундомером возвращение на нуль будет делаться с какого-то случайного положения стрелки и, следовательно, результат измерения будет отягощен такой случайной погрешностью нуля-пункта. Иными словами условия применения секундомера на практике будут иные, чем при его испытании и, значит, результаты испытания не могут быть непосредственно применены для исправления показаний секундомера, полученных при пользовании им. Но подобная систематическая зависимость положения нуля-пункта стрелки от предшествующего установке на нуль ее показания является механическим дефектом секундомера, который должен отсутствовать в вполне исправном приборе, а ведь к испытанию должны допускаться только такие.

Итак, нет оснований каждый раз индивидуально учитывать положение нуля-пункта стрелки. При выполнении испытания эти

положения все же необходимо записывать, так как, с одной стороны, это позволит обнаружить механические дефекты секундомера, а с другой стороны — послужит для оценки постоянства исходного положения стрелки.

Для определения поправки за эксцентриситет стрелки требуется провести испытания, минимум, в шести различных точках секундного циферблата, отстоящих друг от друга на 60° , т. е. через каждые 5—10 сек. Поправка за ход определится при испытании секундомера на наибольшем возможном интервале, т. е. на 30 мин. или 15 мин. наличие изохронизма подтвердится испытанием на промежуточном интервале, например на 10 мин. или 5 мин. При такой программе испытания мы будем располагать для учета систематических погрешностей в показаниях секундомера, например, нижеследующими данными табл. (2).

Таблица 2

Результаты исследования систематических погрешностей секундомера Эриксон № 2575417

Отсчеты секундомера	Действительная длительность интервала	Поправка ¹	Число отсчетов
— 0 мин. 0,05 сек.	0 мин. 0,0 сек.	+ 0,05 сек.	60
0 " 10,0 "	0 " 10,0 "	+ 0,0 "	10
0 " 20,0 "	0 " 19,9 "	— 0,1 "	10
0 " 30,0 "	0 " 30,1 "	+ 0,1 "	10
0 " 40,0 "	0 " 40,2 "	+ 0,2 "	10
0 " 50,0 "	0 " 50,4 "	+ 0,4 "	10
1 " 0,0 "	1 " 0,5 "	+ 0,5 "	10
10 " 0,0 "	10 " —4,5 "	+ 4,5 "	5
30 " 0,0 "	30 " 14,8 "	+14,8 "	3

Числа табл. 2 дают нам возможность получить поправку любого показания секундомера. Здесь надо только принять во внимание, что поправка в первой строчке зависит только от погрешности нуля-пункта, следующих пяти 2—6 строчек от погрешностей нуля-пункта, эксцентриситета стрелки, хода секундомера, запаздываний пуска и остановки, последних трех 7—9 строчек от всех перечисленных кроме эксцентриситета стрелки, при чем восьмая, сверх того, должна выявить наличие погрешностей изохронизма.

Так, в данном случае для определения погрешности изохронизма вычислим линейной интерполяцией из поправок для интервалов 1 мин. и 30 мин. поправку для интервала 10 мин. Имеем:

¹ Ввиду крупного хода секундомер следует признать непригодным для применения.

$$\begin{aligned} \text{Вычисленная поправка: } & +0,5 \text{ сек.} + \frac{9(14,3-0,5)}{29} \text{ сек.} = +4,8 \text{ сек.} \\ \text{Наблюдения} & \dots \dots \dots = +4,5 \text{ сек.} \end{aligned}$$

Погрешность изохронизма = наблюдаемое — вычисленное = — 0,3 сек., что близко к ошибке самого определения этой величины.

Для определения поправки, для любого показания секундомера, рассуждаем следующим образом. Если показание не превышает одной минуты, то для получения искомой поправки нам достаточно проинтерполировать между двумя соответствующими числами столбца „поправки“, пользуясь показанием секундомера как аргументом. Так, например, для показания секундомера 45,0 сек. мы находим такой интерполяцией поправку +0,3 сек. и, следовательно, действительную длительность измеренного промежутка времени равную 45,3 сек. Если отсчет превышает одну минуту, то нам остается еще учесть поправку за ход секундомера за целое число минут, заключающихся в данном интервале. Искомую поправку за ход мы интерполируем по числам (столбец „поправки“) трех последних строк. Так, например, если показание секундомера равно 8 мин. 45,0 сек., то поправка на ход секундомера за 8 мин. будет:

$$+0,5 \text{ сек.} + \frac{7(4,5-0,5)}{9} \text{ сек.} = 3,6 \text{ сек.}$$

Прибавляя сюда ранее найденную на 45 сек. поправку +0,3 сек., имеем для показания 8 мин. 45,0 сек. искомую поправку +3,9 сек. Итак, действительная длительность измеренного нами интервала есть 8 мин. 48,9 сек. Точно так же, если бы показание секундомера было 16 мин. 45,0 сек., то мы нашли бы: поправка на ход за 16 мин.:

$$4,5 \text{ сек.} + \frac{6(14,3-4,5)}{20} \text{ сек.} = 7,4 \text{ сек.}$$

поправка для полного отсчета:

$$7,4 \text{ сек.} + 0,3 \text{ сек.} = +7,7 \text{ сек.}$$

Действительная длительность интервала: 16 мин. 52,7 сек.

При описанном способе использования результатов испытания секундомера мы устраняем в его показаниях не только систематические погрешности нуля-пункта, эксцентриситета, хода, запаздываний в пуске — остановке, но даже в значительной степени и влияние погрешности изохронизма балансира.

Для оценки влияния случайных ошибок показаний секундомера необходимо определить среднюю квадратичную погрешность одного показания, которая выводится из многократных промеров одного и того же интервала по общеизвестной формуле теории погрешностей:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$$

где v — наблюдаемые отклонения от среднего,
 n — число наблюдений.

В нашем случае было получено:

для интервалов	10 сек.	1 мин.	в среднем	$m_1 = \pm 0,15$ сек.
•	•	10 •	•	$m_2 = \pm 0,25$ •
•	•	30 •	•	$m_3 = \pm 0,5$ •

В качестве предельной возможной погрешности принимаем, согласно теории погрешностей: утроенное значение квадратичной средней.

Таким образом, однократный промер, выполненный при помощи описанного секундомера, может содержать в самом неблагоприятном случае погрешности:

при величине интервала	до 1 мин.	$\Delta t m_1 = \pm 0,45$ сек.	
•	•	10 •	$\Delta t m_2 = \pm 0,8$ •
•	•	30 •	$\Delta t m_3 = \pm 1,5$ •

Произведенный детальный разбор результатов испытания показывает, что проанализированная программа испытаний вполне достаточна, чтобы почти полностью учесть систематические погрешности в показаниях секундомера и оценить также возможную погрешность случайного характера. Эта программа лишь нуждается в небольших видоизменениях в зависимости от принадлежности данного секундомера к тому или иному из перечисленных ранее типов. Остается еще оговорить те условия, при которых будут сведены к минимуму погрешности из-за неполного изохронизма баланса и влияния положения секундомера на его показания. Первое требование окажется соблюденным, если мы будем испытывать и применять секундомер при его работе на начальном участке действия его заводной пружины в особенности, если длительность завода велика по сравнению с пределом измерения секундомера. Отметим здесь одно весьма важное обстоятельство. На самых первых минутах хода секундомера после его завода иногда наблюдается весьма сильное нарушение изохронизма колебаний, ведущее к крупной систематической погрешности. Поэтому при пользовании секундомером лучше всего придерживаться следующего правила: полностью завести секундомер, дать ему пройти две-три минуты и затем применять его на протяжении следующих трех часов действия завода. Влияние перемены положения секундомера исключается его испытанием и применением в одном лишь вертикальном (заводной головкой вверх) или горизонтальном положении.

ОБ ОСНОВНОЙ ПРОГРАММЕ ИСПЫТАНИЯ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯХ В СООТВЕТСТВИИ С ТИПАМИ СЕКУНДОМЕРОВ

Итак, в идеальном случае, при испытании секундомеров типа 1-а, наиболее целесообразная и достаточно обстоятельная программа испытания должна состоять, как это в основном вытекает из рассуждений предшествующего параграфа, из ниже-следующих операций.

1. Наружный осмотр и проверка правильности функциониро-

вания кнопки управления и стрелок секундомера путем нескольких повторных пусков стрелок и их остановок.

2. Проверка выполнения условия минимальной длительности хода секундомера при полном его заводе. Для этого секундомер заводят, пускают, отмечают, соответствующий момент, а затем, по истечении установленного минимума времени, убеждаются идет ли секундомер или остановился до истечения срока.

3. Сравнение с маятниковыми часами, выполняемое при помощи одного из ранее указанных способов. Сравнение производится на интервалах: 10, 20, 30, 40, 50 сек. и 1, 10, 30 мин., по 10 раз на шести коротких интервалах и по 5 раз на двух длинных, причем каждый раз отмечается и положение нуля-пункта стрелки, т. е. ее показание при установке в исходное положение. Это сравнение выполняют:

а) при вертикальном положении секундомера заводной головкой вверх;

б) при почти полном заводе секундомера, а именно, на протяжении первых трех часов хода, следующих за двух—трехминутным предварительным его пуском.

4. Определение поправок секундомера для всех его средних наблюдаемых показаний; определение квадратичных средних погрешностей однократных его показаний для всех коротких интервалов (одно значение) и двух длинных интервалов (два значения); определение погрешности изохронизма, т. е. контроль хода секундомера на участках 1—10 мин. и 10—30 мин.

В качестве значений, определяющих пригодность секундомера, по отдельным пунктам можно наметить числа: по п. 2—минимум длительности хода секундомера при одном заводе—5 час.; по п. 4—максимальные абсолютные значения средних величин:

а) для положения нуля-пункта секундомерной стрелки—0,3 сек.; при отклонении отдельных отсчетов не более чем на 0,2 сек. и при согласии всех наблюдаемых средних положений нуля-пункта в пределах 0,1 сек. (отсутствие систематической зависимости положения нуля-пункта от показания секундомера, предшествующего установке на нуль);

б) для поправок за эксцентриситет (короткие интервалы)—0,4 сек.;

в) для погрешности изохронизма—0,3 сек.;

г) для поправки за ход (интервал 30 мин.)—2 сек.;

д) для средней квадратичной погрешности одного отсчета на коротких интервалах—0,2 сек., на длинных интервалах 10 и 30 мин.—0,5 сек.

При испытании секундомеров типа 1-б (секундомеры с двумя стрелками) в настоящее время, ввиду отсутствия материалов из области их применения, приходится придерживаться той же программы и тех же числовых ограничений с одним лишь добавочным условием, что испытание производится при одновременном ходе обоих стрелок (при спаренных стрелках).

Для секундомеров типа 1-в и 1-г (единовременный скачок стрелки и наименьшее подразделение 0,1 сек.) испытание может

производиться по той же программе, но все ограничивающие числа надлежит уменьшить в два раза ввиду меньшего предела измерений и большей точности этих секундомеров.

Часы-секундомеры (тип 2-а и 2-б) следует испытывать на тех же основаниях как и секундомеры типа 1-а и 1-б. Отступление может быть сделано лишь в вопросе времени завода часов перед испытанием. Этот пункт следует решать лишь по ознакомлении с действительными условиями применения данного экземпляра часов.

Секундомеры с поворотными циферблатами (тип 3) требуют некоторого изменения программы испытания уже вследствие того, что у них предел измерения равен всего лишь одной минуте. Кроме того, необходимо ввести добавочное ограничительное условие, так как поворотный циферблат влечет за собой новый источник погрешностей — переменный эксцентриситет секундомерной стрелки. В качестве подтверждения последнего обстоятельства приводим выборку из результатов испытания подобного секундомера Leonidas № 855650 (табл. 3).

Таблица 3

Результаты испытания секундомера с поворотным циферблатом

Положение циферблата ¹	Показание секундомера	Действительная длительность интервала	Поправка
0°	30,0 сек.	29,8 сек.	-0,2 сек.
90°	30,0 "	29,8 "	-0,2 "
180°	30,0 "	30,0 "	0,0 "
270°	30,0 "	30,2 "	+0,2 "

Итак, строго говоря, секундомеры этого типа приходится испытывать лишь на интервалах не высших одной минуты и при некотором определенном положении цифры 0 (60) сек. циферблата относительно заводной головки секундомера, например, при нуле у заводной головки (0°).

Тем не менее, для более надежного определения поправки за ход желательно и эти секундомеры испытывать на интервале 30 мин. Так как счетчика минут при них не имеется, то наблюдать, в процессе испытания, придется убеждаться (счетом минут в уме, периодическим сопоставлением положений секундомерной стрелки и секундной стрелки часов), что секундомер не расходится с часами на целые минуты. Помимо того, для таких секундомеров полезны добавочные испытания на 30-секундном интервале при трех дополнительных положениях циферблата, определяемых углами: 90°, 180° и 270°.

¹ Угол отсчитывается от заводной головки до 0 (60) сек. на циферблате по стрелке часов.

Наконец, секундомеры при счетчиках оборотов (типа 4-а и 4-б) отличаются обыкновенно малым (1 мин.) пределом измерения, особым устройством завода (завод с трещеткой, автоматический завод), особым устройством механизма управления. Поэтому их поверка поневоле ограничивается поверкой из малых интервалов при тех условиях завода секундомера, которые допускаются устройством его механизма, и при горизонтальном положении секундомера циферблатом вверх, так как такие спаренные секундомер и счетчик оборотов обычно употребляются именно в горизонтальном положении.

Заметим, что сравнение подобных секундомеров с маятниковыми часами, ввиду особого устройства кнопки управления обычно возможно лишь при помощи простейшего слухового метода.

Скажем несколько слов о точности отсчетов секундомеров. Стрелка делает скачок в них в соответствии с колебаниями баланса или через 0,2 сек, или через 0,1 сек., т. е. промеряемый интервал времени, строго говоря, всегда должен выражаться целым числом таких скачков. Но мы считаем возможным производить отсчет в первом случае до 0,1 сек и во втором до 0,05 сек., так как при таком способе отсчета неточность, допускаемая при округлении его будет меньше отражаться на результатах измерения, чем при округлении соответственно до 0,2 и 0,1 сек.

Поставим вопрос: возможно ли и нужно ли проводить поверку каждого из секундомеров по описанным выше обстоятельным программам.

Приняв во внимание все за и против, здесь, скорее придется ответить отрицательно.

Действительно, процесс описанной поверки достаточно трудоемок, на секундомер при единичной его поверке потребуется затратить около 6 часов работы. Далее, является весьма сомнительным будет ли результат такой поверки целиком использован в практической работе, так как зачастую тот или иной секундомер имеет весьма ограниченную область применения. Наконец, по ряду данных можно предположить, что поправки секундомера не являются устойчивыми во времени, а подвержены значительным изменениям, в особенности в случае усиленной работы с ним.

Подчеркнем, что таблица поправок секундомера окажется безусловно полезной только тогда, когда секундомер будет применен для многократного промера какого-либо повторяющегося явления, средняя длительность которого подлежит определению. При таких измерениях случайные выбросы в показаниях секундомера будут своевременно замечены и устранены, и можно предполагать, что средний результат получится с минимальной возможной погрешностью около 0,1—0,2 сек. Если же секундомер будет применяться для однократных случайных промеров, то нет никакой гарантии, что, несмотря на введение поправки, результат промера будет свободен от погрешностей, достигающих 0,4—0,5 сек. даже при промерах коротких интервалов. С другой стороны, предельная погрешность любого неповеренного секундомера крайне редко превзойдет 0,5 сек. (при пользовании ими

на коротких интервалах). А это указывает, что для однократных промеров как поверенный, так и неповеренный секундомеры примерно равноценны.

Итак, разобранные программы, хотя и дают почти полную характеристику секундомера, тем не менее лишь редко будут отвечать условиям практического использования этих приборов. Эти программы, следовательно, скорее пригодны для строгих выборочных испытаний при приемке целых партий секундомеров. Для этих случаев их даже потребуется дополнить, введя испытания в добавочных положениях и в температурах, отличных от комнатной.

Требованиям практики лучше всего, повидимому, будут отвечать: а) поверка по индивидуальной программе и б) поверка на интервалах одноминутном и максимальной длительности (обычно 30 мин).

Скажем несколько слов в пояснение индивидуальной программы. Пусть данный секундомер, при своем практическом использовании, регулярно применяется для измерения интервалов длительностью около 52 сек. и около 60 сек. Тогда поверка ограничивается, помимо наружного осмотра и всяких предварительных проб, десятикратным сравнением секундомера с часами на каждом из упомянутых интервалов (в 52 сек. и в 60 сек.). Понятно такая поверка должна быть произведена при том положении секундомера и примерно при той же температуре, при каких имеет место его практическое применение.

В пользу поверки на интервалах одноминутном (число наблюдений 10) и наибольшей длительности (число наблюдений от 3 до 5) говорит необходимость держать под контролем ход секундомера, являющийся источником наиболее крупных систематических погрешностей. Имея две поправки для одноминутного интервала и, скажем, для тридцатиминутного, наблюдатель всегда сможет с помощью линейной интерполяции определить поправку для любого промежуточного интервала. Правда, поправка, найденная подобным образом, не будет учитывать погрешностей, вызываемых эксцентриситетом стрелки. Здесь наблюдателю придется заранее считаться с этим обстоятельством и принимать его во внимание при организации измерений по секундомеру. Наблюдения должны быть построены так, чтобы измерению подвергались интервалы, равные малому числу целых минут, или чтобы погрешность порядка $\pm 0,5$ сек. (на коротких интервалах) не имели существенного значения.

Поверка на коротком одноминутном интервале в рассматриваемой программе-минимум имеет еще и свое удовлетворяющее значение. По согласию десяти отдельных наблюдений короткого интервала поверяющий может вывести величину m_1 — среднюю квадратичную ошибку одного показания секундомера на коротком интервале. Эта величина преимущественно зависит от исправного состояния механизма секундомера и, следовательно, позволяет выделять в процессе поверки приборы, непригодные по своему состоянию для целей измерений.

Соображения, высказанные здесь по части программы-минимум нельзя считать окончательно доказанными. Для экспериментального ее подтверждения в первую очередь желательно накопление материала по проверке секундомеров по программе-минимум. Этот материал должен ответить на вопрос о значимости фактора m , — средней квадратичной погрешности одного отсчета, — для отбраковки неисправных секундомеров и о возможности дальнейшего уменьшения программы-минимум. Ведь ряд соображений указывает, что можно было бы ограничиваться проверкой лишь на одном интервале — интервале максимальной длительности, так как поправки для меньших интервалов, в том числе и для минутного, могут быть рассчитаны с помощью простой пропорции.

Есть еще один важный вопрос, который подлежит выяснению на практике, — вопрос о сроках повторных проверок. Для секундомеров, находящихся в усиленном применении, такой срок по видимому не может быть больше 3 месяцев, но весьма возможно, что и он чересчур велик.

В настоящей статье мы попытались рассмотреть наиболее актуальные проблемы из практики испытаний и применений секундомеров. Надо отметить, что соответствующая литература, несмотря на обширность применения секундомеров и разнообразие встречающихся типов приборов, в настоящее время еще очень бедна и не дает возможности окончательно решить все затронутые вопросы. Это, например, можно сказать о двухстрелочных секундомерах и часах-секундомерах, о секундомерах с поворотными циферблатами, где программы детальных испытаний подлежат еще значительному усовершенствованию. Тем не менее мы решаемся опубликовать эту статью, отражающую опыт ВНИИМ в области испытания секундомеров в надежде ускорить разрешение остающихся неясностей. Вместе с тем, мы надеемся, что эта статья побудит других работников системы Комитета по делам мер и измерительных приборов, в частности работников МГИМИП, ХГИМИП и Управления уполномоченного по ЛО поделиться своим опытом в деле проверки секундомеров.

РЕЗЮМЕ

1. Показания секундомеров различных типов отягощены погрешностями, вызываемыми преимущественно эксцентриситетом секундомерной стрелки, наличием заметного хода секундомера и случайными неправильностями в функционировании его механизма. При измерениях коротких интервалов (до 2 мин.) абсолютная величина подобных суммарных погрешностей временами может достигать 0,5 сек. даже в хорошо отрегулированных приборах.

2. Результаты однократных промеров коротких интервалов даже при учете поправок секундомера, могут содержать погрешности порядка 0,5 сек. Применение детально поверенных секундомеров для подобного рода измерений мало повышает реальную точность измерений.

3. Типичным и наиболее приемлемым способом проверки секундомеров является способ слухового сличения с маятниковыми часами.

4. Основной программой проверки секундомера является в настоящий момент проверка на интервалах: одноминутном и максимальной длительности (обычно 30 мин.). Экспериментальный материал, набираемый в лабораториях системы Коммерприбора, призван ответить на вопрос о возможности дальнейшего сокращения программ и о полезном изменении сроков проверок секундомеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Преинич. Приспособление для быстрого испытания секундомеров. Точная Индустрия, № 1, 1935, М.
2. В. Walter. Über Fehler in den Angaben von Stoppuhren. Zeitschrift für Instrumentenkunde, B. 47, p. 583, 1927.
3. Geiger, Scheel. Handbuch der Physik B. II.
4. Favag. Kurzzelt, Messer. Archiv für Technisches Messen (ATM) Heft. 22, p. F 8, 1933.
5. F. Göpel und W. Kettl. Stoppuhren. (ATM) Heft 22, T. 23, 1934.

ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ ВНИИМ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ В 1924 ГОДУ, В СИСТЕМУ FK,

В 1924 году Н. Х. Прейпичем и Б. И. Раком была определена разность долгот Пулково — ВНИИМ (Ленинград).

Для осуществления этой работы был составлен список, состоящий из 72 звезд. Список включал 58 звезд времени и 14 близполосных; из них 42 звезды времени взяты из каталога PGC Босса [L. Boss, 2] — 1900.0, 2 — из пулковского каталога — 1915.0 и 14 — из каталога Амбронна [Ambron, 3] — 1900.0; все близполосные звезды взяты из каталога PGC Босса. Звезды списка подобраны так, чтобы они находились возможно ближе к зениту ($\varphi \approx 60^\circ$). По склонению они лежат в зоне от 46° до 66° . Звезды времени, взятые из каталога Амбронна, названы авторами „дополнительными“, так как их прямые восхождения предстояло определить по собственным наблюдениям. Прямые восхождения звезд списка изменены авторами по своим наблюдениям, в результате чего была получена улучшенная единая система звездных положений. Уклонения звезд от среднего арифметического из всех поправок были приняты как ошибки прямых восхождений. По введении этих поправок были получены улучшенные положения звезд Босса и пулковского каталога. По этим положениям получены новые поправки часов, а посредством их и прямые восхождения дополнительных звезд. Во время этой работы показания пулковских часов 352 R и часов ВНИИМ 67 R¹ были получены из одновременных приемов ритмических сигналов, одних и тех же станций, произведенных обоими наблюдателями. Показания часов соответствовали одному и тому же радиосигналу. Разности часов: 352 R — 67 R, наблюдаемые в течение дня, были приведены к одной и той же эпохе $T_0 = 21^h.1$.

Азимуты были получены тремя последовательными приближениями и затем даны на каждый час наблюдений. Все наблюдения были разбиты на четыре части. По окончании первой четверти происходила смена наблюдателей без перемены инструментов. После второй четверти менялись инструменты, а после третьей — происходила вторичная смена наблюдателей. Четверть

¹ Часы 352 R и 67 R регулированы по звездному времени.

составлялась из 6—7 вечеров; в каждом вечере наблюдали 25—30 звезд времени в 6—8 близполюсных. Хронографы и радиотелеграфные установки не перевозились.

При исследовании влияния системы звездных положений на личные разности одновременно была перевычислена и разность долгот Пулково—ВНИИМ. Для перевычисления разности долгот Пулково—ВНИИМ в систему FK₃ надо перевести прямые восхождения из системы авторов (PR) в систему FK₃, перевычислить поправки часов в зависимости от изменения прямых восхождений и азимутов и с этими результатами вычислить разность долгот. Приведения на видимые места звезд, в пределах точности, не изменились. Показания часов 352 R и 67 R исправлений не требуют.

Для перевода прямых восхождений звезд в систему FK₃ были взяты каталоги FK₃ [4] и GC [5]. Во второй части FK₃ оказалась только одна звезда № 1432 (№ 16—по списку).

Для перевода на эпоху 1924.0 прямых восхождений звезд, взятых из FK₃,— применена формула:

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{d\alpha}{dT} T + \left(\frac{1}{2} \frac{d^2\alpha}{dT^2} \right) T^2 + \left(\frac{1}{6} \frac{d^3\alpha}{dT^3} \right) T^3,$$

где T — в долях от 100 лет.

Для перевода на эпоху 1924.0 α звезд, взятых из GC— применены формулы:

для звезд времени:

$$\alpha = \alpha_0 + (t - t_0) AV + \frac{(t - t_0)^2}{200} SV + \left(\frac{t - t_0}{100} \right)^3 3^2 t;$$

для близполюсных звезд:

$$\alpha = \alpha_0 + (AV_0 + \frac{t - t_0}{200} SV_0) (t - t_0) + (SV_1 - SV_0) \frac{(t - t_0)^3}{600 \tau},$$

где τ — интервал годов в эфемеридах.

Из всего списка оказалось общих звезд для FK₃ и GC: звезд времени— 16, близполюсных звезд— 4.

Звезды, имевшиеся в FK₃,— взяты непосредственно из этого каталога (прямые восхождения приведены на эпоху 1924.0), остальные— из GC и введены поправки за систему. Эти поправки, для сравнения, были взяты:

1) из GC (т. I, приложение III, стр. 330)— интерполированные по склонениям;

2) из GC— непосредственно по зонам, данным в этой таблице.

3) из FK₃— „сильно—сглаженные поправки“ Корфа [Корф, 6].

Для перевода прямых восхождений из системы GC в FK₃ применялась формула:

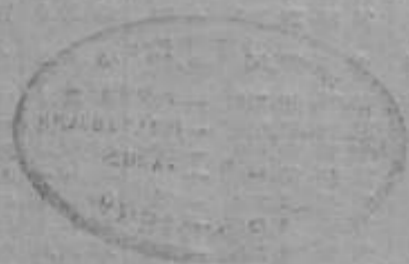
$$\alpha_{FK_3} = \alpha_{GC} + \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2 + \Delta \mu t.$$

Из сравнения этих трех видов поправок было обнаружено, что они между собою отличаются мало (до 0^o.01), но ближайшими результатами, к непосредственно взятым прямым восхождениям

Прямые восхождения

Таблица 1

№ по списку	№ по FK ₃	№ по GC	Название звезды	Величина	α_{1950}	$\Delta \alpha_{PK}$	α_{PK}	α_{FK_3}	α_{GC}	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	$\Delta \alpha_3$	α_1	α_2	α_3	Δ_1	Δ_2	Δ_3	α_{FK_3}	$\Delta \alpha$	α_{1950}	№ по списку
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	1
11	595	21467	Grb. 2296 Drac.	5.0	15 55 59.067	+ 61	15 55 59.128	59.008	59.044	-27	-27	-31	59.017	59.017	59.013	- 9	- 9	- 5	15 55 59.008	-120	54°57' 8"	11
12	598	21572	" Drac.	4.1	16 0 27.761	- 25	16 0 27.736	27.648	27.688	-30	-29	-35	27.658	27.659	27.653	-10	-11	- 5	16 0 27.648	- 88	58 46.1	12
14		5268	Grb. 766 S. p.	5.4	4 10 25.26	- 03	4 10 25.23	-	25.00	-	-08	+01	-	-	-	-	-	-	4 10 25.01	-22	83 37.7	13
14	605	21987	" Herculis	3.9	16 17 27.308	+ 1	16 17 27.309	27.249	27.258	-14	-14	-17	27.244	27.244	27.241	+ 5	+ 5	+ 8	16 17 27.249	- 60	46 29.6	14
15	615	22101	" Drac.	2.9	16 22 57.566	- 34	16 22 57.472	57.398	57.423	-31	-29	-31	27.392	27.394	27.392	+ 6	+ 4	+ 6	16 22 57.398	- 74	61 41.2	15
16	1432	22281	Pl. 16 ^b 140	5.8	16 31 20.981	+ 25	16 31 21.006	20.913	20.939	-37	-35	-30	20.902	20.904	20.909	+11	+ 9	+ 4	16 31 20.913	- 97	60 58.9	16
17		2218	Grb. 2369	5.4	16 36 28.045	+15	16 36 28.202	-	28.135	-30	-27	-30	-	-	-	-	-	-	16 36 28.105	- 92	56 9.8	17
18	627	25534	Grb. 2377 Drac.	4.9	16 43 51.211	- 25	16 43 51.186	51.094	51.127	-29	-27	-30	51.098	51.100	51.097	- 4	- 6	- 3	16 43 51.094	- 93	56 55.0	18
19	Ng	22749	" Urs. min.	4.4	16 53 41.83	+11	16 53 41.94	41.74	41.81	-	-07	-07	-	41.74	41.74	-	-01	-01	16 53 41.73	-21	82 9.9	19
20 _{Am}		22998	BD 60:1728	6.2	17 0 15.	-	17 0 18.771	-	18.644	-35	-34	-29	-	-	-	-	-	-	17 0 18.615	-156	60 45.3	20
21 _A		23200	BD 59:082	6.1	17 8 46.	-	17 8 46.111	-	46.077	-22	-24	-21	-	-	-	-	-	-	17 8 46.056	- 55	52 30.1	21
22		23372	Grb. 2133	3.7-7.0	17 15 31.966	-10	17 15 31.956	-	31.942	-35	-34	-27	-	-	-	-	-	-	17 15 31.915	- 41	60 45.0	22
23		23649	BD 37:14	5.7	17 24 42.343	-56	17 24 42.287	-	42.225	-31	-32	-27	-	-	-	-	-	-	17 24 42.198	- 89	60 6.7	23
24	635	23797	" Drac.	5.0	17 30 40.711	-15	17 30 40.696	40.608	40.631	-24	-24	-29	40.607	40.607	40.602	+ 1	+ 1	+ 6	17 30 40.608	- 88	55 14.1	24
25		7.73	Grb. 944 S. p.	6.4	5 37 24. 0	-13	5 37 24.37	-	24.47	-	-11	-02	-	-	-	-	-	-	5 37 24.45	+ 08	83 9.8	25
26		24221	Br. 2243	5.2	17 47 15.346	+ 52	17 47 15.398	-	15.307	-17	-16	-13	-	-	-	-	-	-	17 47 15.294	-104	50 47.9	26
27	Na	24236	" Urs. min.	4.4	17 56 44.96	-34	17 56 44.82	44.63	44.77	-	-03	- 0	-	41.74	44.77	-	-11	-14	17 56 44.63	+ 01	86 36.8	27
28		24820	Grb. 2527	5.9	18 8 58.185	- 17	18 8 58.169	-	58.114	-23	-24	-22	-	-	-	-	-	-	18 8 58.092	- 77	54 15.8	28
29	685	24916	Br. 2309; 3. Dr.	5.0	18 13 27.511	+ 43	18 13 27.554	27.469	27.498	-34	-36	-25	27.464	27.462	27.473	+ 5	+ 7	- 4	18 13 27.469	- 85	64 22.3	29
30	694	25151	Br. 2328; 30 Dr.	4.8	18 22 48.035	- 7	18 22 48.048	47.951	47.979	-26	-27	-24	47.953	47.952	47.955	- 2	- 1	- 4	18 22 47.951	- 97	58 45.4	30
31		25362	Br. 2340	5.0	18 31 15.889	+ 4	18 31 15.893	-	15.803	-25	-27	-20	-	-	-	-	-	-	18 31 15.783	-110	56 59.2	31
32		25519	Pl. 18 ^b 174	5.6	18 36 52.512	-119	18 36 52.393	-	52.339	-31	-32	-23	-	-	-	-	-	-	18 36 52.316	- 77	62 27.4	32
33		25705	Br. 2370	6.2	18 43 24.574	- 7	18 43 24.567	-	24.497	-33	-31	-19	-	-	-	-	-	-	18 43 24.478	- 89	60 58.0	33
34		25905	" Drac.	4.8	18 50 4.862	- 9	18 50 4.853	4.774	4.797	-26	-26	-21	4.771	4.771	4.776	+ 3	+ 3	- 2	18 50 4.774	- 79	59 17.7	34
35		26049	Br. 2410	5.7	18 55 27.957	+ 34	18 55 27.981	-	27.901	-23	-26	-17	-	-	-	-	-	-	18 55 27.884	- 97	57 42.8	35
36	Nd	9772	31 H. Cephei S. p.	5.1	7 5 28.04	-27	7 5 27.77	28.22	28.03	-	-14	0	-	27.89	28.03	-	+33	+19	7 5 28.22	+45	87 10.3	36
37		25337	Br. 2444	5.3	19 12 33.829	+ 23	19 12 33.843	-	33.791	-22	-25	-16	-	-	-	-	-	-	19 12 33.775	- 68	57 34.4	37
38 _{Am}		26708	BD 57:1986	6.1	19 18 52.	-	19 18 52.530	-	52.475	-24	-26	-14	-	-	-	-	-	-	19 18 52.461	- 69	57 30.1	38 _{Am}
39 _{Am}		26888	6304 _{Am}	6.5	19 25 33.823	+ 55	19 25 33.878	-	33.804	-29	-32	-18	-	-	-	-	-	-	19 25 33.786	- 92	62 24.0	39 _{Am}
40 _{Am}		27048	BD 59:2160	6.4	19 31 59.	-	19 31 58.656	-	58.626	-8	-30	-16	-	-	-	-	-	-	19 31 58.610	- 56	59 59.5	40 _{Am}
41		27206	Grb. 2907	5.9	19 36 58.751	- 24	19 36 58.727	-	58.663	-18	-15	-13	-	-	-	-	-	-	19 36 58.650	- 77	54 47.7	41
42 _{Am}		27322	BD 57:2067	6.3	19 41 45.	-	19 41 45.721	-	45.666	-22	-26	-13	-	-	-	-	-	-	19 41 45.653	- 68	57 50.1	42 _{Am}
43 _{Am}		27506	Br. 2542	5.2	19 48 43.312	+ 70	19 48 43.382	-	43.295	-15	-10	- 8	-	-	-	-	-	-	19 48 43.287	- 95	52 47.7	43 _{Am}
43 _{Am}		27581	BD 59:2137	6.0	19 52 14.	-	19 52 13.948	-	13.901	-25	-28	-14	-	-	-	-	-	-	19 52 13.887	- 61	59 30.4	43 _{Am}
44		11031	Grb. 1359 S. p.	6.4	7 58 57.10	-08	7 58 57.02	-	57.08	-	-12	-06	-	-	-	-	-	-	7 58 57.02	0	84 16.9	44
45		27911	Br. 2566	5.6	20 4 20.498	-88	20 4 20.400	-	20.400	-25	-29	-14	-	-	-	-	-	-	20 4 20.386	- 74	61 46.5	45
45a		11296	Grb. 1391 S. p.	6.2	8 9 58.91	-34	8 9 58.80	-	58.68	-	-12	-07	-	-	-	-	-	-	8 9 58.61	+ 01	82 40.2	45a
46		28120	Br. 2615	6.2	20 12 3.985	- 24	20 12 3.962	-	3.933	-24	-29	-13	-	-	-	-	-	-	20 12 3.929	- 42	60 24.5	46
47		28304	Br. 2628	5.6	20 18 20.738	+ 51	20 18 20.789	-	20.719	-24	-29	-14	-	-	-	-	-	-	20 18 20.705	- 84	62 1.0	47
48		28456	Grb. 3191	6.2	20 24 33.475	- 92	20 24 33.343	-	33.327	-18	-22	- 8	-	-	-	-	-	-	20 24 33.319	- 64	56 23.2	48
49		28589	Grb. 3221	6.3	20 29 55.104	+ 37	20 29 55.138	-	55.055	-18	-22	-11	-	-	-	-	-	-	20 29 55.044	- 94	56 37.3	49
50		28690	Rd. 4976	6.2	20 35 47.90	+ 05	20 35 47.95	-	47.95	-	-03	-04	-	-	-	-	-	-	20 35 47.91	-04	83 21.8	50
51	732	28956	Pl. 20 ^b 382	4.6	20 43 27.675	+ 27	20 43 28.002	27.917	27.930	-15	-20	-11	27.915	27.910	27.919	+ 2	+ 7	- 2	20 43 27.917	- 85	57 18.4	51
52 _{Am}		29069	6787 _{Am}	6.4	20 47 57.492	- 4	20 47 57.498	-	57.456	-25	-29	-15	-	-	-	-	-	-	20 47 57.441	- 47	63 45.5	52 _{Am}
53		29246	Br. 2727	6.1	20 54 15.124	- 25	20 54 15.099	-	15.022	-19	-22	-11	-	-	-	-	-	-	20 54 15.011	- 88	56 35.7	53
54		12603	Rd. 2218 S. p.	6.3	8 59 46.27	+ 18	8 59 46.45	-	46.49	-	-11	-06	-	-	-	-	-	-	8 59 46.43	-02	84 28.4	54
55	789	29355	Pl. 21 ^b 51	5.6	21 9 52.172	+ 11	21 9 52.183	52.134	52.138	-21	-24	-13	52.117	52.114	52.125	+17	+20	+ 9	21 9 52.134	- 49	59 40.4	55
56 _{Am}		29789	BD 53:2588	6.0	21 14 39.	-	21 14 39.363	-	39.272	-12	- 6	- 9	-	-	-	-	-	-	21 14 39.263	-100	53 40.6	56 _{Am}
57 _{Am}		29898	BD 60:2225	6.2	21 18 37.	-	21 18 36.364	-	36.317	-24	-27	-12	-	-	-	-	-	-	21 18 36.305	- 59	60 26.0	57 _{Am}
58	Ne	13174	1 H. Drac. S. p.	4.6	9 26 23.09	-18	9 26 22.91	22.96	22.93	-	-08	-05	-	22.85	22.85	-	+11	+11	9 26 22.96	+05	81 39.9	58
58a _{Am}		30065	BD 59:2383	6.4	21 25 19.	-	21 25 19.361	-														



из FK_3 , являются α , полученные по поправкам Коффа. Поэтому они и взяты для перевода. В табл. 1 приводятся три вида поправок к α , разности α_{FK_1} и α , полученных по трем видам поправок, принятые исправления прямых восхождений и прямые восхождения в системе FK_3 .

В табл. 1 все прямые восхождения даны на эпоху 1924.0.

В графе 7: $\Delta \alpha_{PR} = \alpha_{PR} - \alpha_{GC}$.

В графе 11: $\Delta \alpha_1 = \alpha_{FK_1} - \alpha_{GC}$; взяты из GC, интерполированы по склонениям.

В графе 12: $\Delta \alpha_2 = \alpha_{FK_1} - \alpha_{GC}$; взяты из GC — по зонам.

В графе 13: $\Delta \alpha_3 = \alpha_{FK_1} - \alpha_{GC}$; взяты из FK_3 по Коффу.

Графы 14, 15 и 16 получены из 10 графы и соответственно из 11, 12 и 13.

В графе 17: $\Delta_1 = \alpha_{FK_1} - \alpha_1$.

В графе 18: $\Delta_2 = \alpha_{FK_1} - \alpha_2$.

В графе 19: $\Delta_3 = \alpha_{FK_1} - \alpha_3$.

Рассматривая графу 21 табл. 1, мы видим, что все поправки для перевода прямых восхождений звезд времени в систему FK_3 — отрицательны; их величины значительны (от $-0^{\circ}.030$ до $-0^{\circ}.156$).

Получив поправки прямых восхождений, надо было исследовать, в какой мере изменятся поправки часов в зависимости от изменения азимутов. Для этого были рассмотрены несколько вечеровых определений.

27 июня в Пулкове наблюдалось 4 звезды времени и 2 близполюсных, во ВНИИМе — 6 и 4; число общих звезд — 3 и 1. По введении поправок в прямые восхождения звезд времени и близполюсных средний азимут изменился в Пулкове на $+0^{\circ}.008$, поправка часов 352 R изменилась на $-0^{\circ}.00005$. Средний азимут во ВНИИМе изменился на $+0^{\circ}.032$, поправка часов 67R — на $+0^{\circ}.001$. Эти изменения поправок, учитывая вес вечера $p' = 0.192$, исправляет разность долгот первой четверти на $-0^{\circ}.000003$.

7 июля в Пулкове наблюдалась 1 звезда времени, азимут взят средним из 6 и 9 июля, во ВНИИМе — 5,5 звезд времени и 1 близполюсная. Число общих звезд — 1. Азимут во ВНИИМе изменился на $+0^{\circ}.021$. Разность поправок изменилась на $+0^{\circ}.002$. При весе вечера $p' = 0.068$, разность долгот первой четверти изменится на $+0^{\circ}.00002$.

16 июля в Пулкове наблюдаются 33 звезды времени и 7 близполюсных, во ВНИИМе — 28 и 8; число общих звезд — 19 и 7 (число не общих звезд — 23). Разность азимутальных коэффициентов в Пулкове и ВНИИМе для этого вечера равна $+0^{\circ}.002$. Для того, чтобы разность поправок часов изменилась на $0^{\circ}.001$ — надо, чтобы азимут изменился на $0^{\circ}.5$, чего, безусловно, не может быть, так как изменения азимутов не достигают $0^{\circ}.1$.

Если эти вечера, внушающие наибольшие опасения в отношении изменения поправок часов за счет изменения азимутов, +e

Таблица 2

Долгота по отдельным вечерам в системе FK₃

Дата	Число звезд в Пульконе		Число звезд по ВНИИМе	Число общих звезд	$(u_{\text{пол}} - u_{\text{от}})_{\text{FK}}$	Δu_{FK}	$(u_{\text{пол}} - u_{\text{от}})_{\text{FK}}$	352 R-67 R	$\Delta \lambda_{\text{FK}}$	ρ'
	4	6								
1924	<i>I четверть</i>									
Июнь										
27	4	6	3	-34.457	-0.009	-34.466	37.056	2.590	0.192	
30	6.5	9	4.5	-33.863	+	5	-33.858	36.413	555	0.302
Июль										
7	1	5.5	1	-32.296	+	22	-32.274	34.863	589	0.068
8	1.5	1.5	1.5	-32.038		0	-32.038	34.634	595	0.060
12	1	25	1	-31.043	+	3	-31.040	33.660	620	0.077
Сборн. вечер	14	47	11	-	-	-	-	-	579	0.70
Июль										
1	18	34	17	-33.602	-	7	-33.609	36.204	595	0.94
2	23	27	17.5	-33.398	-	7	-33.405	35.990	585	0.99
5	26	28	23.5	-32.495	+	1	-32.494	35.094	609	1.00
9	28.5	19	14.5	-31.778	-	5	-31.783	34.384	601	0.91
10	29	40	28	-31.543	+	1	-31.542	34.148	606	1.00
11	34	36.5	33	-31.312		0	-31.312	33.908	596	1.00
13	15.5	13.5	10.5	-30.763		0	-30.763	33.402	639	0.58
									2.599	7.12
Июль	<i>II четверть</i>									
16	33	28	19	-29.997	+0.002	-29.995	32.626	2.631	1.00	
17	27	36	23	-29.772	-	2	-29.774	32.396	622	1.00
18	36	41.5	34.5	-29.471	-	2	-29.473	32.153	680	1.00
19	42	41	39.5	-29.226		0	-29.226	31.890	664	1.00
20	43.5	39.5	37	-28.983	+	2	-28.981	31.610	629	1.00
21	41	41.5	38.5	-28.730		0	-28.730	31.357	627	1.00
22	36	37	35	-28.509		0	-28.509	31.085	576	1.00
									2.633	7.00
Июль	<i>III четверть</i>									
24	24	30	22	-27.880	+0.001	-27.879	30.505	2.626	1.00	
25	27	30.5	19.5	-27.606	+	3	-27.606	30.232	626	1.00
26	42	29.5	29.5	-27.345	-	3	-27.348	29.968	620	1.00
27	17.5	12.5	5.5	-27.083	+	5	-27.078	29.690	612	0.58
28	32.5	31.5	29	-26.771	-	2	-26.773	29.399	626	1.00
29	41	37	36	-26.493	-	1	-26.494	29.128	634	1.00
30	42.5	37	37	-26.225		0	-26.225	28.853	628	1.00
31	33	28	27	-25.950	+	1	-25.949	28.572	623	1.00
									2.625	7.58

Продолжение

Дата	Число звезд в Пулкове	Число звезд по ВНИИМс	Число общих звезд	$(u_{\text{вс}} - u_{\text{вн}}) / \nu_{\text{вн}}$	$u_{\text{вн}}$	$(u_{\text{вс}} - u_{\text{вн}}) / \nu_{\text{вс}}$	352 R-67 R	$\Delta \lambda_{\text{вн}}$	p'
Август	IV четверть								
13	36	35	35	-21.982	0.000	-21.982	24.556	2.574	1.00
14	36	36	35	-21.615	0	-21.615	24.246	631	1.00
15	35	34.5	30.5	-21.306	0	-21.306	23.031	625	1.00
16	33.5	34	29.5	-21.007	-	-21.009	23.623	614	1.00
17	36	34	31	-20.672	-	-20.673	23.323	650	1.00
18	39.5	40	38.5	-20.371	+	-20.370	23.024	654	1.00
								2.625	6.00

дают исправлению разности долгот в пределах 0,001, то остальные вечера и подавно не дадут изменений. Тем более, что звезды списка подобраны близкими к зениту и их вечеровые средние азимутальные коэффициенты близки к нулю по своей абсолютной величине.

Таблица 3

Средние результаты разности долгот

Четверти	$\Delta \lambda_{\text{вн}}$	$\Delta \lambda_{\text{вс}}$	$\Sigma p'$
I	2.601	2.599	7.12
II	2.633	2.633	7.00
III	2.625	2.625	7.58
IV	2.625	2.625	6.00
	2.621	2.620	27.70

Далее, с помощью поправок Δa (табл. 1, графа 21) были вычислены исправления разности поправок часов: $\Delta u_{\text{вн}} = u_{\text{вс}} - u_{\text{вн}}$ и разности долгот по отдельным вечерам и четвертям. Сводка этих результатов указана в табл. 2.

Из рассмотрения табл. 2 видно, что исправления вечеровых значений разности долгот весьма незначительны и знакопеременны. Там, где эти исправления достигают значительных величин, например, 7 июля — $\Delta u_{\text{вн}} = +0.022$, вес значения $\Delta \lambda$ очень мал — $p' = 0.068$, поэтому на окончательный результат они оказывают весьма малое значение.

В табл. 3 даны средние результаты долготы, полученные авто-

рами (Н. Х. Прейпич и Б. И. Рак) и перевычисленные в систему FK_3 .

В табл. 3 мы видим, что значения разности долгот, полученных авторами, отличаются от перевычисленных в системе FK_3 только в первой четверти — на $0^{\circ}.002$, в остальных трех четвертях — они совпадают.

Расхождение в первой четверти произошло из-за неблагоприятных условий наблюдений.

Среднее значение разности долгот изменилось на $-0^{\circ}.001$, при средней ошибке равной $\pm 0^{\circ}.006$, т. е. практически долгота, не изменилась и долгота ВНИИМа (Ленинград) остается той же, равной

$$-2^h 1^m 15^s.930 \pm 0^{\circ}.006.$$

РЕЗЮМЕ.

1. При одновременных приемах ритмических сигналов одних и тех же станций показания часов обоих пунктов исправлений не требуют.

2. Согласие трех видов поправок к прямым восхождениям для перехода от системы GC в FK_3 взятых:

а) из GC — интерполированных по склонениям;

б) из GC — непосредственно по зонам;

в) из FK_3 — по поправкам Копфа

лежит в пределах $0^{\circ}.01$ и практически они одинаковы для пользования. Несколько ближе из них — поправки Копфа. Если же берутся поправки по GC, то интерполировать по склонениям не имеет смысла.

3. Если звезды подобраны близкими к зениту ($\Delta\varphi \approx 0$) и средние вечеровые азимутальные коэффициенты близки к нулю, то изменение азимутов за счет изменения прямых восхождений не будет влиять на поправки часов.

4. При вечеровых наблюдениях одних и тех же звезд на обоих пунктах, система звездных положений не будет влиять на определяемую разность долгот, если $\Delta\varphi \approx 0$ и часы на обоих пунктах безусловно надежны.

5. Очевидно, что наиболее независимыми от системы звездных положений будут результаты определения разности долгот при условии $\varphi_1 \approx \varphi_2$ и $\lambda_1 \approx \lambda_2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Х. Прейпич и Б. И. Рак. Определение разности долгот Пулково — Ленинград (ВНИИМ) по радиотелеграфу. Труды ВНИИМ. Определение долгот и измерение времени. Стандартиз. Л — М 1936.
2. Lewis Boss. Preliminary General Catalogue of 6188 stars for the Epoch 1900. Washington, 1925.
3. L. Amdronn. Sternverzeichnis enthaltend alle Sterne bis zur 6,5-ten Grösse für das Jahr 1900,0, Berlin, 1907.
4. Dritter Fundamentalkatalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs, 1 Teil Berlin, SW 68, (FK_3) 1937.
5. General Catalogue of 33342 stars for the Epoch 1950. By Benjamin Boss. Washington, D. C., (G.C.) 1937.
6. A. Kопf. Vergleich des FK_3 mit dem General Catalogue von B. Boss. Berlin-Dahlem, табл. 4 и 5. 1939.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ „СВОБОДНОГО МАЯТНИКА“ ДЛЯ УСТРОЙСТВА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ

СВОБОДНЫЙ МАЯТНИК

Применение законов колебательного движения твердого тела большой массы, подвешенного на неподвижной оси, при измерении времени с точностью необходимой для хранения времени в интервалах между двумя смежными астрономическими наблюдениями-поправками, имеет большую историю.

Регулятор астрономических часов физический маятник в приближении, совершает колебательное движение по законам так называемого математического маятника. Круговым математическим маятником называют тяжелую материальную точку, движущуюся по кругу в вертикальной плоскости, причем нить, на которой подвешена эта точка, невесома и нерастяжима, а вся масса точки сосредоточена в центре тяжести. Величина периода колебания математического маятника вычисляется по формуле:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right]}, \quad (1)$$

где l — длина маятника,
 φ_0 — амплитуда колебания.

Из формулы (1) следует, что колебания математического маятника не изохронны. Изохронными колебания будут только для маятника, совершающего движение по циклоиде, в этом случае формула периода колебания имеет вид:

$$T = \pi \sqrt{\frac{4a}{g}}, \quad (2)$$

где a — радиус круга, производящего циклоиду.

Этим свойством воспользовался Х. Гюйгенс, который построил циклоидальный маятник.

Период колебания физического маятника вычисляется по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{k} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right]}, \quad (3)$$

где J — момент инерции маятника,
 k — статический момент маятника.

Из формулы (3) следует, что колебания физического маятника также не изохронны.

За истекшее столетие прилагалось много усилий для создания такого маятника часов, закон колебательного движения которого возможно больше приближался бы к закону колебания математического маятника.

В прошлом столетии вопросу колебаний маятника посвятил много энергии известный ученый Бессель, который разработал ряд теоретических положений, подтвержденных прекрасно и тщательно проведенными опытами. Бессель разработал вопрос о движении маятника в сопротивляющейся среде, о влиянии изменения и расслоения температуры окружающей среды, влияния изменения плотности окружающей среды. Им были исследованы влияние размера и формы линзы маятника, влияние различных способов подвешивания маятника, а именно, влияние собственного момента пружины подвеса, влияние формы острия призмы.

В результате теоретических и опытных изысканий Бессель пришел к заключению о необходимости создания так называемого „свободного маятника“, маятника максимально возможно освобожденного от несвойственных ему функций приведения в движение какого-либо рода механизмов.

Признавалась единственная необходимость механической связи маятника с механизмом часов в момент сообщения маятнику добавочного импульса энергии для поддержания колебаний. Чем меньше маятник расходует энергии на работу по управлению механизмом часов, тем меньше изменяется его амплитуда и период, тем большую точность обеспечивает он при измерении времени. Бесселю, при уровне развития электротехники прошлого столетия, не удалось осуществить „свободного маятника“ для задач измерения времени. Позднее в 1895 г. были предложены конструкции маятника освобожденного максимально от механической связи с механизмом часов, обзор этих работ сделан генералом Ферри (Ferrie), [1] в 1929 г. Электромеханический ход часов британским часовщиком был известен уже в 1906 г. [2], примененный позднее конструктором Шортом (W. H. Shortt), при изготовлении известных часов со свободным маятником. Уже в прошлом столетии был предложен фото-электрический контакт, однако, низкий уровень техники изготовления и эксплуатации фото-элементов не дал возможности тогда создать часы, удовлетворяющие поставленным требованиям.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЧАСЫ СО „СВОБОДНЫМ МАЯТНИКОМ“

Впервые удалось осуществить принцип Бесселя при изготовлении астрономических часов в 1921 году Шорту. Шорт распределил все функции на два самостоятельных маятника: 1) основной — освобожденный от работы по приведению в действие механизма часов и 2) рабочий (рабский) — управляющий меха-

низмом часов, синхронизируемый основным свободным маятником. Для сообщения импульса добавочной энергии основному маятнику Шорт использовал известный ранее электро-механический ход, в котором энергия для импульса создается свободно падающим грузом, т. е. постоянна по величине для каждого последующего импульса. Изучение различных экземпляров часов Шорта, проведенное за последнее десятилетие, показывает, что их конструкция является, повидимому, наиболее совершенной из всех современных конструкций маятниковых часов, особенно часы Шорта с приспособлением Лумиса (Loomis) для автоматического регулирования амплитуды. Однако, основной маятник Шорта еще не освобожден полностью от механической связи с рабочим маятником и кроме того подвес типа З. Рифлера на пружине создает момент, влияющий на характер колебаний маятника; действие этого момента до настоящего времени точно не определено.

ПОДВЕШИВАНИЕ МАЯТНИКА

В последние десятилетия при изготовлении астрономических часов первого класса применяют всего два способа подвешивания маятника: 1) подвешивание на призме, установленной острием на твердой подушке; 2) подвешивание на тонкой плоской пружине (или двух пружинах), закрепленной концами в специальных зажимах (типа З. Рифлера). Первый способ в настоящее время применяется редко вследствие крупных недостатков, присущих данной конструкции. Эти недостатки, исследованные подробно Бесселем и Д. И. Менделеевым, заключаются в сильном искажении формы острия призмы, так как при большом весе маятника порядка 8 кг (для секундного маятника) возникает большое удельное давление на поверхности касания острия призмы и подушки. Искажение формы острия призмы влечет за собой изменение длины маятника и увеличение трения, что изменяет величину периода колебания маятника.

Второй способ подвешивания маятника на плоской пружине в настоящее время наиболее распространен в часах З. Рифлера, Шорта, Леруа первого класса. Подвеска маятника чаще делается сборной из одной или двух тонких полосок стали, зажимаемых концами в оправках лишь в некоторых конструкциях, например, в часах Шорта почти целиком выполнена из одного куска стали. При пружинном подвесе, при колебаниях маятника, создается момент, добавляемый к моменту маятника и тем самым, частично компенсирующий энергию, потерянную маятником на преодоление сопротивления окружающей среды. Удачный подбор размеров пружины может дать колебания маятника, близкие к изохронизму. Однако, этот вопрос выбора размеров пружины (особенно ее толщины) еще очень мало изучен, причем опыты различных исследователей дали противоречивые результаты. Более старые работы Фродчем, Ложье, Винерля, Бесселя привели к заключению, что при увеличении момента, создаваемого силами

упругости пружины подвеса, можно добиться ускорения колебаний маятника при увеличении его амплитуды. В более современной работе Ф. Хайна [3] получены противоположные результаты. Хайном были исследованы подвесы с пружинами толщиной 0,1 мм и 0,05 мм, создающими различные по величине моменты при одинаковых амплитудах колебания маятника. Пружина толщиной 0,1 мм при колебаниях маятника создавала больший момент, чем пружина толщиной—0,05 мм.

Тщательно проведенные исследования привели к следующим результатам:

1. Для колебаний маятника весом 1,8 кг, подвешенного на пружине толщиной 0,05 мм, формула хода имеет следующий вид:

$$g = g_0 - 0^{\circ},09 \Delta S, \quad (4)$$

где ΔS — изменение амплитуды колебания.

2. Для колебаний маятника весом 1,2 кг, подвешенного на пружине толщиной 0,1 мм, формула хода имеет следующий вид

$$g = g_0 + 0^{\circ},02 \Delta S. \quad (5)$$

Из рассмотрения формул (4) и (5) следует, что маятник, подвешенный на пружине, создающей меньший момент, обнаруживает ускорение колебаний с увеличением амплитуды, а маятник, подвешенный на пружине, создающей больший момент, толщиной 0,1 мм (размер наиболее часто применяемый в часах), вел себя так, как этого требует теория колебаний маятника.

Общий вывод всех исследователей в этой области заключается в том, что соответствующим подбором пружины можно добиться большего постоянства периода колебаний маятника. Однако, Д. И. Менделеев считал, что для большей точности колебаний маятника необходимо максимально уменьшить влияние подвеса на его колебания, т. е. создать подвес с наименьшим моментом сил упругости материала. В нашем исследовании будет испытана конструкция подвеса, предложенная автором, состоящего из витого проволочного канатика, изготовляемого таким способом, что его собственный момент почти исчезает.

ФОТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТАКТ МАЯТНИКА

Попытки создания фото-электрического контакта маятника, сделанные в 1895 году, были повторены в наше время исследователем Шулером [4], попытавшимся создать „свободный маятник“ для устройства астрономических часов. Шулер с целью создания „свободного маятника“ в конструкцию вложил следующие принципы:

- 1) создать маятник практически нечувствительный к незначительным перемещениям точки его подвеса;
- 2) осуществить поддержание амплитуды колебания при помощи электромагнитной передачи;
- 3) для связи „свободного маятника“ с синхронизируемым рабочим маятником применить фото-электрический контакт.

Принцип устройства маятника Шулера следующий: маятник подвешен на призме; на верхнем конце стержня маятника укреплен подковообразный магнит, который при колебаниях маятника своими полюсами колеблется в поле электромагнита, управляемого вспомогательным (рабочим) маятником. Рабочий маятник синхронизируется каждый час со „свободным маятником“. Фотоэлектрический контакт состоит из источника света помещенного у нижнего конца маятника. Световой пучок падает на фотоэлемент в момент прохождения маятником отвесного положения, и усиленный ток фотоэлемента передается на реле.

Нечувствительность маятника к незначительным перемещениям точки подвеса обеспечивалась применением конструкции минимального маятника, которую можно так коротко объяснить. Приведенную длину маятника l можно выразить известной формулой:

$$l = \frac{\rho_c^2}{a} + a, \quad (6)$$

где ρ_c — радиус инерции маятника относительно оси проходящей через его центр тяжести.

a — расстояние между точкой подвеса и центром тяжести маятника.

В минимальном маятнике приведенная длина l не зависит от изменения расстояния между точкой подвеса и центром тяжести маятника a при условии:

$$\frac{dl}{da} = -\frac{\rho_c^2}{a^2} + 1 = 0. \quad (7)$$

Или когда $\rho_c = a$. При этом условии изменение величины a на 0,1 мм, согласно подсчета Шулера, вызывает изменение точного хода всего на 0,0002 сек. Однако, опубликованные до настоящего времени материалы по изучению „свободного маятника“ Шулера показывают, что эта конструкция, по сравнению с другими, например, Рифлера и Шорта, преимуществ не имеет и даже не дает одинаковых результатов и не принята в эксплуатацию ни одной службой времени. Маятник Шулера оказался также очень чувствительным к сейсмическим колебаниям.

ВЕС ЛИНЗЫ МАЯТНИКА

Для создания конструкции точного маятника имеет значение решение вопроса о выборе величины веса линзы (груза) маятника. Влияние веса линзы на колебание маятника исследовано недостаточно, подмечена только общая закономерность. Из механики следует, что для одинаковых амплитуд энергии маятника в потенциальной и кинетической форме (в сумме постоянная за время одного колебания) пропорциональна весу линзы. Если взять несколько маятников одинаковых размеров и формы, имеющих линзы различного веса, то можно считать, что энергия маятника, при колебании, поглощается сопротивлением окру-

жающей среды одинаково для всех маятников. При таком условии для перехода одной амплитуды φ_1 в другую — φ_2 требуется время, пропорциональное весу линзы маятника. Однако опыты показали, что эта закономерность, т. е. пропорциональность веса линзы и амплитуды, искажается для тяжелых маятников и коротких интервалов времени. Это заключение иллюстрируется следующей таблицей результатов исследования двух маятников.

φ	$P = 1200 \text{ г}$	$P = 9600 \text{ г}$
	t	t
$6^\circ - 5^\circ$	4 мин. 00 сек.	31 мин.
$5^\circ - 4^\circ$	5 . 15 .	36 .
$4^\circ - 3^\circ$	7 . 00 .	52 .
$3^\circ - 2^\circ$	9 . 30 .	71 .
$2^\circ - 1^\circ$	17 . 15 .	134 .
$1^\circ - 2'$	90 . 00 .	600 .

В первой графе таблицы даны величины уменьшения амплитуды, во второй и третьей графах время затухания до соответствующей амплитуды для двух маятников, веса линзы которых относятся как $\frac{1}{8}$.

Такие исследования привели к выводу, что выгоднее применять маятники с тяжелыми линзами. Поэтому в прошлом столетии применяли, для астрономических часов маятники с весом линзы в 20—30 кг, с амплитудой $\varphi = 15'$. В обсерватории в Ницце был применен маятник весом 108 кг, с амплитудой колебания $40'$, причем опыт колебания этого маятника показал, что можно с таким маятником применять не точный ход, так как в этом случае маятник выполняет роль махового колеса и неравномерность коротких периодов колесной передачи не оказывает влияния. Исходя из таких же соображений, Д. И. Менделеев при абсолютном определении величины напряжения силы тяжести применял метод качаний маятника с золотым шаром весом 50 кг.

В настоящее время отказались от применения таких тяжелых маятников. Наиболее распространенные астрономические часы имеют так называемый секундный маятник. Вопрос об оптимальном значении веса линзы для такого маятника не изучен полностью.

Рациональная конструкция маятника для астрономических часов, изготавливаемых в нашей стране, еще не определена. ВНИИМ ведет первые опыты по изготовлению астрономических часов аналогичных по своей конструкции часам Шорта, первый экземпляр которых был изготовлен искусным советским мастером

И. И. Кваренбергом, но еще не получены окончательные результаты по этой работе. В силу соображений, изложенных выше, лабораторией времени было решено провести исследование колебаний секундного маятника с целью создания „свободного маятника“ для астрономических часов.

ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЮ

Наше исследование преследует цель изучить конструкции маятника и маятникового контакта, обеспечивающего максимальное приближение закона колебаний маятника к изохронизму. Одновременно собрать экспериментальный материал, необходимый для выбора наилучшей конструкции подвеса, размера и веса линзы, материала стержня маятника, конструкции импульсного механизма.

Для проведения намеченных исследований лабораторией совместно с конструкторским бюро разработан проект прибора „свободный маятник“, который в настоящее время изготовлен заводом „Эталон“ и устанавливается в специальном термостатированном помещении лаборатории времени.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА „СВОБОДНЫЙ МАЯТНИК“

Основной частью прибора является секундный маятник 1, помещенный в герметически закрываемом футляре 2, из которого эвакуирован воздух, до вакуума величины 25—30 мм.

У нижнего конца маятника расположен фото-электрический контакт, состоящий из фото-элемента 3 и осветительной системы 4, от которой пучок света с помощью оптической системы направляется на фото-элемент. На пути пучка света от осветителя находится шторка, закрепленная на нижнем конце маятника. Шторка снабжена щелью, в результате такого устройства при каждой половине колебания маятника шторка перекрывает пучок света, а при другой половине колебания маятника шторка через щель пропускает пучок света на фото-элемент. Следовательно, в течение одной секунды контакт фото-реле замкнут, в течение второй секунды разомкнут. Фото-ток через усилитель проходит на реле Сименса, от которого через специальный счетно-импульсный механизм 5 ток поступает в электромагнит электро-механического хода 6, сообщая импульс дополнительной энергии маятнику через каждые две секунды. Интервал в две секунды для сообщения импульса дополнительной энергии маятнику выбран из тех соображений, чтобы в случае отказа в действии импульсного механизма на какой-либо короткий момент был только пропущен импульс энергии, а следующий очередной импульс (который поступит не через 2 сек., а через 4) будет сообщен маятнику, в том же направлении, т. е. таким выбором интервала сообщения импульса исключена возможность встречного импульса, направленного против движения маятника.

Для определения амплитуды колебания маятника прибор

снабжен специальным отсчетным приспособлением, состоящим из зрительной трубы 7 и ломаной трубы 8, луч света из которой направляется на плоское зеркало, укрепленное на нижнем

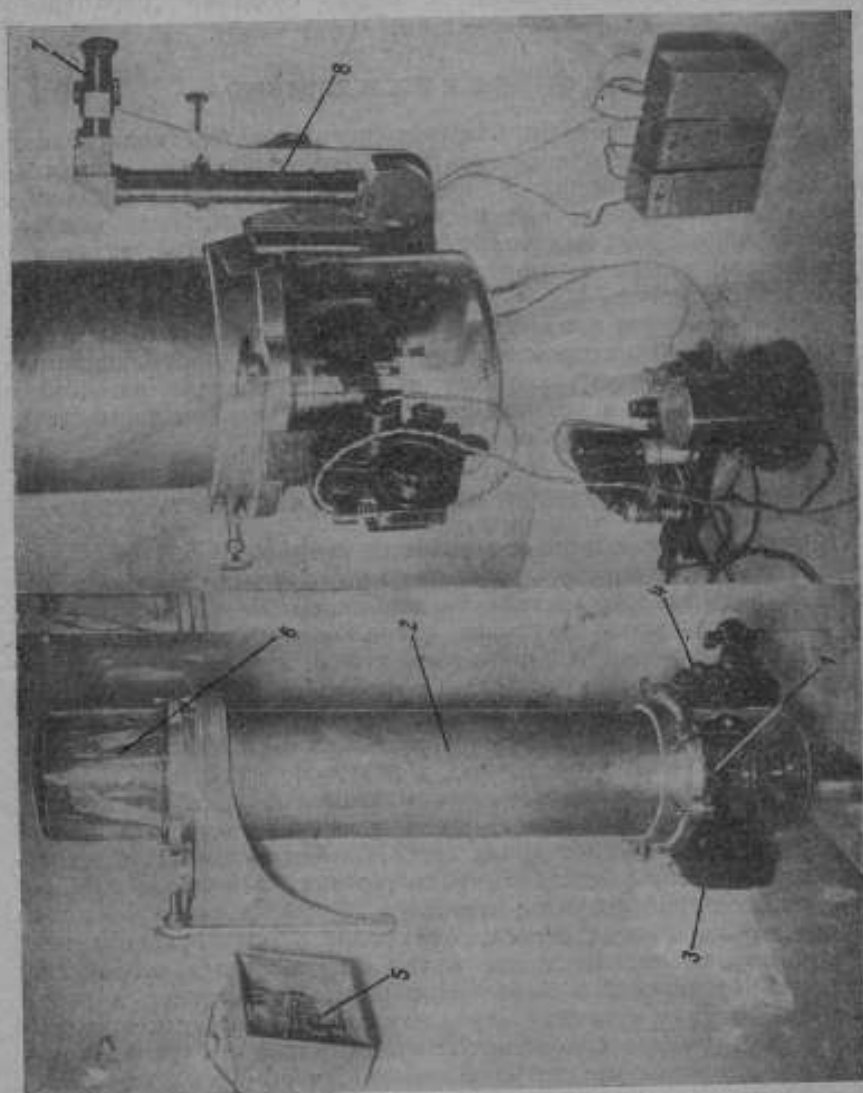


Рис. 1

конце маятника. Отраженный свет возвращается в зрительную трубу при условии, когда ее оптическая ось нормальна к поверхности зеркала, для чего зрительная труба имеет возможность поворачиваться относительно неподвижной точки. Шкала углов поворота зрительной трубы дает непосредственное значение амплитуды колебания маятника.

Подвешивание маятника осуществляется на нескольких вариантах подвесов.

Электромеханический ход для сообщения импульса энергии маятнику в двух вариантах; один вариант по типу, изготовляемому для часов Шорта-Кваренберга, второй вариант разработан заново лабораторией, в основу которого принят принцип сообщения импульса дополнительной энергии возможно ближе к равновесному положению маятника, что наиболее выгодно согласно теореме Эри.

УСТРОЙСТВО ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИБОРА

Маятник. Как принято последние десятилетия, избран секундный маятник, имеющий полный период колебания $T=2$ сек. Для изучения вопросов, связанных с конструкцией маятника, разработано три варианта.

1. Маятник со стержнем из инвара (рис. 2). Последние годы основным материалом для изготовления стержня маятника астрономических часов стал инвар, вследствие сравнительно малого коэффициента линейного расширения. Лаборатория времени для этой цели получила инварные стержни в 1936 г. из Франции, через Международное бюро времени. С того времени стержни хранились в лаборатории и, следовательно, подверглись естественному старению, таким образом материал для стержня маятника оказался очень благоприятный.

Длина маятника определена методом приближенного расчета на основании принятых размеров составных элементов маятника.

Для маятника принято, расстояние центра тяжести приведенной массы маятника от точки подвеса маятника $a=0,982$ м; приведенная масса маятника $M=0,847$ кг массы; статический момент маятника $K=0,832$ кг·м; момент инерции приведенной массы $J=0,827$ кг·м².

При таких размерах получаем приведенную длину маятника $l=0,994$ м и период колебания $T=2$ сек.

Маятник снабжен устройством для частичной компенсации изменения его длины при изменении температуры окружающей среды.

Компенсация осуществляется способом Рифлера. На регулировочную шайбу 4, установленную на резьбе на стержень 1 надета

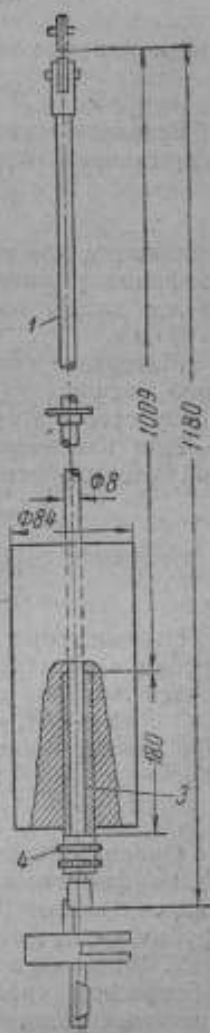


Рис. 2

компенсационная трубка 3. Цилиндрическая линза 2 маятника подвешена на компенсационную трубку, причем центр тяжести линзы находится в точке ее подвеса на трубке. Ориентировочная длина компенсационной трубки определена на основании следующих соображений.

Вследствие изменения температуры окружающей среды изменяется приведенная длина маятника, при изменении приведенной длины l на величину $\Delta l = 1$ мм изменится период колебания маятника, вместо расчетных 60 колебаний в минуту маятник будет иметь число колебаний в минуту:

$$n = 60 \sqrt{\frac{0,994}{0,993}} = 60,03 \text{ колебаний.}$$

Это изменение числа колебаний создаст суточный ход:

$$u = -24 \times 60 \times 0,03 = -43,2 \text{ сек.}$$

Величине суточного хода, равной одной секунде, будет соответствовать изменение длины маятника—

$$\Delta l = \frac{1}{43,2} = 0,0232 \text{ мм.}$$

Принимаем для компенсационной трубки материал сталь, считая коэффициент линейного расширения стали $\alpha_1 = 0,0000115$ мм на мм длины на $t = 1^\circ\text{C}$, длину компенсационной трубки $l_1 = 91$ мм.

Материал стержня инвар—принимаем коэффициент линейного расширения $\alpha_2 = 0,00000088$ мм на мм длины на $t = 1^\circ\text{C}$ длину стержня $l = 1103$ мм.

При изменении температуры окружающей среды на $t = 1^\circ\text{C}$ получим изменение длины стержня:

$$\Delta l = 1103 \times 0,00000088 = 0,0009706 \text{ мм}$$

и изменение длины компенсационной трубки

$$\Delta l_1 = 91 \times 0,0000115 = 0,0010465 \text{ мм.}$$

Перемещение стержня будет компенсироваться перемещением трубки в обратном направлении и центр тяжести линзы переместится лишь на величину разности этих перемещений, равную

$$\Delta l - \Delta l_1 = 0,0009706 - 0,0010465 = -0,000076 \text{ мм.}$$

Это перемещение создает суточный ход

$$u = -\frac{0,000076}{0,0232} = -0,0033 \text{ сек.}$$

Окончательная компенсация будет достигнута после определения фактических коэффициентов линейного расширения материалов, из которых изготовлены стержень и компенсационная трубка, незначительными изменениями длины стержня или трубки.

2. Маятник со стержнем из литого кварца (рис. 3). Прекрасное свойство кварца—незначительное изменение его линейных размеров при изменении температуры уже давно известно, также известны случаи применения кварца для изготовле-

ния стержня астрономического маятника. Однако, кварц еще не занял заслуженного места для изготовления маятников, это обуславливается сложностью изготовления маятника, главным образом сложностью его подвешивания и закрепления линзы, так как кварц очень хрупкий и на нем сложно изготовить резьбу. Мы все же считаем необходимым сделать еще попытку освоения кварца для изготовления точных маятников, так как он имеет преимущества по сравнению с инваром, — значительно — меньший коэффициент линейного расширения и большое количество отечественного сырья, в то время как получение качественного инвара сильно затруднено. Опыт должен показать состоятельность нашего стремления.

Длина маятника определена расчетом на основании принятых размеров составных элементов маятника.

Для маятника принято: расстояние центра тяжести приведенной массы от точки подвеса маятника $a=0,963$ м; приведенная масса маятника $M=0,872$ кг массы; статический момент маятника $K=0,8398$ кг. м; момент инерции приведенной массы $I=0,8349$ кг. м². При таких размерах получаем приведенную длину маятника $l=0,994$ м и период колебания $T=2$ сек.

Конструкция подвешивания линзы маятника, естественно, несколько изменена, так как изготовлять резьбу на кварце мы тоже не решились, вследствие этого изменено устройство для грубой регулировки периода колебания маятника. Вместо обычной регулировочной шайбы, устанавливаемой на резьбе, на стержне введена следующая конструкция: компенсационная трубка 3 имеет ленточную резьбу, на которую навинчивается втулка 4 с барабанчиком, на наружной поверхности этой втулки имеется кольцевой выступ на который подвешивается линза 2, причем вырез в линзе сделан в сечении проходящем через ее центр тяжести. Компенсационная трубка опирается на заплечик кварцевого стержня 1. Вращением барабана втулки 4 перемещается линза 2 при регулировке, для того, чтобы она при этом не поворачивалась поставлены направляющие штифты 5. Компенсационная трубка изготавливается из стали.

Ориентировочный расчет компенсации на температуру $\alpha_1 = 0,0000115$ мм на мм длины на $t=1^\circ\text{C}$, длина трубки $l_1=47$ мм; для литого кварца принят коэффициент линейного расширения $\alpha_2 = 0,00000035$ мм на мм длины на $t=1^\circ\text{C}$; при изменении температуры окружающей среды на $t=1^\circ\text{C}$ получится изменение длины стержня:

$$\Delta l = 0,0003518 \text{ мм}$$

и изменение длины трубки:

$$\Delta l_1 = 0,0005405 \text{ мм.}$$

Разность перемещения стержня и трубки получится $\Delta l - \Delta l_1 = -0,00019$ мм, эта разность создаст суточный ход $u = -0,002$ сек. Окончательная компенсация будет достигнута при регулировке изготовленного маятника. Кварцевый маятник подвешивается на пружинном подвесе.

3. Маятник со стержнем из инвара. Отличие от маятника по первому варианту заключается в том, что настоящий маятник будет подвешен на призме и пружине и, следовательно,

будут изменены только вид и размеры верхней части стержня, которая будет соединяться с пружиной и призмой подвеса. Размеры линзы, компенсационной трубки и регулировочных шайб такие же как для маятника по варианту 1.

Линза маятника. Линза принята в форме правильного цилиндра по той причине, что такую форму можно изготовить без значительных отклонений от принятых размеров, добиться больше concentricности, что даст наименьшее искажение плоскости качания маятника. Для изучения влияния величины веса линзы на колебания маятника запроектировано и изготовлено три линзы, имеющие одинаковую форму и геометрические размеры, но отличающиеся друг от друга плотностью материала: а) линза из латуни, б) линза из алюминия, в) линза из свинца.

Все три линзы будут последовательно подвешиваться на стержень маятника — по варианту 1.

Подвес маятника. Изучению влияния конструкции подвеса на колебания маятника в работе будет уделено большое внимание; с этой целью разработаны три различных конструкции подвеса.

1. Подвес на пружине (рис. 4). Тонкая пружина 1 закрепляется в зажимах 2 и 3, не, как обычно принято, штифтами, а винтами, для

того, чтобы можно было заменять пружины. Намечено испытать такой подвес с пружинами различной толщины, а именно:

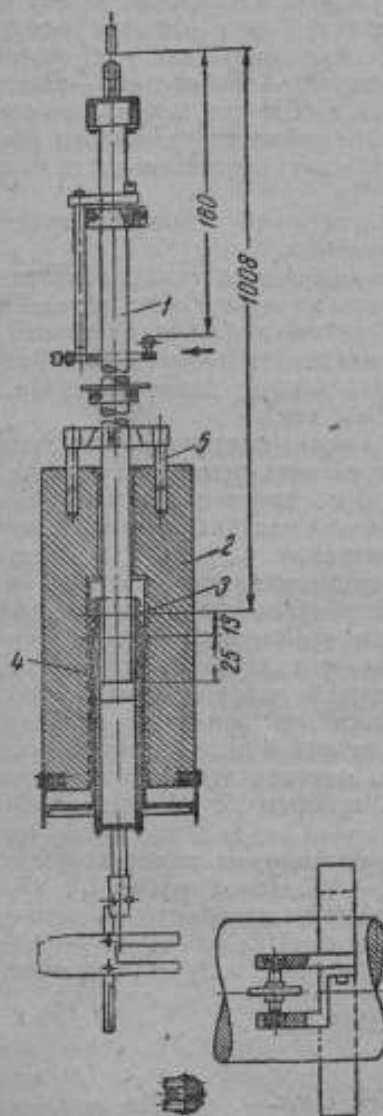


Рис. 3

0,1 мм (обычно применяемая в астрономических маятниках), 0,05 мм и 0,15 мм. Назначение этого испытания установить зависимость между величиной момента пружины подвеса и амплитудой колебания маятника.

2. Подвес на призме и пружине (рис. 5). Для прибора разработан импульсный механизм, создание импульса в котором основано на специальном дополнительном изгибе пружины подвеса в момент прохождения маятником отвесного положения через каждые две секунды. С этим механизмом и будет использована конструкция подвеса с призмой 1 и пружиной 2. При изготовлении подвеса, будут приняты все воз-

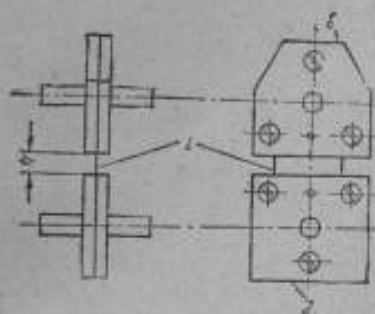


Рис. 4

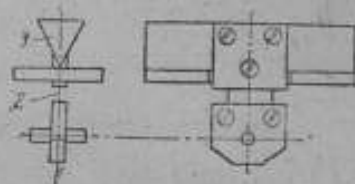


Рис. 5

можные меры для уменьшения величины неизбежного трения острия призмы о поверхность подушки.

3. Подвес на проволочном канатике (рис. 6). Эта конструкция подвеса преследует цель получить наименьшее влияние подвеса на колебания маятника. Для подвешивания маятника точных часов такая конструкция применяется впервые по предложению автора статьи.

Подвес устроен следующим образом. Из 18 тонких стальных проволок диаметром 0,03 мм свивается канатик. Для свивания канатика разработано приспособление, на котором сначала свивается шесть канатиков из трех проволок каждый, а затем они свиваются в общий канатик.

При свивании канатика предусмотрено создание одинакового натяжения каждой отдельной проволоки, грузом закрепленным на конец каждой проволоки. Каждая проволока при навивке в приспособлении будет направляться под одинаковым углом. В результате такого скручивания пролоков снимается напряжение их материала и получается гибкий канатик, у которого при колебании маятника будет возникать

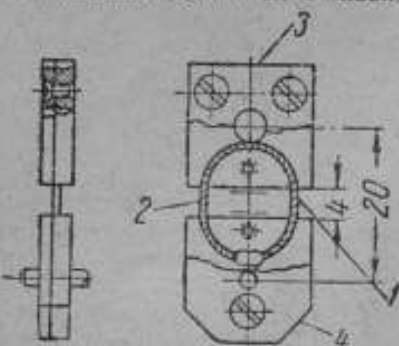


Рис. 6

очень незначительный момент. Для того, чтобы маятник сохранял положение плоскости качания, подвес состоит из двух нитей 1 и 2 такого каватика, натянутых параллельно и закрепленных в зажимах 3 и 4, причем нити должны иметь одинаковую длину. Конструкцией зажимов подвеса предусмотрена надежная установка

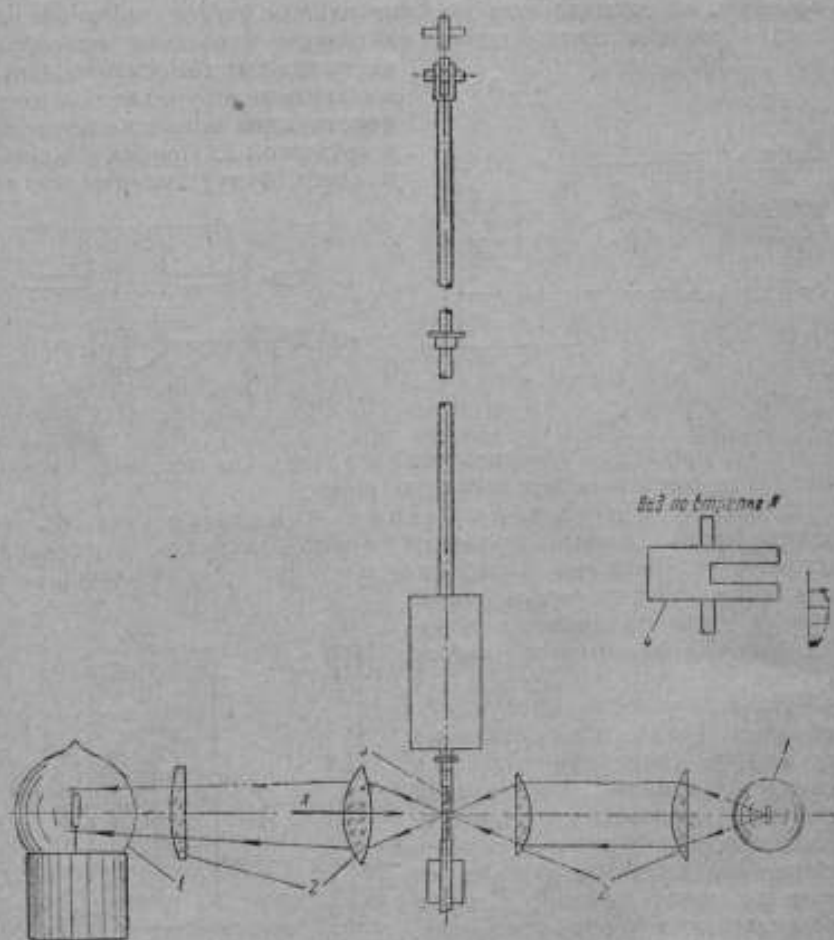


Рис. 7

маятника в отвесное положение под действием силы тяжести.

Эту конструкцию подвеса необходимо изучить особо тщательно, так как она еще не проверена на точных маятниках. Основные качества аналогичных подвесов — достаточное сопротивление растяжению и гибкость, проверены при применении таких каватиков для подвешивания маятника гиро-компыса, что служит нам некоторым основанием ожидания положительного

результата в случае подвешивания маятника астрономических часов.

Фото-электрический контакт (рис. 7). Назначение контакта включать реле, управляющее электромеханическим устройством, сообщающим периодические импульсы добавочной энергии маятнику. Основное требование к контакту состоит в том, что включение реле должно происходить в моменты времени, определяемые колебанием маятника, т. е. должно осуществляться маятником, но при этом он не должен расходовать свою энергию на включение реле. Это условие предположено выполнить применяя фото-элемент, включение и выключение возникающего фото-тока в цепи фото-элемента будет осуществляться колеблющимся маятником, но при этом не будет механического касания маятника с контактом.

Конструктивное оформление фото-электрического контакта следующее. От осветителя 3 пучок света, через оптическую си-

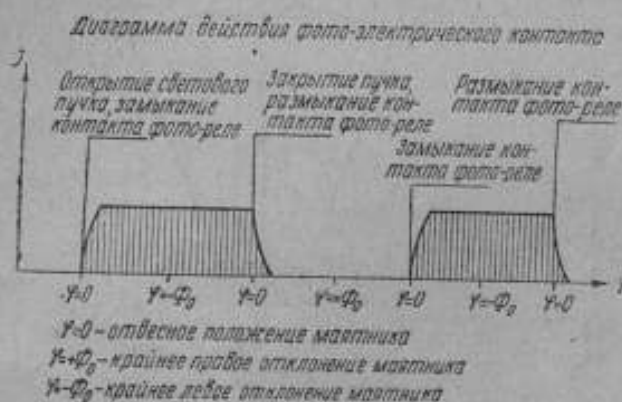


Рис. 8

стему 2 направляется на фото-элемент 1. Между фото-элементом и осветителем расположен нижний конец маятника, на котором укреплен шторка 4, имеющая щель от середины до конца в одну сторону (см. вид по стрелке А на рис. 7). При движении маятника в одну сторону шторка перекрывает пучок света, фото-ток в цепи фото-элемента отсутствует — выключен, при движении маятника в другом направлении пучок света от осветителя, проходя через щель шторки, попадает на фото-элемент, в цепи которого возникает фото-ток. От фото-элемента ток проходит через усилитель и поступает на реле счетно-импульсного механизма. В течение одной секунды (одно колебание маятника) ток в цепи фото-элемента выключен, в течение другой секунды включен, т. е. включение реле счетно-импульсного механизма будет происходить через каждые две секунды. Полный цикл работы фото-контакта представлен диаграммой (рис. 8).

С целью обеспечения надежности фото-контакта сделано при-

способлене для быстрой замены электрической лампочки и фотоэлемента, для чего установлены запасные лампочка и фото-элемент, которые могут быть мгновенно переключены в рабочее положение.

Приспособление для измерения амплитуды колебания маятника (рис. 9). Измерение амплитуды колебания маятника будет иметь основное значение при проведении всех намеченных испы-

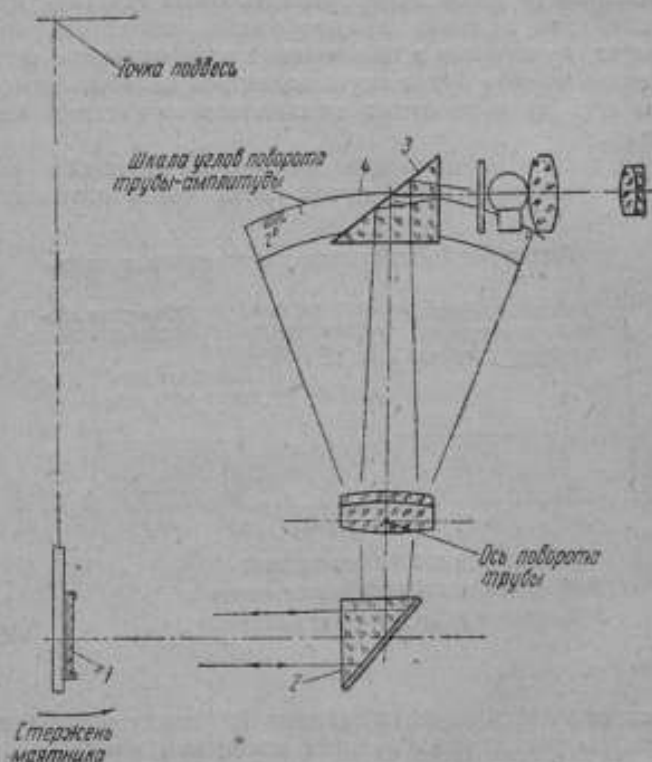


Рис. 9

таний, поэтому для этого разработано оптическое приспособление.

На нижнем конце маятника закреплено небольшое (легкое) зеркало 1, нормально к которому ориентирована ломаная труба. Из головки ломаной трубы пучок света через две призмы 2 и 3 направляется на поверхность зеркала и отражаясь от зеркала возвращается на сетку окуляра ломаной трубы в виде яркой полосы. Отраженная яркая полоса попадет на сетку окуляра лишь тогда, когда пучок света из трубы направлен нормально поверхности зеркала. При колебании маятника зеркало отклоняется и яркая полоса исчезает из поля зрения окуляра. Для того, чтобы

привести изображение яркой полосы снова в поле зрения окуляра, необходимо повернуть ломаную трубу относительно неподвижной оси. Когда яркая полоса будет видна в окуляре, тогда отсчитывается угол поворота трубы через отсчетный микроскоп, в поле зрения которого проектируется шкала 4. Угол поворота трубы соответствует амплитуде колебания маятника. Цена деления шкалы 8', микрометр дает возможность отсчитать амплитуду с точностью до 8".

Шкала имеет 210 делений, пределы измерения шкалы $\pm 3^{\circ},5$ от отвесного положения маятника.

Механизм для передачи импульса добавочной энергии маятнику. В приборе применены две конструкции механизма для передачи импульса добавочной энергии маятнику.

1. Электромеханический ход типа Шорта (рис. 1).

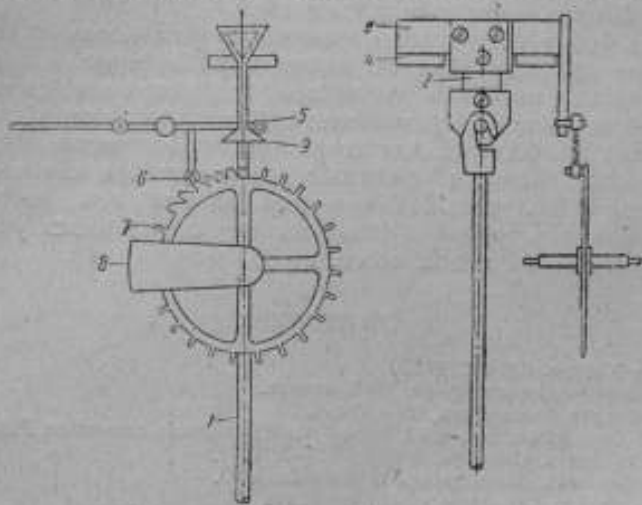


Рис. 10

Этот механизм принят по тем соображениям, что он дал хорошие результаты в часах Шорта непревзойденные другими конструкциями и потому что уже имеется первый опыт изготовления таких механизмов на заводе „Эталон“. Описание его не будем приводить так как он применен без существенных изменений.

2. Электромеханический ход с изгибом пружины (рис. 10). В этом механизме импульс добавочной энергии маятнику сообщается вследствие изгиба пружины подвеса 2. В результате изгиба в пружине возникает момент, передаваемый маятнику при его колебании. Изгиб пружины совершается периодически, один раз за время, равное периоду колебания маятника.

Устройство механизма: стержень маятника 1 подвешивается на пружинном подвесе 2, который скреплен с оправой двух призм 3, опирающихся своими остриями на подушки 4. На оправе призм укреплен импульсная колодка 9. Через каждые две

секунды свободно падает камень 5, который при падении ударяет по импульсной колодке, тем самым отклоняет призмы и изгибает пружину подвеса. Величина свободного падения камня определяется зубцами колеса 7, по которым скользит камень 6. Вращение колеса осуществляется свободно падающим грузом 8, который периодически забрасывается вверх, как в обычном электро-заводе. Камень удерживается электромагнитом, который срабатывает от реле, управляемого фото-электрическим контактом.

Кроме перечисленных исследований, намечена работа с прибором по изучению влияния степени разряжения в футляре прибора на колебания маятника, с целью определения оптимального значения вакуума. В существующих конструкциях астрономических часов этот вопрос разрешается различно, в часах Рифлера поддерживается давление внутри футляра часов не ниже 600 мм Hg, в часах Шорта — порядка 30 мм Hg.

Когда будут проведены замеченные исследования составных элементов прибора и будет внашающий доверия материал для выбора частей маятника, тогда прибор будет подвергнут полной регулировке и после установления надежного хода, лежащего в пределах допустимых для астрономических часов, будет проведено исследование абсолютных ходов прибора как часов, для того, чтобы получить данные для оценки его достоинства, т. е. определить средние величины не поддающихся учету случайных изменений ходов часов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Monthly Notices. 89. 713. 1929.
2. Британский часовой журнал, 1906, январь.
3. Astronomische Nachrichten, 229, 125. 1927.
4. G. Th. Gengler. Das freie Pendel als Zeitnormale aussersten Präzision. Erg. Heft 1. angew. Geophys. 2 Hefte—2-3. 1931.
5. F. W. Bessel. Memoire sur le Pendule, t. V.
6. J. Andrade. Horlogerie et chronométrie.
7. H. Foucault. Pendule spiral diapason t. I и II.
8. В. Wapach. Astronomische Nachrichten. В. 167 p. 65.
9. Н. Х. Прейвиль — Установление и хранение точного времени. Временник Главной палаты мер и весов, I (№ 13). 1924.

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЦЕНЫ ОБОРОТА ОКУЛЯРНОГО МИКРОМЕТРА ПЕРЕНОСНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Из существующих методов определения цены оборота окулярного микрометра считается наиболее приемлемым метод по наблюдениям близполюсных звезд в эллонгации. Однако, применяются и другие методы в зависимости от условий и возможностей, какими располагает тот или другой наблюдатель. В настоящей статье делается попытка указать на один из возможных способов определения цены оборота окулярного микрометра.

Если мы измерим окулярными микрометрами одновременно на двух инструментах, установленных на одной и той же широте и близких по долготе, разность зенитных расстояний двух звезд, то очевидно, должно соблюдаться следующее равенство:

$$\Delta z = \Delta m_{II} R_{II} = \Delta m_I R_I,$$

или

$$R = \frac{\Delta m_I}{\Delta m_{II}} R_{II} \quad (1)$$

где Δz — разность зенитных расстояний звезд в момент наблюдения;

R_I и R_{II} — цены оборотов для одного и другого инструмента;

Δm_I и Δm_{II} — разность зенитных расстояний, выраженная в оборотах микрометра I и II инструментов (с введенными поправками за уровень).

Таким образом, при известной цене оборота окулярного микрометра R_I для одного инструмента мы получаем цену обороте микрометра R_{II} для другого инструмента. Как известно, такие измерения проще и легче всего производить при прохождении звезд через меридиан, а поэтому могут быть использованы как наблюдения широты по способу Талькотта, так и измерения Δz звезд, кульминирующих по одну сторону от зенита с Δz не превосходящей, исследуемой части микрометрического винта и отличающимися по α (прямое восхождение) на промежуток времени приблизительно, достаточный для прохождения звездой поля зрения трубы.

В переносных инструментах окулярным микрометром пользуются, главным образом, при определении широты по способу Талькотта. Всегда до наблюдения широты или вскоре после делается определение цены оборота окулярного микрометра; иногда, если было много определений делается это дважды — в начале и в конце полевого сезона. Естественно, поэтому, что выгоднее всего совместить определение цены оборота окулярного микрометра с наблюдением широты. Для этой цели следует подобрать пары Талькотта таким образом, чтобы этими наблюдениями можно было охватить всю рабочую часть окулярного винта через интервал, близкий к одному обороту. Рабочей частью винта, обычно, считается участок, вмещающий в себе около 14—16 оборотов, а поэтому и следует пронаблюдать 14—16 пар Талькотта с разностью зенитных расстояний равной 1, 2, 3, 4, 5, . . . 16 оборотов (такая последовательность, естественно, не обязательна). Из полученных результатов по каждой паре взять среднее арифметическое, которое и будет искомой определяемой величиной.

В общем виде это может быть представлено следующим образом: Напишем n уравнений вида (1):

$$R_{11} = \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_1 R_1, \quad R_{12} = \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_2 R_1 \dots R_{1n} = \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_n R_1,$$

где 1, 2, . . . n — номера пар Талькотта;
 $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n}$ — значение R_{11} , полученное по различным парам Талькотта.

Из этих уравнений получаем окончательное значение для:

$$R_{11} = \frac{R_{11} + R_{12} + \dots + R_{1n}}{n} = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right) \right] R_1 \quad (2)$$

(числа, заключенные в квадратные скобки означают сумму от 1 до n).

Представим формулу (2) в виде:

$$R_1 = \frac{R_{11}}{n} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_1 + \frac{R_{12}}{n} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_2 + \dots + \frac{R_{1n}}{n} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{11}} \right)_n. \quad (3)$$

Средняя квадратичная ошибка для R_{11} будет иметь следующий вид:

$$\epsilon_{R_{11}} = \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots + \epsilon_n^2},$$

где $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ — средние квадратичные ошибки отдельных слагаемых формулы (3);

Средние квадратичные ошибки $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$, которые зависят от ошибок определений $\Delta m_1, \Delta m_{11}$ и R_1 могут быть представлены в следующем виде:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{R_1}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}} \right)_1^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m}^2}{n^2} \left(\frac{1}{\Delta m_{II}} \right)_1^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m_{II}}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}^2} \right)_1^2}$$

$$\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{R_1}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}} \right)_2^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m}^2}{n^2} \left(\frac{1}{\Delta m_{II}} \right)_2^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m_{II}}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}^2} \right)_2^2}$$

$$\dots$$

$$\varepsilon_n = \sqrt{\frac{\varepsilon_{R_1}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}} \right)_n^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m}^2}{n^2} \left(\frac{1}{\Delta m_{II}} \right)_n^2 + \frac{\varepsilon_{\Delta m_{II}}^2}{n^2} \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}^2} \right)_n^2}$$

где ε_{R_1} — средняя квадратичная ошибка определения R_1 ;

$\varepsilon_{\Delta m_1}$ — средняя квадратичная ошибка определения Δm_1 ;

$\varepsilon_{\Delta m_{II}}$ — средняя квадратичная ошибка определения Δm_{II} .

Полагая $\varepsilon_{\Delta m_1} = \varepsilon_{\Delta m_{II}}$ и обозначая их через $\varepsilon_{\Delta m}$, будем иметь

$$\varepsilon_{R_{II}}^2 = \sqrt{\frac{\Sigma^2 R_1}{n^2} \left[\left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}} \right)^2 \right] + \frac{\varepsilon_{\Delta m}^2}{n^2} \left[\left(\frac{1}{\Delta m_{II}^2} \right) + \left(\frac{\Delta m_1}{\Delta m_{II}^2} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

Ошибка $\varepsilon_{\Delta m}$ в свою очередь зависит от двух ошибок: ошибки визирования ε_v и ошибки ε_{Δ} поправки на наклон, которые связаны равенством:

$$\varepsilon_{\Delta m}^2 = \varepsilon_v^2 + \varepsilon_{\Delta}^2 \quad (5)$$

Средняя ошибка ε_v [1], одного наведения на неподвижный предмет равна:

$$\varepsilon_v = \pm \frac{30''}{\omega}$$

где ω — увеличение трубы.

Эта формула, можно полагать, вполне применима для учета ошибки наведения на звезду горизонтальной нитью микрометра при прохождении ее через меридиан, т. к. звезда в этом случае движется почти параллельно нити, отчего точность наведения по существу почти ничем не отличается от точности наведения на неподвижный предмет. При $\omega \approx 60$, $\varepsilon_v = \pm 0''.50$; при 5-кратном наведении на звезду, как это принято делать в способе Талькогга имеем:

$$\varepsilon_{v_5} = \pm \frac{0''.50}{\sqrt{5}} = \pm 0''.224.$$

Для Δm , т. е. для разности отсчетов при наведении на две звезды

$$\epsilon_v = \pm 0''.224 \sqrt{2} = \pm 0''.318.$$

Поправка за наклон Δi (в долях оборота окуляр-микрометра), как известно, входит в Δm в следующем виде:

$$\Delta i = \pm \frac{\Delta a \epsilon'}{2R''}, \quad (6)$$

где Δa — изменение наклона инструмента в направлении север-юг в делениях уровня при наблюдении одной пары Талькотта.

ϵ' — цена одного деления уровня. Знак Δi зависит от соотношения изменения зенитного расстояния с вывинчиванием и ввинчиванием окулярного микрометра [2].

Очевидно, ошибка $\epsilon_{\Delta i}$ будет зависеть от $\epsilon_{\Delta a}$, ошибки нивелировки уровня при наблюдении 2 звезд (разность отсчетов) и от ϵ' — ошибки определения цены деления уровня. Эта зависимость будет иметь такой вид:

$$\epsilon_{\Delta i}^2 = \frac{\epsilon_{\Delta a}^2 \epsilon'^2}{4} + \frac{\Delta a \epsilon'^2}{4} \quad (\text{в секундах дуги}). \quad (7)$$

Для вычисления $\epsilon_{\Delta a}$ воспользуемся эмпирической формулой Рейнгерта [Reinhertz, 3]

$$\epsilon_{H_1} = \pm 0,20 \sqrt{\tau},$$

где ϵ_{H_1} — ошибка нивелировки по однократному отсчету концов пузырька уровня.

τ — цена деления уровня.

Полагая τ для обоих инструментов приблизительно равными около $2''$, будем иметь:

$$\epsilon_{H_1} = \pm 0''.283.$$

Отсчитывая уровни, как это делается в способе Талькотта дважды — перед наблюдением звезды и после по двум уровням (инструменты специально предназначенные для наблюдений пар Талькотта зенит-телескопы обычно имеют по два талькоттовских уровня) будем иметь окончательную ошибку нивелировки ϵ_{H_2} при наблюдении одной звезды равной:

$$\epsilon_{H_2} = \pm \frac{0''.283}{\sqrt{2} \sqrt{2}} = \pm 0''.142.$$

Ошибка нивелировки уровня $\epsilon_{\Delta a}$ (для пары звезд) будет:

$$\epsilon_{\Delta a} = \pm 0''.142 \sqrt{2} = \pm 0''.201, \text{ или } \epsilon_{\Delta a} = \pm 0^{\circ}.100 \text{ в делениях уровня.}$$

Далее полагая $\epsilon' \approx \pm 0''.02$, $\Delta a \approx 2$ делениям уровня и подставляя, приведенные величины в формулу (7) будем иметь:

$$\epsilon_{\Delta i}^2 = 0^{\circ}0,0104; \quad \epsilon_{\Delta i} = \pm 0''.102$$

Подставляя полученные числовые значения ε_p и ε_m в уравнение (5), получим:

$$\varepsilon_{3m}^2 = 0'',1115$$

Средняя квадратичная ошибка определения цены оборота окулярного микрометра по наблюдениям 8—10 близполюсных звезд в элонгации, по согласию отдельных выводов близка к $\pm 0'',04$ (при цене одного оборота равном около $100''$), которую мы и примем для нашего исходного микрометра R_1 , т. е. положим

$$\varepsilon_{R_1} = \pm 0'',04.$$

Для простоты подсчета возьмем случай, наиболее часто встречающийся, а именно, когда $R_1 = R_{II}$, отчего и $\Delta m_I \approx \Delta m_{II}$. Обозначим Δm_I и Δm_{II} через Δm . Тогда формула (4) примет вид:

$$\varepsilon_{R_{II}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{R_1}^2}{n^2} + \frac{2\varepsilon_{\Delta m}^2}{n^2} \left[\frac{1}{\Delta m^2} \right]}. \quad (8)$$

Полагая, как это говорилось выше, $n=16$ и Δm последовательно равном 1, 2, 3, . . . 16 оборотов будем иметь: $\varepsilon_{R_{II}}^2 = 0'',00125$; $\varepsilon_{R_{II}} = \pm 0'',04$, т. е. при данной программе мы получаем среднюю ошибку искомого микрометра близкую к ошибке исходного микрометра R_1 .

Для определения широты считается вполне достаточным делать пять наведений рабочей нитью на звезду, но для нашей цели желательно делать больше наведений, например 9, что, как известно, особых трудностей для наблюдателя не представит. Это ослабит ошибку визирования ε_p и мы получим тогда $\varepsilon_{R_{II}} = \pm 0'',03$.

Из формулы (4) видно, что в случае $R_{II} < R_1$ (при 5-кратном наведении на звезду) будем иметь $\varepsilon_{R_{II}} < \varepsilon_{R_1}$ при $R_{II} > R_1$ (при 5-кратном наведении на звезду) будем иметь $\varepsilon_{R_{II}} > \varepsilon_{R_1}$ что согласуется с соотношениями цены одного оборота окулярного микрометра и его средней квадратичной ошибкой при определении любым другим методом.

Следует отметить, что при подсчете $\varepsilon_{R_{II}}$ мною использованы эмпирические формулы, которые обычно дают значения преувеличенные. Так что, надо полагать, что в действительности значение $\varepsilon_{R_{II}}$ должно быть еще меньше.

РЕЗЮМЕ

Изложенный здесь способ определения цены оборота окуляр-микрометра есть относительный или зависимый, а потому ему присущи все недостатки этого метода: зависимость от качества наблюдений на исходном инструменте и его ошибки окуляр-микрометра, относительная сложность организации таких наблюдений и т. д. Тем не менее, этот способ может, при благоприятных для этого обстоятельствах, с успехом использоваться.

Если наблюдениями не предполагают воспользоваться для вывода широты, могут быть использованы все звезды, приблизительно до 6-й величины с разностью зенитных расстояний от 1 до 16—17 оборотов окуляр-микрометра, причем, без ограничений по зенитному расстоянию, т. е. могут наблюдаться звезды даже вблизи горизонта, так как результат наблюдений свободен от положения звезд. Кроме того, как уже говорилось выше, могут быть использованы пары звезд, кульминирующие по одну сторону от зенита, но с требуемой разностью зенитных расстояний. Все это расширяет возможности в отношении количества пар для программы наблюдений и практически дает возможность подобрать необходимые пары так, чтобы их можно было наблюдать без остановки одну за другой и всю программу наблюдений 16 пар (звезд) закончить в течение около 2 часов, что несравнимо меньше, чем при полной программе наблюдений звезд в элонгации.

Следует еще обратить внимание на то, что по условию наблюдения на двух инструментах должны вестись на весьма близких друг к другу пунктах, особенно по широте в такой степени, чтобы расстояние между инструментами не сказывалось на разность зенитных расстояний звезд. Однако, это условие может быть нарушено и расстояние между инструментами может достигать до 20—30 м по широте, но в этом случае необходимо редуцировать наблюдения с известной ценой оборота окуляр-микрометра к месту наблюдений с определяемым микрометром, т. е. придать с соответствующим знаком к Δm , поправку $r^{26} = \frac{\Delta \varphi''}{R_1}$ в долях оборота микрометра), где $\Delta \varphi''$ поправка (редукция) к широте вычисленная обычным способом, применяемым при астрономических определениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Я. Цингер. Курс астрономии, ч. практическая, стр. 111—115, 1916.
2. К. А. Цветков. Курс практической астрономии, стр. 169—171, 1934.
3. C. Reinherz. Mitteilungen über Beobachtungen an Libellen, Zeitschr. f. Vermessungen, s. 257—279, 1891.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
П. П. Зубрилин. Вертикальный компаратор Брукса—Питтера. Исследование и методика применения	5
М. М. Забейинский. К вопросу об образцах чистоты поверхности	18
Г. Д. Кокош. О применении фотографической записи для регистрации колебаний весов	25
<u>Н. Х. Прейпич</u> . К вопросу об испытании секундомеров	31
В. Д. Деревякин. Перевычисление долготы ВНИИМ, определенной в 1924 году в систему ГР ₂	49
М. П. Павлов. К вопросу о применении „Свободного маятника“ для устройства астрономических часов	55
С. С. Товчигречко. К вопросу об определении цены оборота окулярного микрометра переносных астрономических инструментов	73



М
П
Н
М
Н
Д

В
Т
Д
П
В
П
М
С
В
Д
П
Д
П
М
Г

О
К
М
Н
О
Д
Р
М
Т
=

П
А

1
2
3

Ответственный редактор В. Г. Мухомовский.

Технический редактор С. Д. Воловагина. Корректор Е. К. Балконская.

№ МО 3261 Сдано в набор 19/II 1947 г. Подписано к печати 7/VII 1947 г. Тираж 1200
Формат бумаги 62x94 Уч.-изд. листов 5,75 Печ. л. 5 Заказ № 245

Типография № 3 Управления издательства и полиграфии Исполкома Ленгорсовета
Отпечатано по 2-й Типо-литографии Гидрометеоиздата, Працевский, б. Заказ № 1435

Цена 6 руб.

Склад изданий:
Ленинград, Международный, 19.
ВНИИМ