

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации авиационных электросистем
и пилотажно-навигационных комплексов
В.Н. Габец, Ю.С. Соловьёв**

**АВИАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ
И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторной работы

**«АВИАЦИОННЫЕ АВТОНОМНЫЕ
МЕМБРАННО-АНЕРОИДНЫЕ ПРИБОРЫ»**

*для студентов IV и V курсов
специальности 160903
и студентов III курса
по направлению 162500
всех форм обучения*

Москва-2012

ББК 0567
Г12

Рецензент канд. техн. наук, проф. В.В. Глухов

Габец В.Н., Соловьёв Ю.С.

Г12 **Авиационные приборы и информационно-измерительные системы:**
Пособие по выполнению лабораторной работы «Авиационные автономные мембранно-анероидные приборы». – М.: МГТУ ГА, 2012. – 32 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины СД.09 «Авиационные приборы и информационно-измерительные системы» по Учебному плану специальности 160903 для студентов IV и V курсов всех форм обучения и в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины Б.3.17 «Авиационные приборы» по Учебному плану направления 162500 для студентов III курса всех форм обучения.

В монтаже и отладке лабораторного стенда принимал участие студент-дипломник Лобанов Р.Ю. В подготовке пособия к изданию принял участие студент Хоботов А.В.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 23.04.12 г. и методического совета 11.05.12 г.

Редактор И.В. Вилкова

Подписано в печать 25.06.12 г.

Печать офсетная
1,86 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1473/

1,72 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2012

Лабораторная работа

АВИАЦИОННЫЕ АВТОНОМНЫЕ МЕМБРАННО-АНЕРОИДНЫЕ ПРИБОРЫ

Целью лабораторной работы является изучение принципа действия и конструкции высотомера ВБМ-2, футомера «Жежер», указателя числа Маха МС-1, вариометра ВАР-30-М, указателя скорости КУС-730/1100, указателя высоты и перепада давлений УВПД-5, проверка их работоспособности и экспериментальное исследование их основных характеристик.

1. Назначение и принцип действия авиационных автономных мембранно-анероидных приборов

1.1. Барометрические высотомеры

Высотомер барометрический механический ВБМ-2

Высотомер барометрический механический ВБМ-2 предназначен для применения в качестве средства индикации текущего значения относительной высоты и введенных значений атмосферного давления в условиях дневного освещения и ночью.

Внешний вид высотомера ВБМ-2 приведен на рис.1.1.

Высотомер ВБМ-2 представляет собой конструкцию, в которой механизм и электромеханический вибратор помещены в герметичный корпус (3). С лицевой стороны корпус закрыт фланцем (1) со стеклом, а с противоположной стороны крышкой (4), имеющей штуцер (5) для присоединения высотомера к системе статического давления объекта и электрический соединитель (6) для присоединения к электрической цепи объекта.

Индикация барометрической высоты производится с помощью счетчика десятков километров, двух стрелок и круговой шкалы с оцифровкой через 100м.

Один оборот большой стрелки соответствует 1000 м, один оборот малой стрелки соответствует 10 000 м. Цена деления шкалы 10 м.

До высоты 10 000 м на счетчике отсутствуют показания. На высотах более 10 000 м на счетчике индицируется число 10.

Кремальера (2), расположенная в правом углу фланца, предназначена для установки на четырехразрядном счетчике атмосферного давления в диапазоне от 700,0 до 1080,0 гПа.

Диапазон измерения барометрической высоты от 0 до 15 000 м.

Полосатый участок полностью открыт на высотах более 26000 фут. Счетчик давления имеет пять барабанов и указывает тысячи, сотни, десятки, единицы и десятые доли миллибар. На задней стороне прибора размещен штуцер для подвода статического давления во внутреннюю полость прибора. Прибор имеет белый подсвет.

Устройство и принцип работы футомера «ЖЕЖЕР» аналогичны высотомеру ВБМ-2.

1.2. Указатели скорости и числа Маха

Комбинированный указатель скорости КУС-730/1100

Комбинированный указатель скорости КУС-730/1100 предназначен для измерения приборной скорости полёта самолёта от 50 до 730 км/ч и истинной воздушной скорости от 400 до 1100 км/ч.

Основные технические характеристики:

- прибор работает при температуре окружающей среды от + 50 до -60°С;
- прибор работает при вибрации с частотой от 20 до 30 Гц и при перегрузке до 1,1g;
- погрешность измерения в нормальных условиях не должна превышать:
 - а) приборной скорости ± 5 км/ч на отметках шкалы 100, 200, 300 км/ч и ± 10 км/ч на отметках шкалы 400, 500, 600, 700 км/ч;
 - б) истинной воздушной скорости ± 25 км/ч на высоте 4000 м при приборной скорости более 400 км/ч и ± 30 км/ч на высоте 10000 м при приборной скорости более 300 км/ч;
- масса прибора без монтажных деталей не более 0,55 кг.

Кинематическая схема КУС-730/1100 приведена на рис. 1.2.

Принцип действия КУС-730/1100 основан на измерении скоростного напора (динамического давления) встречного потока воздуха с косвенным введением поправки на изменение температуры окружающей среды (схема с неполной температурной компенсацией) с помощью анероидной коробки для измерения истинной воздушной скорости.

Показания приборной скорости используются для целей пилотирования, т.е. выдерживания ограничений по скорости при взлете, посадке и на маршруте.

Показания истинной воздушной скорости необходимы для решения навигационных задач.

КУС-730/1100 состоит из герметичного корпуса, имеющего с обратной стороны два штуцера «Д» и «С».

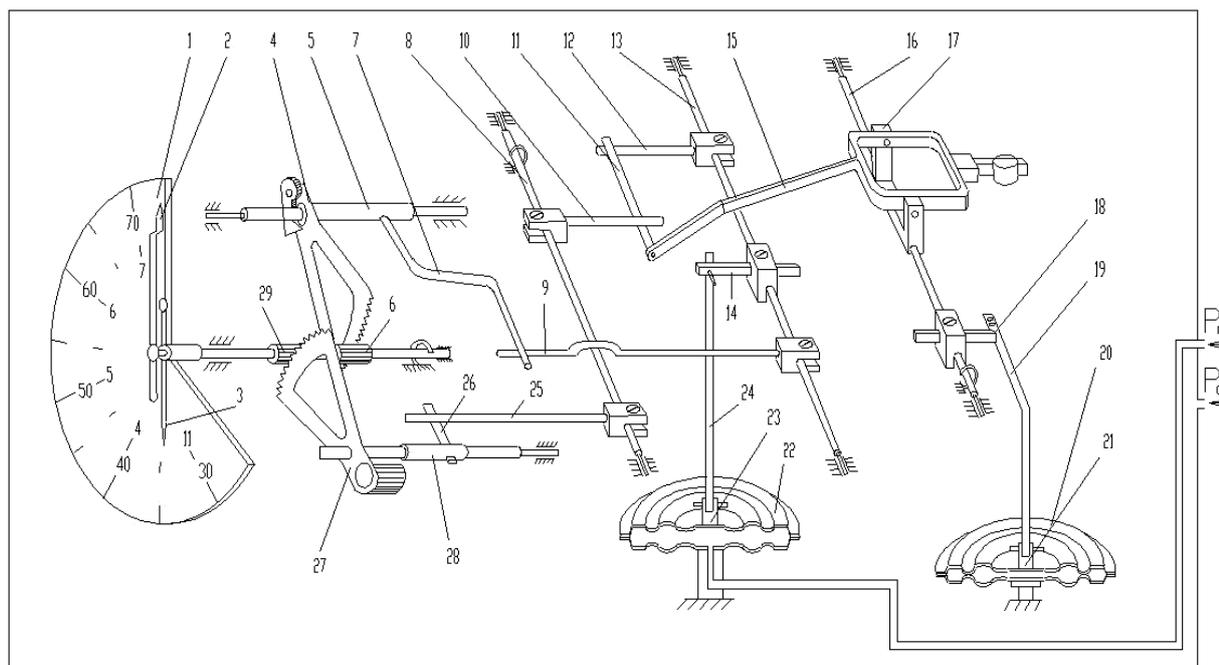


Рис. 1.2. Кинематическая схема указателя скорости КУС-730/1100:

1 - внешняя шкала; 2 - стрелка приборной скорости; 3 - стрелка истинной воздушной скорости; 4, 27 - сектора; 5, 8, 13, 16, 28 - оси; 6, 29 - трибки; 7, 9, 10, 11, 12, 25, 26 - поводки; 14 - кривошип; 15, 19, 24 - тяги; 17, 18 - вилки; 20 - анероидная коробка; 21 - верхний центр анероидной коробки; 22 - манометрическая коробка; 23 - верхний центр манометрической коробки

Штуцер с отметкой “Д” при помощи дюритового шланга соединяется с магистралью полного давления, а штуцер с отметкой “С” - с магистралью статического давления.

В корпусе комбинированного указателя смонтированы два механизма, работающие от одного чувствительного элемента манометрической коробки, т.е. механизм для измерения приборной скорости и механизм для измерения истинной воздушной скорости.

Механизм приборной скорости состоит из манометрической коробки 22, тяги 24, кривошипа 14, оси 13, поводков 9 и 7, сектора 4 и широкой стрелки 2, которая по внешней шкале показывает значение приборной скорости.

Механизм истинной воздушной скорости состоит из анероидной коробки 20, тяги 19, оси 16, тяги 15, поводков 10, 11, 12, оси 28, сектора 27 и узкой стрелки 3, которая по внутренней шкале показывает значение истинной воздушной скорости.

Указатель скорости имеет две шкалы: внутреннюю и внешнюю. Внутренняя шкала - от 400 до 1100 км/ч с оцифровкой через 100 км/ч и ценой

деления 10 км/ч. Внешняя шкала - от 60 до 760 км/ч с оцифровкой через 100 км/ч и ценой деления 10 км/ч.

Указатель скорости работает следующим образом.

При движении самолёта относительно воздуха во внутреннюю полость манометрической коробки от приёмника полного давления (ППД-1) подаётся полное давление встречного потока воздуха, а в герметичный корпус прибора - статическое давление.

Под действием скоростного напора (динамического давления) манометрическая коробка 22 деформируется и посредством тяги 24 поворачивает ось 5 с укрепленным на ней сектором 4.

Сектор 4 находится в зацеплении с трибкой 6, на оси которой укреплена широкая стрелка 2, показывающая по внешней шкале приборную скорость.

Одновременно деформация анероидной коробки 20 через тягу 19 передается на оси 16, 8 и 28 механизма истинной воздушной скорости.

На оси 28 закреплён сектор 27, который находится в зацеплении с трибкой 29. На оси трибки 29 закреплена узкая стрелка истинной воздушной скорости, которая одновременно начинает перемещаться со стрелкой приборной скорости.

При полёте у земли углы поворота оси сектора 4 механизма приборной скорости и оси сектора 27 механизма истинной воздушной скорости одинаковы. Следовательно, показания стрелок будут также одинаковы.

При подъёме на высоту анероидная коробка 20 под действием уменьшения статического давления расширяется и через систему передач дополнительно поворачивает стрелку, указывающую истинную воздушную скорость.

Таким образом, с поднятием на высоту показания узкой стрелки будут больше показаний широкой стрелки, т.е. значения истинной воздушной скорости будут больше приборной.

Приборная скорость $V_{пр}$ и истинная воздушная скорость $V_{ист}$ связаны соотношением

$$V_{пр} = V_{ист} \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_0}} = V_{ист} \sqrt{\Delta} \quad , \quad (1.1)$$

где $\Delta = \rho_n / \rho_0$ - относительная плотность воздуха;

ρ_n - плотность воздуха на высоте H ;

ρ_0 - плотность воздуха на уровне моря по СА-81.

Указатель числа М типа МС -1

Указатель числа М с электрической сигнализацией типа МС -1 предназначен для измерения числа М в пределах от 0,5 до 1 М по визуальному отсчету и выдачи электрического сигнала при достижении заданного (критического) значения числа Маха $M_{кр}$.

Основные технические данные:

- рабочий интервал температур окружающей среды от + 50 до -60° С;
- допустимые погрешности показаний прибора при нормальной температуре не должны превышать 0.02М;
- прибор выдерживает перегрузочное давление, соответствующее 1,1 числа М;
- напряжение питания постоянного тока $27В \pm 10\%$;
- нагрузка по току на сигнальное устройство не более 0,03 А;
- прибор выдерживает вибрационную нагрузку до 1,1 g в диапазоне частот от 20 до 80 Гц и амплитуду колебаний не более 0,5 мм;
- погрешности показаний прибора при наклоне от нормального положения до 90° С не превышают допустимых значений при нормальной температуре;
- масса прибора не более 0,75 кг.

Внешний вид и кинематическая схема МС -1 приведены на рис.1.3 и рис.1.4 соответственно.

Принцип указателя числа М с электрической сигнализацией типа МС -1 действия основан на использовании упругих свойств чувствительных элементов (манометрической и анероидной коробок). Давление (разрежение), действующее на коробку, деформирует ее мембраны. Это давление уравнивается силами упругости мембран.



Рис. 1.3. Внешний вид МС-1

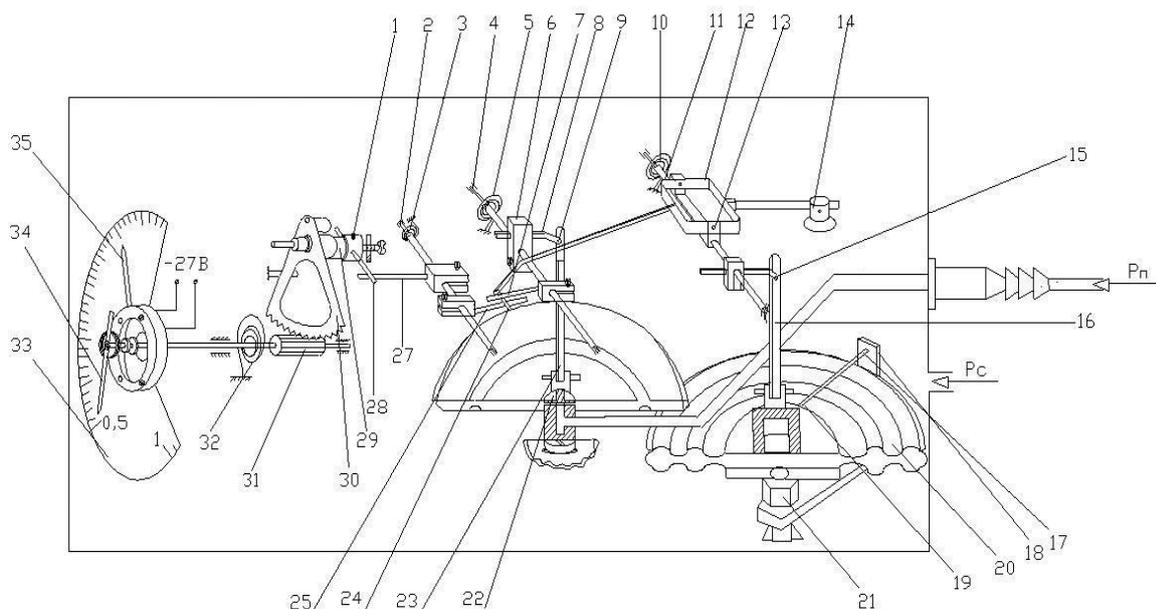


Рис. 1.4. Кинематическая схема МС-1:

- 1 - винт; 2 - компенсированная ось; 3, 5, 10 - волоски; 4 - переходная ось; 6 – зажим; 7, 28 - поводок; 8, 13, 15 - вилки; 9 - шпилька; 11 - ось высотной компенсации; 12, 16, 23 - тяга; 17 - игла; 18 - биметаллическая скоба; 19 - подвижный центр anerоидной коробки; 20 - anerоидная коробка; 21 - гайка; 22 - подвижный центр манометрической коробки; 24, 25, 27 - поводок; 26 - манометрическая коробка; 29 - ось; 30 - сектор; 31 - трибка; 33 - циферблат; 34 - стрелка; 35 - сигнальная стрелка

Под действием давления мембраны манометрической коробки 26 прогибаются и, перемещая подвижный центр 22, тягу 23, вилку 8, поворачивают переходную ось 4. На переходной оси 4 закреплён поводок 7, который через поводок 24 поворачивает поводок 25, закреплённый на компенсированной оси 2. На этой же оси закреплён поводок 27, который через поводок 28, укрепленный винтом 1, поворачивает ось 20. На оси 29 напрессован сектор 30, находящийся в зацеплении с трибкой 31, на конусный конец которой насажена стрелка 34. На трибке 31 смонтирован волосок 32, предназначенный для устранения люфтов.

С изменением высоты полёта статическое давление изменяется, мембраны anerоидной коробки 20 прогибаются и, перемещая подвижный центр 19, тягу 16 и вилку 15, поворачивают ось высотной компенсации 11.

Ось 11 поворачивает тягу 12 и поводок 24, т.е. изменяется длина поводков 7 и 25 (изменяется передаточное число механизма). Для предотвращения перекосов тяга 12 крепится к двойной вилке 13, которая винтом крепится на оси высотной компенсации 11. На тяге 12 крепится противовес 14 для балансировки тяги.

На оси 11 смонтирован волосок 10 для устранения люфтов в шарнирных соединениях узла высотной компенсации.

Для устранения люфтов в механизме на компенсированной оси 2 и переходной оси 4 смонтированы волоски 3 и 5.

Температурная компенсация осуществляется биметаллической скобой 16, укрепленной на неподвижном центре анероидной коробки 20 двумя гайками 21. Нажим биметаллической скобы на подвижный центр 19 анероидной коробки 20 передаётся двумя иглами 17.

Сигнальное устройство замыкает или размыкает электрическую цепь, когда число М в полёте достигает величины, указанной на циферблате 33 сигнальной стрелкой 35 красного цвета.

Погрешности указателей воздушной скорости и числа М.

Методические погрешности определения индикаторной (приборной) скорости и числа М возникают вследствие:

- неполного учета характеристик сжимаемости воздуха;
- отклонения параметров атмосферы от стандартных значений;
- искажения воздушного потока в местах установки приемников статического и полного давлений (аэродинамическая ошибка).

Методические погрешности измерения истинной воздушной скорости те же, что и у измерителей индикаторной скорости и еще добавляется погрешность, связанная с отклонением температуры наружного воздуха на высоте полета от значения температуры по стандартной атмосфере.

Инструментальные погрешности указателей скорости и числа М такие же, как у барометрических высотомеров, но не требуется биметаллической температурной компенсации 2 рода, так как погрешности, вызванные изменениями модуля упругости материала манометрической коробки и материала анероидной коробки, взаимно компенсируются (если эти материалы одинаковы).

1.3. Вариометр ВАР 30-М

Вариометр предназначен для измерения вертикальной составляющей скорости спуска и подъёма самолёта, а также для осуществления горизонтального полёта. При горизонтальном полёте стрелка прибора стоит на нуле, что свидетельствует о неизменности высоты полёта. При нарушении горизонтального полёта стрелка прибора отклоняется вверх или вниз.

Основные технические характеристики:

- прибор безотказно работает в интервале температур от +50 до -60° С;

-прибор виброустойчив в диапазоне частот от 20 до 80 Гц с вибрационным ускорением до 1,1 g и амплитудой колебаний не более 0,5 мм. При этом колебание стрелки не превышает ± 1 мм по дуге шкалы;

-остальные технические данные указаны в приложении в табл. П2.

Внешний вид и кинематическая схема вариометра приведены на рис.1.5. и рис.1.6. соответственно, а принципиальная схема на рис.1.7.

Устройство и принцип работы вариометра (рис.1.6.). При работе прибора чувствительный элемент 1, воспринимающий разность давлений Δp , деформируется. Через передаточно-множительный механизм (тяга 2, кривошип 3, ось 4, сектор 5, трибка 6) возвратно-поступательное перемещение чувствительного элемента преобразуется во вращательное движение стрелки 8, которая, перемещаясь относительно шкалы 7, указывает величину вертикальной скорости.

Использование на данном приборе затухающей шкалы позволило решить сразу две проблемы: увеличение диапазона измерения и сохранение чувствительности вблизи нулевой отметки.

Увеличение диапазона осуществлено путём применения неравномерной (затухающей) шкалы, деления которой постепенно сужаются от начала шкалы к её концам как в сторону «Подъёма», так и в сторону «Спуска».



Рис. 1.5. Внешний вид
ВАР 30-М

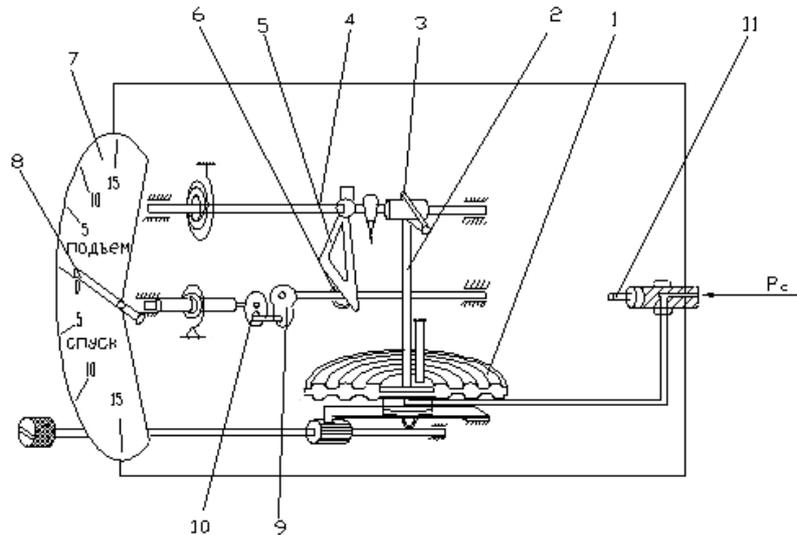


Рис. 1.6. Кинематическая схема вариометра:
1 - чувствительный элемент (манометрическая коробка); 2 - тяга; 3 - кривошип; 4 - ось; 5 - сектор; 6 - трибка; 7 - шкала; 8 - стрелка; 9 - поводок со шпилькой; 10 - кулиса; 11 – капиллярная трубка

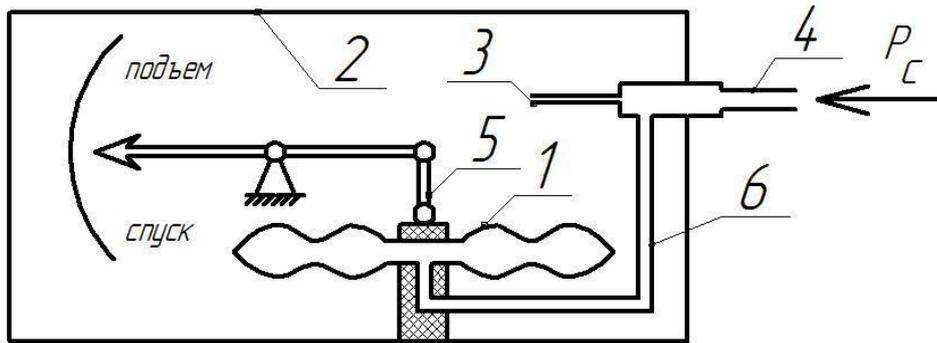


Рис. 1.7. Принципиальная схема вариометра:

1 - манометрическая коробка; 2 - корпус; 3 - капиллярная трубка;
4 - штуцер; 5 - тяга; 6 - трубопровод

Затухание шкалы достигается введением между стрелкой и трибкой кулисного механизма, который меняет передаточное отношение, а следовательно, и угол поворота стрелки.

Кулисный механизм состоит из вращающегося вместе с трибкой 6 поводка с укрепленной на нём шпилькой 9 и кулисы 10, укрепленной на оси стрелки 8.

При горизонтальном полёте, когда стрелка стоит на нулевой отметке, шпилька поводка находится в средней части кулисы. При подъёме или снижении самолёта шпилька скользит вдоль кулисы и отклоняется от среднего положения, при этом меняется расстояние между осью стрелки и шпилькой. Благодаря этому передаточное отношение непрерывно уменьшается и соответственно сужается деление шкалы.

Вариометр работает следующим образом. Когда самолёт летит горизонтально, давление внутри корпуса (рис. 1.7) равно атмосферному. При этом разность давлений внутри и вне коробки равна нулю, и стрелка прибора находится на нуле.

При подъёме самолёта на высоту атмосферное давление непрерывно уменьшается. При этом воздух из корпуса 2 через капиллярную трубку 3 вытекает наружу. Следовательно, давление внутри корпуса также будет уменьшаться. Давление в корпусе будет превышать атмосферное давление, так как вследствие малого диаметра капилляра изменение давления внутри корпуса отстаёт от изменения атмосферного давления. Поэтому внутри корпуса образуется избыточное давление, величина которого будет больше или меньше в зависимости от скорости подъёма самолёта на высоту.

Под влиянием образовавшейся разности давлений манометрическая коробка 1 сжимается и через передаточно-множительный механизм передвигает стрелку по шкале вверх от нулевой отметки.

С прекращением подъёма самолёта давление в корпусе и внутри манометрической коробки выравнивается с атмосферным давлением и стрелка возвращается на нулевую отметку шкалы.

При снижении самолета атмосферное давление, а следовательно, и давление внутри коробки непрерывно увеличиваются.

Давление внутри корпуса стремится выровняться через капиллярную трубку с атмосферным давлением, но за счет малого сечения капилляра давление в корпусе прибора становится меньше атмосферного давления, и внутри корпуса прибора образуется разрежение, величина которого тем больше, чем быстрее снижается самолёт.

Под влиянием образовавшейся разности давлений коробка расширяется, и стрелка перемещается вниз от нулевой отметки.

После прекращения снижения самолёта давление в корпусе и внутри манометрической коробки выравнивается с атмосферным давлением и стрелка прибора возвращается на нулевую отметку шкалы.

Погрешности вариометров.

Основными методическими погрешностями вариометра являются запаздывания показаний (динамическая погрешность) и температурная погрешность.

Запаздывание показаний происходит из-за того, что при изменении высоты полета статическое давление в пневмопроводе и внутри манометрической коробки устанавливается практически мгновенно, а давление в корпусе вариометра вследствие сопротивления течению воздуха в капилляре устанавливается с запаздыванием.

Методическая температурная погрешность связана с расхождением температуры внутри корпуса вариометра и температуры наружного воздуха. Эта погрешность убывает по абсолютной величине по мере уменьшения вертикальной скорости и при горизонтальном полете становится равной нулю.

Инструментальные погрешности вариометра аналогичны инструментальным погрешностям барометрического высотомера.

1.4. Указатель высоты и перепада давлений УВПД

Указатели высоты и перепада давлений предназначены для контроля за изменением абсолютного и избыточного давлений в герметических кабинах

самолетов во время высотных полетов. Оба указателя размещены в одном корпусе прибора. При этом указатель высоты измеряет и показывает по шкале прибора абсолютное давление в кабине, выраженное в единицах барометрической высоты. Указатель перепада давлений измеряет и показывает перепад давлений между давлением в кабине и в окружающей атмосфере (статическим давлением).

Контроль высоты в кабине необходим для оценки микроклимата кабин, что важно с точки зрения жизнеобеспечения пассажиров и членов экипажа. Контроль за величиной перепада давлений необходим по условиям прочности кабины.

Принципиальная схема указателя высоты и перепада давлений приведена на рис. 1.8.

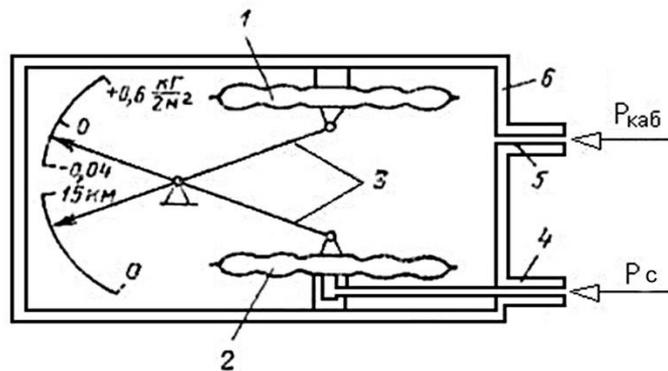


Рис. 1.8. Принципиальная схема указателя высоты и перепада давлений:

- 1 – aneroidная коробка; 2 – манометрическая коробка; 3 – стрелки;
4,5 - штуцеры; 6 – корпус

Барометрическое давление в кабине измеряется с помощью aneroidной коробки 1 (рис. 1.8), а разность между давлением в кабине и давлением в статической системе самолета — с помощью манометрической коробки 2. Обе коробки и передаточные механизмы прибора находятся в общем корпусе 6. Внутренняя полость прибора соединена с кабиной самолета через штуцер 5. Внутренняя полость манометрической коробки соединена со статической проводкой приемника воздушного давления с помощью штуцера 4.

Указатель высоты и перепада давлений УВПД-5

Кинематическая схема УВПД-5 приведена на рис. 1.9.

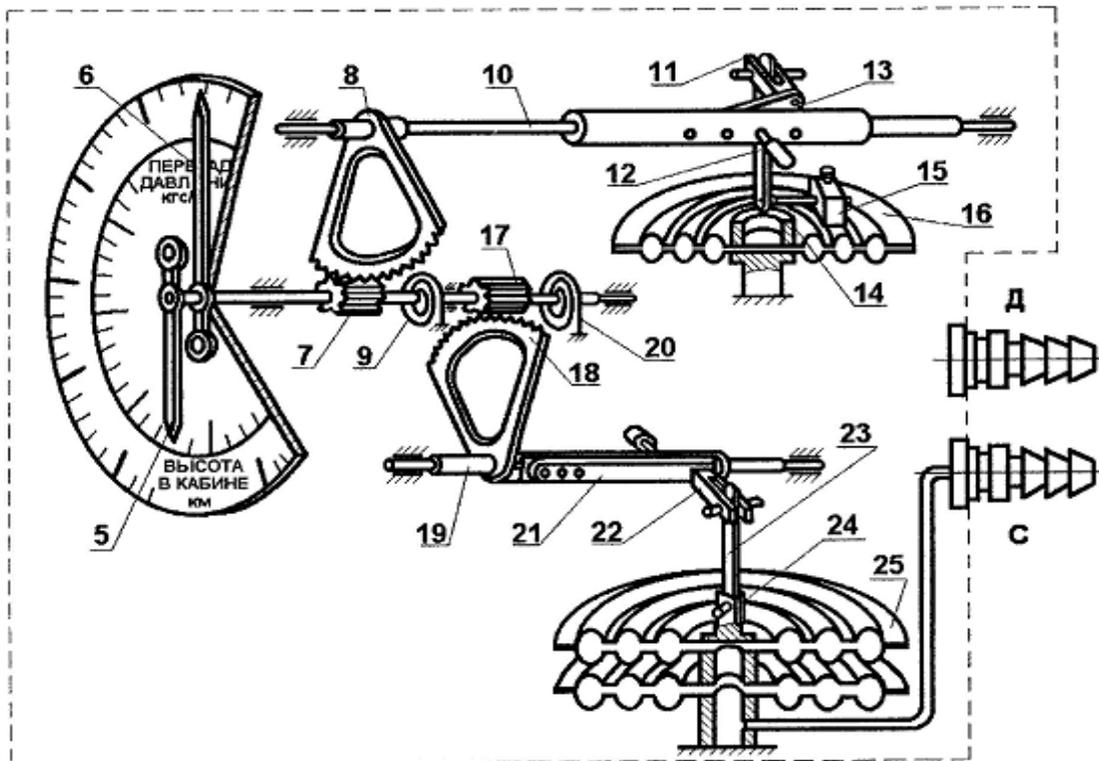


Рис. 1.9. Кинематическая схема УВПД – 5:

5 - стрелка ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЙ; 6 - стрелка ВЫСОТЫ В КАБИНЕ;
 7, 17 – трибки; 8, 18 – секторы; 9, 20 – волоски; 10, 19 – оси; 11, 22 - серьги
 (вилки); 12, 23 – тяги; 13, 21 – биметаллические компенсаторы второго рода;
 14 – подвижный центр анероидной коробки; 16 – анероидная коробка;
 24 - подвижный центр манометрического блока; 25 - манометрический блок

Работа указателя высоты осуществляется следующим образом. Для определения в полете условной высоты в кабине необходимо измерять давление в кабине самолета. Давление измеряют при помощи анероидной коробки 16. При изменении давления, а следовательно, и высоты в кабине силы упругости вызывают деформацию мембран анероидной коробки. Подвижный центр 14 анероидной коробки совершает при этом возвратно-поступательное движение, которое при помощи кривошипно-шатунного механизма (тяга 12, серьга 11) преобразуется во вращательное движение оси 10. На оси 10 укреплен сектор 8, находящийся в зацеплении с полый трибкой 7, на противоположном конце которой насажена стрелка 6. Поворот оси через сектор и трибку передается на стрелку, вследствие чего она перемещается относительно отметок шкалы.

Поворот оси 19 через сектор 18 и трибку 17 передается на стрелку 5, вследствие чего она перемещается относительно отметок шкалы. Если давление в кабине больше, чем в окружающей атмосфере, то мембрана прогибается в сторону основания коробки, а стрелка перемещается по шкале циферблата в сторону положительных значений перепадов давлений, т. е. показывает величину избыточного давления в кабине (от 0 до $0,6 \text{ кг/см}^2$).

Если давление в кабине меньше, чем в окружающей атмосфере, то одна из мембран коробки прогнется в противоположную сторону, а стрелка указателя переместится в направлении отрицательных перепадов, показывая наличие в кабине вакуума (от 0 до $0,04 \text{ кг/см}^2$). На шкале прибора красной краской наносятся границы допустимых значений высоты в кабине, положительного и отрицательного перепада давлений для данного типа самолета. В случае превышения граничных значений этих величин пилот прибегает к использованию аварийных средств, предусмотренных для этих целей.

Верхняя часть шкалы прибора УВПД – 5 (рис. 1.10), показывающая высоту в кабине, окрашена в голубой цвет, нижняя часть шкалы, показывающая положительный перепад давлений, - в черный цвет, сектор отрицательных давлений от $-0,02$ до $-0,04$ - в красный цвет, что указывает на опасную величину вакуума в кабине.

Погрешность указателя высоты в кабине при нормальной температуре составляет ± 100 м. Погрешность указателя перепада давлений для положительных перепадов $\pm 0,02 \text{ кгс/см}^2$, а для отрицательных - $\pm 0,01 \text{ кгс/см}^2$ (табл. ПЗ приложения).



Рис.1.10. Внешний вид УВПД-5:

- 1- корпус; 2 – фланец; 3 - шкала перепада давлений; 4- шкала высоты в кабине; 5 - стрелка перепада давлений; 6- стрелка высоты в кабине

2. Описание и подготовка к работе лабораторного стенда

2.1. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят исследуемые мембранно-анероидные приборы: барометрический высотомер ВБМ - 2, футомер «ЖЕЖЕР», указатель числа М МС -1, комбинированный указатель скорости КУС-730/1100, вариометр ВАР 30-М, указатель высоты и перепада давлений УВПД-5; измеритель воздушных давлений ИВД; съёмная панель блока насосов УМАП; блок насосов УМАП; воздушные краны К1 «ВАР» и К2 «УВПД», защитная, коммутационная и сигнальная аппаратура.

На лицевой панели лабораторного стенда установлены исследуемые мембранно-анероидные приборы, воздушные краны К1 «ВАР» и К2 «УВПД», автомат защиты сети FA1, выключатели SA3 и SA4, сигнальные лампы HL1 и HL2.

Кран К1 «ВАР» предназначен для подсоединения вариометра ВАР 30-М к магистрали статического давления.

Кран К2 «УВПД» предназначен для подсоединения штуцера «С» УВПД-5 к магистрали статического давления или соединения его с атмосферой.

Автомат защиты сети FA1 предназначен для подачи на лабораторный стенд напряжения постоянного тока 27 В.

Сигнальная лампа HL1 с зеленым светофильтром сигнализирует о наличии на лабораторном стенде напряжения постоянного тока 27 В.

Сигнальная лампа HL2 с красным светофильтром сигнализирует о достижении числа М критического значения $M_{кр}$ по указателю МС-1.

Выключатель SA3 предназначен для подачи напряжения постоянного тока 27 В на вибратор барометрического высотомера ВБМ – 2.

Выключатель SA4 предназначен для подачи напряжения постоянного тока 27 В на подсвет шкалы барометрического высотомера ВБМ – 2.

Выключатель SA1 расположен на ИВД и предназначен для подачи на ИВД напряжения постоянного тока 27 В и напряжения 36 В 400 Гц.

Выключатель SA2 расположен на съёмной панели блока насоса УМАП и предназначен для подачи напряжения постоянного тока 27 В на двигатель блока насосов УМАП.

Пневматическая схема лабораторного стенда приведена на рис. 2.1.

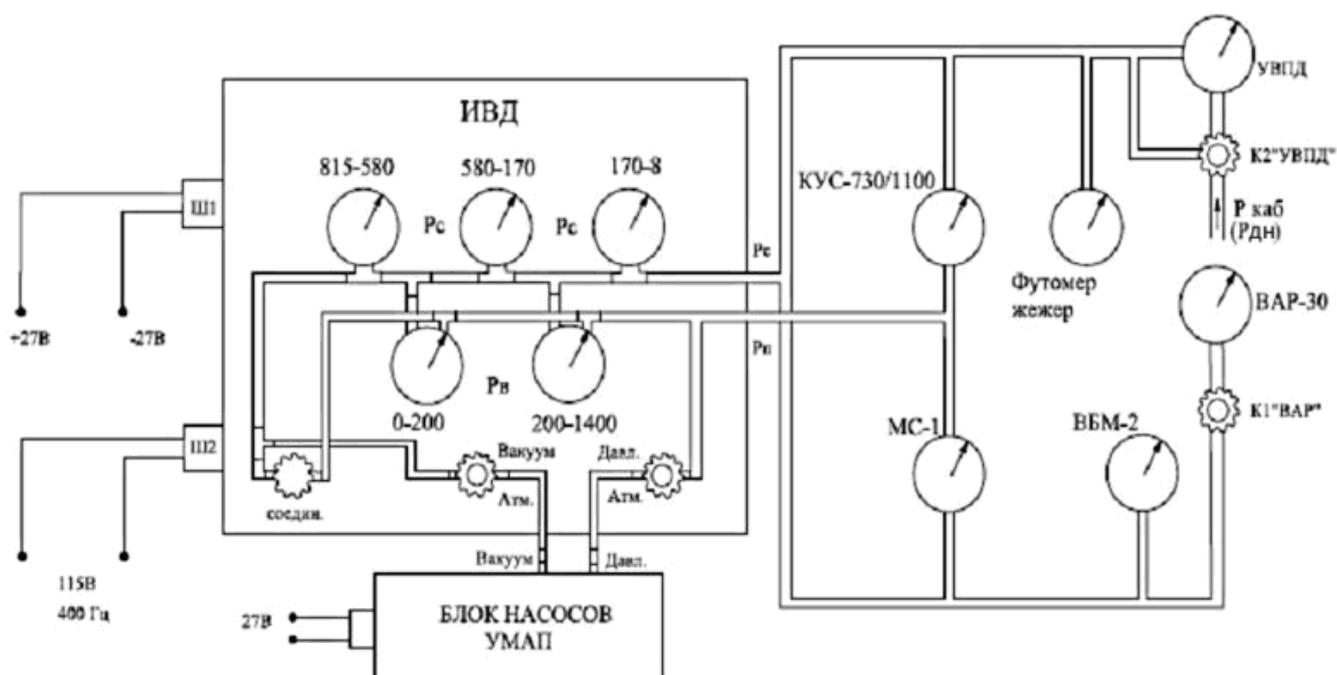


Рис. 2.1. Пневматическая схема лабораторного стенда

Лицевая панель ИВД приведена на рис. 2.2.

На лицевой панели ИВД размещены: указатель абсолютного (статического) давления 815-580 мм рт. ст. (1); сигнальные фонари (2, 3, 5, 6); указатель абсолютного давления 580-170 мм рт. ст. (4); стрелка (7); указатель абсолютного давления 170-8 мм рт. ст. (8); штуцер «СБРОС» (10); ручка крана управления диапазоном динамического давления P_d (11); светильник (12); указатель избыточного давления 0-200 мм рт. ст. (13); электромеханический счетчик времени «НАРАБОТКА» (14); указатель избыточного давления 200-1400 мм рт. ст. (15); ручка крана $V_{ст}$ (16); выключатель подачи электропитания SA1 (17); тумблер «СВЕТ» (18); предохранитель (19); штепсельные разъемы (9, 20, 21).

На съёмной панели блока насоса УМАП размещены: штуцеры «Рс» и «Рд», предназначенные для пневматической связи с измерителем ИВД; кран «Соединительный» - для защиты чувствительного элемента проверяемого прибора; краны абсолютного (статического) и избыточного (динамического) давления - для регулирования подачи давления (разрежения) в ИВД; краны «АТМ», расположенные внутри кранов «Вакуум» и «Давление» для сброса абсолютного и избыточного давлений из трубопроводов и ёмкостей блока насосов УМАП; выключатель SA2 осуществляет подачу напряжения питания 27 В постоянного тока к двигателю блока насосов УМАП.

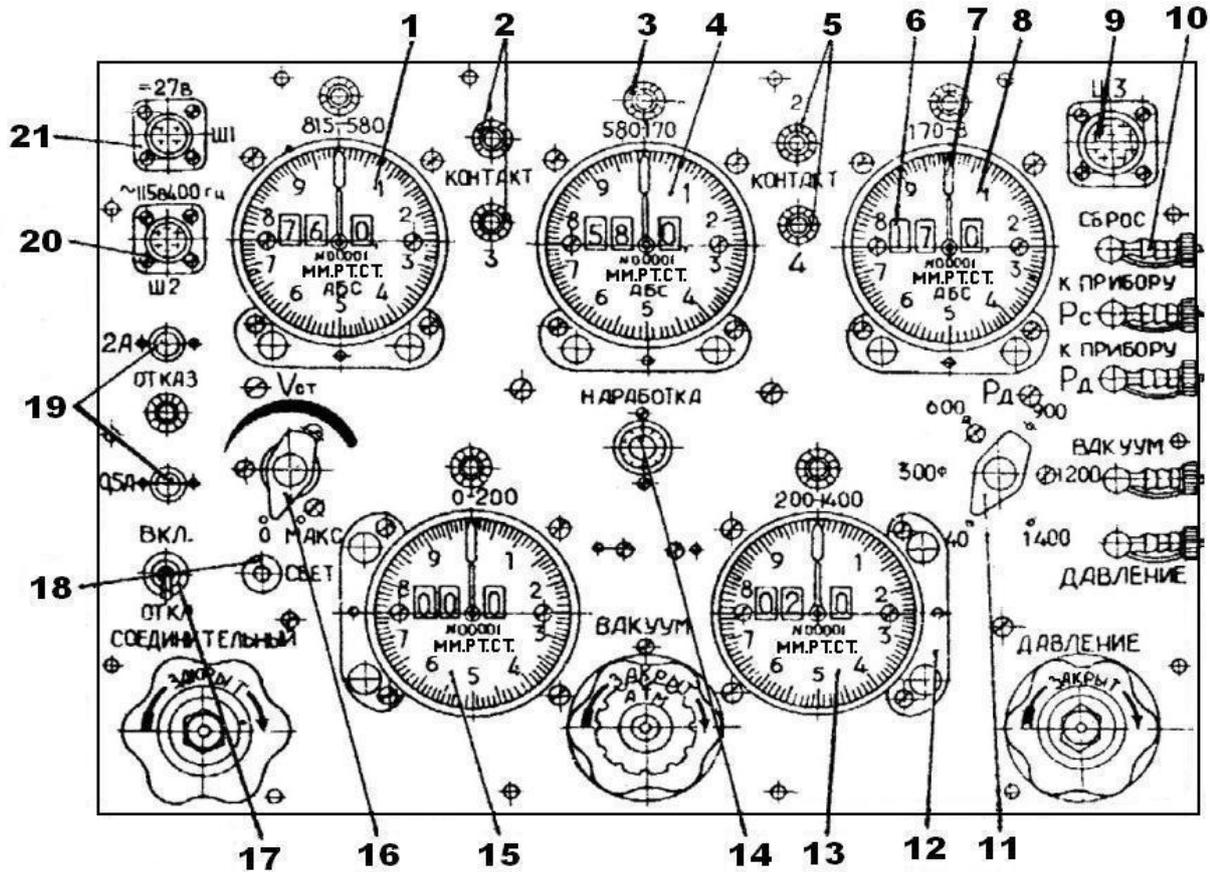


Рис. 2.2. Лицевая панель ИВД

2.2. Подготовка к работе лабораторного стенда

Убедиться, что автомат защиты сети FA1, выключатели SA1 на ИВД, SA2 на съемной панели, SA3 и SA4 на лицевой панели стенда находятся в положении «ВЫКЛЮЧЕНО» (рукоятки внизу).

На съемной панели плавно по часовой стрелке закрыть кран «Атм» на кране «Давление» и кран «Атм» на кране «Вакуум», а также кран «Соединительный» (M), затем открыть краны «Давление» и «Вакуум».

На лицевой панели стенда закрыть краны «Атм» на кранах K1 «ВАР» и K2 «УВПД», закрыть кран K1 «ВАР» и открыть кран K2 «УВПД».

На ИВД плавно по часовой стрелке закрыть кран «Атм» на кране «Давление», закрыть краны «Давление» и «Вакуум», открыть кран «Соединительный», ручку крана V ст. установить в положение «Макс», ручку крана P_д установить в положение 600. Включить выключатель SA1 и убедиться, что горят сигнальные лампы над указателем абсолютного давления

815 - 580 мм рт. ст. и указателем избыточного давления 0-200, а сигнальная лампа «ОТКАЗ» не горит.

На ИВД открыть кран «Атм» на кране «Вакуум», определить величину давления дня $P_{дн}$ по указателю ИВД (диапазон 815 - 580 мм рт. ст. АБС) и зафиксировать её в отчёте. Закрыть кран «Атм» на кране «Вакуум»,

На лицевой панели стенда включить автомат защиты сети FA1 и убедиться в наличии на лабораторном стенде напряжения постоянного тока 27 В по загоранию сигнальной лампы HL1.

3. Порядок проведения лабораторной работы

3.1. Определение погрешностей высотомера ВБМ-2

Подать питание на вибратор ВБМ-2 выключателем SA3, убедиться в работе вибратора по характерному треску при работе вибратора.

Подать питание на подсвет циферблата ВБМ-2 выключателем SA4, убедиться в загорании ламп подсвета. При достаточной освещенности в лаборатории выключить подсвет выключателем SA4.

Установить на счетчике давления высотомера ВБМ-2 давление дня $P_{дн}$ в гПа (гектопаскалях) кремальерой «РЗ» (1 гПа=0,75 мм рт. ст). Показания высотомера ВБМ-2 не должны превышать ± 25 м.

Установить на счетчике давления высотомера ВБМ-2 кремальерой «РЗ» стандартное давление 1013 гПа.

Включить блок насосов выключателем SA2 на съемной панели не более чем на 1 мин.

На ИВД плавным вращением кранов «Вакуум» или «Давление» (если давление дня $P_{дн}$ ниже 760 мм рт. ст.) создать в проверяемом высотомере ВБМ-2 статическое давление P_c , соответствующее первой проверяемой точке (760 мм рт. ст.), контролируемое по указателю ИВД.

Зафиксировать показания высотомера ВБМ-2 для первой проверяемой точки в табл. 3.1.

Задавая статическое давление P_c в соответствии с табл. 3.1, зафиксировать показания высотомера ВБМ-2 для других значений статического давления P_c .

Полученные данные свести в табл. 3.1. Построить график $H_{зам} = f(P_{ст})$.

Примечание: если статическое давление уменьшается очень медленно или не уменьшается, необходимо включить блок насосов выключателем SA2 не более чем на 1 мин.

Таблица 3.1

ВБМ-2						
<i>H_{абс}</i>	<i>P_c</i>	<i>H_{пр}^{зам}</i>	<i>H_{обр}^{зам}</i>	$\Delta H_{пр}$	$\Delta H_{обр}$	$\Delta H_{вар}$
М	мм рт. ст.	М	М	М	М	М
0	760					
300	733,36					
600	707,47					
900	682,33					
1200	657,92					
1800	611,22					
2100	588,90					
3000	525,86					
3900	468,40					
4500	433					
5100	399,80					
6000	353,89					
6900	312,34					
7500	286,91					
8600	244,64					
10100	169					
11000	195,27					
12100	142,75					

По данным табл. 3.1 рассчитать погрешности прямого хода $\Delta H_{пр}$, обратного хода $\Delta H_{обр}$ и вариацию показаний $\Delta H_{вар}$ по формулам:

$$\Delta H_{пр} = H_{пр}^{зам} - H_{абс} ;$$

$$\Delta H_{обр} = H_{обр}^{зам} - H_{абс} ;$$

$$\Delta H_{вар} = H_{пр}^{зам} - H_{обр}^{зам} .$$

3.2. Расчет относительной барометрической высоты

В данном подразделе необходимо по заданным преподавателем значениям давления на уровне аэродрома $P_{аэр}$ и статического давления на высоте полета

P_c рассчитать относительную барометрическую высоту аэродрома $H_{отн.расч}$ по формулам (3.1), (3.2), (3.3).

$$H_{абс} = 44309,34 \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_0} \right)^{0,19028} \right] \quad (3.1)$$

$$H_{аэр} = 44309,34 \left[1 - \left(\frac{P_{аэр}}{P_0} \right)^{0,19028} \right] \quad (3.2)$$

$$H_{отн.расч} = H_{абс} - H_{аэр} \quad (3.3)$$

Затем необходимо на счетчике давления высотомера ВБМ-2 установить значения $P_{аэр}$ в гПа. После чего задать на ИВД давление P_c и зафиксировать показания высотомера $H_{отн.зам}$.

Сравнить расчетное значение относительной барометрической высоты $H_{отн.расч}$ со значением относительной барометрической высоты $H_{отн.зам}$, полученным по высотомеру ВБМ-2.

3.3. Определение погрешностей футомера «ЖЕЖЕР»

Установить на счетчике давления футомера «ЖЕЖЕР» давление дня $P_{дн}$ в мбар (миллибарах) кремальерой «РЗ» (1 мбар=1 гПа=0,75 мм рт. ст). Показания высотомера ВБМ-2 не должны превышать ± 100 фут.

Установить на счетчике давления футомера «ЖЕЖЕР» кремальерой «РЗ» стандартное давление 1013мбар.

Включить блок насосов выключателем SA2 на съемной панели не более чем на 1 мин.

На ИВД плавным вращением кранов «Вакуум» или «Давление» (если давление дня $P_{дн}$ ниже 760 мм рт. ст.) создать в проверяемом футомере «ЖЕЖЕР» статическое давление P_c , соответствующее первой проверяемой точке (760 мм рт. ст.), контролируемое по указателю ИВД.

Зафиксировать показания футомера «ЖЕЖЕР» для первой проверяемой точки в табл. 3.2.

Задавая статическое давление P_c в соответствии с табл. 3.2, зафиксировать показания футомера «ЖЕЖЕР» для других значений статического давления P_c .

Полученные данные свести в табл. 3.2. Построить график $H_{зам} = f(P_{см})$.

Примечание: если статическое давление уменьшается очень медленно или не уменьшается, необходимо включить блок насосов выключателем SA2 не более чем на 1 мин.

Таблица 3.2

Футомер «ЖЕЖЕР»						
<i>Набс</i>	<i>Pc</i>	$H_{пр}^{зам}$	$H_{обр}^{зам}$	$\Delta H_{пр}$	$\Delta H_{обр}$	$\Delta H_{вар}$
фут	мм рт. ст.	фут	фут	фут	фут	фут
0	760,00					
1000	732,94					
3000	681,15					
5000	632,35					
7000	586,43					
10000	522,66					
12000	483,35					
16000	411,90					
20000	349,25					
23000	307,53					
25000	282,03					
28000	247,01					
33000	196,52					
41000	134,07					

По данным табл. 3.2 рассчитать для футомера «ЖЕЖЕР» погрешности прямого хода $\Delta H_{пр}$, обратного хода $\Delta H_{обр}$ и вариацию показаний $\Delta H_{вар}$ по формулам, приведенным в подразделе 3.1.

3.4. Определение погрешностей вариометра ВАР-30-М

Открыть кран К1 «ВАР». Стрелка вариометра ВАР-30-М должна быть на значении, близком к нулю.

Перед проверкой вариометра ВАР-30-М убедиться, что на ИВД закрыты краны «Вакуум» и «Давление» и открыт кран «Соединительный», ручку крана $V_{ст}$ установить в среднее положение. По табл. 3.3 задать первую точку заданной вертикальной скорости $V_{зад}$ на подъем (2 м/с), для чего на ИВД открыть кран «Вакуум» и с помощью крана $V_{ст}$ установить на вариометре ВАР-30-М значение вертикальной скорости 2 м/с.

Зафиксировать по высотомеру ВВМ-2 высоту H_1 в момент включения секундомера и выключить секундомер при достижении высоты H_2 , которая должна превышать высоту H_1 на 20 -200 м в зависимости от заданной вертикальной скорости $V_{зад}$.

Расчетная вертикальная скорость определяется по формуле

$$V_{расч} = \frac{H_1 - H_2}{t}, \text{ м/с}.$$

Время t в секундах определяется по секундомеру. Аналогично задать другие значения вертикальной скорости в соответствии с табл. 3.3.

Погрешность вариометра определяется по формуле

$$\Delta V_{вар} = V_{зад} - V_{расч}.$$

Аналогично определяются погрешности вариометра при спуске. При этом необходимо на ИВД закрыть кран «Вакуум» и открыть кран «Давление» или кран «Атм» на кране «Вакуум» при наличии запаса высоты.

Данные занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

	ПОДЪЁМ				СПУСК			
$V_{зад}, \text{ м/с}$	2	5	10	20	2	5	10	20
$H_2, \text{ м}$								
$H_1, \text{ м}$								
$t, \text{ с}$								
$V_{расч}, \text{ м/с}$								
$\Delta V_{вар}, \text{ м/с}$								

3.5. Определение погрешности указателя скорости КУС-730/1100 и числа ММС-1

Убедиться, что на ИВД кран «Соединительный» открыт. В соответствии с табл. 3.4 задать статическое давление $P_c=760$ мм рт. ст. согласно методике, рассмотренной в подразделе 3.1. Закрывать кран «Соединительный».

Плавное открывание на ИВД крана «Давление», создание в динамической системе проверяемых приборов динамического давления $P_{дин}$, соответствующее первой проверяемой точке из табл. 3.4 (13.76 мм рт. ст.). Величину задаваемого динамического давления контролировать по указателю ИВД.

По указателю КУС-730/1100 снять показания истинной воздушной скорости $V_{ист.изм.}$ (узкая стрелка) и приборной скорости $V_{приб.изм.}$ (широкая

стрелка), а по указателю МС-1 – измеренное значение числа Маха ($M_{изм}$).
Измеренные значения скоростей занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

$H, км$ $P_c,$ мм рт. ст.	$P_{дин},$ мм рт. ст.	$V_{ист}^{таб},$ км/ч	$V_{ист}^{изм},$ км/ч	$\Delta V_{ист},$ км/ч	$V_{пр}^{таб},$ км/ч	$V_{пр}^{изм},$ км/ч	$\Delta V_{пр},$ км/ч	$M_{таб}$	$M_{изм}$	ΔM
0 760	13,76	200			200			0,16		
	48,96	350			350			0,3		
	88,50	500			500			0,4		
	141,53	600			600			0,5		
5 405,07	92,45	600			465			0,5		
	111,59	700			543			0,6		
	183,24	800			620			0,75		
	212,41	900			697			0,8		
8 266,89	60,92	600			393			0,55		
	120,71	800			523			0,75		
	161,15	900			589			0,85		

Повторить измерения для других значений динамического давления $P_{дин}$;

Определить погрешности измерения скоростей как разность между показаниями приборов и соответствующим табличным значением.

Произвести аналогичным образом измерения скоростей и расчет погрешностей для высоты 5 км ($P_{ст}=405.07$ мм рт. ст.) и 8 км ($P_{ст}=266.89$ мм рт. ст.).

В момент загорания сигнальной лампы НЛ2 зафиксировать по указателю МС-1 критическое значение числа Маха $M_{кр}$ и занести его в отчет.

По данным табл. 3.4 построить графики зависимостей $V_{ист.изм.} = f(P_{дин})$, $V_{пр.изм.} = f(P_{дин})$ и $M_{изм.} = f(P_{дин})$ для высот 0, 5 и 8 км.

3.6. Указатель высоты и перепада давления УВПД-5

1. Определение погрешности измерения высоты в кабине при давлении дня

Рассчитать высоту аэродрома $H_{аэр}$ через давление дня $P_{дн}$ по формуле

$$H_{\text{аэр}} = 44309,34 \left[1 - \left(\frac{P_{\text{аэр}}}{P_0} \right)^{0,19028} \right].$$

Открыть кран «Атм» на кране К2 «УВПД» и по шкале высоты УВПД-5 определить $H_{\text{аэр.изм}}$.

Определить погрешность как разность между $H_{\text{аэр.изм}}$ и $H_{\text{аэр}}$ по формуле

$$\Delta H = H_{\text{аэр.изм}} - H_{\text{аэр}}.$$

Сравнить погрешность с допуском и сделать вывод.

2. Определение погрешности измерения высоты в кабине до 3000 м

Открыть кран К2 «УВПД» и закрыть кран «Атм» на кране К2 «УВПД».

В соответствии с табл. 3.5 устанавливать статическое давление P_c в корпусе УВПД-5 с помощью крана «Вакуум» (или «Давление») ИВД и замерить по шкале высоты УВПД-5 $H_{\text{каб.изм}}$. Данные занести в табл. 3.5. Рассчитать погрешность измерения высоты в кабине по формуле

$$\Delta H = H_{\text{каб. зам}} - H_{\text{расч}}.$$

Примечание: перепад давлений на УВПД-5 должен быть близок к нулю.

Таблица 3.5

P_c мм рт. ст.	$H_{\text{расч}}$, м	$H_{\text{каб. изм}}$, м	ΔH , м
760,00	0		
674,12	1000		
596,26	2000		
525,86	3000		

3. Определение погрешности измерения перепада давлений

Открыть кран К2 «УВПД» и закрыть кран «Атм» на кране К2 «УВПД».

На ИВД плавным вращением кранов «Вакуум» или «Давление» (если давление дня $P_{\text{дн}}$ ниже 760 мм рт. ст.) создать в проверяемом указателе УВПД-5 статическое давление P_c равное 760 мм рт. ст., контролируемое по указателю ИВД. При этом значения высоты в кабине и перепад давлений на УВПД-5 должны быть близки к нулю. Закрыть кран К2 «УВПД».

Задавая статическое давление P_C в соответствии с табл. 3.6, измерять перепад давлений $\Delta P_{\text{изм}}$ для других значений статического давления P_C .

Рассчитать погрешности измерения перепада давлений по формуле $\Delta P = \Delta P_{\text{изм}} - \Delta P_{\text{расч}}$, сравнить с допуском и сделать вывод.

Таблица 3.6

$\Delta P_{\text{расч}}$ кгс/см ²	P_C мм рт. ст.	$\Delta P_{\text{изм}}$ кгс/см ²	$\Delta P = \Delta P_{\text{изм}} - \Delta P_{\text{расч}}$
-0,06	804,1		
0	760,00		
0,2	612,9		
0,4	465,8		
0,6	318,7		
0,8	171,6		

4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) цель лабораторной работы;
- 2) пневматическую схему лабораторного стенда;
- 3) таблицы с экспериментальными данными;
- 4) графики зависимостей, указанных в разделе 3;
- 5) выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Принцип действия, кинематические схемы и погрешности высотомера ВБМ-2, футомера «Жежер», указателя числа Маха МС-1, вариометра ВАР-30-М, указателя скорости КУС-730/1100, указателя высоты и перепада давлений УВПД-5.

2. Пневматическая схема лабораторного стенда.

3. В чём отличие барометрической высоты от истинной?

4. Принцип неполной температурной компенсации в КУС.

5. В чём отличие истинной воздушной скорости от приборной?

6. Методика определения погрешностей высотомера ВБМ-2, футомера «Жежер», указателя числа Маха МС-1, вариометра ВАР-30-М, указателя скорости КУС-730/1100, указателя высоты и перепада давлений УВПД-5.

Литература

1. Воробъёв В.Г., Глухов В.В., Кадышев И.К.. Авиационные приборы, информационно – измерительные системы и комплексы: Учебник для вузов; Под ред. В.Г. Воробъёва. - М.: Транспорт, 1992.
2. Михайлов О.И., Козлов И.М., Гергель Ф.С. Авиационные приборы. - М.: Машиностроение, 1997.
3. Руководство по технической эксплуатации. Высотомер барометрический механический ВБМ-2. 6Г2.514.041 РЭ.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Погрешности ВБМ-2

Значение высоты, м	Предел допустимой погрешности, м	Значение высоты, м	Предел допустимой погрешности, м	
-500	±15			
0 300 600 900 1200 1500	±10	5400 5700 6000 6300	±25	
				±30
1800 2100 2400 2700 3000 3300 3600	±15	6600 6900	±35	
3900 4200 4500 4800 5100	±20	8100 8600 9100 9600	±40	
		10100 10600		±45
		11100 11600		±50
		12100		±55
		15000		±100

Таблица П2

Технические характеристики вариометров ВР-10 и ВАР-30

Наименование параметров	ВР-10М	ВАР-30М
Пределы измерения вертикальной скорости, м/с	±10	±30
Смещение стрелки, м/с, при температуре, °С		
+20	±0.03	±0.5
+50	±0.5	±1
-45	±0.75	±1
-60	±0.75	±1.5
Неплавность хода стрелки в пределах диапазона измерения, м/с, при температуре, °С		
+20	±0.25	±1
+50	±0.5	±2
-45	±0.5	±2
-60	±1	±2
Пределы юстировки, м/с	±2	±3
Ограничение хода стрелки упором, м/с	11÷22	33÷60
Инерционность показаний (время хода стрелки от предельного значения до 1 м/с), с	-	7÷10
Вес прибора (без монтажных деталей), кг	0.55	0.55

Погрешности УВПД-5

Проверка по шкале	Проверяемые отметки		Пределы допускаемых погрешностей
	шкалы		
	км	кгс/см ²	
Высота кабины	в	1	±100 м
		3	
		5	
Перепад давлений		+0,8	±0,02 кгс/см ²
		+0,6	
		+0,4	
		+0,2	
		-0,06	±0,01 кгс/см ²

Содержание

Лабораторная работа. Авиационные автономные мембранно-анероидные приборы.....	3
1. Назначение и принцип действия авиационных автономных мембранно-анероидных приборов.....	3
2. Описание и подготовка к работе лабораторного стенда.....	17
3. Порядок проведения лабораторной работы.....	20
4. Требования к отчету.....	27
5. Контрольные вопросы.....	27
Литература.....	28
Приложение.....	29