

Лекция № 5

Тема 2. Приборы и системы контроля работы авиадвигателей

Авиационные термометры

- 2.10. Проволочные термосопротивления
- 2.11. Термометры сопротивления типа ТУЭ и ТНВ
- 2.12. Приемники температуры: П-1, П-5, П-69, П-104
- 2.13. Термоэлектрические термометры типа ТЦТ, ТВГ, ТСТ и компенсационного типа
- 2.14. Погрешности термометров сопротивления и термоэлектрических термометров и способы их компенсации
- 2.15. Комбинированные приборы контроля работы авиадвигателей типа ЭМИ

Авиационные термометры

Авиационные термометры предназначены для измерения температуры газов газотурбинных двигателей (до 1500°C), температуры в камерах сгорания реактивных двигателей (до 3000°C), температуры масла и охлаждающей жидкости (до 150°C), температуры наружного воздуха и кабины самолета ($\pm 60^{\circ}\text{C}$)

По принципу действия **ЧЭ** термометры подразделяют на:

- **термометры расширения**, основанные на тепловом расширении жидкостей твердых тел (жидкостные, биметаллические);
- **электрические термометры сопротивления**;
- **термоэлектрические термометры**.

В авиации широкое применение получили **термометры сопротивления**, используемые для измерения температуры в сравнительно небольшом диапазоне (например, масла, наружного воздуха), и **термоэлектрические термометры**, применяемые для измерения температуры газов газотурбинных реактивных двигателей, а также температуры турбостартеров и головок цилиндров поршневых двигателей.

2.10. Проволочные термосопротивления

Измерение температуры в таких термометрах сводится к измерению сопротивления ЧЭ - металлических или полупроводниковых термосопротивлений.

Для проводников $R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$, - линейная зависимость

$\alpha = \frac{dR}{dTR_0}$ - температурный коэффициент сопротивления;
 T_0 - начальное значение температуры (обычно 20° С)

Для полупроводниковых термосопротивлений (термисторов)

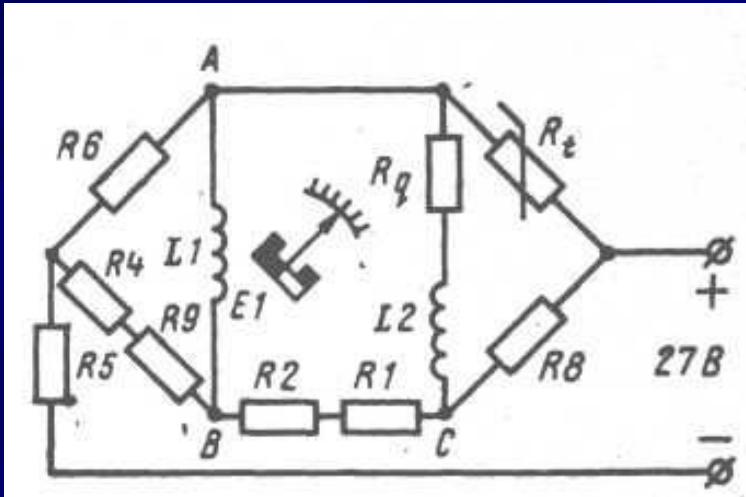
$R = Ae^{\frac{B}{T}}$ - нелинейная зависимость

$\alpha = -\frac{B}{T^2}$ - температурный коэффициент термистора
 (отрицательный, уменьшается по абсолютной величине с ростом температуры. Постоянная B зависит от материала полупроводника)

Для измерения сопротивления R в авиационных термометрах обычно используются мостовые схемы (неравновесные) с логометрическими указателями.

2.11. Термометры сопротивления типа ТУЭ и ТНВ

Термометр ТУЭ-48



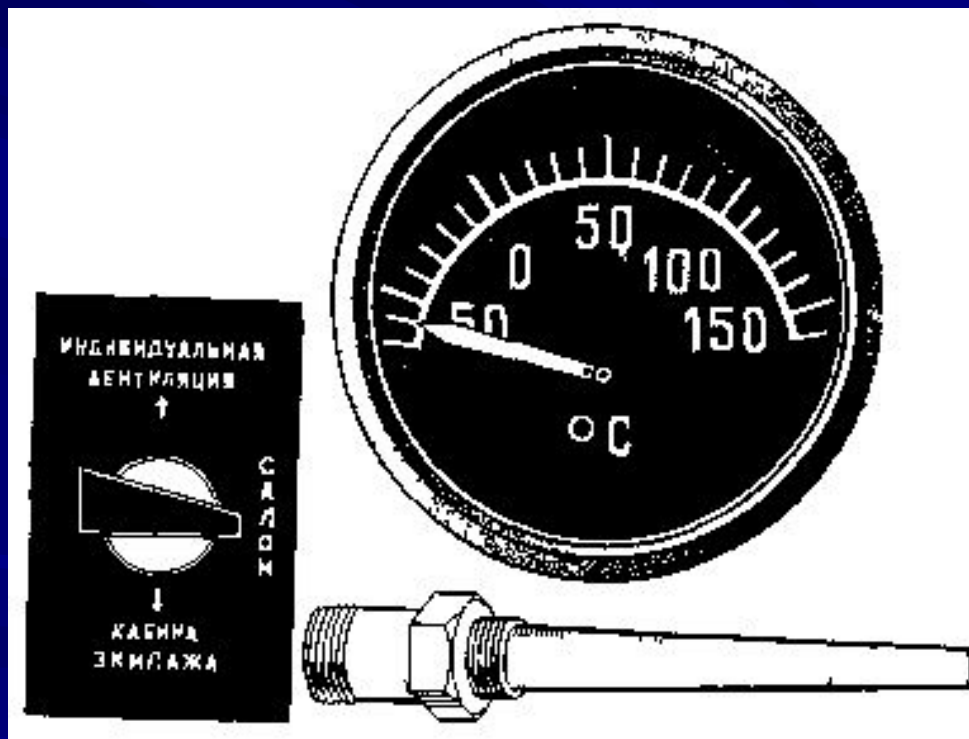
Предназначен для измерения температуры масла, а также наружного воздуха.

В комплект входят приемник температуры типа П -1 и указатель.

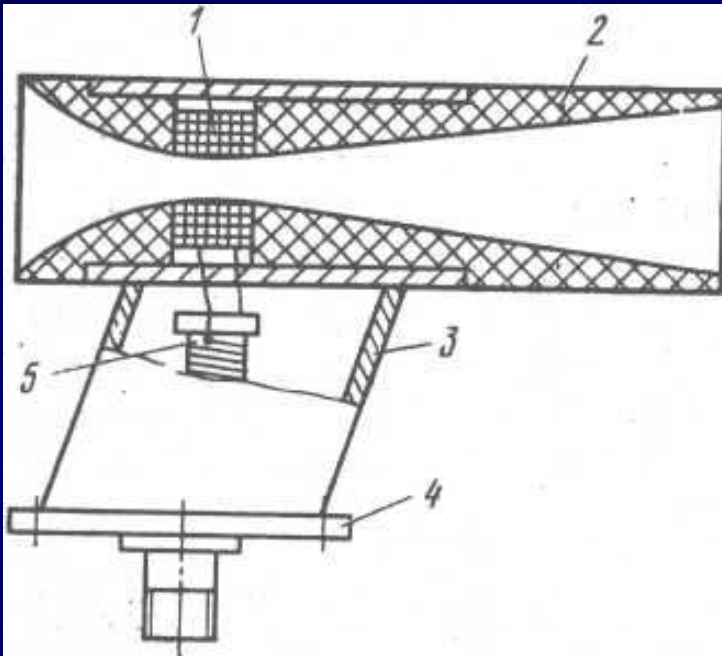
Логометрический указатель подобен используемым в манометрах ЭДМУ и ДИМ. Катушки логометра включены в две измерительные диагонали мостовой схемы. Такая схема обладает повышенной чувствительностью, так как при изменениях температуры ток в одной из катушек растет, а в другой – уменьшается

Термометр ТУЭ - 48

Термометр ТУЭ-48К предназначен для измерения температуры воздуха в трубопроводах индивидуальной вентиляции, салона и кабины экипажа. Шкала термометра отградуирована от -70° до $+150^{\circ}$ С с оцифровкой через 50° , ценой деления 10° . Комплект термометра состоит из трех приемников температуры П 1.



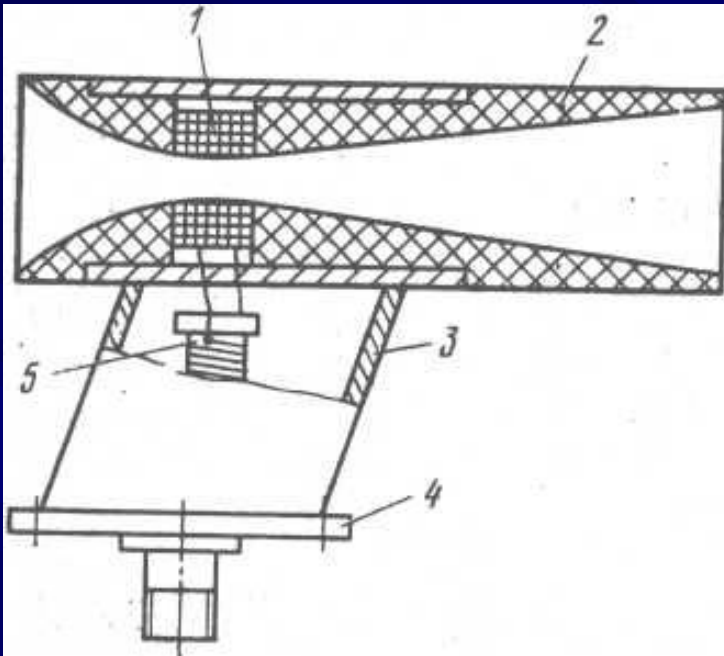
Термометр ТНВ



Для измерения температуры в потоке движущейся среды в термометрах типа ТНВ термочувствительный элемент 1 (обмотка из никелевой проволоки, намотанная на медный цилиндр) располагается вдоль набегающего потока. Корпус 2 датчика представляет собой сопло Лавала. С помощью полого откоса 3 корпус 2 соединен с основанием 4. Внутри откоса расположен резистор 5 из манганина, уменьшающий влияние примесей в материале элемента 1. В узком сечении сопла при $M > 0,5$ устанавливается скорость воздушного потока, равная местной скорости звука в воздушной среде.

$$T = \frac{T_{чз}}{0,978(1 + 0,2M^2)}$$

Зная температуру чувствительного элемента $T_{чз}$, можно определить температуру наружного воздуха. Стабилизация скорости воздушного потока в сопле Лавала позволяет уменьшить влияние скорости потока на результат измерений.



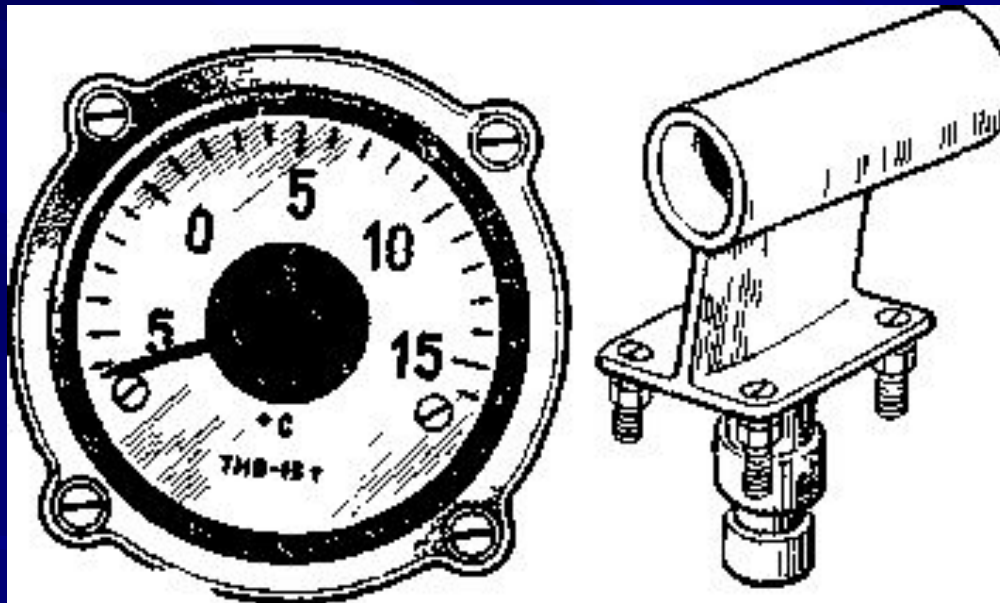
$$T = \frac{T_{чэ}}{0,978(1 + 0,2M^2)}$$

Из формулы видно, что температура $T_{чэ}$ превышает температуру среды. Это объясняется торможением потока у термодатчика и переходом кинетической энергии в тепловую.

Термометр наружного воздуха ТНВ-15 с указателем ТВН - 1, используемый в авиации, имеет диапазон шкалы - 60... + 60 °С. Основная погрешность измерения температуры на рабочем участке шкалы лежит в пределах ± 4 °С.

Термометр ТНВ

Комплект термометра состоит из приемника температуры П-5, установленного на обшивке фюзеляжа самолета в носовой части с правой стороны, указателя ТНВ-1, установленного на левой амортизированной панели приборной доски самолета Як-40. Шкала прибора отградуирована от -60° до $+150^{\circ}$ С с оцифровкой через 50° , ценой деления 10° .



2.12. Приемники температуры: П-1, П-5, П-69, П-104 18

Приемник температуры П -1

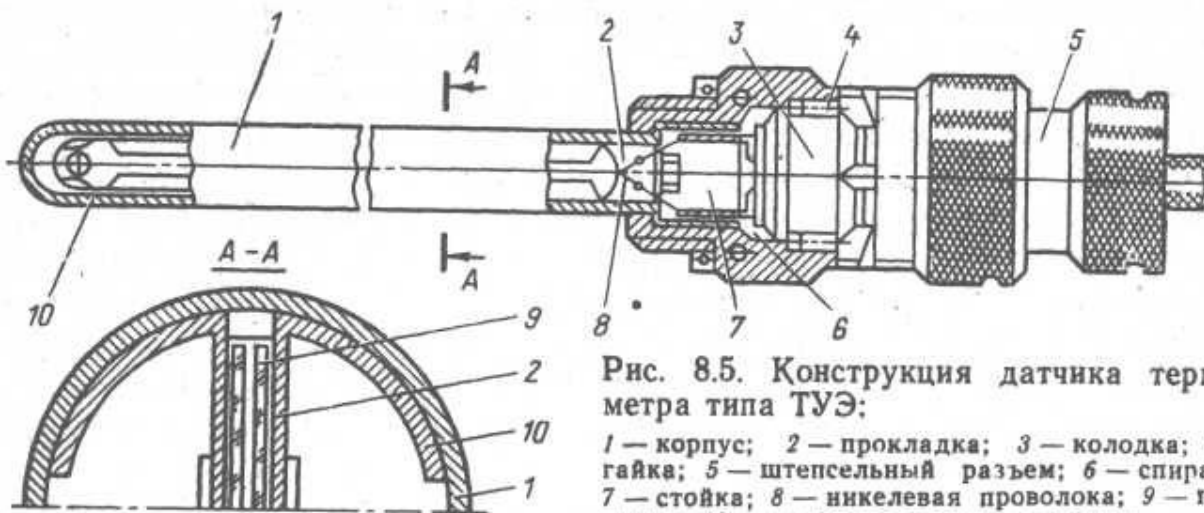


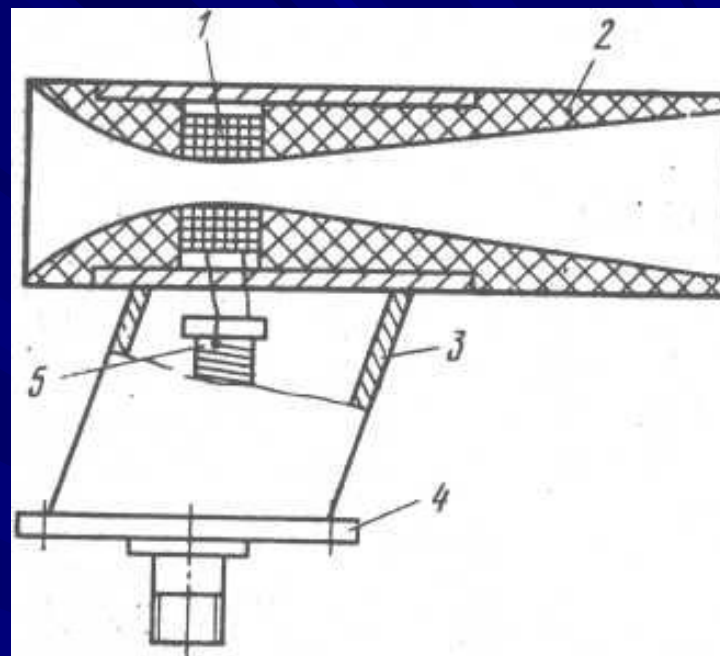
Рис. 8.5. Конструкция датчика термометра типа ТУЭ:

1 — корпус; 2 — прокладка; 3 — колodka; 4 — гайка; 5 — штепсельный разъем; 6 — спираль; 7 — стойка; 8 — никелевая проволока; 9 — пластина; 10 — теплопроводящая пластина

Теплочувствительным элементом служит никелевая проволока 8, намотанная на каркас 9 (пластину из слюды). Изоляция проволоки внешней стороны осуществляется тонкими слюдяными прокладками 2. Для улучшения теплообмена чувствительного элемента с окружающей средой служат серебряные пластины 10. Используется с **термометром ТУЭ - 48**

2.12. Приемники температуры: П-1, П-5, П-69, П-104 17

Приемник температуры П - 5

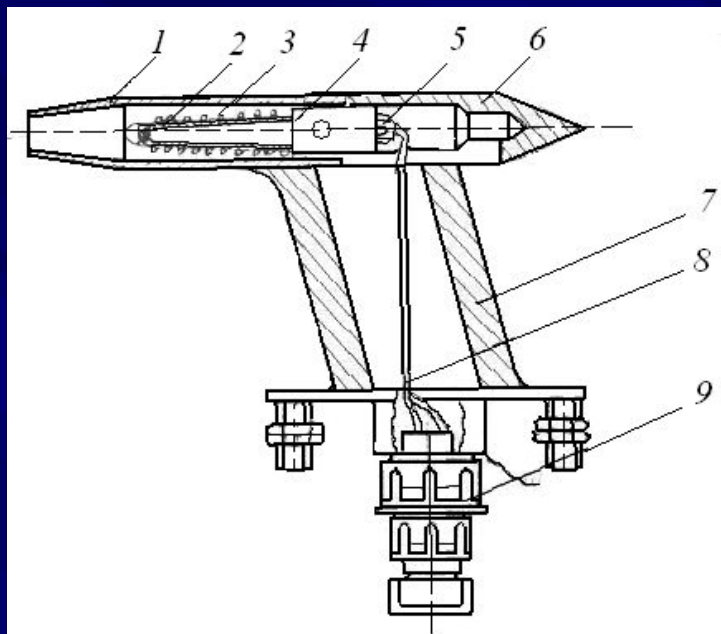


Используется с **термометром ТНВ – 15**.
Служит для дистанционного измерения температуры торможения наружного воздуха при скоростях полета до 1800 км/ч.

$$T = \frac{T_{чэ}}{0,978(1 + 0,2M^2)}$$

2.12. Приемники температуры: П-1, П-5, П-69, П-104 16

Приемник температуры П - 69



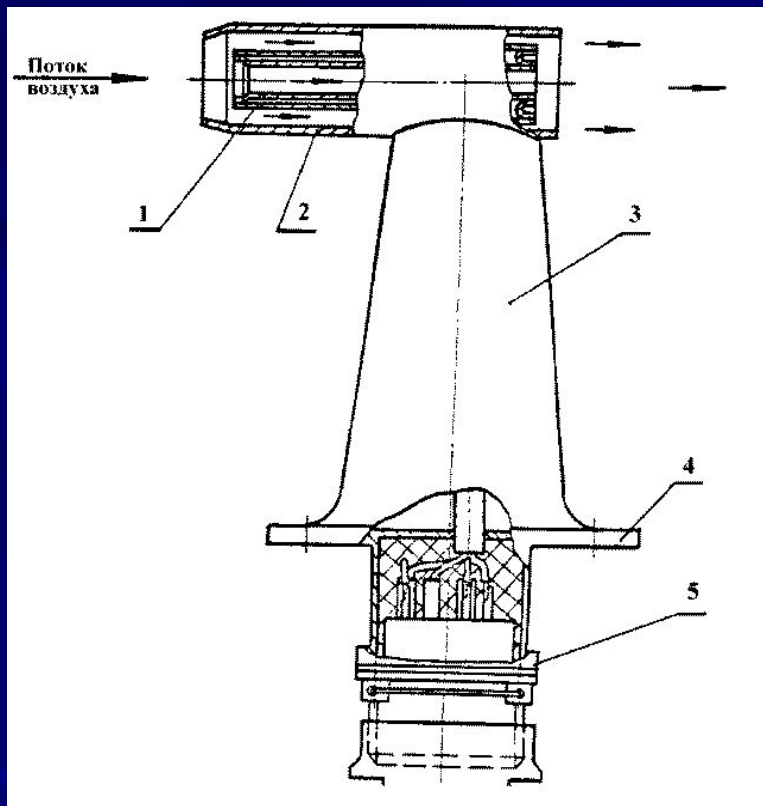
Входит состав ИК-ВСП-10 и СВС-72 для определения истинной скорости.

Приёмник температуры П-69-2М состоит из корпуса 1, внутри корпуса находятся два чувствительных элемента (изоляционная пластинка 2, на которую бифилярно намотана платиновая микропроволока 3 (так мотают проволочные резисторы, что бы паразитная индуктивность была минимально возможной)).

Все детали приёмника крепятся к стойке 7 и втулке 6, выполненные из жаропрочной хромоникелевой стали. Для защиты от солнечной радиации поверхность датчика полируется. Выходные концы 8 сопротивления через колодку 5 и трубку 4 соединены со штепсельным разъёмом 9.

2.12. Приемники температуры: П-1, П-5, П-69, П-104 15

Приемник температуры П - 104

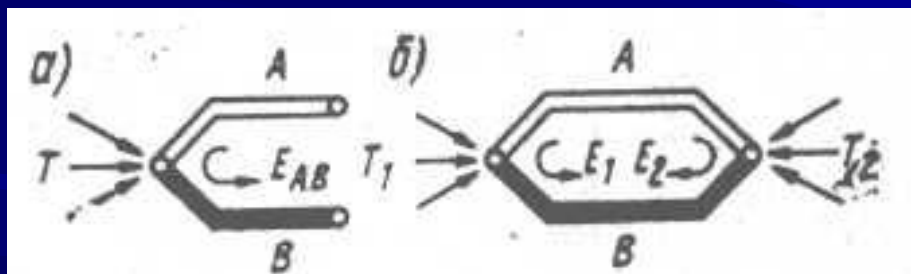


Входит состав ИК-ВСП-10 для определения истинной скорости.

Датчик П-104 предназначен для измерения температуры торможения потока воздуха и выдачи электрических сигналов, пропорциональных температуре заторможенного потока воздуха, в СВС и системы регулирования двигателей.

2.13. Термоэлектрические термометры типа ТЦТ, ТВГ¹⁴ и компенсационного типа

Принцип действия термоэлектрического термометра основан на использовании термоэлектрического эффекта, заключающегося в возникновении термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) в спае двух проводников из двух разнородных токопроводящих материалов при наличии разности температур места соединения проводников и их свободных концов. Такая цепь, составленная из двух разнородных металлов, называется термопарой. Проводники, из которых состоит термопара, называются термоэлектродами. Одну точку соединения термоэлектродов называют рабочим концом (горячим спаем), а другую - свободным концом (холодным спаем).

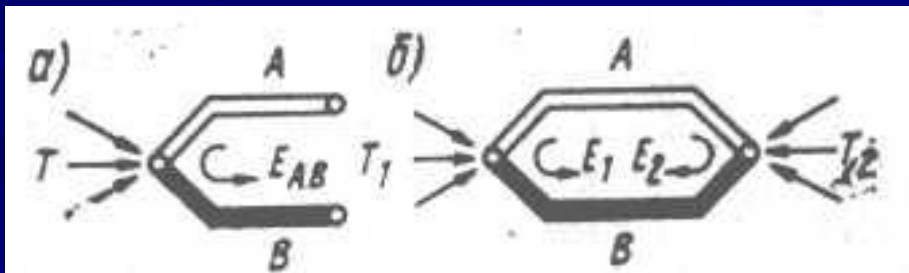


2.13. Термоэлектрические термометры типа ТЦТ, ТВГ¹³ и компенсационного типа

Принцип действия термопары.

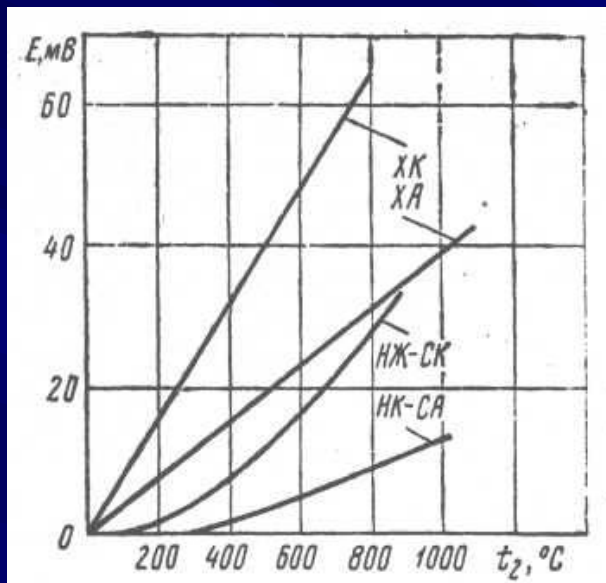
Атомы металлов составляют пространственную решетку, внутри которой свободные электроны, участвующие в тепловом движении, образуют электронный газ. Плотность электронного газа для разных металлов неодинакова. Из-за этого на границе соприкосновения двух разнородных металлов возникает стремление к выравниванию плотности электронного газа. Часть электронов переходит из одного металла в другой. При этом один металл заряжается положительно, другой отрицательно.

Возникает контактная разность потенциалов, которая уравнивает разность давления электронного газа. Контактная разность потенциалов не зависит от формы и геометрических размеров термоэлектродов и определяется разностью температур горячего и холодного спаев и свойствами металлических проводников термопары.



$$e = f(t_{ac}) - (t_{xc})$$

2.13. Термоэлектрические термометры типа ТЦТ, ТВГ¹² и компенсационного типа



Каждая термопара, состоящая из двух термоэлектродов, характеризуется зависимостью изменения термоЭДС от температуры, называемой градуировкой. Наиболее широкое применение в авиационных термометрах получили термопары: хромель-копелевая (хромель - сплав из 89% Ni, 9,8% Cr, 1% Fe, 0,2% Mn; копель - сплав из 45% Ni, 55% Cu); хромель-алюмелевая (алюмель - сплав из 94% Ni, 0,5% Fe, 2% Al, 2,5% Mn и 1% Si), железо-копелевая, медькопелевая, медьконстантановая и др. В обозначениях градуировок первым указывается положительный термоэлектрод, вторым "отрицательный".

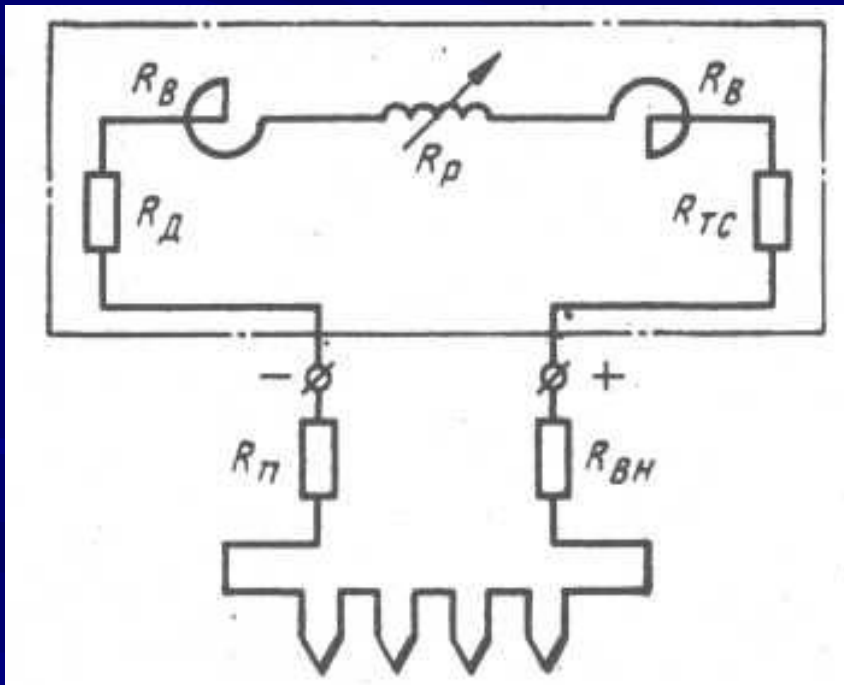
Измеряя термо ЭДС, развиваемую термопарой, можно определить температуру горячего спая. Это измерение может быть выполнено с помощью гальванометра или компенсационным методом.

К термоэлектрическим термометрам, измеряющим термоЭДС прямым методом (с помощью гальванометра), относятся термометры типа ТВГ, ИТГ, ТСТ, ТЦТ. Электрические схемы их одинаковы, отличия заключаются только в способах соединения термопар.

2.13. Термоэлектрические термометры типа ТЦТ, ТВГ¹¹ и компенсационного типа

Термоэлектрические термометры типа ТВГ и ТСТ применяются для измерения температуры движущихся газов, типа ТЦТ – для измерения температуры твердых тел, типа ИТ- для измерения температуры движущихся газов с компенсационными схемами измерения.

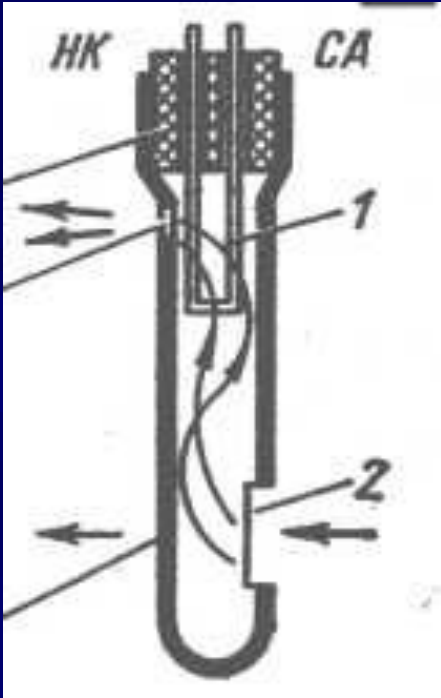
Термометр ТВГ-11Т



Используется для измерения температуры выходящих газов ГТД.

В комплект термометра входят указатель и блок последовательно соединенных термопар Т-1 типа НК-СА, располагаемых симметрично входного сечения реактивного сопла. В результате измеряется средняя температура газов. Диапазон шкалы прибора от 300 до 900⁰ С.

Термометр ТВГ-11Т



Термопары помещаются в защитные чехлы из жаропрочной стали. Выходное калиброванное отверстие 1 обеспечивает течение газа внутри кожуха, улучшая теплопередачу от поверхности входного окна 2 к горячему спаю. В результате существенно уменьшаются динамические погрешности термометра.

Погрешности ТВГ-11 в рабочем диапазоне шкалы не выше ± 15 С.

Термометр ТЦТ-13

Предназначен для дистанционного измерения температуры головки цилиндра. В комплект термометра входят измеритель ТЦТ-1 (прибор магнитно-электрической системы) и термопара Т-3. Горячий спай термоэлектрического преобразователя Т-3 градуировки ХК прикрепляется к медному кольцу, которое устанавливается под зажигательную свечу поршневого авиадвигателя.

Измеритель ТЦТ-1 установлен на центральной панели приборной доски и служит для визуального контроля температуры головок цилиндров. Между собой измеритель и термопара соединяются двумя проводами. При нагреве термопары Т-3 по электрической проводке ток поступает на измеритель ТЦТ-1. Шкала указателя имеет градуировку - от -50 до $+350^{\circ}\text{C}$, цена деления 10°C .

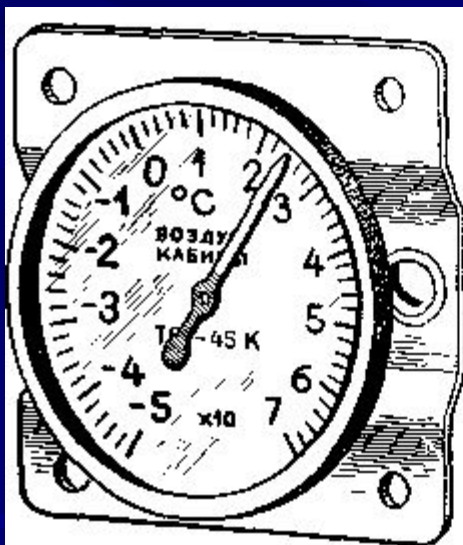
В процессе эксплуатации необходимо следить, чтобы не было оголения проводов термопары и их соприкосновения с металлическими деталями самолета.

Термоэлектрический термометр ТСТ. Предназначен для измерения температуры выходящих газов турбостартеров

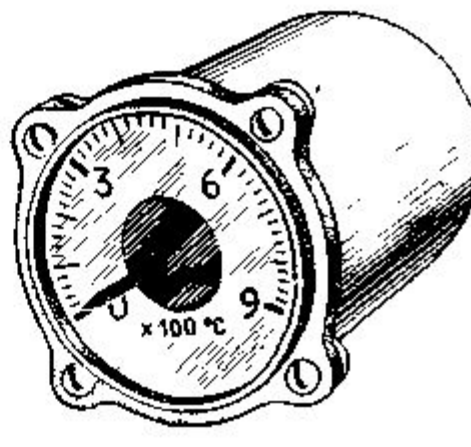
Электрические схемы термометров ТЦТ, ТВГ, ИТГ, ТСТ одинаковы, отличия заключаются только в способах соединения термопар.

Термоэлектрический термометр ТСТ

Термометр термоэлектрический ТСТ-299 предназначен для измерения температуры выходящих газов двигателей АИ-25. Комплект термометра ТСТ-299 состоит из четырех сдвоенных термопар Т-99, установленных по окружности реактивного сопла и указателя ТСТ-2, установленного на средней амортизированной панели приборной доски самолета Як-40.



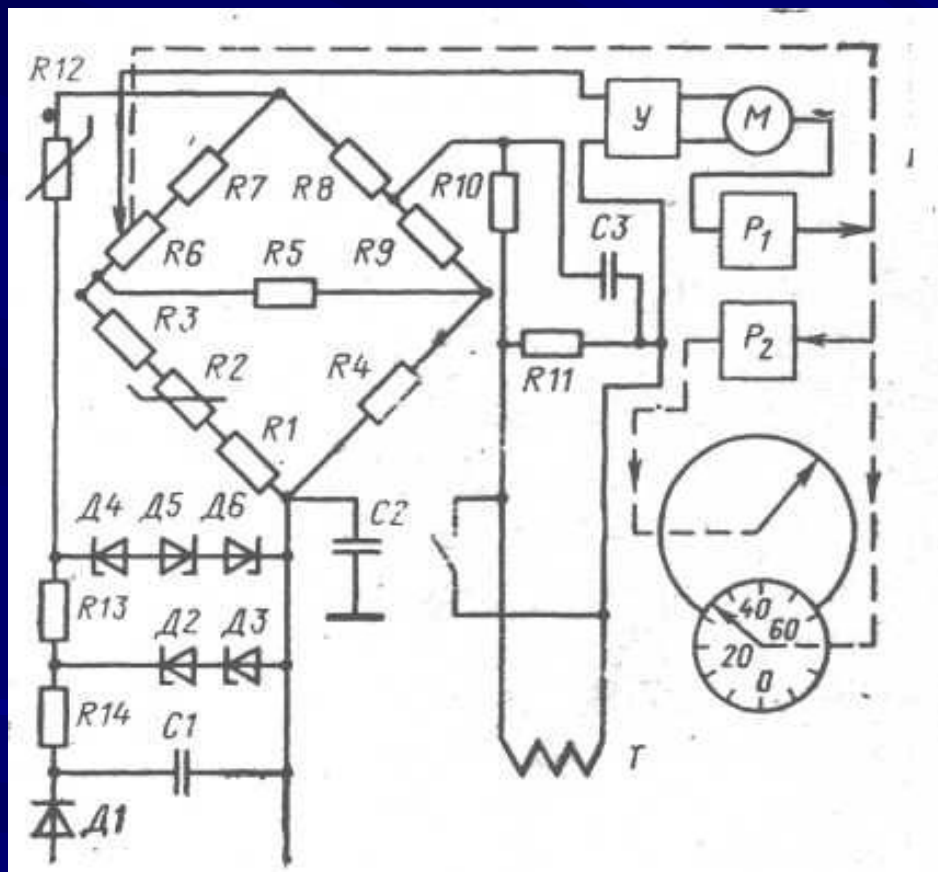
Термометр ТВ-45К



Термометр ТСТ - 299

Термометр компенсационного типа 2ИА-6

Компенсационные термоэлектрические термометры имеют более высокую точность, кроме того, они обеспечивают электрическую сигнализацию о превышении предельно допустимой температуры.

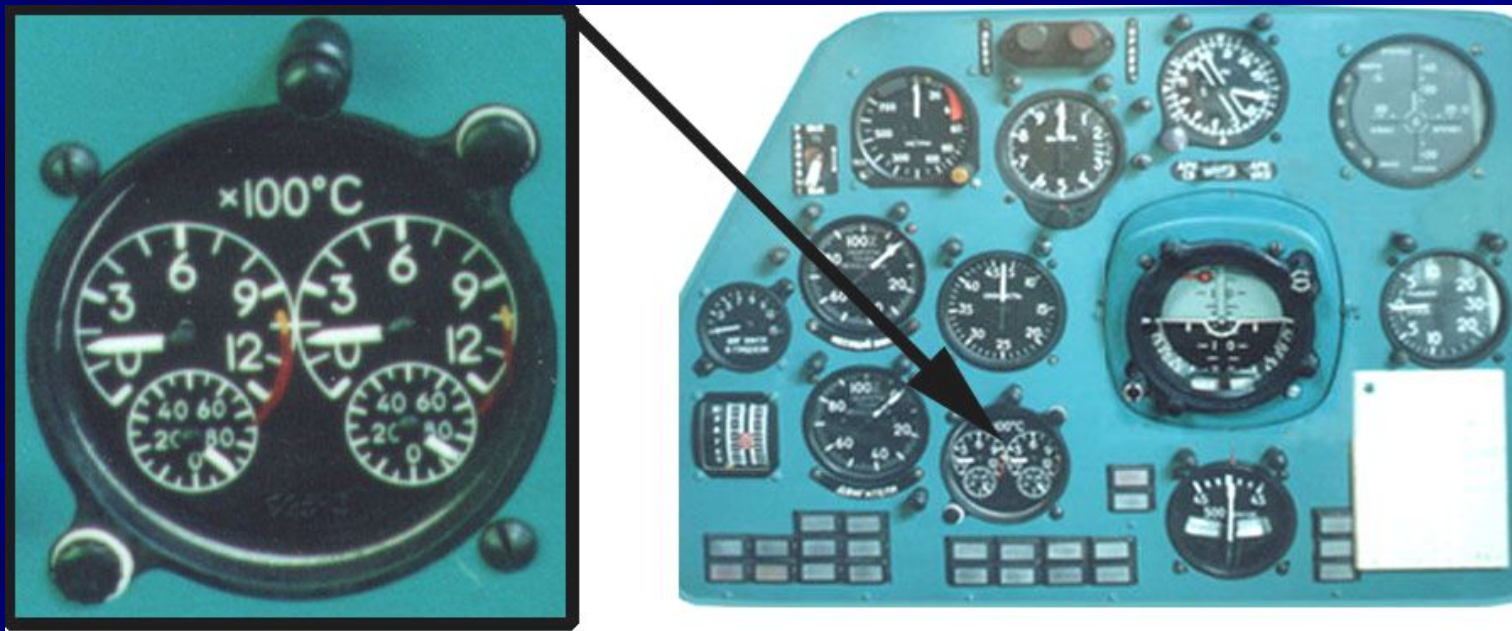


Разность термоЭДС, снимаемая с термопар T , и напряжение компенсации, снимаемое с мостовой схемы (резисторы $R1 — R9$), поступает на усилитель U и двухфазный индукционный реверсивный двигатель M . Последний через редукторы $P1$ и $P2$ перемещает стрелки указателя и изменяет сопротивление $R6$ до тех пор, пока напряжение мостовой схемы не скомпенсирует термоЭДС с термопар T .

Общие суммарные погрешности прибора $\pm 10^\circ \text{C}$ при диапазоне измерений 300... 1000 $^\circ \text{C}$.

Термометр компенсационного типа 2ИА-6

Сдвоенная измерительная аппаратура 2ИА-6 предназначена для измерения температуры газов двигателей. Аппаратура работает в комплекте с термопарами Т-102 соединенными параллельно. Шкалы грубого отсчета имеют предел измерения от 0 до 1200°С с ценой деления 100°С. Шкалы точного отсчета имеют предел измерения от 0 до 100°С с ценой деления 5°С.



2.14. Погрешности термометров сопротивления и термоэлектрических термометров и способы их компенсации

Погрешности термометров сопротивления

Методическая погрешность. Температура ЧЭ в установившемся режиме превышает измеряемую из-за нагрева термосопротивления протекающим током. Подбором параметров измерительной схемы ее снижают до допустимого уровня.

Инструментальная погрешность. Складывается из погрешностей приемника и указателя. Температурная инструментальная погрешность указателя обусловлена зависимостью сопротивлений катушек логометра от температуры в корпусе указателя. Для ее компенсации используются медные резисторы R3, R4 и R7.

Статическая погрешность. Связана в основном с неточностью изготовления его ЧЭ.

Динамическая погрешность. Обусловлена запаздыванием передачи (отвода) тепла в приемнике между теплочувствительным элементом и окружающей средой. Их уменьшение практически может достигаться в основном увеличением коэффициента теплопередачи ЧЭ (в термометрах ТУЭ-48 для этого служат серебряные пластины).

Остальные инструментальные погрешности указателя аналогичны характерным для указателей манометров. В целом статические погрешности (приведенные) ТУЭ-48 не превышают 1,5%.

Погрешности термоэлектрических термометров

Погрешности термоэлектрических термометров складываются из погрешностей датчика, электроизмерительной схемы и указателя. В основном **погрешности датчика** аналогичны погрешностям датчика термометра сопротивления. Погрешности возникают из-за потерь от теплоизлучения и теплопроводности, из-за торможения газового потока, инерционности. Нагрев термопары протекающим током влияет незначительно на результат измерения. Дополнительные погрешности имеют место из-за паразитных термоЭДС, зависящих от температуры в местах соединения проводников.

Погрешности электроизмерительной схемы вызываются изменением сопротивления электрической цепи, в частности сопротивления рамок указателя при изменении температуры окружающей среды. Для уменьшения этих погрешностей в схеме предусмотрены термочувствительные резисторы.

В термометрах типа ТЦТ подобную роль играет биметаллический корректор, закручивающий или раскручивающий противодействующие пружины указателя.

Погрешности указателя имеют место также из-за действия вредных сил трения в опорах, небаланса подвижной системы, изменения жесткости пружины и магнитной индукции в зазоре при изменении температуры.

Особенности эксплуатации термометров

Проверка термометров всех типов осуществляется с помощью установки УПТ-1М. Для проверки аппаратуры ИА используется также контрольный прибор КП-5, а для термометров ТЦ - аппаратура УК-83.

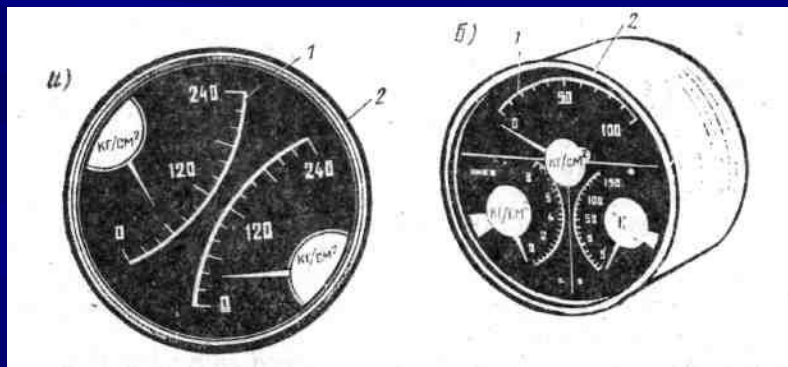
При проверке указателей термо ЭДС заменяется напряжениями, снимаемыми с контрольного потенциометра, и сравниваются показания проверяемого и эталонного указателей. Для проверки указателей термометров сопротивления изменения сопротивления имитируют с помощью магазина сопротивлений. Проверка датчиков термометров сопротивления с никелевым чувствительным элементом осуществляется путем сравнения R с сопротивлениями эталонных резисторов для двух значений температуры (0°C и 100°C).

2.15. Комбинированные приборы контроля работы авиадвигателей типа ЭМИ

2

С целью упрощения отображения информации, необходимой для оценки соответствия параметров текущего режима полета заданным, в авиации наряду с отдельными приборами используются комбинированные указатели. Они представляют собой приборы, объединяющие в едином корпусе указателя несколько малогабаритных вторичных измерителей со своими стрелками (индексами, опорными линиями).

При построении комбинированных приборов возможно объединение в едином корпусе двух вторичных измерителей однородных параметров, а также трех и более вторичных измерителей разнородных параметров одной системы. Примером первого способа комбинирования может служить манометр 2ДИМ-240К, предназначенный для измерения давления гидросмеси в основной и аварийной гидросистемах самолета Як-40. В комплект входят два датчика (ИД-240), установленные в гидроотсеке, и сдвоенный указатель (УИ-240К), установленный на приборной доске (рис., а)

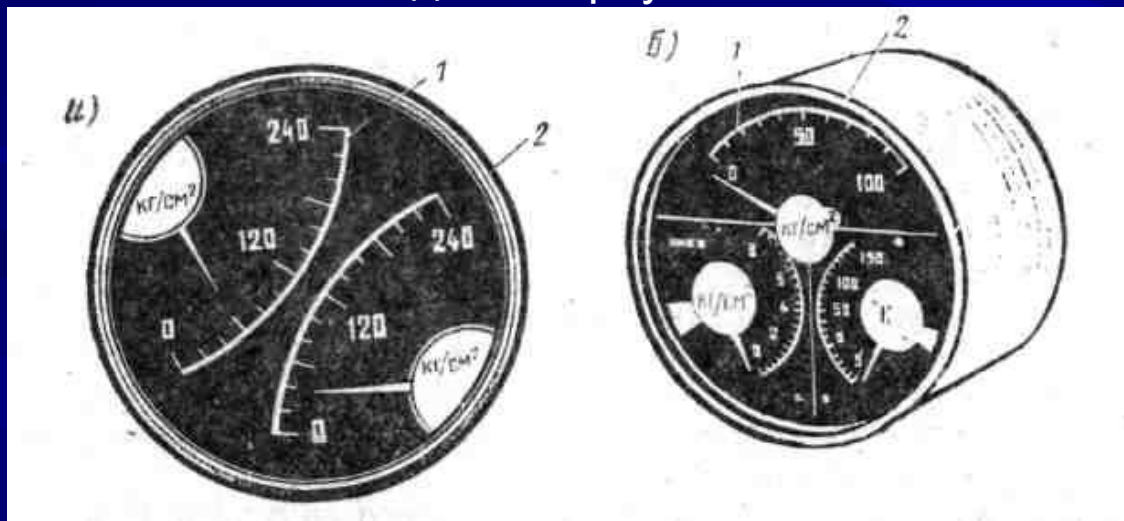


Другим представителем этой группы приборов является двухстрелочный тахометр ИТЭ-2Т, измеряющий частоту вращения компрессоров высокого и низкого давления двигателя самолета Ту-154.

2.15. Комбинированные приборы контроля работы авиадвигателей типа ЭМИ

Второй способ комбинирования реализован в трехстрелочных моторных индикаторах типа ЭМИ-ЗР, широко применяемых на современных самолетах. Например, на самолетах Ту-154, Ил-62 используется индикатор ЭМИ-ЗРТИС (рис., б) для дистанционного измерения давления топлива перед форсунками, давления и температуры масла на входе двигателя. Данный индикатор состоит из трех независимых измерителей: двух манометров типа ДИМ и термометра типа ТУЭ.

В комплект ЭМИ-ЗРТИС входят: индуктивный датчик (ИДТ-100С) давления топлива, индуктивный датчик (ИДТ-8С) давления масла и датчик (П-63) температуры масла, трехстрелочный указатель (УИЗ-3). Указатель УИЗ-3 выполнен в виде трех магнитоэлектрических логометрических измерителей, расположенных в одном корпусе.



Допустимые погрешности измерений:

по давлению - не более $\pm 1,5\%$ максимального значения шкалы; по температуре масла - не более $\pm 4^\circ\text{C}$.