

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
Кафедра  
приборостроения и информационно-измерительных технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСАМ  
«ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ И ОСНОВЫ  
КОНСТРУИРОВАНИЯ»,  
«ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»**

Составитель  
Л.М. САМСОНОВ



Владимир 2012

УДК 681.2  
ББК 34.94  
М54

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры управления  
и информатики в технических и экономических системах  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*С. И. Малафеев*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Методические** указания к лабораторным работам по курсам М54 «Детали приборов и основы конструирования», «Прикладная механика» / Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых ; сост. Л. М. Самсонов. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2012. – 80 с.

Содержат указания к 10 лабораторным работам по курсам «Детали приборов и основы конструирования» и «Прикладная механика». Приведены описания конструкций приборов, изложены принципы их действия, указаны порядок выполнения работ и требования к оформлению отчетов. К каждой работе составлены контрольные вопросы, которые облегчают подготовку к зачету, и библиографический список.

Предназначены для студентов 2 - 3-го курсов дневной формы обучения по направлению 200100 – приборостроение по программе бакалавра.

Рекомендованы для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 38. Табл. 7. Библиогр.: 36 назв.

УДК 681.2  
ББК 34.94

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Приборостроение – ведущая отрасль промышленности нашей страны. Объем его производства составляет половину всего промышленного потенциала. Без разработки новых конструкций приборов невозможно осуществление космических полетов, развитие атомной промышленности, станкостроения, совершенствование бытовой техники.

Данные методические указания содержат описание широкого круга измерительных приборов: приборы времени, приборы для измерения параметров движения, приборы для измерения давления, приборы для измерения температуры, гироскопические приборы, приборы для измерения расхода количества жидкости и газа.

Освоение лабораторных работ расширяет знания студентов, прививает навыки самостоятельного измерения различных физических величин и дополняет лекционный материал.

Особенностью приборостроения является достижение определенной точности измерений, поэтому при выполнении работ студенты оценивают точность и достоверность полученных результатов.

Методические указания подготавливают студентов к освоению следующих курсов: «Конструирование измерительных приборов», «Точность измерительных приборов», «Проектирование приборов автоматического контроля».

Преподаватель выражает благодарность студентке гр. Пб 110 Е.Ю. Колыгиной (Бодровой) за помощь в оформлении оригинал-макета.

## Лабораторная работа № 1

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОГРАФА ВР-1

#### Цель работы:

Изучить устройство и действие вибрографа ВР-1.

#### 1.1. Устройство и действие вибрографа ВР-1

Ручной виброграф служит для записи амплитуды и частоты колебаний. Запись осуществляется на ленте путем царапания покрывающего ее слоя. Ручной виброграф измеряет вибрации при соприкосновении приемного наконечника с испытуемым объектом в направлении движения наконечника с размахами от 0,05 до 6 мм и частотами от 5 до 100 Гц.

Частота колебаний определяется с помощью отметчика времени, находящегося в приборе и дающего отметку на ленте через одну секунду. При замерах виброграф удерживается непосредственно в руках и не требует подставки.

#### 1.2. Конструкция вибрографа ВР-1

Ручной виброграф (рис. 1.1) состоит из передающего рычажного механизма, лентопротяжного механизма, включая приводное устройство (пружинный двигатель) и отметчик времени. Передающий рычажный механизм состоит из стержня 2 с наконечником 1. Стержень 2 передвигает стрелку 5, движется в направляющей трубке и прижимается к ней пружиной 4 с упором 3.

Лентопротяжный механизм состоит из ведущего ролика 9, на который насажена резиновая трубка, и металлического ролика 10. Отметчик времени может работать как от механического привода (от механизма прибора), так и от электрического (от внешнего источника электрических импульсов). При работе отметчика от механизма прибора электромагнит в работе не участвует, а якорь его используется как рычаг, на котором закреплено перо П. При каждом обороте веду-

щего ролика с шестернями 22 и 23 кулачок 24, нажимая на толкатель 13, на короткое время освобождает тягу 12. Якорь электромагнита под действием своей пружины поднимается, и перо делает отметку на ленте.

Для регулировки и поддержания постоянства частоты вращения ведущего ролика, которая должна составлять один оборот за  $1 \pm 0,1$  с, в приборе имеется центробежный регулятор. Регулятор состоит из неподвижного барабана 15, пружин с грузами 16 и кожаными колодочками, укрепленными на валике червяка 17. Колодочки, прижимаясь к внутренней стенке барабана, создают торможение, пропорциональное величине центробежной силы, и таким образом частота вращения сохраняется постоянной.

Для регулировки скорости барабан можно перемещать вдоль оси на резьбовой колонке и закреплять в нужном положении контргайкой. Таким образом, время срабатывания отметчика времени зависит от регулировки скорости лентопротяжного механизма и составляет  $1 \pm 0,1$  с. Лентопротяжный механизм с отметчиком времени смонтирован на двух платах, соединенных между собой стойками. Весь механизм вставляется в корпус и закрепляется двумя винтами.

Стрелка записывает колебания на ленте 6, которая намотана на ролик 7. Перо отметчика времени делает скачок на ленте. Прижимная пружина 8 способствует плотному взаимодействию стрелки, пера отметки времени и ленты. Заводной ручкой 20 приводится в движение валик пружинного двигателя 19. Заводная пружина 21 вращает корпус пружинного двигателя и приводит в движение зубчатое колесо ведущего вала. Обратному движению заводного валика препятствует стопорная винтовая пружина 25.

Запись колебаний с размахами в пределах от 0,05 до 1,5 мм виброграф производит с шестикратным увеличением. Размахи в пределах от 1,5 до 6 мм записываются в натуральную величину или с двукратным увеличением дополнительным рычажным приспособлением, которое надевается на конец направляющей трубки. Рычажное приспособление должно быть насажено до упора. Запись производится при среднем положении стрелки на ленте.

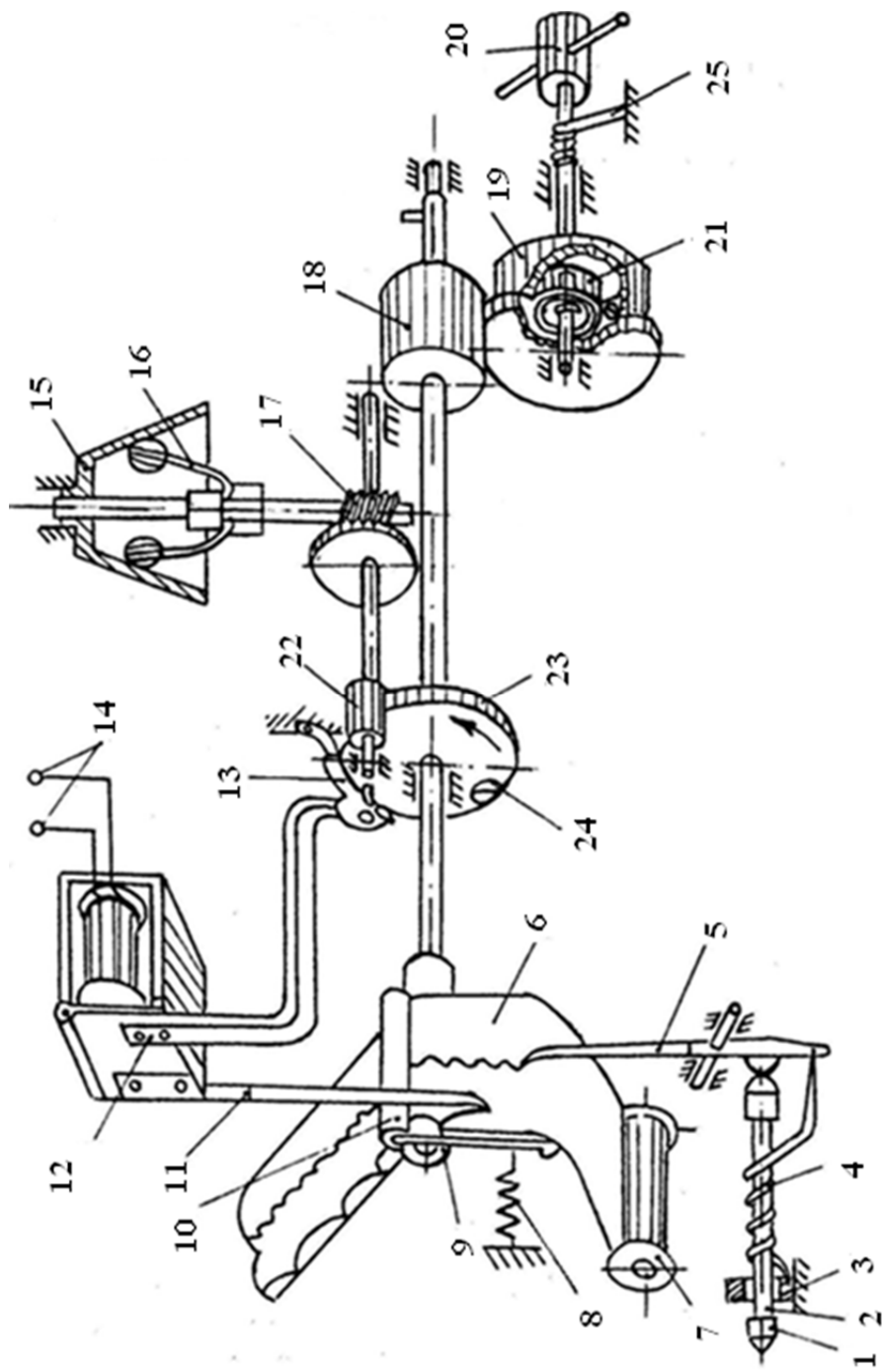


Рис. 1.1. Конструкция вибрографа

Необходимо, чтобы вибрирующий штифт всегда следовал за движением вибрирующего стола. Это достигается увеличением натяжения пружины 4 при помощи двух винтов. Давление пера на движущуюся ленту устанавливается арретиром, который закрепляется винтом. Через отверстие в корпусе, закрываемое прозрачной задвижкой, можно наблюдать и делать пометки на ленте. Над отверстием помещается откидное зеркальце, которое допускает наблюдение за пишущим рычагом в тех случаях, когда непосредственно наблюдение через отверстие невозможно. Отверстие с прозрачной задвижкой с противоположной стороны корпуса служит для снятия концов записанной ленты [1 – 4]. На рис. 1.1 обозначены также контакты подключения электроэнергии 14 и большая шестерня 18.

### 1.3. Порядок сборки и разборки вибрографа ВР-1

1. Стрелку 2 рычагом 3 отклонить на некоторое расстояние от лентопротяжного механизма (рис. 1.2).

2. С обеих боковых сторон прибора открутить винты крепления 4.

3. Потянуть заводную ручку 1 на себя, извлечь из корпуса механизм прибора.

4. Рассмотреть конструкцию всех узлов механизма, пользуясь рис.1.1.



Рис 1.2. Виброграф ВР-1

### 1.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Кинематическая схема вибрографа ВР-1.

## 1.5. Контрольные вопросы

1. Принцип работы и конструкция вибрографа ВР-1.
2. Как отрегулировать отметку времени?
3. Как осуществить отметку времени 0,1 с; 0,2 с и др.?
4. Как изменить масштаб записи амплитуды вибрации?

## 1.6. Список рекомендуемой литературы\*

1. *Иориш, Ю.П.* Виброметрия. Ю.П. Иориш. – М. : Наука, 1963. – 820 с.
2. Приборостроение и средства автоматики : справочник. Т.2. Кн.2 / под ред. П. В. Сыроватченко. – М. : Машиностроение, 1964., – С. 138 – 140.
3. Вибрации в технике : справочник. Т.3 /под общ. ред. В. Н. Челомея ; под ред. Ф. М. Диментберга и К. С. Колесникова. – М. : Машиностроение, 1980. – 544 с.
4. *Ильин, М.М.* Теория колебаний : учеб. для вузов/под общ. ред. К.С. Колесникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 272 с. – (Механика в техническом университете. Т.4).

## Лабораторная работа № 2

### КОЛЬЦЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МАНОМЕТР

В работе изучаются устройство и принцип действия кольцевого дифференциального манометра. Рассчитывается характеристика кольцевого дифференциального манометра. Изучается передаточно-множительный механизм, которым одновременно линеаризуется шкала кольцевого дифференциального манометра.

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией кольцевого дифференциального манометра типа ДК.
2. Рассчитать характеристику дифференциального манометра.

---

\* Приводится в авторской редакции здесь и далее.



## 2.1. Принцип действия кольцевого дифференциального манометра типа ДК

Принцип действия кольцевых приборов можно уяснить из рис. 2.1, где представлена схема чувствительного элемента кольцевого дифференциального манометра. Чувствительный элемент представляет собой кольцевую трубку 1, разделенную поперечной перегородкой 2 и частично заполненную затворной жидкостью 7 (ртуть, трансформаторное масло или вода).

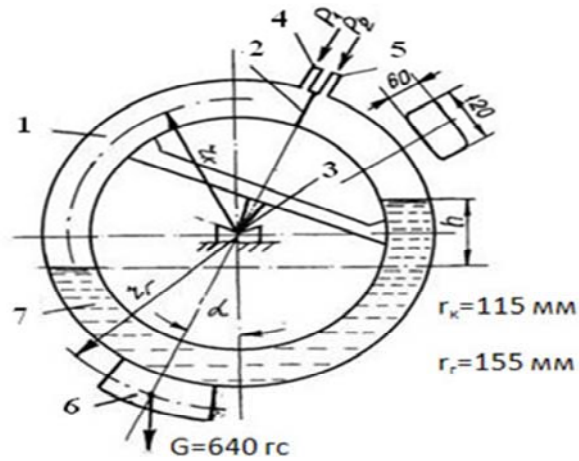


Рис. 2.1. Схема чувствительного элемента кольцевого дифференциального манометра

Трубка имеет призменную опору 3, допускающую ее поворот на некоторый угол относительно горизонтальной оси, перпендикулярной к плоскости кольца. В нижней части трубки укреплен набор неуравновешенных грузов 6. Незаполненные жидкостью части полости кольца по обе стороны перегородки соединяются гибкими трубками к присоединительным наконечникам прибора 4, 5. При измерении перепада давления  $\Delta p = p_1 - p_2$  большее из этих давлений подается в левую полость кольца, меньшее – в правую. Разность давлений на перегородку создает крутящий момент  $M_1$  относительно оси опоры кольца  $M_1 = \Delta p F r_k$ , где  $F$  – площадь поперечного сечения полости кольца,  $r_k$  – средний радиус кольца.

Под действием момента  $M_1$  кольцо поворачивается на своей опоре, а сила тяжести  $G$  груза создает противодействующий момент:  $M_2 = G r_r \cdot \sin \alpha$ , где  $G$  – сила тяжести груза;  $r_r$  – расстояние от оси вращения кольца до центра тяжести груза;  $\alpha$  – угол отклонения кольца.

Величина угла отклонения кольца определяется равенством моментов от давления и веса груза:

$$\alpha = \arcsin(Fr_k \Delta p / Gr_r). \quad (2.1)$$

Статическая характеристика чувствительного элемента примет вид  $\alpha = \arcsin(c \Delta p)$ , где коэффициент  $c = \frac{Fr_k}{6r_r}$ . (2.2)

При повороте кольца создается противодействующий момент от изгиба подводящих трубок. В приборах низкого давления применяются резиновые подводящие трубки, создающие очень небольшой противодействующий момент, которым можно пренебречь. Поворот кольца при помощи передаточного механизма преобразуется в перемещение указателя или записывающего органа.

## 2.2. Описание конструкций дифференциальных манометров

Кольцевые дифференциальные манометры ДК предназначены для измерения разрежения, напора или разности давления газа в пределах до 2500 мм вод.ст. (25 кПа), а также для измерения расхода газа, протекающего по трубопроводу.

Дифференциальные манометры с водяным заполнением рассчитаны на статические давления в трубопроводе до 25 кПа, а при ртутном заполнении – от 1 до 10 кПа.

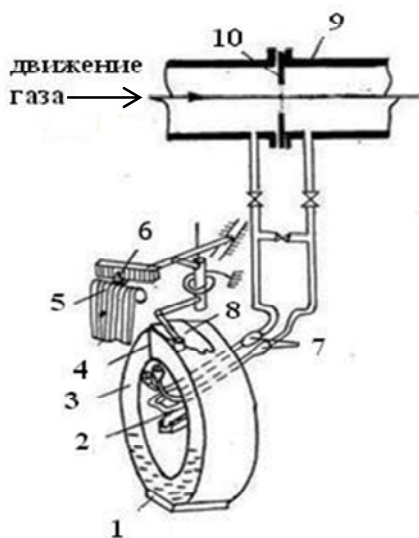


Рис. 2.2. Схема действия кольцевого дифференциального манометра

Принципиальная схема действия кольцевого дифференциального манометра показана на рис. 2.2. Полое кольцо 3, установленное на призменных опорах 2, до половины заполнено рабочей жидкостью. В верхней части кольцо имеет перегородку 4, которая разделяет незаполненное жидкостью пространство на два отсека, соединенных при помощи гибких 7 и соединительных трубок с местами измерения перепада давления, в нижней части кольца укреплен груз 1.

Кольцо кинематически связано со стрелкой 6, а в самопишущих приборах и с пером 5, причем передаточный механизм преобразует угловое перемещение кольца в прямолинейное перемещение стрелки и пера. Характеристика чувствительного элемента является нелинейной (см. формулу 2.2). Для линеаризации шкалы в передаточном механизме устанавливается лекало 8.

В трубопроводе 9, по которому передается газ, для создания перепада давления  $\Delta p$  устанавливается суживающее устройство 10 (диафрагма).

### 2.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема кольцевого дифференциального манометра (см. рис. 2.1).
3. Статическая характеристика кольцевого дифференциального манометра.

### 2.4. Контрольные вопросы

1. Принцип действия кольцевых дифференциальных манометров.
2. Каким способом линеаризуется шкала кольцевого дифференциального манометра?
3. Как изменить пределы измерения перепада давления в дифференциальном манометре?
4. В характеристику прибора не входит величина перепада уровней  $h$  в кольце дифференциального манометра. С какой целью необходимо определять этот перепад?
5. Как перевести единицы измерения кгс/см<sup>2</sup> в мм. вод.столба?
6. По параметрам, указанным на рис. 2.1, рассчитать по формуле 2.2 статическую характеристику кольцевого дифференциального манометра.

## 2.5. Список рекомендуемой литературы

1. *Кремлевский, П.П.* Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский – Л. : Машиностроение, 1975. – 776 с.
2. *Бирюков, Б.В.* Точные измерения расхода жидкостей : справ. пособие / Б.В. Бирюков, М.А. Данилов, С.С. Кивилис. – М. : Машиностроение, 1977. – 144 с.
3. *Левин, В.М.* Расходомеры малых расходов для схем промышленной автоматики / В.М. Левин. – М. : Энергия, 1972. – 259 с.
4. *Цейтлин, В.Г.* Расходоизмерительная техника / В.Г. Цейтлин. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 239 с.

### Лабораторная работа № 3

#### РАСХОДОМЕР ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

Рассматривается принцип действия и конструкция поплавкового расходомера постоянного перепада и электронного дифференциально - трансформаторного прибора типа ЭПВД. Приводится методика градуировки шкалы ЭПВД и методика определения ошибок измерения.

#### **Цель работы:**

Ознакомиться с принципом действия и конструкцией расходомера постоянного перепада типа РЭД и электронного дифференциально-трансформаторного прибора типа ЭПВД.

#### **3.1. Измерение расхода методом постоянного перепада давления**

Измерение расхода жидкостей, газов и пара связано с оперативным контролем, регулированием и управлением технологическими процессами в промышленности. Расходомерами называются приборы, определяющие количество вещества, протекающего через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Расходомеры измеряют объемный  $Q_0$  и массовые  $Q_m$  расходы, выражаемые в  $\text{м}^3/\text{с}$ , л/с, кг/с,

кг/ч соответственно. Допускаются единицы, выраженные отношением объема и массы к минуте, м<sup>3</sup>/мин, л/мин и т.д. Массовый и объемный расход связаны между собой зависимостью  $Q_m = Q_0 \gamma$ , где  $\gamma$  – плотность жидкости, газа или пара.

По методу измерения расходомеры делятся на следующие типы: тахометрические; постоянного перепада давления (расходомеры обтекания); переменного перепада давления (дросселирующие устройства); индукционные; ультразвуковые; скоростного напора и другие типы.

Принцип измерения расхода по методу постоянного перепада давления основан на изменении площади выходного сечения при изменении расхода проходящего через него вещества, благодаря чему обеспечивается постоянная разность давлений в месте сужения. Ротаметр (рис. 3.1.) является самым распространенным прибором постоянного перепада давления. Он состоит из длинной вертикально расположенной и расширяющейся вверх конусной трубки 1, внутри которой свободно плавает поплавков 2, изготавливаемый из различных материалов (эбонит, дюралей, фторопласт, сталь). Центрирование поплавка внутри потока достигается применением винтовой насечки 3 на ободке поплавка. Под действием движущегося потока поплавков перемещается в вертикальном направлении. Положение поплавка однозначно связано с расходом и определяется по шкале 4, нанесенной на корпусе (стеклянный ротаметр), или передается с помощью пневматического или электрического преобразователя на вторичный измерительный прибор.

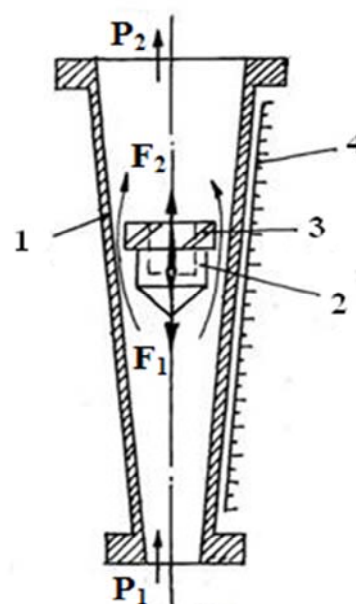


Рис. 3.1. Схема ротаметра

Поток, протекающий снизу вверх в конусной трубке, обтекая поплавок, поднимает его до тех пор, пока площадь кольцевого сечения  $S_1$  между поплавком и внутренней поверхностью трубки не достигнет такого значения, когда действующая на поплавок сила тяжести  $F_1 = m_{\text{п}}g$  ( $m_{\text{п}}$  – масса поплавка), не уравновесится силами, действующими снизу на поплавок, а именно подъемной  $F_2 = \Delta p S_{\text{п}}$ , где  $S_{\text{п}}$  – наибольшая площадь поперечного сечения поплавка. Следовательно, в установившемся режиме  $F_1 = F_2$ ,  $\Delta p = \frac{mg}{S} = \text{const}$ .

Расход для ротаметров определяется по формуле  $Q_0 = \alpha S_1 (2g v_{\text{п}} (\gamma_{\text{п}} - \gamma) / \gamma S_{\text{п}})^{0.5}$ , где  $\alpha$  – коэффициент расхода, зависящий от конусности, неравномерности распределения скорости в кольцевом зазоре при обтекании поплавка, потерь на местные сопротивления внутри прибора, формы и размеров поплавка и ряда других параметров;  $v_{\text{п}}$  – объем поплавка;  $\gamma_{\text{п}}$ ,  $\gamma$  – плотность материала поплавка и протекающей среды.

Так как коэффициент расхода  $\alpha$  не поддается аналитическому определению, то на практике ротаметры градуируются экспериментально по воде или воздуху, а соответствующие градуировочные характеристики приводятся в паспорте прибора. Градуировка справедлива лишь при определенных значениях  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $S_1$ . В связи с этим шкалы градуируются в относительных единицах расхода, а результат измерения определяется по градуировочной кривой.

Основные источники погрешностей ротаметров:

- температура, при изменении которой изменяется плотность среды, ее вязкость;
- измерение ротаметром расхода среды, плотность которой отличается от плотности среды, применяемой при градуировке.

Изменение пределов измерения ротаметров осуществляется изменением массы поплавка без изменения его формы и размеров.

### 3.2. Расходомер типа РЭД

Существует несколько разновидностей конструктивного исполнения ротаметров. Они выпускаются в виде указывающих приборов и

бесшкальных датчиков. На рис. 3.2 показан бесшкальный ротаметр с дистанционной передачей показаний типа РЭД.

Чувствительным элементом ротаметра является конический поплавок 2, перемещающийся в отверстии диафрагмы 1. Поплавок имеет направляющий хвостовик в нижней части, а в верхней – стержень, на котором укреплен сердечник 6 дифференциально-трансформаторного преобразователя. Сердечник перемещается внутри разделительной трубки 4, снаружи которой находятся катушки 5 преобразователя. Концы обмоток катушек выведены на разъем 3. Катушки защищены от внешних воздействий кожухом 7. Жидкость, расход которой измеряют, пропускают снизу вверх через зазор между поплавком и диафрагмой, далее через боковой фланец в трубопровод. Чем больше расход жидкости, тем больше зазор между поплавком и диафрагмой и выше поднимается поплавок, а следовательно, и сердечник. Таким образом, положение сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя зависит от величины расхода жидкости или газа, проходящего через ротаметр.

Металлические ротаметры типа РЭД (РЭ) выпускаются для измерений расхода жидкостей (неагрессивных) до  $16 \text{ м}^3/\text{ч}$  при давлении до 6,4 МПа и температуре от  $-40$  до  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Класс точности расходомеров 2,5. Потеря давления не превышает 0,01 МПа.

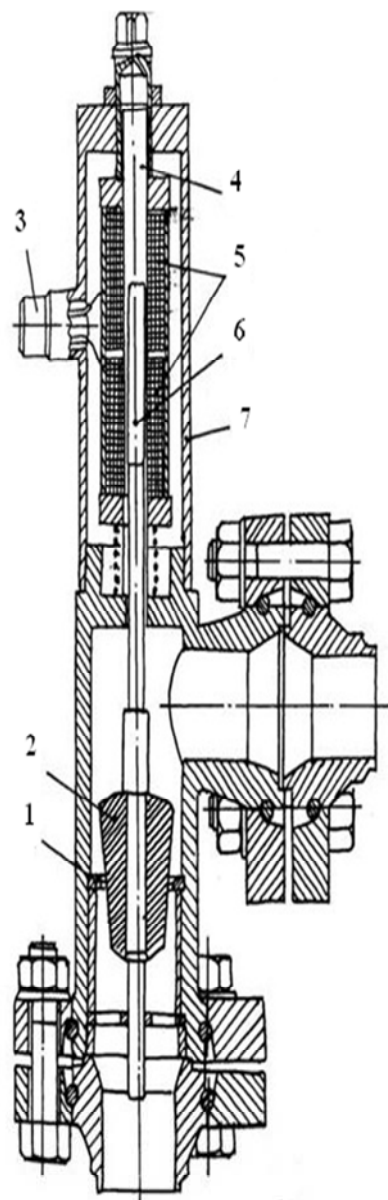


Рис. 3.2. Бесшкальный ротаметр с дистанционной передачей показаний типа РЭД

### 3.3. Принцип действия электронного дифференциально-трансформаторного прибора типа ЭПВД

Сигнал от датчика ротаметра передается на вторичный прибор. В качестве вторичных приборов для работы с дифференциально-трансформаторными датчиками (ротаметров типа РЭД, мембранных дифманометров с металлической мембраной типа ДМ, манометров типа МЭД и других приборов с электрическими датчиками той же конструкции) применяются универсальные электронные автоматические показывающие и самопишущие приборы с дисковой диаграммой типа ЭПВД-04, шкала которых отградуирована в единицах расхода ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{т}/\text{ч}$ ,  $\text{л}/\text{ч}$ ).

В данном случае рассматривается работа электронного прибора типа ЭПВД-04 в комплекте с электрическим ротаметром с дистанционной передачей показаний на расстоянии типа РЭД.

В основу работы электронного моста типа ЭПВД-04 положена дифференциально-трансформаторная система телепередачи, рабочая индукционная катушка вторичного прибора совместно с индукционной катушкой датчика (ротаметра) включены по схеме самоуравненного моста.

Мост состоит (рис. 3.3) из двух первичных катушек I и II и вторичных катушек А, Б, В, Г (плечи моста). Внутри каждой катушки находятся сердечники из мягкой стали, обладающие одинаковыми магнитными свойствами.

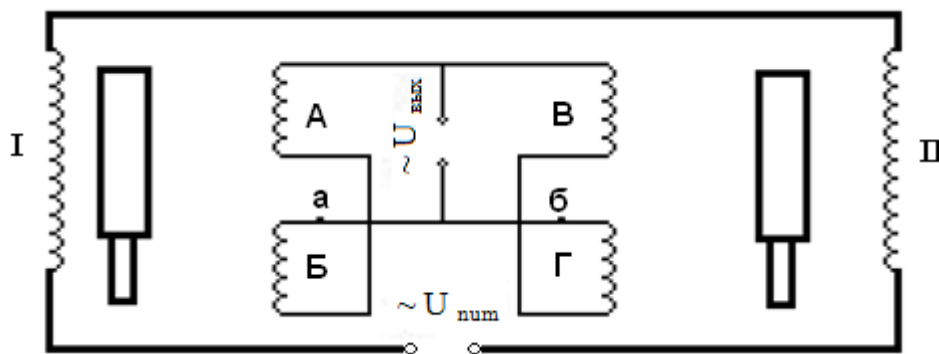


Рис 3.3. Схема самоуравненного моста



Сердечники катушки I А, Б установлены в датчике (см. поз. 7, 6 на рис. 3.2), а сердечники катушки II В, Г расположены на расстоянии от датчика во вторичном приборе, где сердечник связан с кулачком, установленным на оси редуктора ЭПИДа.

При среднем положении сердечников в катушках I и II относительно выводов «а» и «б» индуктивное сопротивление всех секций вторичных катушек одинаково, а следовательно, одинакова и сила тока, протекающего через каждую секцию в отдельности. В этом случае потенциалы в точках «а» и «б» равны, и ток в уравнительном проводе «а б» отсутствует. Таким образом, среднее положение сердечников в индукционных катушках характеризует равновесие моста.

Изменение измеряемого расхода, например в сторону увеличения, приводит к перемещению вверх сердечника катушек I А, Б, вследствие чего индуктивное сопротивление секции «А» понижается, а секции «Б» возрастает на такую же величину. В результате происходит нарушение состояния равновесия моста, так как падение напряжения в секции «А» уменьшается, что вызовет появление разности потенциалов в точках «а» и «б», а следовательно, и возникновение тока в уравновешенном проводе.

Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  подается на усилитель ЭПИДа, далее на реверсивный двигатель, который с помощью кулачка перемещает сердечник вторичного прибора до согласования положений сердечников в обеих катушках, как датчика, так и вторичного прибора.

### **3.4. Принципиальная измерительная электрическая схема ЭПИДа**

Индукционная катушка 2 (рис. 3.4) прибора совместно с катушкой 1 электродатчика включена в дифференциально-трансформаторную схему.

Последовательно с этими катушками включена катушка регулировки нуля 3 и электронный усилитель 4. Катушки электродатчика и вторичного прибора имеют по одной первичной и одной вторичной обмотке. Первичная обмотка 5 в каждой катушке размещена равномерно по всей длине катушки.

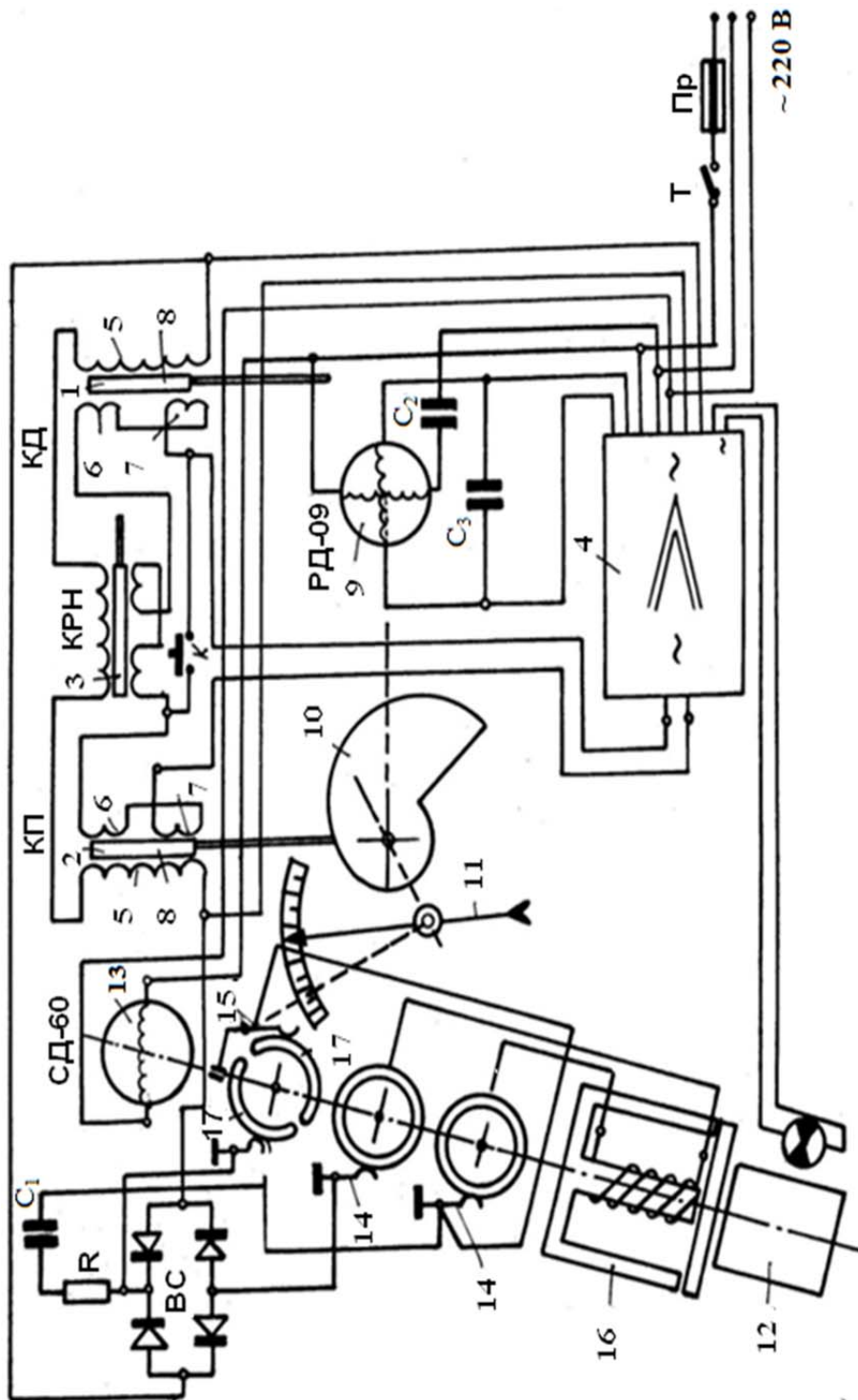


Рис. 3.4. Принципиальная измерительная электрическая схема ЭПИДа

Вторичные обмотки состоят из двух секций 6 и 7, каждая из которых расположена по половине всей длины катушки, и имеют одинаковое число витков. Концы каждой секции вторичной обмотки соединены между собой таким образом, что ЭДС, индуцируемая в одной из секций, имеет направление, обратное индуцируемой в другой.

Внутри каждой катушки перемещается сердечник 8, длина которого меньше длины катушки. При питании током первичной обмотки катушки во вторичной обмотке индуцируется ЭДС. Когда сердечник в катушке находится в среднем положении, ЭДС, индуцируемые в каждой из секций, равно направлены навстречу друг другу и напряжение между началами секций вторичных обмоток равно нулю.

При смещении сердечника от среднего положения ЭДС, индуцируемые в каждой из секций вторичной обмотки, окажутся различными и между началами этих секций появится напряжение. Величина и фаза этого напряжения зависят от величины и направления смещения сердечника в катушке. При рассогласовании положений плунжеров (сердечников) в катушке электродатчика и вторичного прибора появляется напряжение разбаланса, которое подводится к электронному усилителю.

Напряжение разбаланса усиливается тремя каскадами усилителя до величины, достаточной для приведения в действие реверсивного двигателя РД-09 (9), вращающегося в ту или другую сторону до тех пор, пока существует сигнал разбаланса. Двигатель, вращаясь, производит поворот кулачка 10 до момента совпадения положений сердечников электродатчика и вторичного прибора. После этого, вследствие равенства напряжений, индуцируемых во вторичных обмотках электродатчика и вторичного прибора, электродвигатель останавливается. Одновременно с вращением профильного кулачка электродвигатель перемещает стрелку 11, перо и подвижную щетку 15 интегратора.

Для определения суммарного расхода в приборах ЭПИД предусмотрен интегратор. Счетное устройство 12 интегратора получает импульсы, продолжительность которых определяется мгновенным значением расхода, определяемого прибором. Количество импульсов за единицу времени зависит от мгновенного значения расхода и является постоянной величиной.

Счетное устройство приводится в действие синхронным двигателем 13, продолжительность сцепления оси синхронного двигателя со счетным устройством зависит от взаимного расположения контактов 14, через которые включается электромагнитная муфта 16, сцепляющая счетное устройство и лимб интегратора с осью синхронного двигателя.

Один контакт неподвижен, а другой, связанный механически со стрелкой прибора, устанавливается в положение, определяемое значением измеряемой величины. При малом значении расхода угол между контактами близок к  $180^\circ$  и, следовательно, время их одновременного касания одного из медных полуколец мало. Таким образом, в этом случае продолжительность времени сцепления счетного устройства с осью двигателя мала.

Позиция 17 на схеме обозначает два контактных полукольца интегрирующего механизма.

При увеличении расхода угол между контактами увеличивается, и продолжительность времени сцепления счетного устройства с осью синхронного двигателя соответственно возрастает. Контактный диск с двумя полукольцами вращается со скоростью 3 об/мин. Вследствие того, что угол между подвижными и неподвижными контактами прямо пропорционален углу поворота показывающей стрелки, т.е. пропорционален значению расхода, время работы счетного устройства и его показания за определенный промежуток времени также пропорциональны значению расхода.

Передаточное отношение редуктора интегратора подобрано таким образом, что разность показателей счетного устройства за определенный промежуток времени соответствует условному времени в часах, в течение которого измеренное количество вещества было бы учтено при величине расхода, равном максимальному значению шкалы прибора. Вследствие этого «постоянная интегратора», т.е. значение, на которое нужно умножить разность показателей счетного устройства за определенный промежуток времени, для получения суммарного количества, равна максимальному значению шкалы прибора, выраженному в единицах расхода ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{кг}/\text{ч}$ ,  $\text{т}/\text{ч}$ ). Основные элементы ЭПИДа можно видеть на рис. 3.5.

Это индукционная катушка 1, катушка регулировки нуля 2, электронный усилитель 3, двигатель 4, кулачок 5 и контактное кольцо 6.

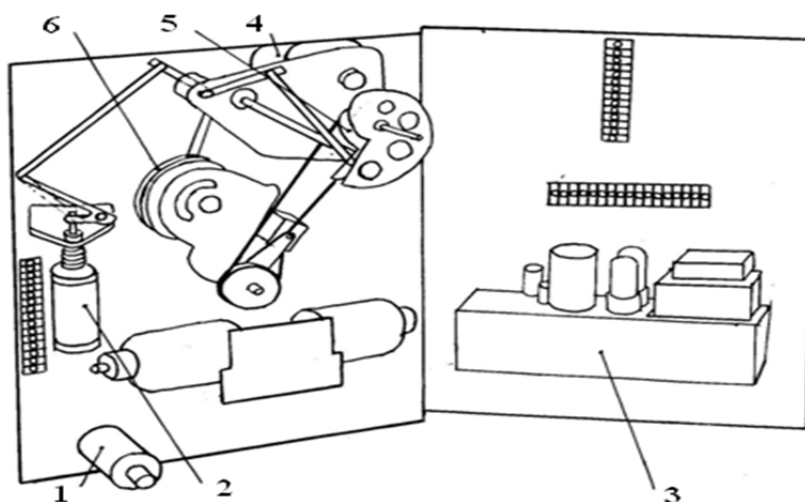


Рис. 3.5. Основные элементы ЭПИДа

### 3.5. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 3.6) включает в себя подводящий трубопровод 1, ротаметр 3, мерную емкость 4, ЭПИД, вентили  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$ , манометр 2. При открытых вентилях  $V_1$  и  $V_2$  вода поступает в ротаметр, вентилем  $V_2$  можно регулировать величину расхода жидкости. Сигнал от ротаметра РЭД поступает на вторичный прибор ЭПИД-06. Для проверки расходных показаний можно пользоваться мерной емкостью. Для чего, закрыв вентиль  $V_3$ , по секундомеру вычисляют время  $t$ , в течение которого наберется в емкость вода объемом  $U$ . Тогда расход будет  $Q_0=U/t$ . Позиция 5 на схеме обозначает сливную трубу.

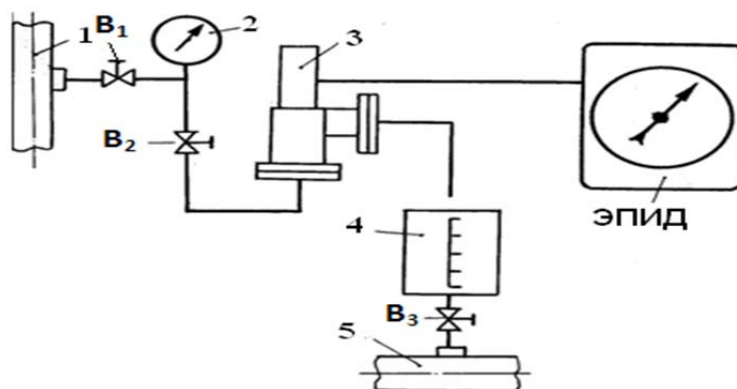


Рис. 3.6. Схема измерения расхода

### 3.6. Порядок выполнения работы

1. Включить тумблеры «Питание» и Двигатель» в первой части лабораторного стенда. Дать прогреться прибору 5 мин.
2. Открыть вентили  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  и добиться установки стрелки прибора на одно из оцифрованных значений.
3. Закрывать выпускной вентиль  $V_3$  и, фиксируя время и объем жидкости в калибровочной емкости, вычислить расход. Выполнить замеры для всех оцифрованных значений шкалы прибора. Замеры занести в таблицу.

Деление шкалы, л/ч, $Q_{\text{ош}}$	Время замера, с	Количество жидкости, л	Расчетный расход, л/ч, $Q_{\text{ор}}$	Погрешность $\delta =$
1				
2				
3				
4				
...				

4. Построить зависимость  $\delta=f(Q_{\text{ош}})$

### 3.7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Конструкция расходомера постоянного перепада давления (см. рис. 3.2).
3. Принципиальная схема ЭПИДа.

### 3.8. Контрольные вопросы

1. Принцип работы ротаметров и конструкция бесшкального ротаметра. Достоинства и недостатки.
2. Принцип работы мостовой схемы включения датчика.
3. Принцип работы электронного расходомера типа ЭПИД.
4. Конструкция ЭПИДа и его основные элементы.
5. Почему метод измерения расхода назван методом постоянного перепада давления?

### 3.9. Список рекомендуемой литературы

1. *Богданов, Ю.М.* Приборы точной механики / Ю.М. Богданов. – М. : Машгиз, 1960.
2. *Кремлевский, П.П.* Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский. – Л. : Машиностроение, 1975. – 776 с.
3. *Бирюков, Б.В.* Точные измерения расхода жидкостей : справ. пособие / Б.В. Бирюков, М.А. Данилов, С.С. Кивилис. – М. : Машиностроение, 1977. – 144 с.
4. *Левин, В.М.* Расходомеры малых расходов для схем промышленной автоматики / В.М. Левин. – М. : Энергия, 1972. – 259 с.
5. *Цейтлин, В.Г.* Расходоизмерительная техника / В.Г. Цейтлин. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 239 с.

### Лабораторная работа № 4

#### ИЗУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ВЕСОВ

##### Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия весов лабораторных аналитических ВЛА - 200 г - М.
2. Произвести измерение массы детали.

#### 4.1. Назначение лабораторных весов

Весы лабораторные аналитические модели ВЛА-200 г-М предназначены для точного определения массы веществ при производстве лабораторных анализов в различных отраслях промышленности и медицинской техники.

Работа на весах может производиться в районах с особыми климатическими условиями в лабораторных помещениях при температуре окружающего воздуха  $+20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха от 30 до 80 %.

## 4.2. Технические характеристики лабораторных весов

По *основным параметрам и размерам* весы должны удовлетворять следующим требованиям:

Наибольший предел взвешивания	200 г
Цена деления шкалы	0,1 ± 0,003 мг
Диапазон взвешивания по шкале	от -10 до + 10 мг
Диапазон измерения массы с помощью гиревого механизма	от 10 до 990 мг
Погрешность из-за неравноплечности механизма	не более 2 мг
Вариация показаний весов из пяти измерений и смещение нулевого положения равновесия	не более 0,2 мг
Допустимое отклонение от номинального значения массы каждой встроенной гири	0,05 мг
Время успокоения колебаний коромысла	не более 40 с

### *Габаритные размеры весов*

Длина	420 мм
Ширина	420 мм
Высота	470 мм
Масса весов	14 кг
Напряжение питания весов	127 или 220 В

## 4.3. Устройство лабораторных весов

Весы модели ВЛА- 200 г -М являются равноплечными весами с именованной шкалой и встроенными гирями на неполную нагрузку.

Весы состоят из следующих основных частей (рисунок): основания 1 с колонкой 4, коромысла 10 со стрелкой, успокоителя колеба-



ний весов 5, серег 9 с подвесками 3, оптической системы с экраном 18, гиревого механизма 13, изолира 20, витрины 2, выносного трансформатора.

На литом основании установлена колонка, в верхней части которой укреплена опорная подушка и закреплены рычаги изолира 16. В рабочем положении весов на подушку опирается центральной призмой 12 коромысло. На полотне коромысла закреплены вкладыш с призмой, седла с грузоприемными призмами 7, 6, стрелка 17 с оптической шкалой.

Для регулировки нулевого положения коромысла справа и слева в него ввернуты винты с тарировочными гайками 8. Регулировка центра тяжести производится гайками 11. На грузоприемные призмы коромысла опираются подушками серьги. На верхнюю часть крючков навешиваются подвески с чашками, на нижнюю – стаканы успокоителей колебаний весов.

Успокоители колебаний весов воздушные: они состоят из корпусов, закрепленных на кронштейне колонок, и стаканов, входящих в корпуса. Между корпусом успокоителей и стаканом обеспечивается кольцевой зазор.

На нижнем конце стрелки закреплена оптическая шкала, которая располагается перед микрообъективом оптической системы, в оптическую систему входят также осветитель, конденсатор, зеркала и отсчетное устройство с экраном. Поворотом ручки 19 осуществляют перемещение экрана для установки отсчетной отметки на нулевую отметку шкалы.

В верхней части витрины с правой стороны установлен гиревой механизм. Наложение встроенных гирь производится на планку, скрепленную с правой серьгой, вращением малого 14 и большого 15 лимбов; при вращении малого лимба происходит наложение или снятие десятков миллиграммов, большого – сотен миллиграммов. Масса навешанных встроенных гирь отсчитывается по оцифрованным отметкам лимбов против указателя.

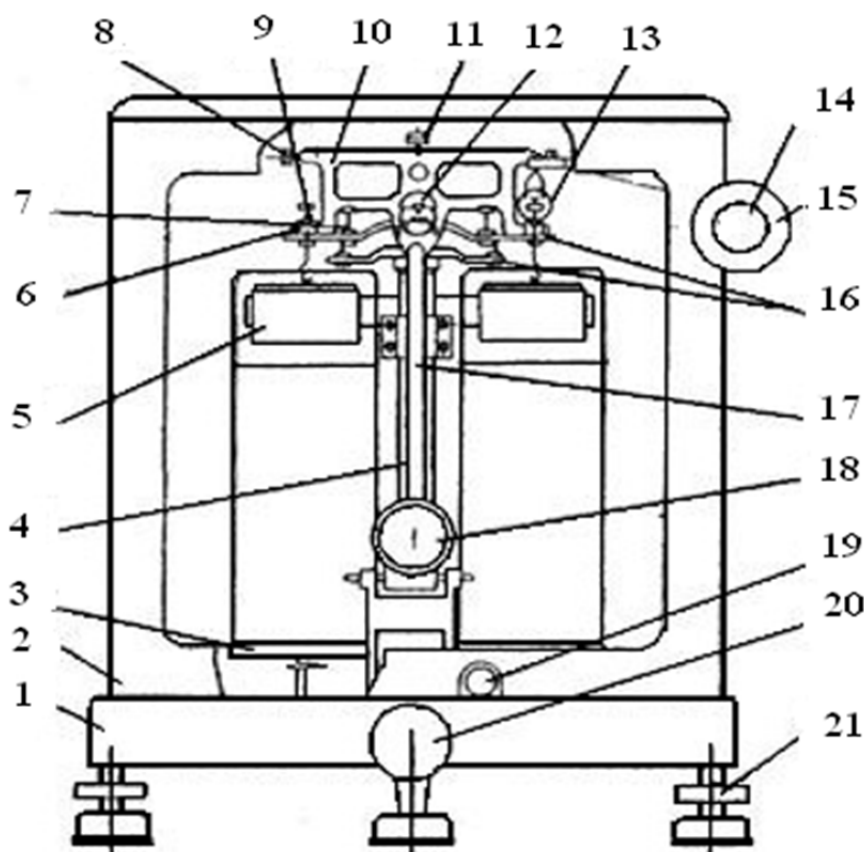
Включение и выключение весов производится ручкой изолира. На рычагах изолира укреплены грузоприемные призмы 7, на которых

в нерабочем состоянии покоятся коромысло и серьги с подвесками. Поворотом ручки изолира против часовой стрелки весы приводятся в рабочее состояние.

Питание весов осуществляется от сети переменного тока напряжением 127 или 220 В через выносной трансформатор понижающий напряжение до 6,3 В.

Включение подсветки шкалы производится микровыключателем от валика изолира при включении весов. Для защиты от воздушных потоков и пыли весы заключены в витрину. Витрина имеет съемную крышку, съемное переднее стекло и выдвигающиеся боковые дверцы.

Для правильной установки весов на основании закреплен уровень. Установка весов по уровню производится вращением установочных ножек 21.



*Устройство лабораторных весов*

#### 4.4. Порядок проведения лабораторной работы

1. Ознакомиться с целями работы, теоретическим введением и конструкцией аналитических лабораторных весов.
2. Перед началом каждого взвешивания необходимо совместить нулевую отметку шкалы с отсчетной отметкой экрана. Если не удалось совместить нулевую отметку шкалы с отсчетной отметкой экрана при помощи ручки 19, то необходимо с помощью преподавателя отрегулировать коромысло посредством тарировочных гаек 8. Придерживая коромысло на упорах (весы в изолированном состоянии), осторожно повернуть гайку по часовой или против часовой стрелки, по экрану проверяя положение равновесия.
3. Произвести регулировку цены деления шкалы в следующем порядке:
  - 1) включить весы и отметить на экране положение равновесия (например, деление + 2);
  - 2) выключить весы;
  - 3) гиревым механизмом навесить кольцевую гирю 10 мг и включить весы;
  - 4) отметить на экране положение равновесия (например, – 99 делений) и подсчитать количество делений шкалы, на которое отклонилось коромысло под действием навешенной гири:  $+ 2 - (- 99) = 101$ . Если первый отсчет был на отметке, например – 2 деления, а после наложения гири стал – 103, то количество делений:  $- 2 - (103) = 101$ .

Для правильно отъюстированных весов отсчет по шкале должен находиться в пределах от 97 до 103 делений шкалы. Разделив 10 мг на число рисок по шкале, получим цену деления шкалы.

4. Произвести взвешивание нескольких деталей, полученных у преподавателя. Для этого:
  - 1) на одну чашу весов положить взвешиваемую деталь;
  - 2) на вторую чашу поместить равновесные гири из комплекта до уравновешивания весов с точностью до 500 мг.

5. Уравнять весы с помощью встроенных миллиграммовых кольцевых гирь и сделать отсчет по шкале.
6. Определить массу детали. Для этого сложить массу гирь на чашке весов, задействовать массу гиревого механизма и массу, определенную по делению шкалы.

#### **4.5. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Конструкция аналитических лабораторных весов (см. рисунок).
3. Результаты градуировки цены деления шкалы.
4. Расчет массы взвешенной детали.
5. Вывод.

#### **4.6. Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначены аналитические лабораторные весы?
2. Какой наибольший предел взвешивания весов?
3. Какой наибольший предел взвешивания посредством гиревого механизма весов?
4. Чему равна цена деления шкалы?
5. Чему равна точность измерения массы?
6. Каково допустимое отклонение от номинального значения массы каждой встроенной гири?
7. Перечислить основные части весов.
8. Как производится регулировка нулевого положения весов?
9. С какой целью весы заключены в витрину?

#### **4.7. Список рекомендуемой литературы**

1. *Зябрева, Н.Н.* Лабораторные занятия по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения» / Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал. – М. : Машиностроение, 1996. – 348 с.

2. Приборостроение и средства автоматики : справочник. В 5 т. Т. 1. Взаимозаменяемость и технические измерения / под общ. ред. проф. А.Н. Гаврилова ; под ред. Б.А. Тайца. – М. : Машиностроение, 1963. – 568 с.
3. Приборы для измерения и дозирования массы : номенклатур. справ. – М. : Машиностроение, 1980.
4. *Кемпинский, М.М.* Точность и надежность измерительных приборов / М.М. Кемпинский. – Л. : Машиностроение, 1972.
5. *Карпин, Е.Б.* Расчет и конструирование весоизмерительных механизмов и дозаторов / Е.Б. Карпин. – М. : Машиностроение, 1963.

## **Лабораторная работа № 5**

### **ИЗУЧЕНИЕ МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ**

Рассматривается устройство и действие манометрических паровых термометров. Дана методика экспериментального определения погрешности манометрических паровых термометров.

#### **Цель работы:**

1. Изучение устройства и действия манометрических паровых термометров.
2. Экспериментальное определение погрешности паровых термометров.

#### **5.1. Общие сведения**

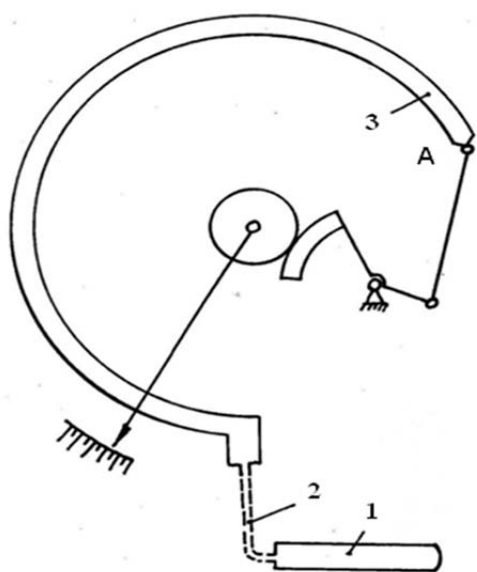
Действие манометрических паровых термометров основано на давлении насыщенных паров жидкости от температуры. На рис. 5.1; 5.2 приведены схемы манометрических паровых термометров с чувствительным элементом в виде трубчатой пружины многовитковой (геликоидной) трубки.

Теплоприемник 1 заполняется низкокипящей жидкостью на 1/2–1/3 объема, остальную часть теплоприемника заполняет насыщенный

пар этой жидкости. В диапазоне рабочих температур термометра в теплоприемнике всегда имеет место равновесие между жидкостью и ее насыщенным паром.

Давление насыщенного пара однозначно зависит от температуры теплоприемника. Это давление измеряется манометрической частью прибора.

Среда, заполняющая капилляр и манометрическую трубку, служит передатчиком давления, независимо от того, жидкая она или газообразная.



*Рис. 5.1. Схема манометрического парового термометра с чувствительным элементом в виде трубчатой пружины*

Особенность парового термометра состоит в том, что температура капилляра 2 и манометрической трубки 3 совершенно не влияет на величину давления в системе прибора. Действительно, если температура трубки и капилляра ниже температуры теплоприемника, то трубка и капилляр будут заполнены жидкостью (конденсатом), и тепловое расширение этой жидкости, а также капилляра и трубки не повлияет на величину давления, а приведет только к увеличению или уменьшению объема, занимаемого в теплоприемнике насыщенным паром. Если же температура капилляра и трубки выше температуры теплоприемника, то в капилляре и трубке будет насыщенный пар под давлением, равном давлению насыщенного пара в теплоприемнике.

Поэтому температурная погрешность манометрического парового термометра обусловлена только изменением жесткости чувствительного элемента прибора. Принцип действия приборов с чувствительным элементом в виде трубчатой пружины основан на известном

свойстве трубчатой криволинейной пружины с некруглым поперечным сечением (см. рис. 5.1), которые изменяют свою кривизну при изменении избыточного давления или разрежения внутри трубки. Так как один конец трубки закреплен, то изменение кривизны сопровождается перемещением свободного конца по траектории, близкой к прямой. Это перемещение с помощью передаточного механизма преобразуется в поворот стрелки прибора.

Перемещение свободного конца тонкостенной одновитковой трубчатой пружины овального или плоскоовального сечения при создании избыточного давления  $P$  внутри трубки:

$$\lambda = \rho \frac{1-\mu^2}{E} \left(1 - \frac{\beta^2}{a^2}\right) \frac{R^3}{bh} \frac{\alpha}{\beta+\alpha^2} \gamma,$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона материала трубки (для латуни и стали  $\mu=0,3$ );

$E$  – модуль упругости материала трубки;

$R$  – радиус трубки;

$h$  – толщина стенок трубки;

$\gamma$  – центральный угол трубки;

$\alpha$  – главный параметр трубки,  $\alpha = \frac{bR}{a^2}$ ;

$\beta$  – безразмерные коэффициенты, величина которых зависит от формы поперечного сечения трубы и от отношения  $\frac{a}{b}$ .

Из формулы видно, что характеристика трубки является линейной, причем чувствительность трубки  $S = \frac{\alpha\lambda}{a\rho}$  возрастает с увеличением  $R$  – радиуса трубки, центрального угла трубки, отношения полуосей сечения  $\frac{a}{b}$  и с уменьшением модуля упругости материала трубки  $E$  и толщины трубки  $h$ .

Для передачи движения конца манометрической трубки на стрелку применяются рычажные и рычажно-зубчатые механизмы. В паровых термометрах используется также поводковая передача. Ее применение обусловлено тем, что давление насыщенных паров нелинейно зависит от температуры, а поводковой передачей удастся линеаризовать шкалу.

Деформация манометрической трубки, как уже указывалось, пропорциональна избыточному давлению насыщенных паров жидкости, т.е. разности давления паров и атмосферного давления. Поэтому изменение атмосферного давления приводит к появлению погрешности показания приборов. Для уменьшения этой погрешности необходимо, чтобы давление насыщенных паров рабочей жидкости в диапазоне измеряемых температур было бы значительно выше атмосферного давления. Рабочая жидкость не должна быть агрессивной по отношению к материалам теплоприемника, капилляра и манометрической трубки.

На рис. 5.2 показана принципиальная схема манометрического парового термометра типа ТС. Теплоприемник 1 соединен капилляром 2 с многовитковой манометрической трубкой 3. Трубка прикреплена одним концом к корпусу 4, а другим – к поворотной скобе 5, закрепленной на оси 6. Через поводковую передачу 7 вращение передается на ось 9, к которой прикреплена стрелка 14. Замыкание поводковой передачи производится пружиной 8. С осью 9 жестко связаны контактные щетки 10, скользящие по двум секторам 11. Эти сектора имеют контактные ламели 12. Сектора соединены с указателями 15 и 13, рычагом 16 и установочными винтами 17, указатели можно установить на любые отметки шкалы. При повышении температуры, когда стрелка совпадает с желтым указателем, замыкается соответствующий контакт 12 с контактной щеткой; при дальнейшем движении стрелки замыкается и второй контакт, когда стрелка совпадает с указателем 13. Замыкание контактов используется для привода в действие системы сигнализации и регулирования температуры объекта.

На стенде приведена схема, обеспечивающая совместно с термометром типа ТС сигнализацию и регулирование температуры. Схема работает следующим образом. Если температура теплоприемника ниже температуры, указанной желтым указателем, контакты  $K_1$  и  $K_2$  разомкнуты и обмотки реле обесточены. Через нормально замкнутые контакты  $K_1P_1$  и реле  $P_1$  напряжение питания подается на белую лампу  $L_1$ . Она горит и сигнализирует о том, что температура теплоприемника ниже нормы, а через нормально замкнутые контакты  $K_3P_2$



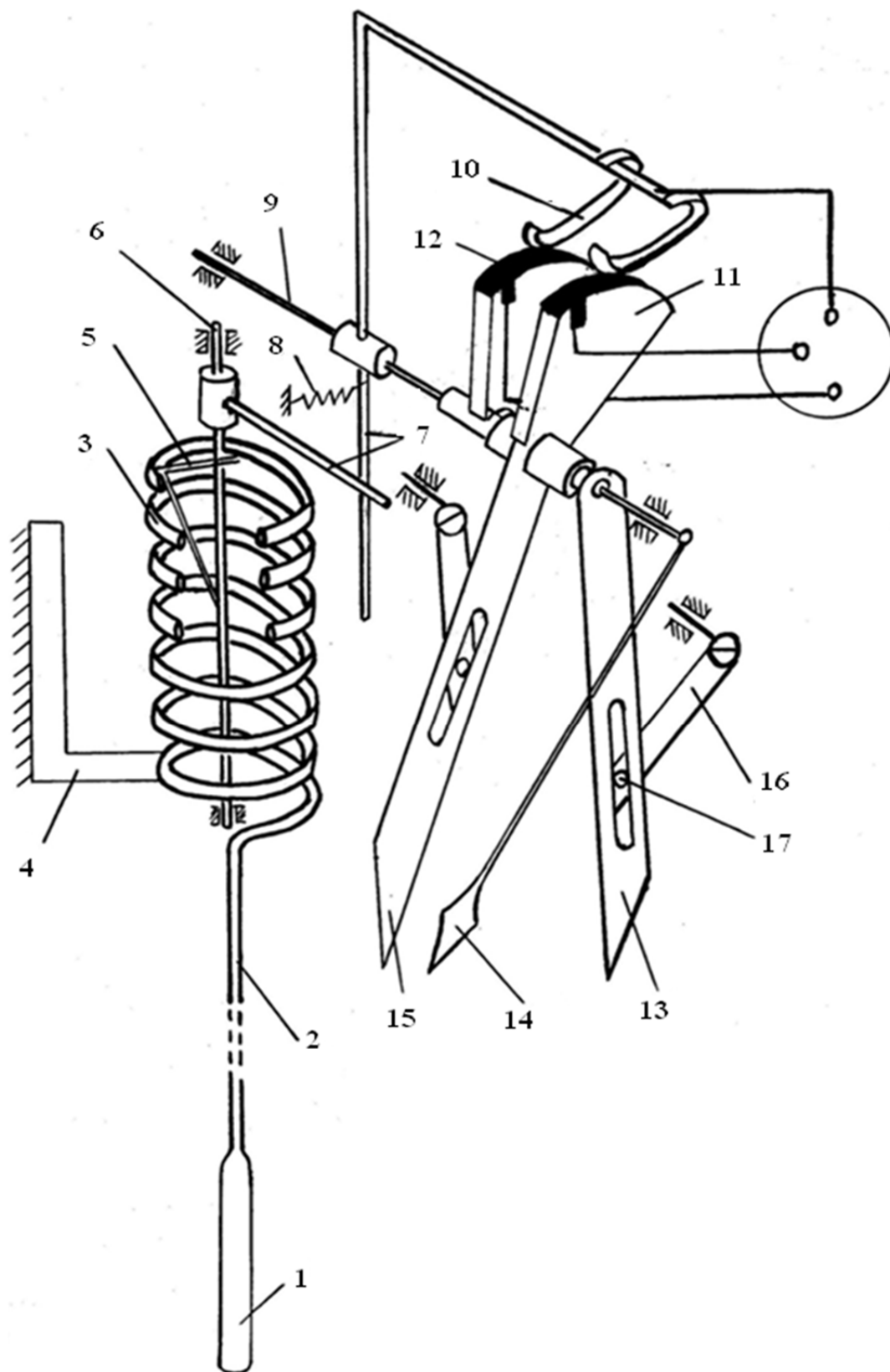


Рис. 5.2. Принципиальная схема манометрического парового термометра типа ТС

реле  $P_2$  напряжение от источника питания подается на силовое реле  $P_3$ , которое своими контактами включает электронагреватель ЭН. При повышении температуры теплоприемника стрелка начинает двигаться вправо и в тот момент, когда она совпадает с желтым указателем, замыкаются контакты  $K_1$  термометра. При замыкании контактов  $K_1$  включается реле  $P_1$  и своим контактом  $K_2P_1$  включает зеленую лампу  $L_2$ , в то же время при размыкании контактов  $K_1P_1$  включается белая лампа  $L_1$ . Зеленая лампа указывает на то, что температура теплоприемника находится в пределах нормы. Реле  $P_3$ , а следовательно, и нагреватели остаются включенными.

При дальнейшем повышении температуры стрелка совмещается с указателем, замыкаются контакты  $K_2$  и включается реле  $P_2$ , которое своими контактами  $K_2P_2$  включает лампу  $L_3$ , контактами  $K_1P_2$  включает лампу  $L_2$ , а контактами  $K_3P_2$  – реле  $P_3$ . Нагреватель выключается, и температура объекта начинает уменьшаться. При снижении температуры работа схемы проходит в обратном порядке.

Аналогичная схема используется для второго манометрического парового термометра с чувствительным элементом в виде одновитковой трубки Бурдона.

## **5.2. Описание лабораторной установки**

Лабораторный стенд состоит из двух вмонтированных в стойку манометрических паровых термометров с различными видами чувствительного элемента. Теплоприемники термометров помещены в сосуд с водой, там же смонтирован и нагреватель. Контролирует температуру воды в сосуде стеклянный термометр. Контактные группы манометрических паровых термометров включены в электрические схемы, представленные на лицевой панели стенда.

## **5.3. Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с общими сведениями лабораторной работы.
2. Включить сеть и нагреватель.

3. Снять показания стеклянного термометра и манометрических паровых термометров через каждые  $5^{\circ}\text{C}$ . Построить графики зависимости абсолютной погрешности манометрических паровых термометров  $\Delta t$  от температуры в сосуде по показанию стеклянного термометра. На графике отметить действительную температуру  $t_g$ , точки переключения сигнальных лампочек и температуру с помощью указателей.

#### **5.4. Содержание отчета**

1. Кинематическая схема манометрических паровых термометров.
2. Электрическая схема сигнализации.
3. Результаты экспериментов.
4. Вывод по работе.

#### **5.5. Контрольные вопросы**

1. Принцип действия манометрических паровых термометров.
2. Чем заполняются манометрические паровые термометры?
3. Недостатки и преимущества манометрических паровых термометров.
4. Почему в термостате применена поводковая передача?
5. Чем объясняются значительные погрешности манометрических паровых термометров, особенно с контактными группами?
6. Каков класс приборов и что это означает? Почему теплоприемник парового термометра меньше, чем у газового или жидкостного?
7. Пояснить работу схемы сигнализатора.

#### **5.6. Список рекомендуемой литературы**

1. *Богданов, Ю.М.* Приборы точной механики / Ю.М. Богданов. – М. : Машгиз, 1960.
2. Интернет-ресурсы: <http://www.hi-edu.ru/e-books/book109/01/part-013.htm>, <http://dic.academic.ru/>, <http://www.toroid.ru/osadchi.html>

## **Лабораторная работа № 6**

### **ОПТИЧЕСКИЙ ПИРОМЕТР**

Рассматривается устройство и принцип действия оптического пирометра типа ОППИР - О17. Приводится методика изменения температуры нагретого тела с учетом его излучающей способности.

#### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с устройством и действием оптического пирометра ОППИР - О17.
2. Измерить температуру нагретого тела.

#### **6.1. Назначение пирометра**

Оптический пирометр типа ОППИР - О17 со встроенным показывающим прибором принадлежит к числу пирометров частичного излучения (монокроматического типа) с исчезающей нитью переменного накала.

Пирометры этого рода позволяют измерять температуру тел, нагретых выше температуры начала видимого свечения по их спектральной (монокроматической) яркости, наблюдаемой в лучах определенного цвета (узкого диапазона длины волны) и оцениваемой по значению приводимой с ней в фотометрическое равновесие эталонной регулируемой яркости электрической лампы накаливания.

Оптический пирометр типа ОППИР - О17 пригоден только для периодических измерений. Это переносной комплектный прибор, не требующий применения дополнительных или вспомогательных частей. Оптический пирометр показывает действительную температуру только тогда, когда излучение накаливаемого тела, температура которого подлежит измерению, достаточно близка к излучению абсолютно черного тела. При остальных условиях пирометр измеряет температуру, меньшую действительной, т.е. яркостную температуру.

Оптическая и электрическая схема ОППИР - О17 дана на рис 6.1.

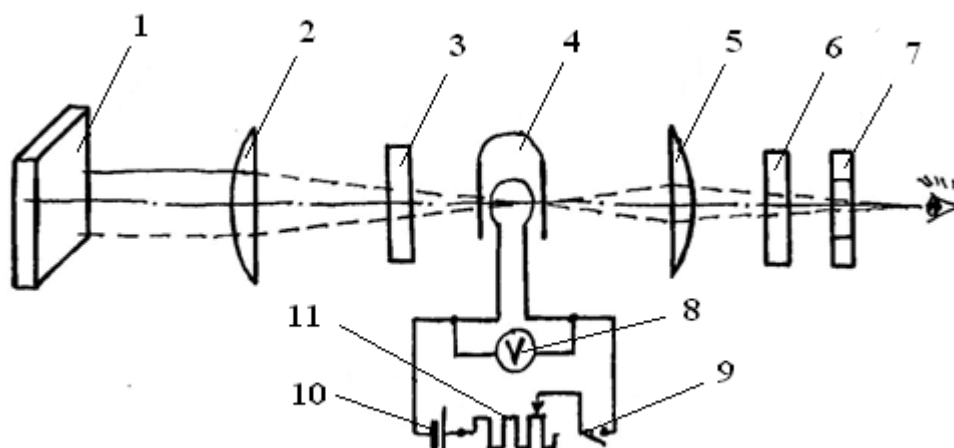


Рис. 6.1. Оптическая и электрическая схема ОППИР - 017

Оптический пирометр ОППИР - 017 состоит из следующих основных частей:

1. Оптической системы, состоящей из объектива 2, окуляра 5, диафрагмы 7 и монохроматического (красного) светофильтра 6, позволяющего рассматривать в лучах определенного цвета нить лампы на фоне изображения раскаленного тела 1 и поглощающих стекол 3.

2. Пирометрической лампочки 4, включенной в электрическую схему последовательно с аккумулятором 10 и реостатом 11 для регулирования тока накала нити лампы и служащей эталоном измеряемой яркости температуры, и ключа 9.

3. Электроизмерительного прибора 8, представляющего собой дифференциальный амперметр магнитоэлектрической системы с двумя рамками, из которых основная включена параллельно лампе, а дополнительная – навстречу основной и последовательно с лампой.

Применение вышеуказанной схемы позволяет уменьшить нерабочий участок шкалы до минимальной величины. Шкала прибора градуируется в градусах яркости температуры накаливаемого тела.

## 6.2. Принцип действия

По мере возрастания температуры любого накаливаемого тела яркость его свечения увеличивается, а цвет изменяется. Последнее означает, что с изменением температуры процентное соотношение лучей

различных длин волн, испускаемых накалившимся телом и определяющих цвет излучения, изменяется.

Если сравнить различные удельные мощности излучения всегда в одних и тех же монохроматических (т.е. одноцветных) лучах или в лучах одной и той же длины волны, то эти мощности будут зависеть от температуры накалившихся тел.

Зависимость между удельной мощностью излучения (мощностью излучаемой единицей поверхности тела в единицу времени), длиной волны излучения (цветом излучения) и температурой излучения определяется законом Планка.

Однако закон Планка полностью справедлив только для так называемого абсолютно черного тела, представляющего собой воображаемый идеальный излучатель, развивающий наибольшую возможную при данной температуре мощность излучения.

Мощность излучения всех реальных физических тел по-разному отличается (в зависимости от разных длин волн) от мощности излучения абсолютно черного тела, оставаясь всегда меньше последней при рабочих условиях.

Поскольку мощность излучения реального тела при какой-то температуре всегда меньше мощности излучения абсолютно черного тела при той же температуре, то, оценивая температуру по монохроматической яркости, нельзя определить действительную температуру реального физического тела. Вместо нее всегда определяется относительно меньшая, так называемая яркостная температура.

От яркостной всегда можно перейти расчетным путем к действительной температуре, если только известно отношение монохроматических яркостей данного реального физического тела и абсолютно черного тела для выбранного цвета излучения и нужного интервала температуры, т.е. если известен коэффициент монохроматической излучательной способности.

Так как измерение абсолютного значения яркости представляется затруднительным, то в оптическом пирометре помещают эталон яркости, для которого заранее способом сравнения с искусственным абсолютно черным телом установлена зависимость яркости от темпе-

ратуры. С яркостью эталона сравнивают яркость тела, температура которого измеряется. Таким эталоном служит яркость нити специальной электрической лампы накаливания, именуемой пирометрической лампой.

Оптическая система пирометра позволяет рассматривать нить лампы на фоне изображения накаливаемого тела. Доводя яркость нити изменением тока накала до совпадения с яркостью накаливаемого тела, можно утверждать, что раз равны монохроматические яркости, то равны и температуры. А так как температура эталона всегда известна, то известна и измеряемая яркостная температура тела.

Момент достижения равенства монохроматической яркости определяется на глаз с большой точностью, поскольку человеческий глаз является исключительно чувствительным индикатором контрастности излучения светящихся тел.

Достижение равенства яркостей, называемое фотометрическим равновесием, воспринимается наблюдателем, как исчезновение нити лампы на фоне изображения тела. По достижении фотометрического равновесия отсчитывается яркостная температура объекта измерения. Эту температуру отсчитывают по шкале прибора, градуированной в градусах температуры.

Для длительного сохранения неизменности характеристик пирометрической лампы температура ее нити не должна превышать  $1400^{\circ}\text{C}$ . Поэтому при измерении температур свыше  $1400^{\circ}\text{C}$  надо ослабить яркость излучения тела. Такое ослабление яркости тела, температура которого измеряется, достигается введением на пути лучей между нагретым телом и пирометрической лампой поглощающего стекла (светофильтра), которое поглощает часть энергии и излучения нагретого тела.

### **6.3. Описание конструкции**

Оптический пирометр ОППИР - О17 (рис. 6.2) состоит из корпуса 9 с трубкой объектива 3, внутри которой скользит выдвижной тубус 2 с укрепленной в нем линзой объектива 1, служащей для про-

ектирования изображения накаливаемого тела в плоскость нити пирометрической лампы 38.

На внешний конец тубуса наворачивается насадка 5 с поглощающим стеклом (для приборов с пределами измерения  $1200 - 3200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $1500 - 6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Перемещение тубуса объектива на 28 мм обеспечивает получение четкого изображения предмета, находящегося на расстоянии от объектива от 0,7 м до оптической бесконечности. При измерении температур в диапазонах  $1200 - 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1500 - 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$  в поле зрения между линзой объектива и лампой поворотом рукоятки 8 (предварительно нажав вниз) вводится поглощающее стекло 4. При этом указательная точка на рукоятке совпадает с цветной точкой, нанесенной на корпус прибора и указывающей, на каком пределе необходимо отсчитывать температуру.

При измерении температур в пределах  $1800 - 3200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $2300 - 6000\text{ }^{\circ}\text{C}$  поглощающее стекло выводится, а на объектив наворачивается специальная насадка с поглощающим стеклом. На насадке нанесен номер прибора, в комплект которого она входит.

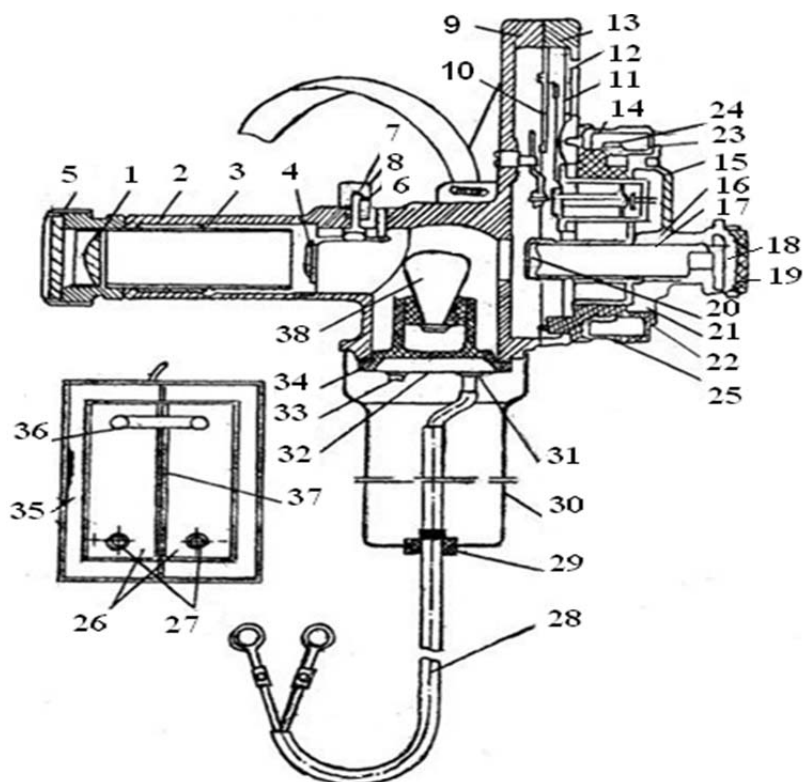


Рис. 6.2. Оптический пирометр ОППИР - 017



На верхней стенке вертикальной части корпуса расположен винт корректора для установки на нуль стрелки измерительного прибора. В крышке корпуса 13 смонтирован кольцевой реостат 14 для регулирования тока накала пирометрической лампы. При повороте кольца слева направо по направлению стрелки, нанесенной на кольцо, сопротивление реостата, введенное в цепь накала пирометрической лампы, уменьшается. При повороте кольца влево до упора, ограничивающего вращение кольца, щетка 24 сходит со спиралей, сопротивление реостата и цепь накала лампы разрываются.

В момент выключения тока, т.е. при крайнем левом положении кольца, отметка должна совпадать с аналогичной отметкой на крышке корпуса.

Окулярная система служит для рассмотрения в монохроматических лучах нити лампы на фоне изображения накаливаемого тела, температура которого изменяется. Окулярная система смонтирована в выдвижном тубусе окуляра 17, перемещающемся в направлении трубки 16, выполненной как одно целое с крышкой 21. В тубусе окуляра установлена линза окуляра 20, монохроматический (красный) светофильтр, укрепленный в поворотной обойме 19, и выходная диафрагма 18, за которой находится глаз наблюдателя при измерении температуры.

Электроизмерительный показывающий прибор, встроенный в пирометр, реагирует на изменение напряжения и тока пирометрической лампы, измеряющихся в зависимости от сопротивления нити лампы, а следовательно и от ее температуры. Электроизмерительный прибор и реостат смонтированы в крышке корпуса.

Узел пирометрической лампы состоит из пирометрической лампы, служащей эталоном измеряемой яркости. Лампа имеет дугообразную нить накала, расположенную в плоскости, перпендикулярной оптической оси. Максимальное потребление тока пирометрической лампой при температуре нити  $1400^{\circ}\text{C}$  около  $0,4\text{ A}$  при напряжении на ее зажимах  $2,5\text{ В}$ .

Лампа предназначена для работы при температурах, не превышающих  $1400^{\circ}\text{C}$ . При этом условии срок ее службы практически не ограничен. Всякий нагрев лампы больше указанной температуры ве-

дет к изменению ее характеристик, т.е. нарушению градуировки параметра. Пирометр ОППИР - О17 имеет индивидуальную градуировку, справедливую для данной лампы. При замене лампы прибор должен быть переградуирован.

Патрон 34 с пирометрической лампой крепится к корпусу двумя винтами. На нижней поверхности патрона смонтированы четыре зажима. Два из них 31 обозначены знаком «+» и «-» и служат для присоединения проводов 28 от аккумуляторной батареи. Два других зажима 33 обозначены  $L_1$  и  $L_2$  и служат для измерения тока лампы при помощи образцовой катушки и потенциометра. Для этого отсоединяется перемычка 32, а провода питания, отключенные от аккумуляторов, подводятся к клеммам  $L_1$  и  $L_2$ .

Рукоятка 30 служит для удержания прибора при определении температуры нагретого тела. Крепится к корпусу двумя винтами и имеет в нижней части отверстие, которое служит для вывода проводов питания.

В конструкцию оптического пирометра ОППИР - О17 входят также винт 6, переводной рычаг 7, шкала 10, стрелка 11, защитное стекло 12, крышка реостата 15, реостат 22, корпус реостата 23, обмотка реостата 25, коробка аккумулятора 26, клеммы 27, резиновое уплотнение 29, корпус аккумулятора 35, перемычка 36, изолирующая пластина 37.

Спектральная (монохроматическая) излучательная способность некоторых металлов и сплавов с длиной волны  $\lambda=0,66$  мк приведена в таблице.

Материалы	Твердое состояние	Жидкое состояние
<i>Металлы</i>		
Железо	0,35	0,37
Золото	0,14	0,22
Марганец	0,59	0,59
Медь	0,10	0,15
Серебро	0,07	0,07
Титан	0,63	0,65
Хром	0,34	0,39
Сталь	0,35	0,37
Чугун	0,37	0,40

Окончание

Материалы	Твердое состояние	Жидкое состояние
<i>Сплавы</i>		
Хромель	0,35	-
Алюмель	0,35	-
Нихром	0,35	-
<i>Окислы</i>		
алюминия	0,30	-
железа	0,70	-
меди	0,60	-
титана	0,50...0,90	-

#### **6.4. Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством и действием пирометра.
2. Подключить источник питания к пирометру.
3. Выбрать шкалу для измерения температуры нагретой спирали.
4. Вращая движок реостата, добиться «исчезновения» нити на фоне нагретого тела.
5. Зарегистрировать показание электроизмерительного прибора.
6. С использованием таблицы определить действительную температуру нагретого тела.

#### **6.5. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Принципиальная оптическая и электрическая схема ОППИР - О17.
3. Результаты измерения яркостной температуры нагретой спирали.
4. Определение истинной температуры нагретой спирали.

#### **6.6. Контрольные вопросы**

1. На чем основан принцип действия оптического пирометра?
2. В каком случае яркостная температура равна истинной температуре нагретого тела?

3. В каких пределах изменяется коэффициент излучательной способности и от чего зависит его величина?
4. На какой длине волны света измеряются оптическим пирометром?

### 6.7. Список рекомендуемой литературы

1. *Богданов, Ю.М.* Приборы точной механики / Ю.М. Богданов. – М. : Машгиз, 1960.
2. Приборостроение и средства автоматизации : справочник. Т.2. Кн. 2 / под. ред. П.В. Сыроватченко. – М. : Машиностроение, 1964.

### Лабораторная работа № 7

#### ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРА ПРОВЕРКИ ТОЧНОСТИ ХОДА ЧАСОВ ППЧ - 7М

##### Цель работы:

1. Изучить конструкцию и принцип действия прибора проверки точности хода часов ППЧ - 7 М [1].
2. Проверить точность хода настольных часов.

### 7.1. Общие сведения

Точность хода часов зависит от стабильности периода колебаний  $T$  колебательной системы (баланс – спиральный волосок). Точность хода часов характеризуется величиной среднего суточного хода. Средний суточный ход  $\Omega$  связан с отклонением  $\Delta T$  периода  $T$  зависимостью  $\Omega = 86400 \Delta T/T$ .

ГОСТ 3309 - 75 «Часы механические» регламентирует 3 класса точности:

Класс II (повышенный), средний суточный ход  $\Omega = 15$  с;

1-й класс, средний суточный ход  $\Omega = 30$  с;

2-й класс, средний суточный ход  $\Omega = 50$  с.

## 7.2. Прибор проверки точности хода часов ППЧ- 7М

**Назначение.** Прибор ППЧ - 7М предназначен для проверки точности хода часов в производственных и лабораторных помещениях.

### 7.3. Технические характеристики

1. Прибор рассчитан для проверки точности хода часов с периодом колебаний в 0,2; 0,33; 0,363; 0,4; 0,5 и 0,6 с.
2. Точность измерения погрешности хода часов в перерасчете на одни сутки составляет 2 с при температуре окружающего воздуха  $+20 \pm 5$  °С.
3. Прибор записывает диаграмму хода часов на бумажную ленту шириной 36 мм.
4. Прибор питается от промышленной сети переменного тока 50 Гц напряжением 127/220 В,  $\Delta V = \pm 10\%$ .
5. Прибор потребляет от сети питание не более 25 Вт.
6. Климатические условия эксплуатации прибора:
  - 1) температура – от +10 до +35 °С;
  - 2) относительная влажность – до 80 % при температуре +20 °С;
  - 3) давление –  $(750 \pm 30)$  мм рт. ст.
7. Габаритные размеры: 152 × 236 × 310 мм.
8. Масса комплекта ППЧ - 7 М – не более 10 кг.

### 7.4. Устройство и принцип работы

Принцип действия прибора состоит в сравнении периода колебаний баланса часов с периодом вращения барабана, приводимого от синхронного электродвигателя. Частота переменного тока, питающего электродвигатель, стабилизирована кварцевым генератором. Результат измерения суточной погрешности хода часов записывается на бумажную ленту. Структурная схема прибора показана на рис. 7.1.

Для питания синхронного электродвигателя 10 в приборе имеются: блок питания 3, кварцевый генератор 4, делители частоты с переключателем коэффициента деления 5, 6, усилитель мощности 7.

Схема делителя частоты выполнена на статических триггерах с обратными связями, дающими возможность получить элементы с заданными коэффициентами деления частоты. Синхронный электродвигатель через пару шестерен вращает барабан с двумя спиральными ребрами 9. Синхронная частота вращения барабана в положениях переключателя «0,2 - 0,4 - 0,6»; «0,363» и «0,33 - 0,5» соответственно равна 900, 990 и 1080 об/мин. Непосредственно над барабаном протягивается диаграммная бумага 11, над которой расположена красящая лента и печатающая рамка 12, приводимая в движение электромагнитом 8 через рычажную систему. Электромагнит является выходным устройством канала преобразования импульсов проверяемых часов в синхронные колебания печатающей рамки.

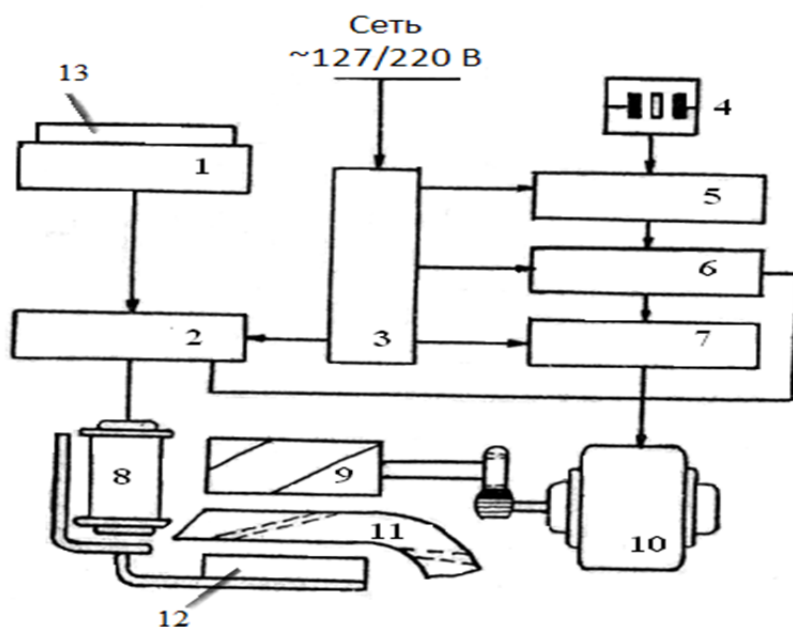


Рис. 7.1. Структурная схема прибора проверки точности хода часов ППЧ-7М

В канал преобразования входят микрофон 1, усилитель с регулятором коэффициента усиления 2 и электромагнит. Печатающая рамка срабатывает в такт со звуковыми импульсами механизма часов 13. В часовом механизме происходит много ударов. Микрофон фиксирует наиболее сильный удар падения зуба ходового колеса на плоскости покоя палет при движении баланса в одну и в другую сторону. Для того чтобы период вращения барабана был кратен периоду колебаний баланса проверяемых часов, необходимо переключатель соответствия

установить в одно из трех положений: «0,2 - 0,4 - 0,6»; «0,363» или «0,33 - 0,5»; которое должно соответствовать периоду колебаний баланса часов.

Диаграмма хода часов записывается на бумажную ленту в виде точек, расположенных вдоль бумаги. При небольшом рассогласовании сравниваемых периодов, например, когда часы спешат или немного отстают, диаграмма хода часов запишется под некоторым углом к направлению протяжки.

При точном ходе часов линия записи направлена строго по ходу движения ленты. Угол наклона записи соответствует определенной суточной погрешности хода часов в секундах и легко считывается по шкале угломерного устройства.

Во время работы прибора красящая лента движется вдоль печатающей рамки, непрерывно перематываясь с одной бобины на другую. У концов ленты имеются встроенные металлические кнопки, которые замыкают концевые выключатели и автоматически управляют устройством реверсирования перемотки с помощью соленоидов.

Прибор ППЧ - 7 М имеет контактную систему для включения записи диаграммы при установке часов на микрофон и автоматического выключения электродвигателя после снятия часов с микрофона.

Электрическая схема прибора выполнена с применением транзисторов. Питательное приборное сетевое напряжение преобразуется с помощью трансформаторов и выпрямителей. Положительный полюс всех напряжений постоянного тока соединен с корпусом. Рабочее положение прибора показано на рис. 7.2.

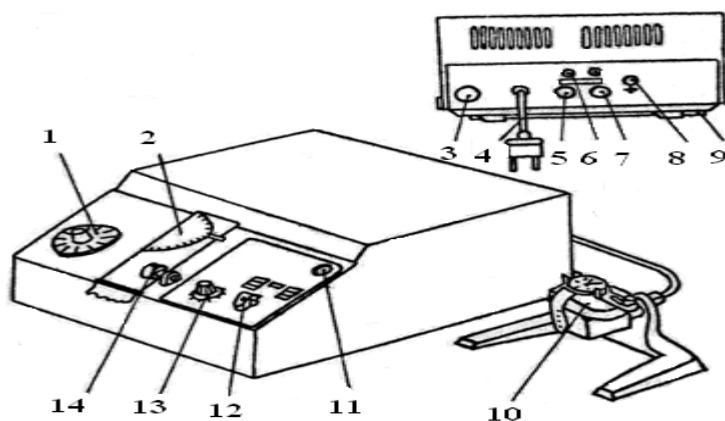


Рис. 7.2. Рабочее положение прибора ППЧ-7М

На переднюю панель прибора вынесены: переключатель соответствия проверяемым часам 12, регулятор усиления, совмещенный с выключателем сетевого питания 13, лимб считывания результата измерения 1, угломерный диск со шкалой 2, прижимной ролик 14, световой индикатор включения 11.

На обратной стороне прибора имеется: разъем подключения микрофона 5, разъем подключения амплитудомера 7, гнезда для наушников 6, переключатель номинального напряжения сети с предохранителем 3, шнур питания 4, клемма заземления 8. На дне прибора имеется откидная скоба 9, позволяющая ставить прибор в наклонное положение. Микрофон 10 снабжен поворотной головкой, позволяющей проверить установленные на ней часы в шести положениях: вверх циферблатом, вниз циферблатом, заводной головкой вверх, заводной головкой вправо, заводной головкой вниз, заводной головкой влево. Микрофон соединяется с прибором при помощи гибкого кабеля с разъемным соединением.

### **7.5. Подготовка прибора к работе**

1. Перед включением прибора в сеть осмотреть комплект.
2. Соединить провод от контура защитного заземления с клеммой прибора.
3. Переключатель напряжения с предохранителем установить в положение, соответствующее номиналу напряжения питающей сети.
4. Вставить в прибор рулон бумажной ленты. Для этого поднять крышку, вставить съемную ось в центральное отверстие рулона и направить рулон с осью в пазы боковых щек механизма так, чтобы лента сматывалась сверху вперед. Обрезать конец бумажной ленты и пропустить его между барабаном и красящей лентой. Затем пропустить бумажную ленту под угломерным диском, прижимным роликом и в паз направляющей планки.
5. Соединить микрофон с прибором, для чего штекер микрофона вставить в разъем.



6. Вращая до отказа против часовой стрелки регулятор «Усиление», разомкнуть выключатель сетевого питания.
7. В зависимости от периода колебаний баланса проверяемых часов поставить переключатель соответствия проверяемым часам в одно из положений: «0,2 - 0,4 - 0,6»; «0,363»; «0,33 - 0,5».
8. Вставить проверяемые часы в зажимные губки микрофона и придать головке положение, необходимое для проверки часов.

### **7.6. Порядок выполнения работы**

1. Подключить прибор к сети. Для этого вилку шнура питания вставить в розетку, где имеются предусмотренные напряжения 127 или 220 В переменного тока. Вращением лимба регулятора «Усиление» по часовой стрелке до упора замкнуть выключатель сетевого питания.
2. Осторожно прижать переносной микрофон к задней плате часов (микрофон нельзя ронять, резко класть на стол. Это приведет к разрушению пьезоэлемента и поломке микрофона).
3. После включения должна загореться индикаторная лампочка, а через 1 – 2 с прибор должен начать записывать диаграмму хода часов. Для определения величины суточного отставания или опережения хода часов лимб считывания повернуть так, чтобы риски на угломерном диске совпали с наклоном линии записи на бумажной ленте. Результат измерения определить по положению угломерного диска и шкале связанного с ним лимба считывания.

При уходе или отставании часов на величину более двух минут показания считываются по шкале на угломерном диске. Деление шкалы отсчитывается против красной риски на лицевой панели. Результат (+) на шкале лимба указывает на то, что часы спешат, а результат (-) – на то, что часы отстают.

Прибор ППЧ -7 М измеряет суточную погрешность хода часов с гарантированной точностью  $\pm 2$  с продолжительностью 5 мин после начала работы при температуре окружающего воздуха  $+20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .

Сразу после включения и до истечения времени самонагрева, равного 5 мин, прибор может измерять суточную погрешность хода часов с точностью  $\pm 4$  с в этом же температурном интервале.

В зависимости от индивидуальных особенностей проверяемых часов коэффициент усиления микрофонного сигнала может быть изменен в меньшую сторону вращением регулятора «Усиление» против часовой стрелки.

При отсутствии электрических и акустических помех диаграмма записи хорошо отрегулированных часов не должна иметь выбросов отдельных точек.

4. Записать диаграмму и определить суточный ход настольных часов.
5. Записать диаграмму работы своих наручных часов в шести положениях: вверх циферблатом, вниз циферблатом, заводной головкой вверх, заводной головкой вправо, заводной головкой вниз, заводной головкой влево. Определить величину суточного хода.

Диаграмма с записью суточного хода позволяет определить различные дефекты часов. Они представлены на диаграммах (рис. 7.3):

1. Часы идут точно;  $\omega=0$ . Прямая точная линия параллельна краям ленты.
2. Часы спешат. Точечная линия отклонена вправо. Чем больше отклонение, тем больше опережение.
3. Часы отстают. Линия отклонена влево.
4. Часы отстают. Две линии записи характеризуют погрешность регулировки статического равновесия системы баланс – спираль. Производственный термин: «Нет выкачки», «Однобокий ход», «Кривой ход».
5. Часы спешат. Дефекты у левой линии записи свидетельствуют о дефекте одного зуба ходового колеса. Две линии записи характеризуют погрешность регулировки, как и по диаграмме 4.
6. Приступ баланса. Амплитуда выше  $310^\circ$ , импульсный камень ударяет о наружную поверхность рожка вилки.
7. Повреждение одной из палет анкерной вилки из-за слабого крепления ее в пазу.

8. Меняется амплитуда колебаний баланса.
9. Значительное биение ходового колеса.
10. Неравномерное поступление силового импульса на баланс, вызванное загрязнением в анкерном ходе.
11. Погрешность изохронизма. Различный ход в горизонтальном и вертикальном положениях.
12. Велик зазор в опорах анкерной вилки и баланса.
13. Неравномерная величина импульса, передаваемого на баланс, обусловленная дефектом зубчатого зацепления.

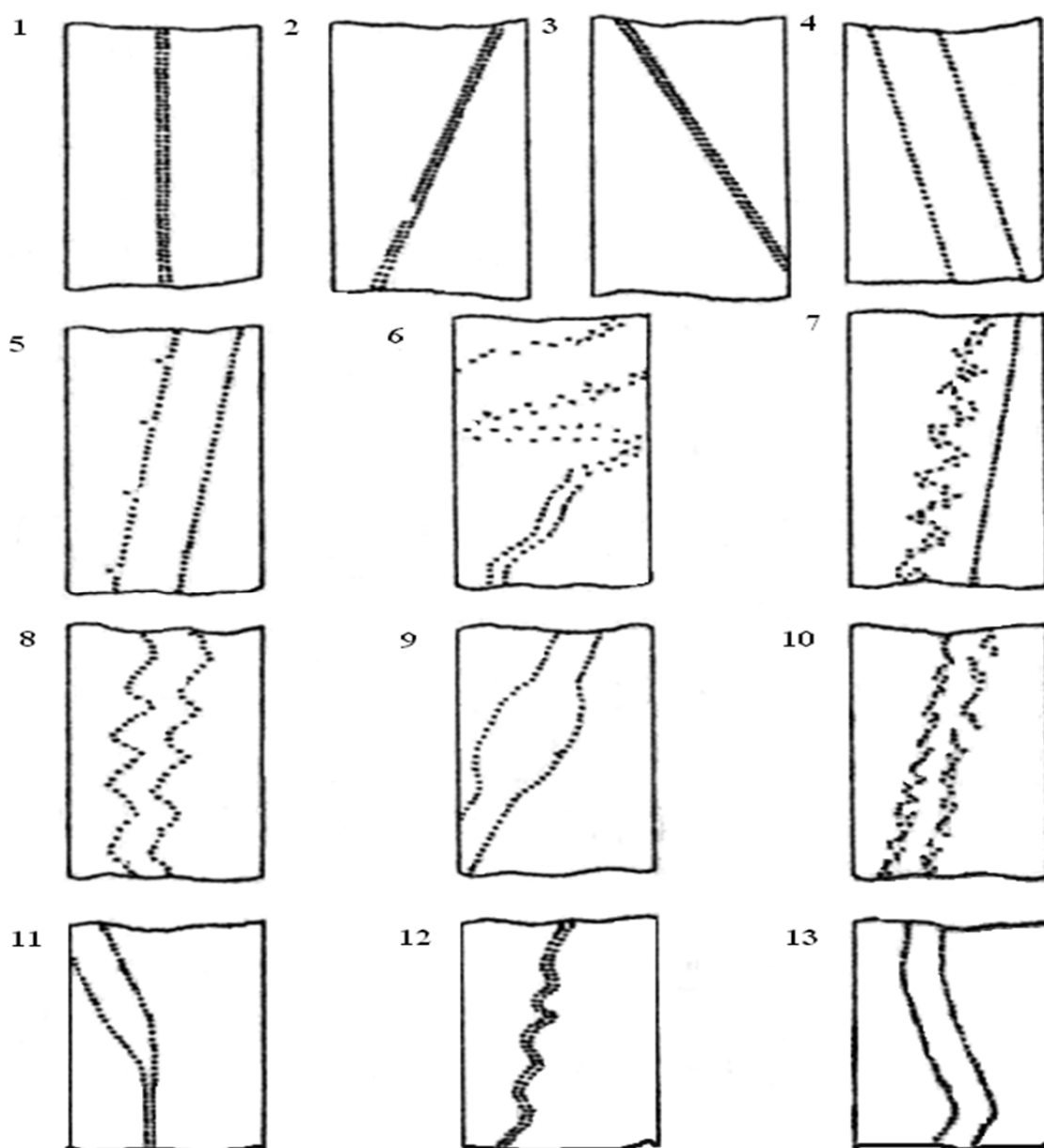


Рис. 7.3. Дефекты часов

### 7.7. Содержание отчета

1. Структурная схема прибора проверки точности хода часов ППЧ - 7 М.
2. Эскиз диаграммы суточного хода проверяемых часов.
3. Определить величину суточного хода в различных положениях часового механизма и дать рекомендации к его регулировке.

### 7.8. Контрольные вопросы

1. Какие удары в часовом механизме фиксирует прибор ППЧ - 7 М на диаграмме хода часов?
2. Почему записываются две линии на диаграмме хода часов?
3. Почему при суточном ходе  $\Omega = 0$  записываются вертикальные линии, а при  $\Omega \neq 0$  – наклонные линии?
4. Как можно подрегулировать суточный ход, если часовой механизм во всех положениях показывает одинаковую величину суточного хода?
5. Как можно отрегулировать суточный ход, если часовой механизм в разных положениях имеет различный суточный ход?

### 7.9. Список рекомендуемой литературы

1. Прибор проверки хода часов ППЧ - 7 М : паспорт. – М., 1973.
2. *Тарасов, С.В.* Приборы времени / С.В. Тарасов. – М. , 1976.

## Лабораторная работа № 8

### ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ДАТЧИК УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

#### Цель работы:

1. Изучить принцип действия и устройство гироскопического датчика угловой скорости.
2. Изучить основные характеристики гироскопического датчика угловой скорости и методы их расчета.

3. Освоить практические методы измерения основных параметров и снятия характеристик датчиков скорости.

### 8.1. Принцип действия и устройство гироскопического датчика угловой скорости

Гироскопический датчик угловой скорости (ДУС), или гиротактометр (ГТ), является электромеханическим прибором точной механики. ГТ предназначен для измерения угловой скорости поворота объекта, на котором он установлен. Кинематическая схема ГТ приведена на рис. 8.1. Основным элементом прибора является гиромотор 1-асинхронный двигатель обращенного типа (внутри вращающегося ротора с «беличьей клеткой» расположен статор с обмотками). Обмотки гиромотора питаются трехфазным напряжением 36 В с частотой 400 Гц. Гиромотор установлен в рамке 2, которая с шарикоподшипниками 3 с помощью полуосей 4 и 7 крепится в корпусе прибора. На одной из полуосей 4 жестко крепится ротор 5 индуктивного датчика выходного сигнала (микросина), статор 6 которого жестко крепится в корпусе прибора. Другая полуось 7 одновременно выполняет функции торсиона (пружины, работающей на кручение относительно продольной оси), один конец которого укреплен в рамке, а другой – жестко в корпусе прибора.

При вращении ротора гиромотора с угловой скоростью, возникает кинетический момент ротора гиромотора  $H = I\Omega$ , где  $I$  – момент инерции ротора гиромотора относительно оси  $Z$ . Вектор  $H$  направлен по оси вращения гироскопа  $Z$  так, что если смотреть с конца вектора  $H$ , вращение гироскопа направлено против часовой стрелки.

Если объект, на котором установлен ГТ, будет вращаться относительно оси  $x$  с угловой скоростью  $\omega$ , которую и нужно измерить, то по оси  $y$  возникает гироскопический момент  $M_r = H\omega$ . Вектор  $M_r$  будет направлен так, что, если смотреть с его конца, можно увидеть, как вектор кинетического момента  $H$  стремится совместиться с вектором угловой скорости  $\omega$  по кратчайшему пути против часовой стрелки.

Гироскопический момент будет поворачивать рамку гиротактометра на угол  $\alpha$ , закручивая торсион. В какой-то момент времени ги-

роскопический момент уравновесится моментом  $M$ , развиваемый торсионом [2],  $M_T = M_{пр}$ , а так как  $M_T = \overline{H\omega} \sin(90^\circ - \alpha)$ ,  $M_{пр} = k \cdot \alpha$ , где  $k$  – момент, приходящийся на единицу угла закручивания торсиона (жесткость пружины),  $(90^\circ - \alpha)$  – угол между векторами  $\overline{H}$  и  $\overline{\omega}$ , то  $H\omega \sin(90 - \alpha) = k\alpha$  или  $H\omega \cos\alpha = k\alpha$ , обычно угол  $\alpha$  – невелик, тогда  $\alpha = (H/k)\omega$ .

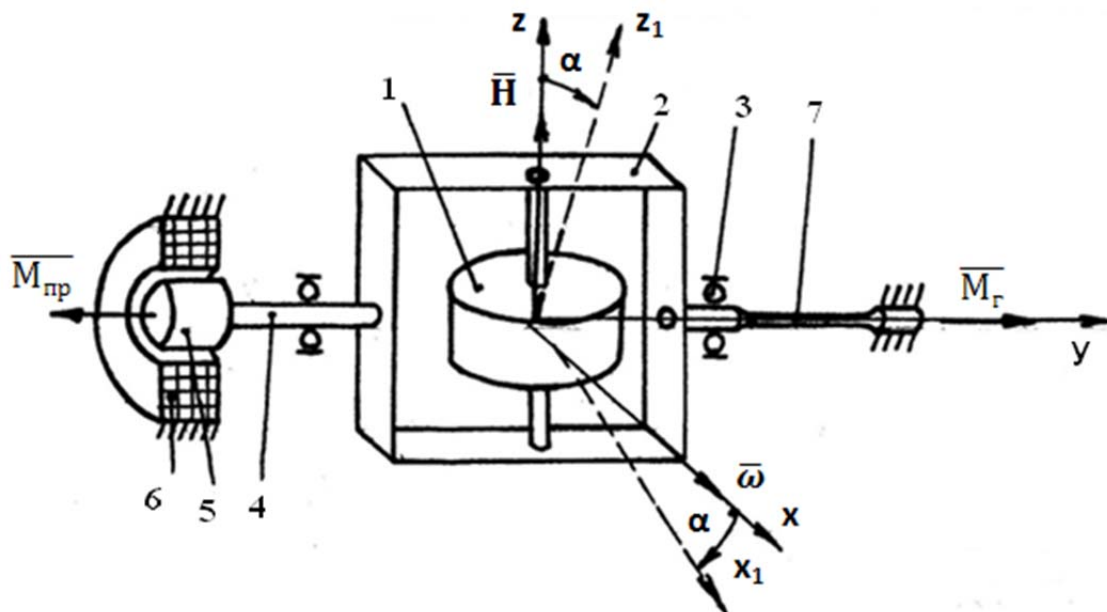


Рис. 8.1. Кинематическая схема гироскопического датчика

Таким образом, угол поворота рамки ГТ пропорционален угловой скорости вращения объекта, на котором последний установлен. Ось, скорость вращения вокруг которой измеряется, называется измерительной осью (ось  $X$ ). Устройство гиротакметра показано на рис. 8.2. Здесь приняты следующие обозначения: 1 – гиромотор; 2 – рамка; 3 – стойка; 4 – упоры ограничения отклонения рамки; 5 – стойка; 6 – разъем для подвода питания и съема сигнала прибора; 7 – статор вращающегося трансформатора (микросина); 8 – ротор вращающегося трансформатора (микросина); 9 – полуось рамки, на которой закреплен ротор микросина; 10 – корпус прибора; 11 – провода для питания гиромотора; 12 – неподвижные контакты; 13 – подвижный контакт; 14 – стакан с подшипниками оси торсиона; 15 – планка закрепления конца торсиона с корпусом прибора.

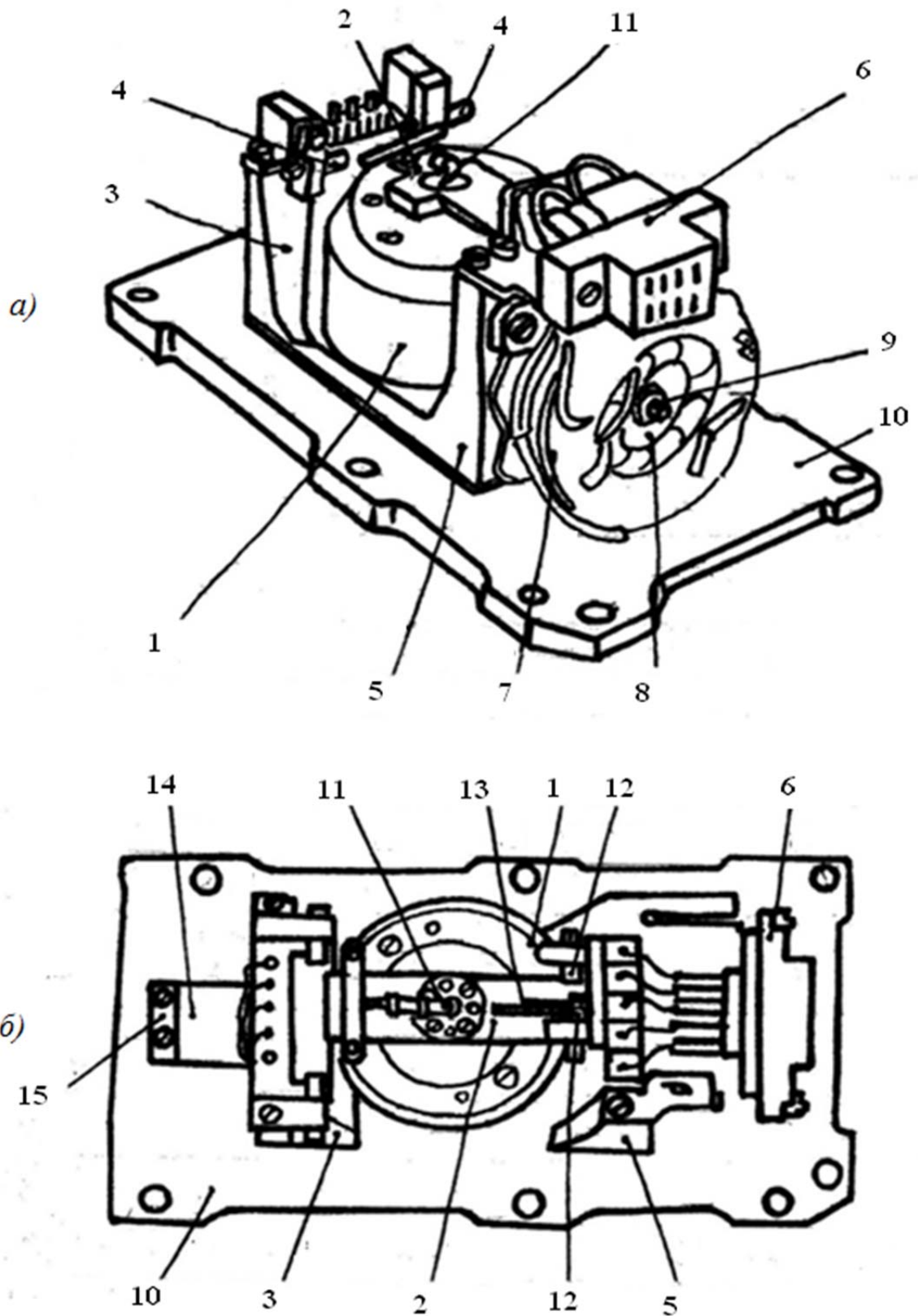


Рис. 8.2. Устройство гиротахометра: а – изображение в изометрии; б – вид сверху

## 8.2. Устройство и действие микросина

Устройство микросина показано на рис. 8.3. Микросин [3] позволяет с большой точностью измерять угловые перемещения, надежен в работе, имеет весьма малую массу и габаритные размеры. На полюсах статора 1 размещены обмотки – первичные (П) и вторичные (В). Стрелками показаны мгновенные направления магнитных потоков  $\Phi$ , создаваемых токами первичных обмоток при входном напряжении  $U_{вх}$ ,  $E$  – ЭДС, индуцируемые в каждой вторичной обмотке. При этом ЭДС  $E_A, E_C$  совпадают по фазе, а ЭДС  $E_B$  и  $E_D$  направлены навстречу ЭДС  $E_A$  и  $E_C$ . Напряжение выходного сигнала  $U_{вых} = E_A - E_B + E_C - E_D$ . Положение ротора 2, при котором он одинаково перекрывает разноименные полюса статора, называется нейтральным, или нулевым. Напряжение  $U_{вых}$  в этом случае равно 0.

При отклонении ротора от нулевого положения, например, по часовой стрелке, перекрытие полюсов П и IV увеличится, а перекрытие полюсов I и III уменьшится. Вследствие этого произойдет перераспределение магнитных потоков, создаваемых катушками первичной обмотки, в результате чего ЭДС  $E_B$  и  $E_D$ , индуцируемые в катушках П и IV, возрастут, а ЭДС  $E_A$  и  $E_C$ , индуцируемые в катушках I и III уменьшатся по сравнению с их значениями, соответствующими нулевому положению ротора. Поэтому на выходе вторичной обмотки появится напряжение  $U_{вых}$ , имеющее фазу ЭДС, индуцируемой в катушках П и IV. Величина этого напряжения пропорциональна углу отклонения ротора от нулевого положения ротора.

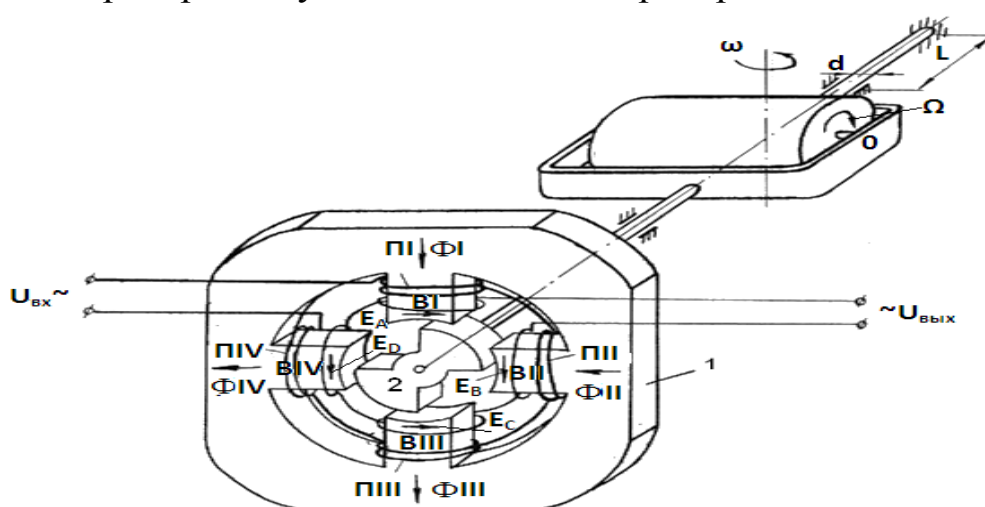


Рис. 8.3. Устройство микросина



### 8.3. Основные погрешности ДУС

1. Погрешность, вносимая наклоном измерительной оси  $x$ , относительно вектора измеряемой скорости  $\omega$ . Если отклонение произошло на углу  $\alpha$  в плоскости  $xz$ , то скорость раскладывается на две составляющие  $\omega = \omega_x + \omega_z$  и ДУС будет измерять скорость  $\omega_x$ .
2. Погрешность от моментов сил трения в подшипниках. Моментом, вызывающим движение гироскопа, является гироскопический момент  $M_g$ , который должен преодолеть приведенный момент трения  $M_{тр}$  в подшипниках оси  $y$  рамки гироскопа. Минимальная угловая скорость  $\omega_{min}$ , при которой гироскопический момент преодолевает момент трения (порог чувствительности), определится из соотношения

$$\omega_{min} \geq M_{тр}/H.$$

По этой формуле можно определить порог чувствительности ДУС – минимальную угловую скорость  $\omega_{min}$ , на которую реагирует прибор.

3. Погрешность, вызываемая нестабильностью характеристик элементов прибора. Чувствительность ДУС определяется из равенства  $S = \alpha/\omega = H/k$ .

Таким образом, на чувствительность прибора оказывает влияние изменение параметров  $H$  и  $k$ , стабильность которых определяется конструкцией прибора и условиями его работы.

4. Погрешность, вызываемая несбалансированностью гиروزла. При несовпадении центра масс гиروزла с осью  $y$  рамки появляются ложные сигналы, величина которых зависит от направления смещения центра масс.
5. Погрешность от динамической несбалансированности гиромотора. Динамическая несбалансированность вызывает незатухающие колебания рамки гироскопа около нулевого положения.

## 8.4. Испытания ДУС

Испытания ДУС производятся на установке типа УПГ - 48, т.е. на поворотном столе. Установка обеспечивает вращение проверяемых приборов в горизонтальной плоскости в обе стороны с плавно меняющимися угловыми скоростями от нуля до 3 об/мин. Установка работает от источника постоянного тока напряжением 27 В.

Если на поворотную платформу установки УПГ - 48 закрепить ДУС так, чтобы оси  $y$  и  $z$  (см. рис. 8.1) находились бы в плоскости, параллельной плоскости платформы, а ось  $x$  – параллельно оси вращения платформы, то при вращении последней со скоростью  $\omega$  с ДУС будет поступать сигнал (напряжение  $U_{\text{вых}}$  микросина), соответствующий скорости вращения  $\omega$ . Изменяя величину  $\omega$  и измеряя напряжение  $U_{\text{вых}}$ , можно построить статическую характеристику ДУС –  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$ . Тангенс угла наклона зависимости  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$  есть чувствительность ДУС, измеряемая в единицах мВ (рад/с).

## 8.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить описание ДУС (и установки УПГ - 48).
2. Включить питание 220 В, 27 В, вольтметр ВЗ - 2А, преобразователь ПТ - 200 Ц, который преобразует постоянное напряжение 27 В в переменное трехфазное 36 В с частотой 400 Гц, необходимое для питания гиromотора.
3. Включить напряжение 36 В с частотой 400 Гц, после чего гиromотор начинает вращаться.
4. Включить вращение платформы установки УПГ - 48 «Влево».
5. Задавая маховиком «Регулировка оборотов» скорости вращения платформы и измеряя напряжение на выходе ДУС вольтметром ВЗ - 2А, построить зависимость  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$  и определить чувствительность ДУС  $S$ , мВ (рад/с). Частоту вращения замерять с помощью круговой шкалы на платформе УПГ - 48 и секундомера.

6. Результаты замеров занести в таблицу.
7. Повторить п. 4 при включении вращения УПГ - 48 «Вправо».
8. Для скорости вращения  $\omega$  по указанию преподавателя определить напряжение  $U_{\text{вых}}$  на выходе ДУС и чувствительность  $S$  при наклоне платформы, равном 10 град.
9. Сравнить полученные результаты при той же частоте вращения горизонтально установленной платформы и объяснить их различие.
10. В обратной последовательности выключить установку.

### 8.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема ДУС и микросина.
3. Экспериментальные таблицы и графики зависимости  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$  для движений платформы вправо и влево. Чувствительность ДУС.
4. Результаты эксперимента при наклонной платформе.
5. Выводы по результатам измерений.

### 8.7. Контрольные вопросы

1. Конструкция ДУС и принцип его работы.
2. Основные погрешности ДУС.
3. Какую угловую скорость измеряет ДУС, если вектор  $\omega$  и измерительная ось  $x$  не совпадают?
4. Какова точная статическая характеристика ДУС – линейная или нелинейная?
5. Принцип работы микросина.
6. Почему микросины выбраны для измерений угла поворота рамки гироскопа?
7. Как будет реагировать ДУС на вращение вокруг осей  $y$  или  $z$ ?

## 8.8. Список рекомендуемой литературы

1. *Браславский, Д.А.* Авиационные приборы и автоматы / Д.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор. – М. : Машиностроение, 1978.
2. *Богданов, Ю.М.* Приборы точной механики / Ю.М. Богданов. – М. : Машгиз, 1960.
3. *Асс, Б.А.* Детали авиационных приборов / Б.А. Асс, Н.И. Жукова, Е.Ф. Антипов. – М. : Машиностроение, 1979. – С. 150 – 152.
4. Интернет-ресурсы: <http://www.hi-edu.ru/e-books/book109/01/part-013.htm>, <http://dic.academic.ru/>, <http://www.toroid.ru/osadchi.html>

### Лабораторная работа № 9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ТАХОМЕТРА

### Цель работы:

1. Изучить принцип действия и устройство электрического дистанционного тахометра с магнитным индукционным узлом.
2. Выполнить градуировку тахометра и определить коэффициент пересчета шкалы тахометра.

### 9.1. Общие сведения

Действие магнитного тахометра основано на электромагнитной индукции. Принципиальная схема магнитного тахометра приведена на рис. 9.1. Постоянный магнит 4 укреплен на приводном валике 5 и вращается вместе с ним. В поле магнита находится колпачок 3 из немагнитного материала с хорошей электропроводностью (медь, алюминий). При вращении магнита вращается и его магнитное поле, в материале колпачка находятся индукционные токи. Эти токи, взаимодействуя с вращающимся полем магнита, создают момент относительно оси колпачка, увлекающий колпачок во вращательное движение.

ние вслед за магнитом. Ось, на которой укреплены колпачок и стрелка 1, удерживается пружиной 2. При повороте оси пружина закручивается и создает противодействующий момент, пропорциональный углу закручивания:  $M_{\text{п}} = M_0\alpha$ , где  $M_0$  – коэффициент жесткости пружины.

Ось с колпачком и стрелкой повернется в направлении вращения магнита на такой угол, при котором противодействующий момент пружины будет уравновешивать увлекающий индукционный момент:  $M_y = kn$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $n$  – число оборотов приводного валика тахометра в минуту.

Из условий равенства противодействующего и увлекающего моментов получаем статическую характеристику магнитного узла тахометра  $\alpha = k/M_0n$ . Следовательно, угол поворота стрелки пропорционален измеряемой угловой скорости, и шкала прибора равномерная. Величина коэффициента пропорциональности  $k$  зависит от параметров магнита и колпачка;  $S = (d\alpha/dn)$ . Один из основных способов повышения чувствительности и устойчивости против тряски магнитного узла тахометра – увеличение увлекающего момента (коэффициента  $k$ ), для чего нужно:

- 1) постоянный магнит изготавливать из материала с большой индукцией (сплавы альнико, альниси);
- 2) уменьшать удельное сопротивление колпачка (алюминиевые сплавы);
- 3) увеличивать частоту вращения магнита за счет мультипликатора, устанавливаемого между осью, частота вращения которой измеряется, и осью постоянного магнита. Магнитному тахометру свойственна температурная погрешность, вызываемая изменением удельного электрического сопротивления материала колпачка  $\rho$ , модуля упругости пружины  $E$  и магнитной индукции  $B$ ,  $\Delta n/n = (2\gamma - \lambda - \beta)\Delta t$ , где  $\lambda$  – температурный коэффициент модуля упругости материала пружины;  $\beta$  – температурный коэффициент электрического сопротивления колпачка;  $\gamma$  – температурный коэффициент магнитной индукции.

При повышении температуры индукция применяемых магнитных материалов уменьшается ( $\gamma < 0$ ), электрическое сопротивление материала колпачка возрастает ( $\beta > 0$ ) и модуль упругости пружины убывает ( $\lambda < 0$ ). Первые два фактора вызывают уменьшение увлекающего момента с возрастанием температуры, и, следовательно, уменьшение показаний тахометра, а изменение модуля упругости пружины наоборот, вызывает увеличение показаний тахометра с повышением температуры. Поэтому подбором материалов магнита, колпачка и пружины можно свести к минимуму температурную погрешность. Например, если магнит, изготовлен из сплава альнико, колпачок – из алюминия, пружина – из фосфористой бронзы, то погрешность магнитного узла тахометра при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$  составит  $\delta = 0,36\%$ , т.е. если температура повысится на  $20^\circ\text{C}$ , то погрешность показаний будет около  $7\%$ .

При изготовлении колпачка из марганцевистой бронзы БрМц 3-4 погрешность  $\delta = 0,008\%$ . Уменьшать температурную погрешность можно применением термомагнитного шунта.

Входной вал тахометра соединяется с валом, скорость которого необходимо измерить либо непосредственно, либо при помощи гибкого соединительного валика (тросика) длиной до  $1 - 3$  м. В тех случаях, когда расстояние от места установки тахометра (приборный щиток) до вала, скорость которого необходимо измерить, велико, и гибкий валик не может обеспечить надежной связи или прокладка гибкого валика затруднительна по конструктивным соображениям, применяется электрическая связь между тахометром и валом, скорость которого необходимо измерять.

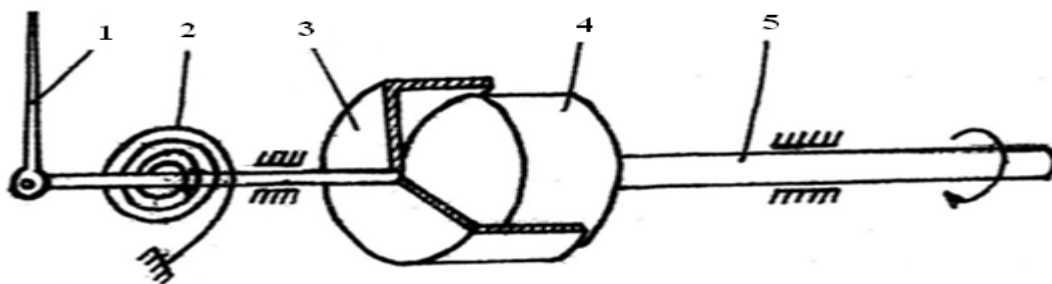


Рис. 9.1. Принципиальная схема магнитного тахометра

## 9.2. Устройство и действие электрического дистанционного тахометра с магнитным индукционным узлом

Магнитный тахометр с электроприводом представляет собой два синхронно работающих узла. Один из них – датчик, устанавливаемый на валу, частоту вращения которого измеряют. Второй узел – указатель, состоящий из магнитного узла тахометра и трехфазного синхронного двигателя с постоянным магнитом в роторе. Входной вал магнитного узла тахометра конструктивно является продолжением вала синхронного двигателя. Указатель и датчик соединены электрической линией связи. Блок-схема тахометра с электрической связью приведена на рис. 9.2.

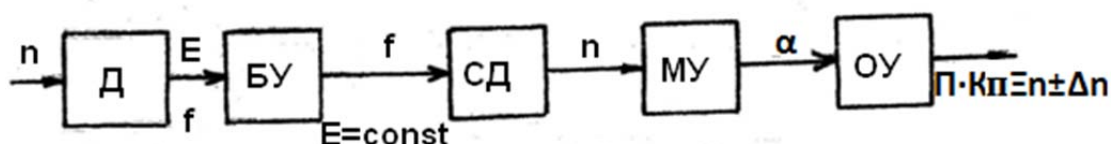


Рис. 9.2. Блок-схема тахометра с электрической связью

Входной величиной является частота вращения вала датчика. Датчиком чаще всего служит синхронный генератор с постоянным магнитом в роторе. Эффективное значение ЭДС генератора  $E = \sqrt{2} \Phi \omega p n$ , где  $E$  – ЭДС;  $\omega$  – число витков обмотки статора;  $\Phi$  – магнитный поток пары полюсов;  $p$  – число пар полюсов;  $n$  – частота вращения ротора.

Следовательно, эффективное значение ЭДС пропорционально частоте вращения ротора. Частота переменного тока зависит от частоты вращения  $f = pn/60$ , Гц, где  $n$  – частота вращения, об/мин.

Для нормальной работы синхронного двигателя (СД) необходимо, чтобы амплитуда переменного напряжения, подаваемая на его обмотки, была постоянна и не зависела от частоты вращения ротора датчика.

Для обеспечения этого требования синхронный двигатель тахометра питается от блока управления БУ, преобразующего переменное трехфазное напряжение, вырабатываемое датчиком в переменное трехфазное напряжение той же частоты, как и входное напряжение, но постоянной амплитуды.

Синхронный двигатель с укрепленным на его валу магнитом магнитного узла (МУ) тахометра вращается с той же угловой скоростью  $n$ , что и вал датчика. Увлекающий момент действует на колпачок и поворачивает его вместе со стрелкой на угол  $\alpha$ . Показания отсчетного устройства ОУ (П положение стрелки на шкале) умножаются на коэффициент пересчета  $K_n$ . Получают частоту вращения вала, которую необходимо было измерить.

На рис. 9.3 приведена принципиальная электрическая схема тахометра типа ТХ 147 с синхронным генератором и синхронным двигателем. Переменное трехфазное напряжение с обмоток датчика  $W_1, W_2, W_3$  подается на базы транзисторов соответственно  $V_1, V_2, V_3$ . Во время положительного полупериода ток, протекающий через базовый переход, например, транзистора  $V_1$ , открывает его и от источника питания через обмотку  $W_1^*$  синхронного двигателя, включенную в коллекторную цепь транзистора, начинает протекать ток.

По окончании положительного полупериода транзистор  $V$  закрывается и ток в обмотке  $W_1^*$  синхронного двигателя прекращается. Диод  $V_7$  и резистор  $R$ , включенные параллельно обмотке  $W_1^*$  СД, уменьшают выброс отрицательного напряжения, возникающего в обмотке в момент прекращения тока через нее, и тем самым предотвращают возможность пробоя транзистора большим отрицательным напряжением на коллекторе.

Во время отрицательного полупериода напряжение на базе транзистора  $V_1$  открывается диод  $V_4$  и шунтирует базовый переход, защищая его от опасного перенапряжения отрицательной полярности. Аналогичным образом протекают процессы в двух других фазах (транзисторы  $V_2$  и  $V_3$ ). В результате на обмотки синхронного двигателя подается трехфазное напряжение прямоугольной формы с частотой, равной частоте напряжения, вырабатываемого датчиком. Таким образом, частота вращения ротора синхронного двигателя равна частоте вращения ротора датчика. Электрическая связь между датчиком и двигателем позволяет располагать указатель на любом расстоянии от датчика.



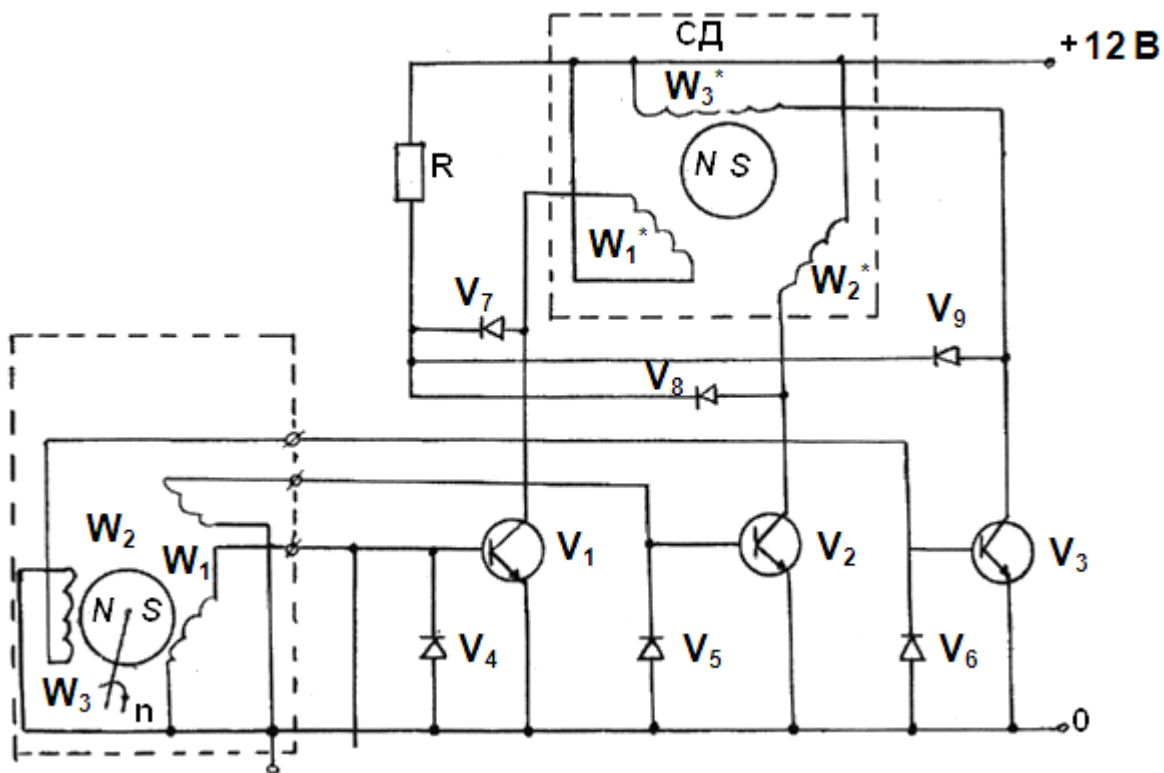


Рис. 9.3. Принципиальная электрическая схема тахометра типа ТХ 147 с синхронным генератором и синхронным двигателем

### 9.3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис. 9.4) состоит из блока питания (БП) электродвигателя (ЭД), частота вращения которого измеряется, и электрического дистанционного тахометра (Т) с магнитным индукционным узлом. Частота вращения электродвигателя регулируется. Частотомер (Ч) и осциллограф (Осц.) можно подключить к одной из статорных катушек датчика (Д) тахометра.

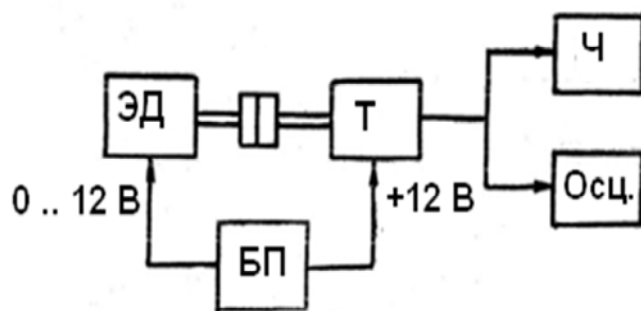


Рис. 9.4. Лабораторный стенд

#### 9.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть методического указания.
2. Включить осциллограф и частотомер и подключить их к стенду.
3. Установить регулятор числа оборотов электродвигателя в крайнее левое положение, переключатель «Указатель» – в положение 1 и включить стенд.
4. Далее увеличивая частоту вращения двигателя, вращающего датчик тахометра, зарегистрировать не менее 10 точек показаний частотомера  $f$  и тахометра П. Результаты занести в таблицу.
5. Повторить п. 4 для каждого показания тахометра П пять раз.
6. Вычислить среднее значение  $f_{\text{ср}}$  для каждого показания тахометра П.
7. Определить среднюю частоту вращения  $n$  электродвигателя (датчика) по значениям  $f_{\text{ср}}$  при  $p = 2$ .
8. Построить тарировочный график тахометра  $\Pi = f(n)$ .
9. Определить коэффициент пересчета К для каждого показания тахометра П.
10. Вычислить среднее значение коэффициента пересчета для всего диапазона шкалы тахометра.
11. Вычислить относительную погрешность тахометра и построить график  $f(n_{\text{ср}})$ . Результаты вычислений занести в таблицу.
12. Зарисовать осциллограммы сигнала с датчика тахометра при малых и больших частотах вращения. Объяснить изменения осциллограмм.

Деления шкалы	5	10	15 ...
$f$ , Гц	1-й опыт		
$f$ , Гц	2-й опыт		
$n_{\text{ср}}$ , об/мин			
К, об/мин/ дел.шкалы			
К, об/мин/ дел.шкалы			
$n = \Pi (K_{\text{п}})$			

## 9.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема тахометра.
3. Таблица экспериментальных и расчетных данных. Тарировочный график и график относительной погрешности.
4. Осциллограммы.
5. Выводы по работе.

## 9.6. Контрольные вопросы

1. Как влияет температура на работу магнитного узла тахометра?
2. Способы уменьшения погрешности магнитного узла тахометра от температуры.
3. Как можно отрегулировать магнитный узел тахометра, если тахометр показывает завышенные значения измеряемой частоты вращения?
4. Структурная схема электрического дистанционного тахометра и назначение каждого блока.
5. Работа БУ тахометра.
6. Как можно уменьшить влияние трясок и вибрации на показания тахометра?
7. Как влияет трение в опорах колпачка на показания тахометра?
8. Какова характеристика тахометра?

## 9.7. Список рекомендуемой литературы

1. *Богданов, Ю.М.* Приборы точной механики / Ю.М. Богданов. – М. : Машгиз, 1960.
2. Приборостроение и средства автоматизации : справочник. Т. 2. Кн. 2 / под ред. А. Н. Гаврилова. – М. : Машиностроение, 1964.
3. Основы промышленной электроники / В. Г. Герасимов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1968.

## Лабораторная работа № 10

# ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И РАБОТЫ СВОБОДНОГО СПУСКОВОГО РЕГУЛЯТОРА

### Цель работы:

1. Изучить работу свободного анкерного спускового регулятора.
2. Ознакомиться с конструкцией приставного хода настольных часов.
3. Начертить эскизы деталей хода: узла баланса, анкерной вилки, ходового колеса с трибом.

### 10.1. Общие сведения

Спусковой регулятор управляет движением осей часового механизма путем периодического останавливания этих осей после поворота на определенный угол (оси часового механизма движутся не плавно, а скачками). Спусковой регулятор состоит из колебательной системы и хода (спуска).

Колебательная система совершает незатухающие колебания с постоянным периодом и определенной амплитудой, получая в соответствующий момент энергию в виде отдельных порций (импульсов). Спуск выполняет две функции: передает энергию колебательной системе и осуществляет преобразование колебательного движения колебательной системы (баланса) в прерывистое вращательное движение осей часового механизма.

Если колебательная система на большей части амплитуды не связана с ходом, то такой спусковой регулятор называется свободным. Если колебательная система большую часть амплитуды взаимодействует с ходом, то такой спусковой регулятор называется несвободным.

Колебательная система конструктивно может быть выполнена в виде баланса с пружиной, маятника, камертона, кристалла кварца и др.

В рассматриваемом приставном ходе колебательной системой является баланс с плоской пружиной, которая называется волоском.

## 10.2. Свободный анкерный спусковой регулятор

На рис 10.1 показаны основные элементы свободного анкерного спускового регулятора. К ним относятся: узел баланса, узлы анкерной вилки и ходового колеса. Линия, соединяющая центры их осей вращения, называется линией хода.

На ось баланса напрессованы двойной ролик 1, обод баланса и втулка 19 с волоском 20. Двойной ролик состоит из импульсного ролика 3, в котором укреплен эллипс (импульсный штифт) 2, и предохранительного ролика 15 с вырезом на наружной поверхности. При помощи эллипса баланс взаимодействует с анкерной вилкой. Узел баланса с волоском и двойным роликом при сборке регулируется так, чтобы в равновесном положении баланса эллипс располагался на линии хода.

Анкерная вилка 4 насажена на ось 13, опирающуюся на каменные подшипники, и имеет два плеча и стебелек. На плечах укреплены входная палета 14 и выходная палета 6. Рабочими поверхностями палет являются плоскости импульса 7 и плоскости покоя 5. Угол поворота анкерной вилки ограничен двумя штифтами, запрессованными в платину и расположенными симметрично относительно линии хода. Палеты находятся в зацеплении с зубьями ходового колеса 9. Одновременно в соприкосновении с одной из палет находится только один из зубьев анкерного колеса. Расстояние между серединами импульсных плоскостей палет, измеренное по дуге окружности остриев зубьев ходового колеса, составляет 2,5 шага колеса. Стебелек анкерной вилки заканчивается двумя рожками 17, 18 (с пазом между ними) и копьем 16.

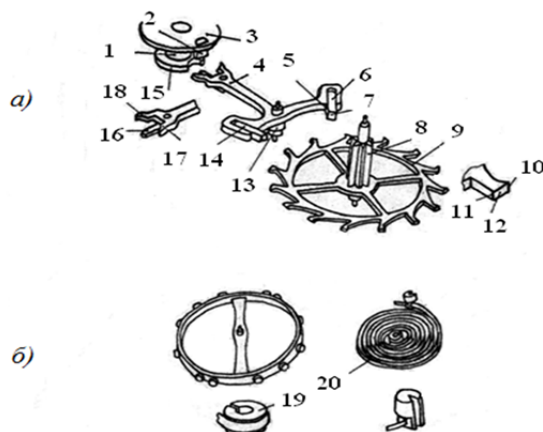


Рис. 10.1 Основные элементы свободного анкерного спускового регулятора:  
а – узел анкерного спускового регулятора; б – детали узла баланса

Ходовое колесо неподвижно посажено на ходовой триб 8, связывающий ходовое колесо посредством зубчатой передачи с двигателем. Зубья ходового колеса имеют плоскость импульса 12, острие 11 и пятку 10. Ходовое колесо и анкерная вилка современных карманных и наручных часов обычно изготавливают из стали, а эллипс и палеты – из синтетического рубина, их рабочие поверхности полируются.

Рассмотрим работу свободного анкерного спуска (рис. 10.2). Предположим, что баланс находится в крайнем левом положении и начинает вращение против часовой стрелки. Под воздействием момента, развиваемого волоском, баланс движется свободно, без взаимодействия с анкерной вилкой. Энергия колебательной системы в это время расходуется только на трение в опорах баланса и сопротивление воздуха, на упругие потери в волоске. Анкерная вилка в это время отклонена влево от линии хода и прижата к левому ограничительному упору моментом притяжки, который создается давлением зуба 1 на плоскость покоя входной палеты (рис. 10.2, а)

Угол поворота баланса от его крайнего положения до начала взаимодействия с анкерной вилкой называется дополнительным углом. В спусковых регуляторах карманных или наручных часов дополнительный угол составляет 135 – 285 град. Таким образом, баланс большую часть своего движения совершает свободно, без взаимодействия с анкерной вилкой (этап свободного движения).

Свободное движение баланса продолжается до тех пор, пока эллипс, войдя в паз вилки, не ударится о правую стенку паза (рис. 10.2, б). С этого момента начинается взаимодействие колебательной системы (баланса) с ходом (этап удара).

Баланс, продолжая движение, поворачивает анкерную вилку и выводит входную палету из-под острия зуба, анкерного колеса, тем самым освобождая ходовое колесо. В это время баланс является ведущим звеном, а вилка ведомым. Баланс расходует часть энергии колебательной системы на освобождение ходового колеса (этап освобождения). Положение механизма к концу этапа освобождения показано на рис. 10.2, в.

Освобождение ходового колеса закончится, когда баланс повернет вилку настолько, что острие зуба окажется на переднем ребре входной палеты. Колесо получило возможность вращаться под действием момента заводной пружины. Острие зуба скользит по плоскости импульса входной палеты, сообщая анкерной вилке положительный импульс, который передается балансу (этап импульса). При передаче импульса балансу ведущим звеном является вилка. Баланс получает энергию от ходового колеса за счет пружинного двигателя часового механизма. Положение спускового механизма во время передачи импульса давлением острия зуба на плоскость импульса входной палеты показано на рис. 10.2, *г*. Во время передачи импульса баланс проходит положение равновесия, причем эллипс пересекает линию хода. После того как острие зуба дойдет до заднего ребра палеты, передача импульса продолжается, но уже при скольжении заднего ребра палеты по плоскости импульса зуба (рис. 10.2, *д*). Таким образом, в рассматриваемом спусковом механизме передача импульсов как бы распределена между плоскостями импульса на палете и зубе (ход с распределенным импульсом). Существуют механизмы, где передача импульса осуществляется только за счет скольжения острия зубьями спускового колеса, а также механизмы с передачей импульса только по плоскости импульса зуба (механизмы типа штифтового спуска).

Передача импульса заканчивается в момент, когда пятка зуба достигает заднего ребра палеты (рис. 10.2, *е*). На этом заканчивается период взаимодействия анкерной вилки и баланса. Под действием нарастающего момента волоска баланс движется далее замедленно до остановки, проходя дополнительный угол (этап свободного движения).

На рис. 10.2, *ж* видно, что после окончания импульса анкерная вилка повернется еще на небольшой угол, прежде чем ляжет на правый ограничительный упор. Этот угол поворота, называемый углом потерянному пути, необходим для надежного прохождения зубьев анкерного колеса под задним ребром входной палеты при наличии допусков на размеры и взаимное расположение деталей и узлов спускового механизма. Величина угла потерянному пути составляет обычно

от 3 до 4,5 град. Такой же угол потерянного пути вилка имеет и у левого упора.

После окончания импульса на входной палете ходовое колесо свободно поворачивается еще на небольшой угол, пока зуб 2, ближайший к выходной палете, не упадет на плоскость покоя этой палеты (см. рис. 10.2, ж). Давление зуба прижмет анкерную вилку к правому упору (рис. 10.2, з). Угол поворота анкерного колеса с момента окончания импульса и до падения необходимы для безотказного действия спускового механизма при наличии производственных погрешностей. В свободных анкерных спусковых регуляторах наручных и карманных часов угол падения составляет от 1 град. 30 мин до 2 град.

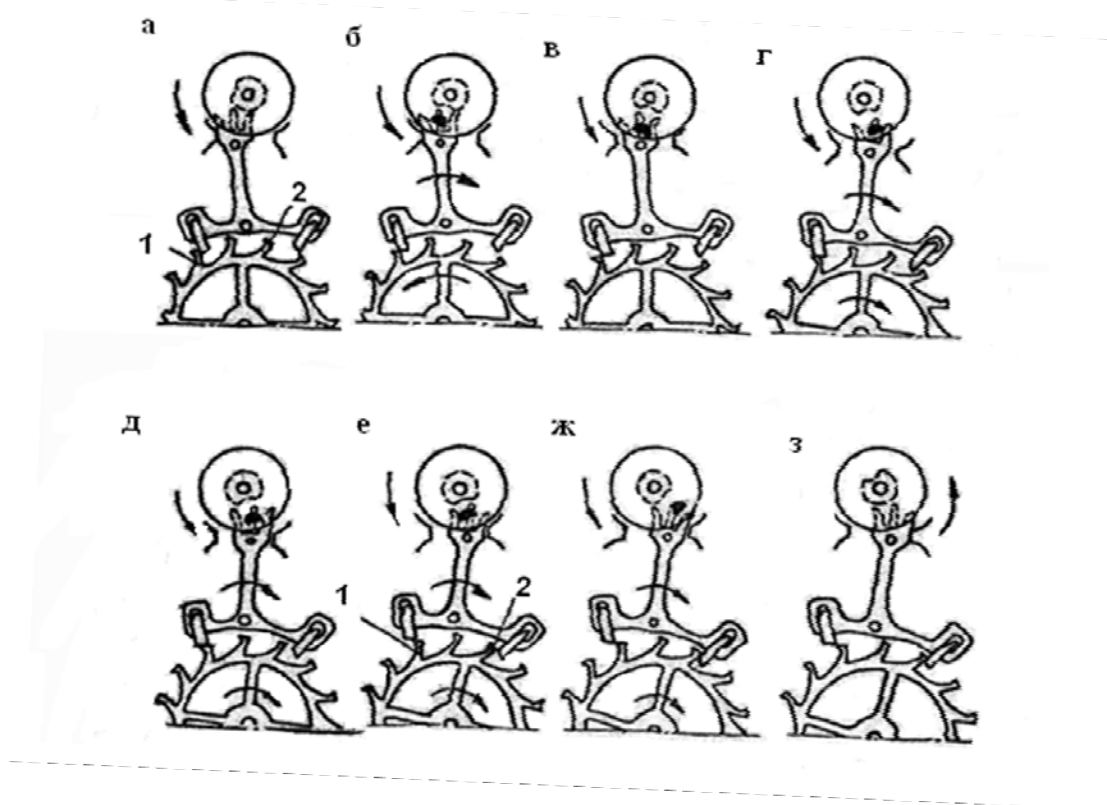


Рис. 10.2. Работа свободного анкерного спуска

При движении баланса против часовой стрелки этапы работы спускового механизма повторяются с той лишь разницей, что этапы освобождения, передачи импульса происходят на выходной палете, а падение зуба на плоскость покоя – на входной.

За период колебаний баланса передача импульса и падение ходового колеса проходят дважды, и каждый раз ходовое колесо пово-



рачивается на половину углового шага. Таким образом, ходовое колесо вращается прерывисто, скачками. Длительность одного скачка равна половине периода колебаний баланса. За один период колебаний баланса ходовое колесо поворачивается на один угловой шаг. Следовательно, время одного оборота оси ходового колеса можно подсчитать по формуле

$$t_1 = T z_{x.k.}$$

где  $T$  – период колебаний баланса, работающего совместно с ходом;  $z_{x.k.}$  – число зубьев ходового колеса.

### 10.3. Этапы работы свободного спускового регулятора на половине периода

Этапы работы свободного спускового регулятора на половине периода приведены в таблице.

Этап	Баланс	Анкерная вилка	Ходовое колесо
Свободное движение	Из крайнего левого положения перемещается вправо до удара эллипса о правую стенку паза анкерной вилки. Баланс проходит большую часть амплитуды, так называемый дополнительный угол	Неподвижна, моментом притяжки прижата к левому ограничителю штифту	Неподвижно, кончик зуба давит на поверхность покоя входной палеты
Удар	Эллипс ударяет о правую стенку паза анкерной вилки, теряет энергию на удар, удар происходит мгновенно	«	«
Освобождение	Эллипс давит на правую стенку паза анкерной вилки, преодолевая момент притяжки, поворачивает анкерную	Отходит от левого ограничителя штифта и поворачивается на угол освобождения анкерной вилки	Кончик зуба ходового колеса скользит по поверхности покоя входной палеты и переходит на плоскость

Окончание

Этап	Баланс	Анкерная вилка	Ходовое колесо
	вилку, проходя угол освобождения, затрачивает энергию, совершая работу освобождения		импульса. Колесо отходит на небольшой угол назад.
Импульс	Левая стенка паза анкерной вилки давит на эллипс. Баланс получает энергию от ходового колеса через анкерную вилку и поворачивается на угол импульса	Плоскость импульса входной палеты взаимодействует с кончиком зуба колеса (импульсы по палете). Затем переднее ребро палеты взаимодействует с импульсной поверхностью зуба ходового колеса (импульс по зубу). Вилка поворачивается на угол импульса анкера	Под действием момента ходового колеса зуб давит на палету и передает энергию балансу. Ходовое колесо поворачивается на половину углового шага
Свободное движение	Эллипс выходит из паза анкерной вилки, баланс движется свободно, проходит дополнительный угол	Проходит угол потерянного пути и прижимается к правому ограничителю штифту	Соответствующий зуб ходового колеса падает на плоскость покоя выходной палеты, создает момент притяжки анкерной вилки

#### 10.4. Конструкция приставного хода настольных часов

Применение приставного хода улучшает конструктивные и точностные характеристики часовых механизмов и облегчает процесс их сборки. Устройство приставного хода показано на рис. 10.3.

Базовой деталью приставного хода служит нижняя плата 1, в которую монтируются нижние камневые опоры узла баланса 5, узла анкерной вилки и узлов ходового колеса 6.

Для удобства сборки верхняя плата выполнена в виде отдельных мостов: моста баланса 2, моста анкерной вилки 8 и моста ходового колеса 7. В мостах укреплены верхние камневые опоры всех узлов, а в мосту анкерной вилки выполнены левый и правый ограничительные упоры.

Опоры узла баланса состоят из сквозных и накладных камней, а опоры узлов анкерной вилки и ходового колеса – из сквозных. Накладные камни узла баланса укреплены в накладках. На верхней накладке фрикционно укреплен градусник 3. На малом плече градусника имеются два штифта, между которыми проходит волосок 4. Поворачивая градусник, можно регулировать рабочую длину волоска.

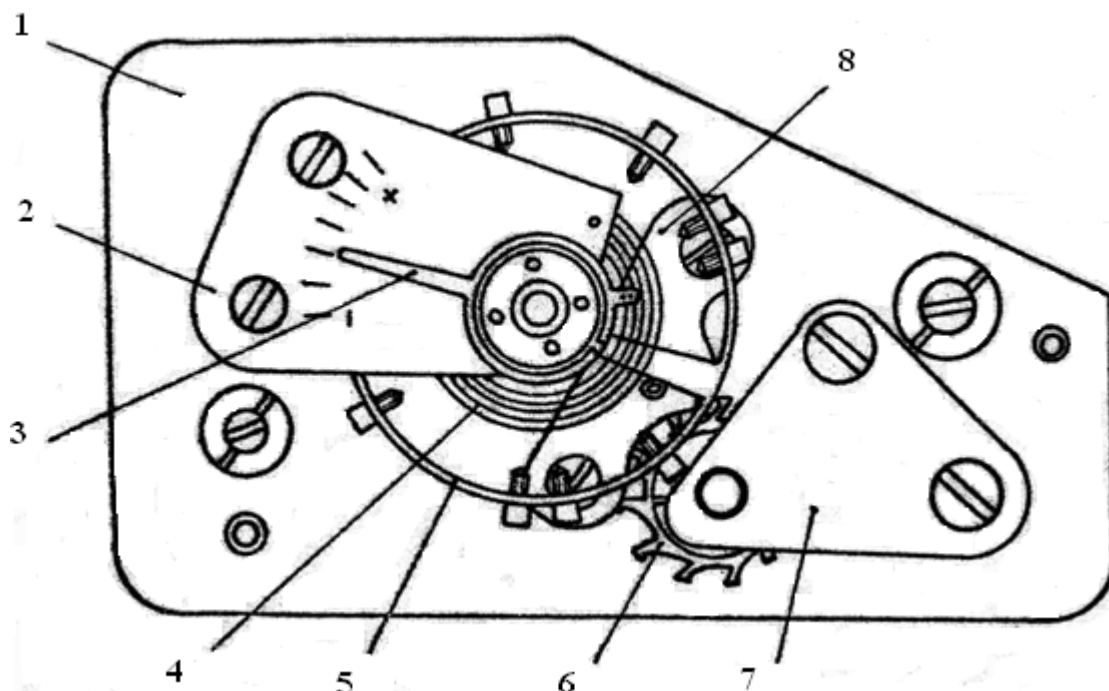


Рис. 10.3. Устройство приставного хода

Узел баланса состоит из оси баланса, на которую напрессованы ролик волоска, обод баланса и двойной ролик. На ободе баланса располагаются винты с регулировочными шайбами. Заменяя регулировочные шайбы, изменяют момент инерции баланса. Двойной ролик состоит из импульсного и предохранительного. В импульсном ролике укреплен эллипс, а в предохранительном напротив эллипса выполнен паз.

Внутренний конец волоска запрессован в ролике, а наружный – в колонке волоска, укрепленной на мосту баланса. Анкерная вилка имеет два плеча, в которых укреплены входная и выходная палеты, стебелек с рожками и пазом, а также предохранительное копые. Взаимодействие копыя с предохранительным роликом предотвращает самопроизвольный переброс анкерной вилки от одного ограничительного упора к другому на этапах свободного движения баланса. В момент передачи импульса копые входит в паз предохранительного ролика и не препятствует перемещению вилки. Вблизи положения равновесия баланса копые может проскочить через паз в предохранительном ролике. Копье теряет свою функцию. В этих положениях предохранение обеспечивается рожками анкерной вилки и эллипсом.

Узел ходового колеса представляет собой триб, на который напрессовано ходовое колесо. Плата и мосты изготовлены из часового сплава ЛС 63 - 3, покрытого никелем. Колеса и ролики изготовлены из латуни ЛС 59 - 1, ось баланса, ось анкерной вилки и ходовой триб – из стали У7, У8. Обод баланса – латунный или изготовлен из нейзильбера. Волосок – из сплава Н35ХМВ. Камниевые опоры, палеты и эллипс – из синтетического рубина.

### **10.5. Порядок разборки приставного хода**

1. Положить приставной ход нижней платой на стекло.
2. Отвернуть два винта, крепящие мост баланса. Перед выполнением практической работы просмотреть телевизионную запись процесса разборки и сборки приставного хода.
3. Пинцетом осторожно снять мост баланса вместе с узлом баланса. Дальнейшую разборку узла баланса не проводить.
4. Отвернуть два винта, крепящие мост ходового колеса.
5. Снять мост ходового колеса и вынуть триб ходового колеса.
6. Отвернуть два винта моста анкерной вилки и вынуть узел анкерной вилки.
7. С помощью лупы подробно ознакомиться с конструкцией узлов спускового регулятора и камниевых опор.

8. Сборку провести в обратной последовательности. Мост с узлом баланса не ставить, а обратиться к преподавателю.

### 10.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз деталей хода: баланса, анкерной вилки ходового колеса.
3. Эскиз одного этапа взаимодействия ходового колеса, анкерной вилки и баланса.
4. Рассчитать изменение длины волоска, необходимое для регулировки суточного хода на одну минуту.

### 10.7. Контрольные вопросы

1. Почему ход называется свободным?
2. Объясните взаимодействие баланса, анкерной вилки, ходового колеса на этапах свободного движения, удара, освобождения импульса.
3. Объясните назначение двойного ролика.
4. Как можно изменить рабочую длину волоска?
5. Как можно изменить момент инерции баланса?
6. Как изменится период колебания баланса:
  - a) если увеличить момент инерции баланса?
  - b) если уменьшить рабочую длину волоска?
7. Как будут идти часы (спешить или отставать):
  - a) если уменьшить момент инерции баланса?
  - b) если увеличить рабочую длину волоска?
8. Определите время одного оборота ходового колеса, если известны:  $T=0,4$  с;  $z_{x.k}=15$ .
9. Определите минимальный промежуток времени, который можно измерить при условиях предыдущего вопроса.
10. Сколько камней имеет приставной ход?
11. Какую функцию выполняют копье анкерной вилки и предохранительный ролик?

12. В какой момент функцию предохранения от самопроизвольного перебрасывания анкерной вилки выполняют рожки анкерной вилки и эллипс?

### **10.8. Список рекомендуемой литературы**

1. *Аксельрод, З.М.* Теория и проектирование приборов времени / З.М. Аксельрод. – М. : Машиностроение, 1969.
2. *Шполянский, В.А.* Спусковые регуляторы приборов времени / В.А. Шполянский, А.М. Курицкий. – М. : Машиностроение, 1963.
3. *Тарасов, С.В.* Технология часового производства / С.В. Тарасов. – М., 1963.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОГРАФА ВР -1 .....	4
Лабораторная работа № 2. КОЛЬЦЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МАНОМЕТР .....	8
Лабораторная работа № 3. РАСХОДОМЕР ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ .....	12
Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ВЕСОВ .....	23
Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ .....	29
Лабораторная работа № 6. ОПТИЧЕСКИЙ ПИРОМЕТР .....	36
Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРА ПРОВЕРКИ ТОЧНОСТИ ХОДА ЧАСОВ ППЧ - 7М .....	44
Лабораторная работа № 8. ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ДАТЧИК УГЛОВОЙ СКОРОСТИ .....	52
Лабораторная работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ТАХОМЕТРА .....	60
Лабораторная работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И РАБОТЫ СВОБОДНОГО СПУСКОВОГО РЕГУЛЯТОРА ...	68

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСАМ  
«ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»,  
«ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

Составитель  
САМСОНОВ Лев Михайлович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.П. Легаев

Подписано в печать 26.11.12.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 50 экз.  
Заказ  
Издательство  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.