

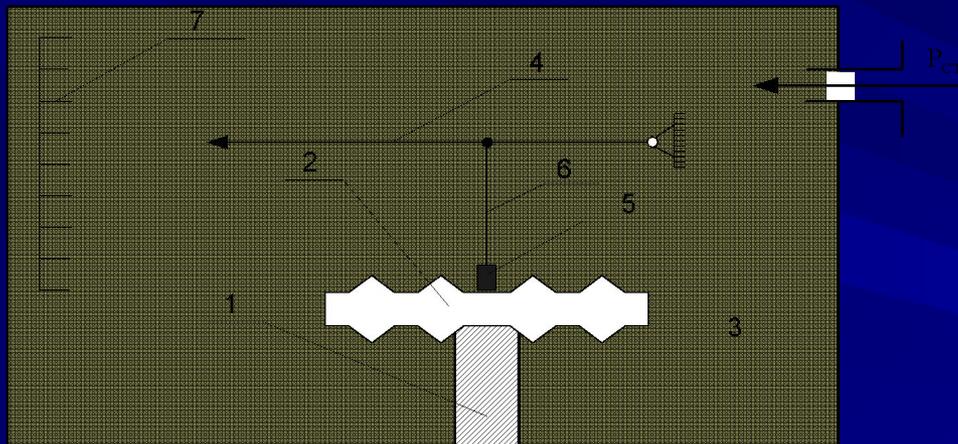
Лекция № 12

Тема 3.1. Измерители барометрической высоты полета

- 6. Барометрические высотомеры:
 - механические (ВД, ВМ, ВБМ),
 - электромеханические (УВИД, ВЭМ-72),
 - электронные (ВБЭ)

6.1. Барометрические механические высотомеры ВД, ВМ, ВБМ

Барометрический высотомер - это прибор измеряющий давление, шкала которого проградуирована в соответствии с гипсометрическими формулами стандартной атмосферы



При подъеме на высоту давление окружающей среды падает и анероидная коробка 2 расширяется, верхний подвижный центр 5 под действием упругих свойств коробки перемещается вверх. Ход подвижного центра коробки через передаточный механизм 6 передается на стрелку 4, указывающую высоту полета по шкале прибора.

Ввод заданного давления уровня отсчета P_3 осуществляется с помощью поворотной рукоятки (кремальеры), изменяющей положение подвижного основания 1, на котором закреплен механизм прибора.

Гипсометрические формулы

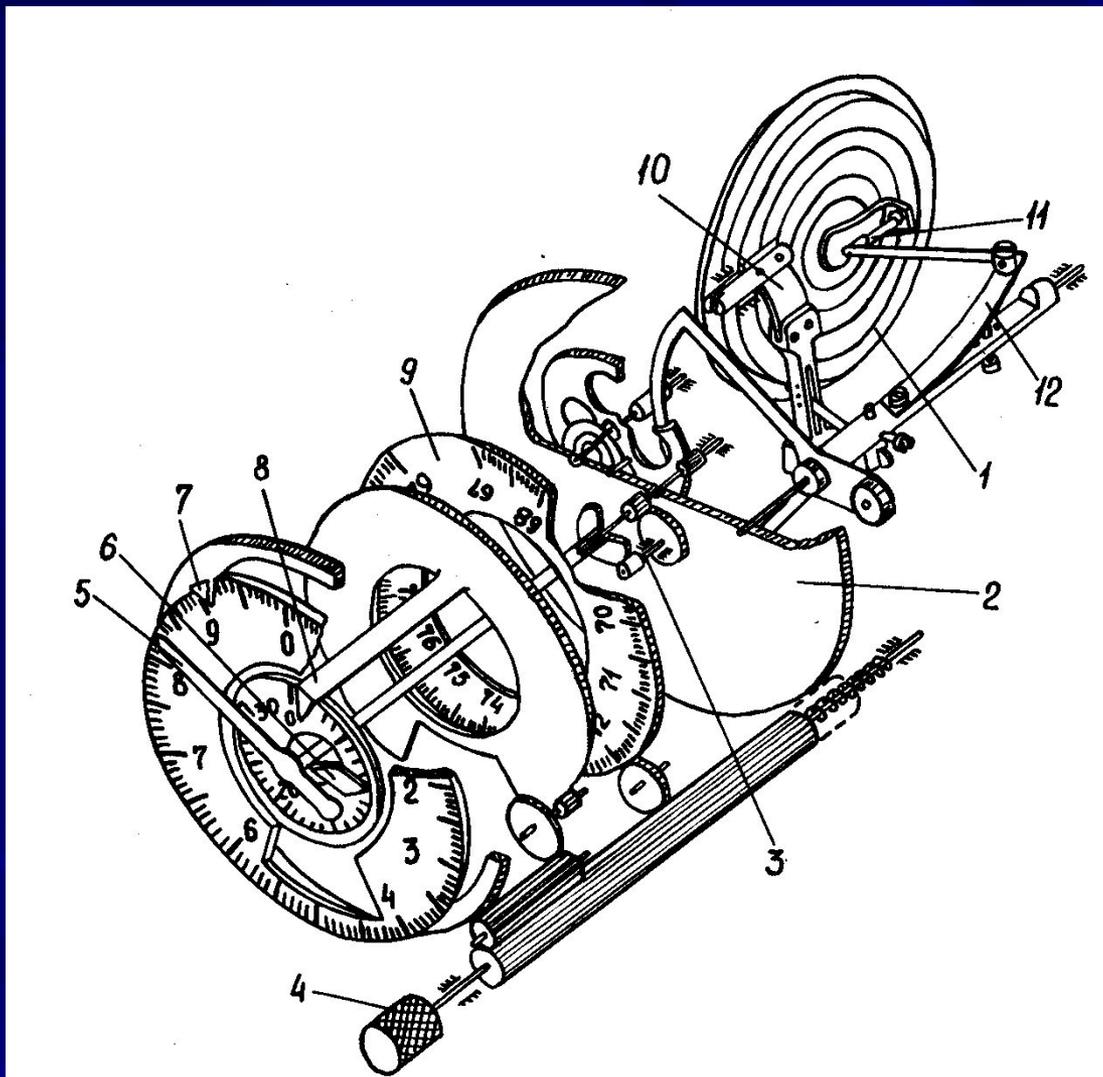
$$H_a = \frac{T_c}{\beta_1} \left[\left(\frac{P_{cm}}{P_c} \right)^{\frac{R_{y0}\beta_1}{g_c}} - 1 \right] \quad \begin{array}{l} H_a < 11 \\ \text{км} \end{array} \quad (9)$$

$$H_a = 11000 + \frac{R_{y0}T_{11}}{g_c} \ln \frac{P_{11}}{P_{cm}} \quad 11 \text{ км} < H_a < 20 \text{ км} \quad (10)$$

$$H_a = 20000 + \frac{T_{20}}{\beta_3} \left[\left(\frac{P_{cm}}{P_{20}} \right)^{\frac{R_{y0}\beta_3}{g_c}} - 1 \right] \quad 20 \text{ км} < H_a < 32 \text{ км} \quad (11)$$

Формулы (9)...(11) называются **гипсометрическими формулами стандартной атмосферы**. Формулы служат для градуировки барометрических высотомеров.

Барометрические механические высотомеры ВД 19



1 - анероид; 2 – основание; 3 - ось сателлитов; 4 - кремальера; 5, 6 - стрелки; 7, 8 - подвижные индексы; 9 - шкала давления; 10 - пружина; 11, 12 - компенсаторы первого и второго рода

Поворотом механизма обеспечивается дополнительное перемещение стрелок высотомера для измерения относительной барометрической высоты.

Высотомер ВД-20

Барометрические механические высотомеры ВД 18



Высотомер ВД-20

Одновременно поворачиваются индексы 7, 8 и шкала 9 барометрического давления, по которой контролируется вводимое давление P_3 . Индексы 7 и 8 показывают на шкалах высоты абсолютную барометрическую высоту H_3 , соответствующую P_3 .

Для уменьшения инструментальной температурной погрешности высотомера, обусловленной изменением модуля упругости aneroidных коробок, применяются биметаллические компенсаторы

Барометрические механические высотомеры ВМ



В отличие от схемы высотомеров типа ВД в схеме механического высотомера типа ВМ применяется встречное соединение двух одинаковых anerоидных коробок, при этом вредные моменты инерционных сил, возникающие под действием перегрузки, взаимно уравниваются, а полезные моменты сил давления суммируются.

Высотомер ВМ-15 обеспечивает измерения и индикацию высоты в метрах и футах и диапазоне от 0 до 10000 м. Диапазон ввода атмосферного давления составляет 610-810 мм рт.ст.

Для полетов по международным линиям используется высотомер ВМФ-50, конструктивно и по габаритам не отличающийся от ВМ-15, со шкалой проградуированной в футах. Его устанавливают на приборную доску вместо высотомера ВМ-15.

Барометрические механические высотомеры ВМ



Погрешность показаний при температуре от +50 до - 30°С, м:

- на высоте 0 км±15
- на высоте 600 м±25
- на высоте 2100 м±45
- на высоте 3000—3900 м±45
- на высоте 5000—6000 м±60
- на высоте 7000—10000 м±90

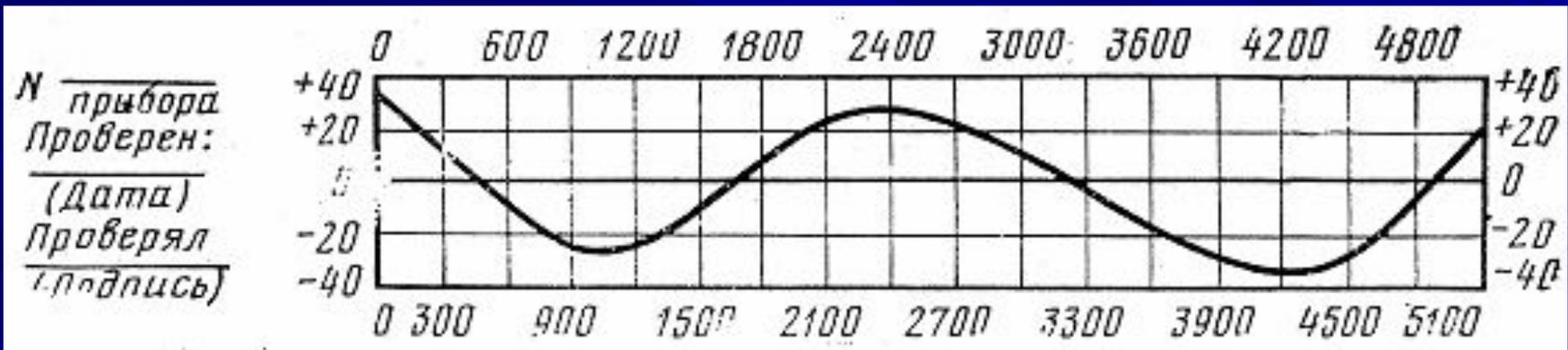


График инструментальных ошибок высотомера

Барометрические механические высотомеры ВБМ



У этих высотомеров точность показаний по всему диапазону измерения в 2-3 раза выше, чем у высотомеров, на смену которых они разработаны. Этого удалось достичь за счет повышенной точности механической обработки деталей приборов и их сборки, применения стабилизированных барометрических ЧЭ и вибраторов, существенно снижающих погрешности от трения.

Новые высотомеры имеют встроенный подсвет шкалы и широкодиапазонные счетчики барометрического давления, обеспечивающие посадку на аэродромах, расположенных на высоте до 3 000 м над уровнем моря. Шкала счетчика давления проградуирована в гПа.

Погрешности барометрического высотомера

Методические погрешности (несовершенство метода измерения).

Обусловлены:

- неточностью ввода данных о давлении на уровне отсчета;
- отклонением фактической температуры воздуха от стандартной

Инструментальные погрешности.

Основные:

- **шкаловая погрешность** - погрешность регулировки прибора, то есть отклонение статической характеристики передаточного механизма от расчетной. Она может возникнуть при сборке, а также из-за нарушений в процессе эксплуатации прибора;
- **погрешность обусловленная несбалансированностью деталей передаточно-множительного механизма** - вызывает изменение показаний при наклоне прибора и колебания стрелок при вибрации;
- **погрешности гистерезиса и упругого последействия ЧЭ** - возникают от несовершенства упругих свойств материала ЧЭ и из-за продолжительного времени нахождения их под нагрузкой;

Погрешности барометрического высотомера

Инструментальные погрешности.

- **погрешности трения** - обусловлены силами (моментами) трения, возникающими в опорах и соединениях при движении подвижной системы прибора. Эти силы зависят от веса подвижной системы и от натяжения пружин, предназначенных для выбора люфтов. При движении силы трения направлены всегда ему навстречу. Поэтому при росте высоты трение препятствует увеличению показаний и прибор даст заниженные показания, и наоборот, при убывании высоты – завышенные;
- **аэродинамические погрешности приемника статического давления** - ошибки при изготовлении приемника и, главное, влияние условий в месте его установки на самолете;
- **динамическая ошибка** из-за инерционности магистрали статического давления (постоянная времени магистрали статического давления на современных ЛА обычно не превышают 0,1 с на малых высотах и 0,5...0,7 с на больших высотах)

Погрешности барометрического высотомера

Инструментальные температурные погрешности - возникают вследствие влияния изменения температуры окружающей среды в месте установки прибора на физические параметры и геометрические размеры деталей.

- температурные погрешности (из-за изменения модуля упругости материала anerоидной коробки. При повышении температуры модуль упругости уменьшается, следовательно, при неизменном давлении anerоидная коробка сожмется, что приведет к занижению показаний, при понижении температуры, при неизменном давлении произойдет завышение показаний)

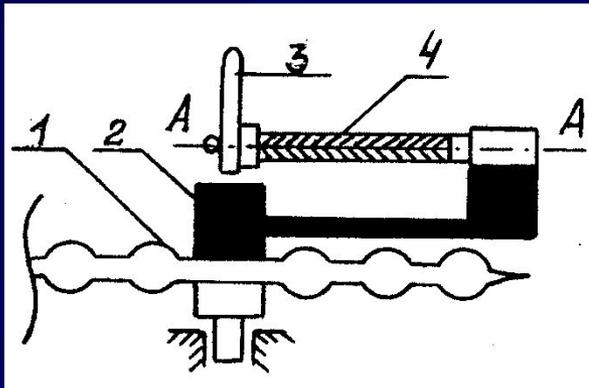
$$A = \frac{R_{\text{уд}} T_c}{g_c} \lambda$$

$$B = \frac{R_{\text{уд}} \beta_1}{g_c} \lambda$$

$$\Delta H_{\text{ит}} = A \Delta T + BH \Delta T,$$

Инструментальная температурная погрешность состоит из двух частей: **$A\Delta T$** - не зависит от высоты и одинакова по всей шкале - *погрешность первого рода*, а вторая (**$BH\Delta T$**) – пропорциональна высоте и имеет знак, противоположный первой составляющей погрешности - *погрешность второго рода*.

Компенсация температурной погрешности



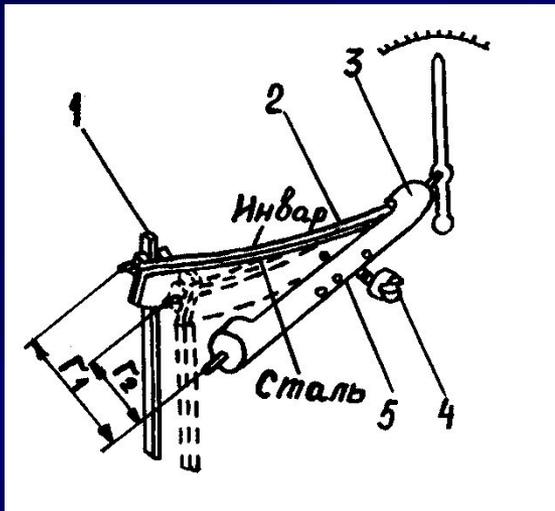
Компенсация температурной погрешности первого рода:

- 1 - чувствительный элемент (анероид);
- 2- подвижный центр; 3 - тяга;
- 4 - биметаллическая пластинка

Биметаллические пластины изготовлены из металлов, имеющих различные температурные коэффициенты расширения. Обычно один слой выполняется из стали, другой – из сплава инвар. Температурный коэффициент линейного расширения инвара в 12 раз меньше чем стали.

Если один конец биметаллической пластины жестко закрепить, то при изменении температуры пластина изгибается и ее свободный конец перемещается в одну или другую сторону. Величина перемещения свободного конца пластины будет пропорциональна изменению температуры, что и положено в основу работы термокомпенсаторов. При изменении температуры биметаллический валик изгибается, перемещая свободный конец. В результате стрелка высотомера также перемещается, причем в сторону, противоположную смещению подвижного центра ЧЭ, вызванного изменением температуры.

Компенсация температурной погрешности



Компенсация температурной погрешности второго рода:

- 1 - шарнир; 2 - биметаллическая пластинка;
- 3 - валик; 4 - регулировочный винт;
- 5 - отверстия

Состоит из биметаллической пластины 2, которая крепится одним концом к оси 3 кривошипа, а другим концом через шарнир 1 – к тяге передаточного механизма. Свободный конец пластины 2 перемещается при понижении температуры по направлению к оси (плечо r_2 кривошипа уменьшается), а при повышении температуры – от оси (плечо r_1 увеличивается). В результате изменяется передаточное число механизма, чем компенсируется погрешность.

6.2. Барометрические электромеханические высотомеры УВИД, ВЭМ-72

10

В электромеханических высотомерах ЧЭ (анероид) разгружается введением индукционной следящей системы в результате мембрана анероида освобождается от функций исполнительного механизма привода стрелки прибора. Погрешность от трения в передаточном механизме в итоге значительно снижается. Одновременно может быть существенно расширен диапазон измерения.

На ЛА устанавливаются электромеханические высотомеры серий ВЭ, УВИ и УВИД.

Барометрические электромеханические высотомеры УВИД

УВИД-30-15, предназначен для измерения относительной барометрической высоты полета самолета в диапазоне от 0 до 15 км при изменении давления на уровне земли от 590 до 806,2 мм рт. ст.

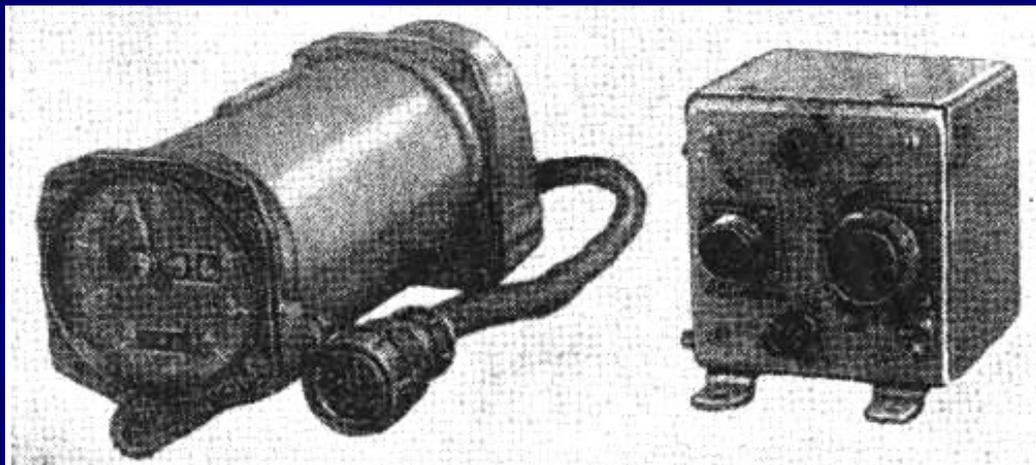
Высотомер выдает следующую информацию:

- высоту полета на указатель для визуального наблюдения экипажем самолета;
- электрический сигнал в виде относительного сопротивления пропорционального высоте полета для передачи на землю через самолетный ответчик для управления воздушным движением;

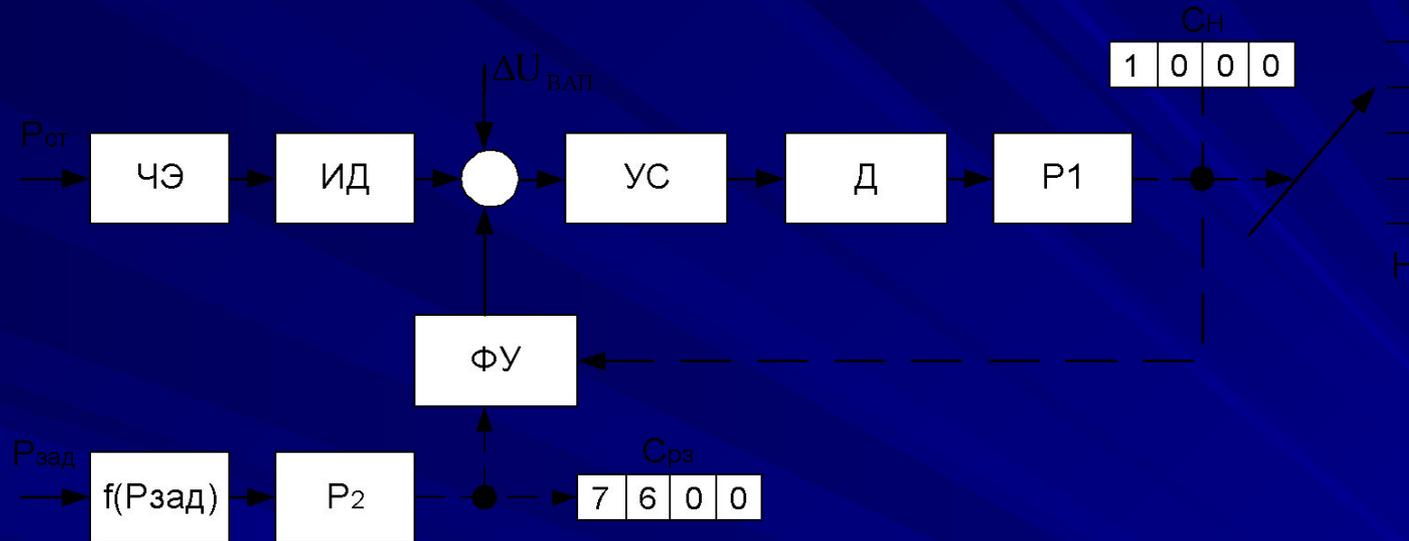
6.2. Барометрические электромеханические высотомеры УВИД, ВЭМ-72

Барометрические электромеханические высотомеры УВИД

- сигнал о правильной установке на счетчик сигнализаторе давления на уровне земли P_3 , равного 760 мм рт. ст.;
- сигнал о включении и выключении электрического питания постоянного и переменного тока. При выполнении модификации для применения в кабинах с красным светом к шифру прибора добавляется буква «К». Комплект высотомера состоит из указателя и блока усилителя.



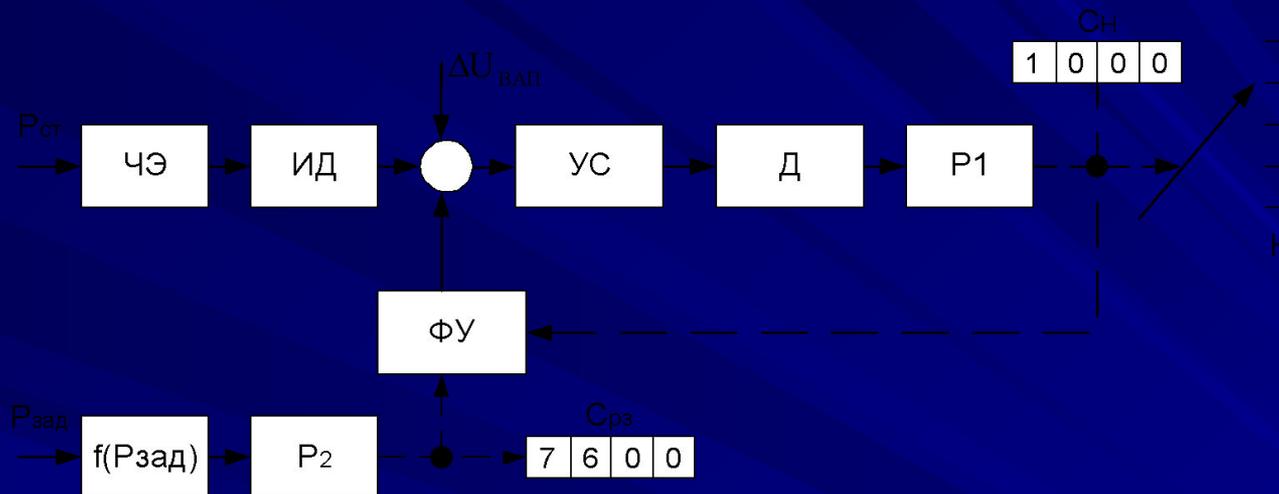
Электромеханический высотомер УВИД-30-15



$P_{ст}$ воспринимается ЧЭ – блоком aneroidных коробок АК. Перемещение подвижного центра блока АК преобразуется в электрический сигнал с помощью индуктивного датчика ИД. Усиленное усилителем УС напряжение разбаланса воздействует на двигатель Д, который через редуктор Р1 и функциональное устройство ФУ (профилированный кулачок) приводит сердечник ИД в такое положение, при котором сигнал разбаланса с выхода ИД становится равным нулю, и через редуктор приводит в движение счетчик высоты C_H и стрелку. Один оборот стрелки соответствует изменению высоты на 1000 м, а оцифровка циферблата позволяет осуществить отсчет высоты с точностью до 5 м. По счетчику высоты C_H производится дискретный отсчет значений высоты через 10 м.

Электромеханический высотомер УВИД-30-15

7



Ввод значений давлений P_3 осуществляется вращением ручки ввода P_3 ($f(P_3)$), которая через редуктор P_2 жестко связана с ФУ. При вращении рукоятки ввода P_3 через ФУ выводится из равновесия ИД, следовательно показания счетчика $Сн$ и стрелки высоты $Н$ начнут изменяться. Счетчик $Срз$ служит для отсчета величины вводимого давления P_3 . Не допускается вращение ручки ввода P_3 при отключенном электропитании во избежание отказа высотомера.

При высоком уровне аэродинамических ошибок $P_{аэр'}$ воспринимаемых приемником воздушного давления самолета, высотомер УВИД-30-15 может быть укомплектован специальным вычислителем аэродинамических поправок (ВАП), с помощью которого производится автоматическая компенсация ошибок.

Барометрические электромеханические высотомеры ВЭМ-72

Высотомер электромеханический ВЭМ-72 предназначен:

- для измерения относительной барометрической высоты полета и выдачи ее для визуального наблюдения экипажем;
- для измерения абсолютной барометрической высоты полета и выдачи ее в виде относительных сопротивлений потенциометрического выхода;

- для выдачи информации в виде замыкания контактов счетчика-сигнализатора P_0 об установке на нем значения $P_0 = 760$ мм рт.ст. Высотометр устанавливается на самолетах с высотой полета, не превышающей 15000 м.

Электромеханические высотомеры серии ВЭМ могут работать как обычные механические без учета аэродинамической поправки. Для учета аэродинамической поправки они комплектуются с универсальным вычислителем аэродинамических поправок типа УВАПМ.

Особенности эксплуатации барометрических высотомеров

В настоящее время на ЛА широко используются механические барометрические высотомеры следующих типов:

- ВД («высотомер двухстрелочный»): ВД-10, ВД-17, ВД-20, ВД-28;
- ВДИ-30 (с командным индексом);
- ВМ (высотомер механический): ВМ-15, ВМК-15;
- УВБС («указатель высоты барометрический стрелочный»).

Для полетов по международным линиям используется высотомер ВМФ-50, конструктивно и по габаритам не отличающийся от ВМ-15, со шкалой проградуированной в футах. Его устанавливают на приборную доску на место снимаемого при этом высотомера ВМ-15.

В настоящее время промышленностью разработаны и поступают в эксплуатацию следующие более точные механические высотомеры:

- вместо высотомеров ВД-10 - высотомер ВБМ-1 с диапазоном измерения 0...10 000 м;
- ВД-20, ВМ-15 и ВМФ-50 - высотомеры ВБМ-2 и ВБМ-2Ф с диапазоном измерения 0...20 000 м;
- вместо высотомера УВИД-30-15 - электромеханический высотомер ВБ-1 с автоматической компенсацией аэродинамических погрешностей восприятия статического давления.

Порядок проведения проверки высотомеров

- установить стрелки высотомера на нуль шкалы (поворотом кремальеры);
- проверить соответствие показаний барометрической шкалы (счетчика) высотомера давлению дню приведенному к уровню его установки. Отклонения в показаниях шкалы давления не должны превышать допуска установленного для данного типа высотомера (в настоящее время как правило + 1,5 мм рт. ст.);
- проверить целостность контровки гайки кремальеры у механических высотомеров красной краской.

6.3. Барометрические электронные высотомеры ВБЭ

Данные высотомеры разработаны для переоснащения самолетов отечественного производства, в первую очередь, выполняющих международные полеты, в связи с введением авиационными властями стран Европы новых, более жестких, стандартов по вертикальному эшелонированию воздушных судов VSM.

Электронный барометрический высотомер совмещает в себе функции измерителя высоты и системы сигнализации высоты эшелонирования.

Он обеспечивают измерение и индикацию:

- текущего значения относительной барометрической высоты $H_{отн}$;
- величины атмосферного давления у земли $P_з$;
- заданной высоты эшелона;
- сигнала предупреждения о полете на $H_{отн}$ менее 1 000 м,
- сигнала об отклонении от высоты эшелона на 60...150 м (мигающая рамка);
- сигнала об отклонении от высоты эшелона более чем на 150 м (свечящаяся рамка);
- выдачи информации о текущей барометрической высоте в другие самолетные системы через блок связи.

Электронные барометрические высотомеры ВБЭ-ЦМ



Информация электронного барометрического высотомера выдается на жидкокристаллические экраны, имитирующие лицевую панель механического высотомера старого образца, что облегчает привыкание летчиков к новым приборам.

По желанию пилота, они обеспечивают информацию в метрах и футах, визуальную и звуковую сигнализацию при отклонении от заданной высоты, автоматизированный контроль за исправностью работы и т. д.

Эшелонирование полетов

Вертикальное эшелонирование – это рассредоточение ВС по высоте полета на установленные интервалы.

В основу системы вертикального эшелонирования положен барометрический метод. Он заключается в строгом выдерживании каждым самолетом заданной абсолютной барометрической высоты полета, т. е. полета по поверхности с равными значениями давления в атмосфере (изобарической поверхности).

Особенности системы вертикального эшелонирования ИКАО:

При полетах по ППП применяются следующие минимальные интервалы вертикального эшелонирования:

- на эшелонах полета ниже 8850 м - 300 м (1000 футов);
- между эшелонами полета 8850 м и 12500 м:
 - а) 300 м (1000 футов) - между ВС, допущенными к полетам с RVSM (сокращенные минимумы вертикального эшелонирования);
 - б) 600 м (2000 футов):
 - между государственными ВС, не допущенными к полетам с RVSM, и другим ВС, выполняющим полет в ПВП RVSM;
 - между ВС, выполняющим полет с отказавшей радиосвязью, и любым другим ВС, когда оба ВС выполняют полет в ПВП RVSM;
- на эшелонах полета выше 12500 м - 600 м (2000 футов).