

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева

ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания
к лабораторной работе

С а м а р а 1 9 9 4

Составители: А.Г.Гимадиев,
Г.И.Берестнев, А.Н.Крючков

УДК 629.036

Датчики электронных систем автоматического управления: Метод. указания /Самар. аэрокосм. ун-т; Сост. А.Г.Гимадиев, Г.И.Берестнев, А.Н.Крючков. Самара, 1994. 36 с.

Приведены конструктивные схемы и изложен принцип действия датчиков основных параметров авиационных двигателей. Даны методические указания по проверке характеристик датчиков температуры, давления, перепада давления, частоты вращения, входящих в состав электронных систем автоматического управления.

Методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальности 13.02.08 по курсу "Электронные системы управления", выполнены на кафедре АСЭУ.

Рецензенты: Н.В.Дилличенский,
А.Т.Прутсков

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева



Датчики являются одними из основных элементов электронной системы автоматического управления (ЭСУ) авиационных двигателей. Они предназначены для измерения фактического значения регулируемого параметра и выдачи соответствующего электрического сигнала для сравнения с предписанным его значением. От точности и надежности датчиков во многом зависит точность и надежность всей системы. Поэтому к датчикам предъявляют достаточно жесткие требования по их точности, диапазону работы, надежности в условиях эксплуатации, характеризуемых высокой и низкой температурой, большим уровнем вибраций.

К важному этапу проектирования ЭСУ относятся выбор и проверка первичных преобразователей и датчиков, удовлетворяющих заданным техническим требованиям. Правильный выбор датчиков ЭСУ можно осуществить только при наличии достаточных знаний о схемах, принципах действия, характеристиках применяемых в настоящее время измерительных средств. В методических указаниях изложены сведения о датчиках систем управления и контроля параметров авиационных двигателей и порядок проверки их характеристик на соответствие паспортным данным.

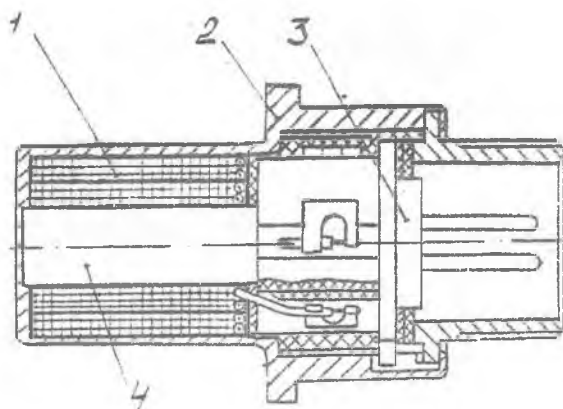
1. ДАТЧИКИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ДЧВ-2500

1.1. Схема, принцип действия и основные характеристики датчика частоты вращения

Датчики частоты вращения предназначены для пропорционального преобразования скорости вращения вала изделия в частоту электрических сигналов, подаваемых в систему управления. Наибольшее распространение из применяемых в настоящее время датчиков частоты вращения получили электроиндукционные как обладающие наибольшей надежностью и простотой. Поэтому в данной работе рассмотрен датчик ДЧВ-2500, собранный на постоянном магните (рис. 1). Датчик работает следующим образом. При вращении индуктора, находящегося на валу изделия, каждый из его зубьев, проходя в непосредственной близости от торца датчика, изменяет магнитное поле, охватывавшее витки катушки I. При этом возникает э.д.с. индукции в катушке датчика. Частота импульсов напряжения, снимаемая с датчика, соответствует частоте прохождения зубьев мимо торца датчика и зависит от скорости вращения индуктора и, следовательно, вала изделия. Датчик имеет две независимые обмотки для осуществления дублирования.

Крепление датчика на изделии осуществляется с помощью накидного фланца. Винты, крепящие датчик, должны быть законтрены. Внешнее электрическое соединение датчика осуществляется через розетку четырехштырькового штепсельного разъема типа 2РМД18 с гнездами под контактные штыри диаметром 1,5 мм. Накидная гайка штепсельного разъема должна быть втянута и законтрена.

В процессе установки, монтажа и эксплуатации датчика не допускается попадание топлива, масла и других жидкостей на токоведущие детали штепсельного разъема.



Р и с. 1. Конструктивная схема датчика частоты вращения ДЧВ-2500: 1 - катушка; 2 - корпус; 3 - колодка; 4 - магнит

Основные характеристики датчика

1. Амплитуда выходных импульсов датчиков должна быть не менее 180 мВ при частоте следования 250 Гц и не менее 1 В при частоте следования 2500 Гц при следующих параметрах индуктора и внешней нагрузки обмоток:

- а) зазор между торцами зубьев индуктора, выполненного из стали 14X17H2, и торцом датчика - $1,3_{-0,1}^{+0,1}$ мм;
- б) число торцевых зубьев на индукторе с прямоугольными пазами шириной 6 мм при среднем диаметре 120 мм составляет $Z = 32$;
- в) активная нагрузка обмоток датчика $R_N = 2$ ком.

Частота следования выходных импульсов 2500 Гц соответствует 100% максимальной частоты вращения.

2. Датчик должен сохранять работоспособность при воздействии вибрационных нагрузок в диапазоне частот:

- 10-50 Гц с амплитудой 0,5-0,7 мм;
- 50-250 Гц с перегрузкой 10-15 g ;
- 250-300 Гц с перегрузкой 15-18 g ;
- 300-500 Гц с перегрузкой 18-30 g ;
- 500-1000 Гц с перегрузкой 30 g ;
- 1000-3500 Гц с перегрузкой 30-80 g ;
- 3500-5000 Гц с перегрузкой 80 g .

Датчик должен сохранять работоспособность: при воздействии нагрузок с ускорением до $12g$ с длительностью ударного импульса 20-50 мс и числом ударов 40-80 в минуту; при воздействии линейных нагрузок до $10g$, действующих в любом направлении; при воздействии акустических шумов в диапазоне частот от 50 Гц до 10 кГц при уровне до 150 дБ; при изменении температуры от -60°C до 220°C длительно и до 300°C кратковременно (не более двух минут за цикл работы объекта - 1,5% за ресурс).

3. Масса датчика - не более 0,09 кг.

4. Надежность датчика характеризуется вероятностью его безотказной работы $P = 0,999$. Для проверки соответствия датчика предъявляемым к нему требованиям устанавливают три вида испытаний: контрольные, приемосдаточные, периодические.

При контрольных испытаниях проверяется внешний вид и маркировка; габаритные размеры; масса; амплитуда выходных импульсов; электрическое сопротивление изоляции; электрическая прочность изоляции. Приемосдаточные испытания проводятся по программе контрольных испытаний. Периодические испытания включают в себя: контрольные испытания; проверку электрической прочности и сопротивления изоляции при различных условиях; поиск резонанса конструктивных элементов; проверку на устойчивость к воздействию механических и климатических факторов; проверку ресурса при различных воздействиях.

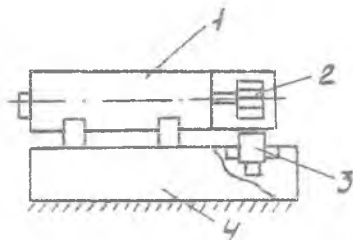
Отыскание и устранение неисправностей датчика ДЧВ-2500

Неисправность, внешнее проявление	Вероятная причина	Указание по определению неисправного элемента	Указание по устранению неисправностей
При вращении индуктора датчик не выдает электрический ток	1. Плохо закреплен штепсельный разъем 2. Обрыв обмоточного провода катушки	1. Проверить отсутствие ослабления затяжки накидной гайки штепсельного разъема 2. Проверить наличие электрического контакта между штырями 1 и 2, 3 и 4	Довернуть и законтрогить накидную гайку штепсельного разъема; заменить датчик, возвратив неисправный датчик предприятию-изготовителю

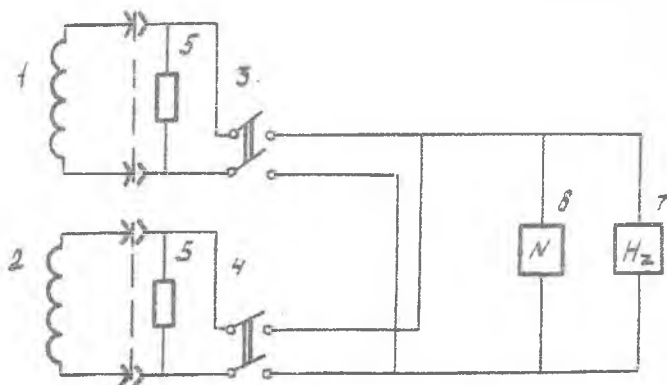
1.2. Проверка формы и величины уровня выходных импульсов датчика ДЧВ-2500

Для проверки формы и величины уровня выходных импульсов датчик устанавливается в приспособление согласно рис. 2 и подключается к измерительным приборам в соответствии с электрической схемой на рис. 3.

Изменяя скорость вращения индуктора, устанавливается частота следования выходных импульсов датчика 250 Гц и замеряется амплитуда выходных импульсов на каждой из обмоток при помощи электронного осциллографа. Величина и форма импульсов заносятся в протокол испытаний. Затем устанавливается частота следования импульсов 2500 Гц и вновь замеряется амплитуда выходных импульсов датчика с каждой из обмоток.



Р и с. 2. Схема установки датчика ДЧВ-2500 при проверке формы и уровня выходного сигнала: 1 - электродвигатель; 2 - индуктор; 3 - датчик ДЧВ-2500; 4 - станина

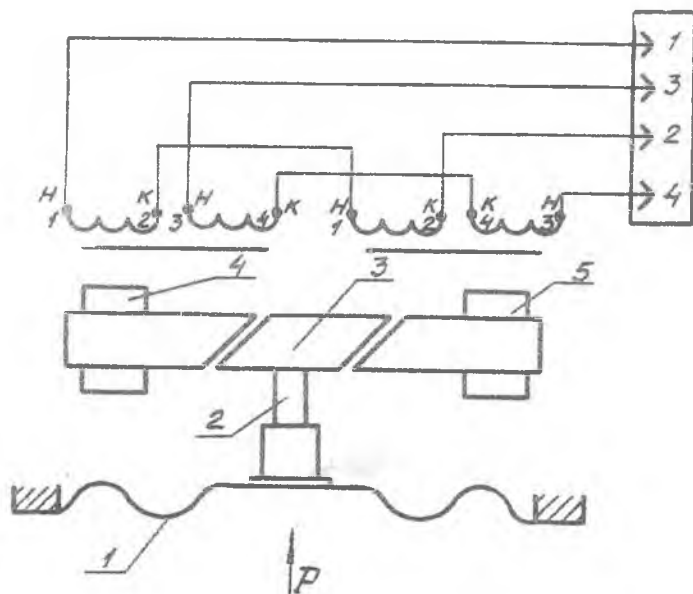


Р и с. 3. Электрическая схема подключения измерительных приборов к датчику частоты вращения ДЧВ-2500: 1, 2 - обмотки датчика; 3, 4 - тумблеры; 5 - нагрузочное сопротивление 2 кОм; 6 - электронный осциллограф; 7 - частотомер

Результаты считаются удовлетворительными, если величина амплитуды выходных импульсов, замеренная в нормальных климатических условиях, не менее 0,2 В при частоте следования выходных импульсов 250 Гц и не менее 1 В при частоте следования импульсов 2500 Гц.

2. ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ТИПА ДАТ

2.1. Схема, принцип действия и основные характеристики датчиков давления типа ДАТ



Р и с. 4. Принципиальная схема датчика давления типа ДАТ: 1 - чувствительный элемент; 2 - шток; 3 - якорь; 4 и 5 - катушки с сердечником

Датчик автоконтроля теплостойкий (ДАТ) предназначен для дистанционного измерения избыточного давления нейтральных жидкостей и газов, в том числе топлива, масел и воздуха с выкачей электрического сигнала. Датчик ДАТ состоит из следующих основных узлов: приемный

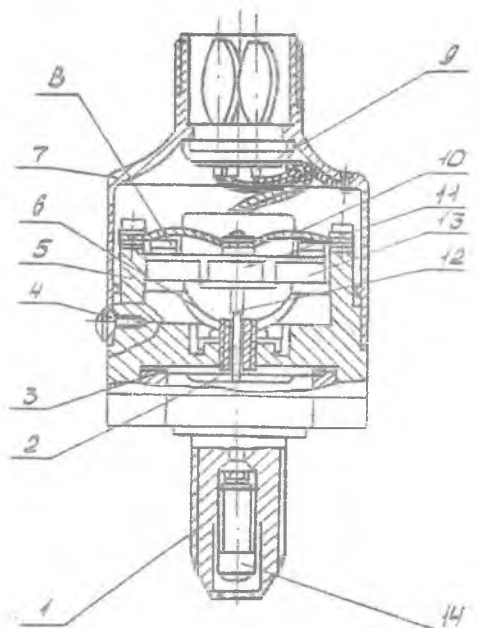
узел, якорь с деталями, нижняя и верхняя катушки и кожух с вилкой (рис.4). Приемный узел состоит из корпуса I, мембраны 2, крышки приемного узла и кольца 3 (рис. 5). В крышку приемного узла вворачивается упор 6, который предохраняет мембрану от разрушения. На крышке приемного узла с помощью винтов 8 крепятся верхняя и нижняя катушки с сердечниками 13, а также возвратная пружина 10. На возвратной пружине 10 жестко закреплен якорь II и шток 12, служащий для механической связи якоря с мембраной. Провода от катушек подпаиваются к контактам вилки 9, смонтированной в кожухе. Сверху датчик закрывается защитным кожухом 7.

Датчик работает по схеме дифференциального трансформатора. Избыточное давление воздействует на чувствительный элемент I датчика (см.рис.4). Деформация чувствительного элемента передается на шток 2, жестко связанный с якорем 3, изменяющим зазоры магнитных цепей катушек 4 и 5, что приводит к изменению выходного напряжения.

Датчик может быть выполнен в двух вариантах:

со штуцером, обеспечивающим подсоединение к источнику измеряемого давления с помощью трубопровода (ДАТ);

со штуцером, обеспечивающим подсоединение к источнику измеряемого давления путем непосредственного вворачивания в тело объекта контроля (ДАТ-С).



Р и с. 5. Конструктивная схема датчика давления типа ДАТ: I - корпус; 2 - мембрана; 3 - кольца; 4 - винт; 5 - крышка; 6 - упор; 7 - кожух; 8 - винт; 9 - вилка; 10 - пружина; 11 - якорь; 12 - шток; 13 - катушка с сердечником; 14 - цемфлер типа Д59

Для защиты датчиков от гидроударов и пульсаций во входной штуцер датчиков на давления I; I,6; 2,5; 4; 25 кгс/см² вворачивается демпфер Д59-4, а на давления 40; 80; 150; 400 кгс/см² - демпфер Д59-2.

Основные характеристики датчиков

1. Датчики работоспособны в интервале температур измеряемой и окружающей среды от -60°C до +220°C и при воздействии температуры +250°C в течение 15 мин.
2. Питание датчика осуществляется от сети переменного тока напряжением 36 В $\pm 1,8В$ с частотой 400 Гц ± 8 Гц. Коэффициент нелинейных искажений формы питающего напряжения не более 8%.
3. Датчики должны иметь единую тарировочную характеристику. Выходное напряжение переменного тока на нагрузку I кОм должно соответствовать табл. I.

Т а б л и ц а I

Тарированные точки в % от $P_{НОМ}$	0	20	40	60	80	100
$U_{вых}, В$	0,5	1,34	2,21	3,11	4,04	5,00

Аналитическое выражение для определения выходного напряжения в зависимости от давления имеет следующий вид:

$$U = 0,5 + 0,35 \left(\frac{P}{P_{НОМ}} \right)^2 + 4,15 \left(\frac{P}{P_{НОМ}} \right),$$

где P - текущее значение давления;
 $P_{НОМ}$ - номинальное значение давления, равное верхнему пределу измерения датчика.

4. Погрешности датчиков при питании напряжением переменного тока 36±1 В с частотой 400 Гц ±6 Гц и коэффициентом нелинейных искажений не более 0,5% при нормальных условиях и всех дестабилизирующих факторах не превышает ±0,2 В в рабочем диапазоне измерения и ±0,25 В - в остальном. Потребляемый ток не превышает 95 мА.

5. Датчики с диапазоном измерения 0-1; 0-1,6; 0-2,5 кгс/см² вибропрочны в диапазоне частот от 20 до 300 Гц с перегрузкой до 10g. Датчики с диапазоном свыше 2,5 кгс/см² вибропрочны от 20 до 170 Гц с перегрузкой до 10g, от 170 до 500 Гц - от 10g до 30g, свыше 500 Гц до 3500 Гц - 30g, от 3500 до 5000 Гц - 60g.

6. При работе датчиков на выпрямительную линию, содержащую конденсатор, и при наличии пульсаций давления с частотой большей или равной граничной частоте пропускания выпрямителя, возникает ошибка в определении среднего давления до 20% от предела измерения. Для устранения этой возможной ошибки необходимо, чтобы постоянная времени выпрямителя с фильтром была меньше постоянной времени датчика, которая определяется его конструкцией (не менее 0,05 с).

7. Сопротивление изоляции электрических цепей датчика при нормальных условиях не менее 20 Мом.

8. Масса датчика не превышает 0,215 кг.

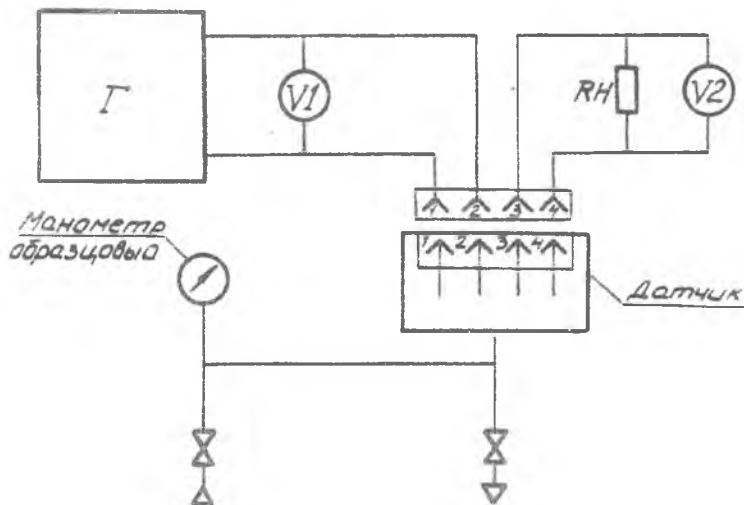
Датчик ДАТ устанавливается на изделии на кронштейне и закрепляется при помощи гайки. Присоединение датчика к объекту контроля осуществляется с помощью трубопровода. Перед присоединением конец трубопровода развальцовывают, предварительно надев на трубопровод гайку и шпатель.

Датчик давления типа ДАТ-С подсоединяется к объекту контроля путем вворачивания в тело изделия. Соединение датчика с источником электрического питания и системой автоматизированного контроля производится проводами с сечением 0,35-0,5 мм².

2.2. Проверка точности датчика ДАТ при измерении статического давления

Для проверки точности датчиков типа ДАТ собирают схему проверки, представленную на рис. 6. Включают электрическое питание и плавно подают давление воздуха в датчик. Постепенно повышают давление до максимального значения, отсчитывая при этом показания выходного напряжения по вольтметру на тарированных точках в соответствии с табл. I. На последней тарированной точке дается выдержка в течение одной минуты, после чего давление плавно снижается до нуля с отсчетом погрешностей на тех же точках.

Дается оценка погрешности датчика при измерении давления в процессе его нагружения давлением и спаде давления, и делается вывод о пригодности датчика ДАТ к использованию в системах контроля и управления двигателя.



Р и с. 6. Схема проверки датчика давления типа ДАТ: Г - источник электрического напряжения 36 В \pm 1,08 В, 400 Гц \pm 6 Гц, $K_{\text{э}} \leq 0,5\%$, V1 - вольтметр переменного тока для измерения входного напряжения с погрешностью не более 0,3% при частоте 400 Гц; V2 - вольтметр переменного напряжения для измерения среднего значения напряжения до 5 В на выходе из датчика с погрешностью не более 0,8%; R_H - сопротивление нагрузки, равное 1000 Ом \pm 50 Ом (с учетом внутреннего сопротивления вольтметра V2)

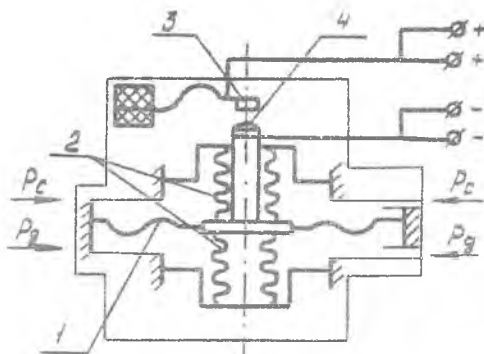
3. СИГНАЛИЗАТОР ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ТИПА СПТ

3.1. Схема и принцип действия сигнализатора перепада давления

Сигнализатор перепада давления топлива (СПТ) предназначен для замыкания электрической цепи при повышении или понижении в системе перепада давления жидкостей и газов. Сигнализатор выполняется в двух вариантах: с нормально разомкнутыми и замкнутыми контактами (при отсутствии перепада давления). К шифру сигнализатора с нормально разомкнутыми контактами добавляется буква "А". Число, входящее в шифр сигнализатора, означает номинальную величину перепада давления сра-

бавляния. Например: СПТ-0,4

— сигнализатор замыкает электрическую цепь при снижении перепада давления ниже $0,4 \text{ кгс/см}^2$; СПТ-0,4А — сигнализатор замыкает электрическую цепь при повышении перепада давления свыше $0,4 \text{ кгс/см}^2$. Кроме того, сигнализатор имеет два исполнения по теплоустойчивости. К шифру варианта повышенной теплоустойчивости добавляется буква "Т", например, СПТ-0,4Т. Принцип действия сигнализатора основан на способности

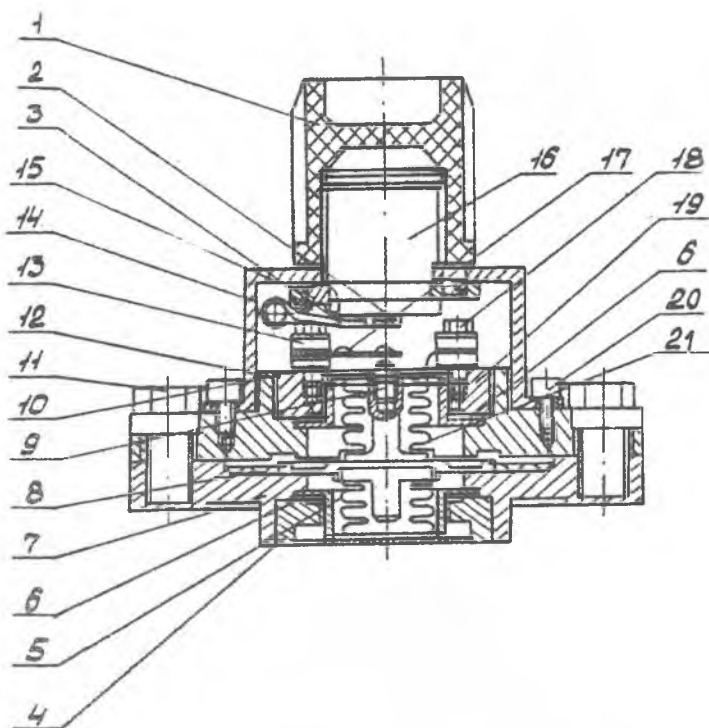


Р и с. 7. Принципиальная схема сигнализатора перепада давления топлива типа СПТ: 1 — мембрана; 2 — разделительный сильфон; 3, 4 — контакты

чувствительного элемента I (системы жестко связанных двух стальных сильфонов и мембраны) прогибаться на определенную величину в зависимости от действующего на него перепада (разности) давлений (рис. 7). Прогибаясь в сторону меньшего из действующих давлений, чувствительный элемент перемещает контакт 4, который замыкается (для СПТ-А) или размыкается (для СПТ) с контактом 3.

Конструкция СПТ показана на рис. 8. Рабочая мембрана 8, имеющая в центре с двух сторон резьбовые штоки, закрепляется в корпусах прибора 7 и 12 с помощью винтов 11. Штоки рабочей мембраны вкручены в резьбовые втулки разделительных сильфонов 5 и 21. Сильфон 5 закреплен с помощью кольца 6 и гайки 4 в корпус 7, сильфон 21 закреплен с помощью кольца 6 и гайки 19 в корпусе 12.

Контактная система прибора состоит из центра 9 с контактом, ввернутого во втулку сильфона, изолирующего контакт с токопроводом от сильфона, и пружины с контактом 17, которая крепится на гайке 19 с помощью изоляторов 13 двумя винтами 18. Винты 18 кончатся двумя пластинами 13. К усикам пружин 17 и токопровода припаиваются два провода, другие концы которых припаиваются к четырем штырькам вилки штепсельного разъема 16 и крепятся скобой 3 и винтом 2. Контактная система закрывается кожухом 14, закрепленным на корпусе 12 четырьмя винтами 21. К кожуху четырьмя заклепками 15 крепится вилка штепсельного разъема.



Р и с. 8. Конструктивная схема сигнализатора перепада давления топлива: 1 - заглушка; 2 - контакты; 3 - про- вод; 4, 19 - втулка с наружной резьбой; 5, 21 - раз- делительный сильфон; 6 - кольцо; 7, 12 - корпус; 8 - рабочая мембрана; 9 - центр (шток); 11 - винт; 13 - пластина; 14 - кожух; 15 - крепеж; 16 - штепсельный разъем; 17 - контакт; 18 - винт; 20 - винт

Технические данные сигнализатора перепада давления

Диапазоны номинальных перепадов давления срабатывания $P_{ном}$, погрешности срабатывания δ в диапазонах температур окружающей среды и рабочих давлений в статической полости сигнализатора P_c указаны в табл. 2.

Диапазон регулирования ΔP_H		Температура окружающей среды, в °С					
		для изделий СПТ (СПТ-А), СПТ-Т (СПТ-АТ)			для изделий СПТ-Т (СПТ-АТ)		
		от -60 до +15	от +15 до +120		от +120 до +250		
Рабочее давление P_c							
от 0,1 до 0,2	св. 0,2 до 0,6	от 0-0,2 св. 0,6-1	св. 0,2 до 0,6	от 0-0,2 св. 0,6	св. 0,2 до 0,6	от 0 до 0,2 св. 0,6 до 1	
	+0,014 -0,010	+0,020 -0,014	+0,01 -0,01	+0,014 -0,014	+0,02 -0,02	+0,024 -0,024	
св. 0,2 до 0,4	+0,028 -0,020	+0,040 -0,028	+0,02 -0,02	+0,028 -0,028	+0,4 -0,4	+0,048 -0,048	
	+0,070 -0,050	+0,100 -0,070	+0,05 -0,05	+0,070 -0,070	+0,10 -0,10	+0,120 -0,120	
св. 1 до 2	+0,140 -0,100	+0,200 -0,140	+0,10 -0,10	+0,140 -0,140	+0,20 -0,20	+0,240 -0,240	

Сигнализатор работоспособен:

в диапазоне рабочих давлений в статической полости 0–1 кгс/см², в динамической полости 0–4 кгс/см²;

после воздействия перегрузочных давлений (односторонний перепад) в течение 5 мин в статической полости – 2 кгс/см², в динамической полости – 5 кгс/см²;

при 15000 циклах изменения давления от 0 до 4 кгс/см² в динамической полости с индуктивно-акустической нагрузкой на контакты 0,5 А или омической 1,5 А при напряжении постоянного тока 27±3 В;

в диапазоне температур окружающей среды от –60° до 120°С и после кратковременного (15 мин) повышения температуры до +150°С – сигнализатор СПТ и в диапазоне от –60°С до +200°С и при кратковременном повышении до +260°С – сигнализатор СПТ-Т;

при воздействии линейных ускорений до 10 *g* в любом направлении;

при воздействии вибраций с частотой 5–300 Гц при виброускорении до 7 *g* (амплитуда вибрации не более 0,7 мм) в любом направлении;

при воздействии 10000 ударов с ускорением 12 *g* в любом направлении.

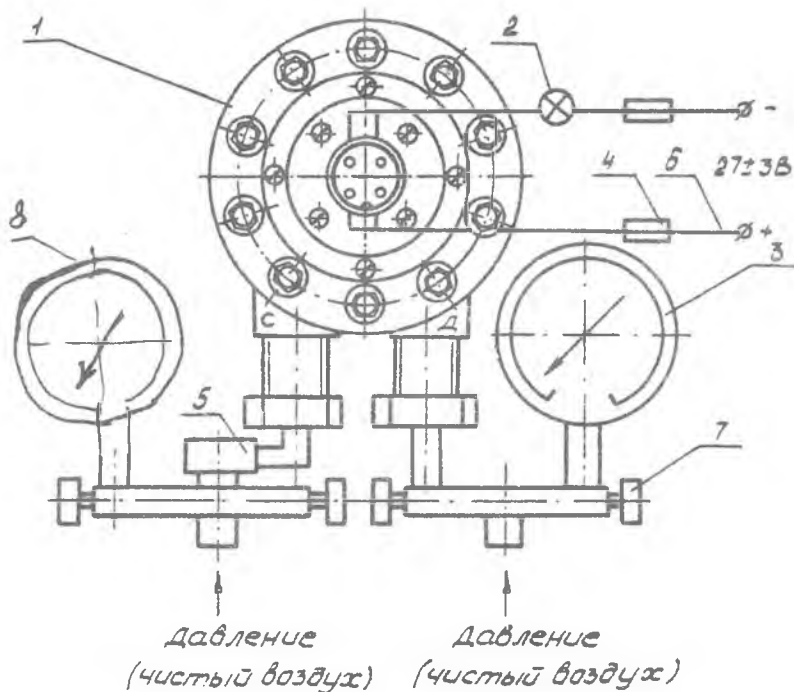
Масса сигнализатора не превышает 0,3 кг.

3.2. Определение погрешности срабатывания сигнализатора

Проверка точности срабатывания сигнализаторов при нормальных условиях производится следующим образом. Собирается схема проверки сигнализатора (рис. 9). В обе полости сигнализатора (в "Д" – динамическую со стороны большего давления и в "С" – статическую со стороны меньшего давления) подается давление 0,5 кгс/см². После этого плавно повысить или понизить давление в динамической полости прибора и в момент загорания сигнальной лампочки измерять давление в динамической полости образцовым манометром.

П р и м е ч а н и е. При определении погрешности срабатывания СПТ в динамическую полость (после подачи давления в обе полости) необходимо вначале подать давление на 30–50% выше номинального перепада давления срабатывания, т.е. равного (1,3–1,5) $\Delta P_{ном}$, а затем плавно снижать.

Точка срабатывания определяется по формуле



Р и с. 9. Схема проверки сигнализатора перепада давления топлива типа СПТ: 1 - сигнализатор; 2 - электрическая лампочка, $U_{ном} = 24-30$ В, $I_{ном} \leq 0,2$ А; 3, 8 - манометр образцовый; 4 - предохранитель 0,5А; 5 - компенсирующая емкость, $V = 5-10$ л; 6 - монтажный провод любого типа сечением не менее $0,12$ мм²; 7 - кран плавной подачи давления и сброса

$$\Delta P = P_{мд} - P_{мс},$$

где $P_{мд}$ - показания манометра, с помощью которого контролируется давление в динамической полости в момент отсчета, кгс/см²;

$P_{мс}$ - давление, выдерживаемое в статической полости, кгс/см².

Погрешность срабатывания сигнализатора - это разность между точкой срабатывания сигнализатора и номинальным перепадом давления, кгс/см²,

$$\delta = \Delta P - \Delta P_{\text{ном}}$$

где $\Delta P_{\text{ном}}$ - номинальный перепад давления (расчетное значение).

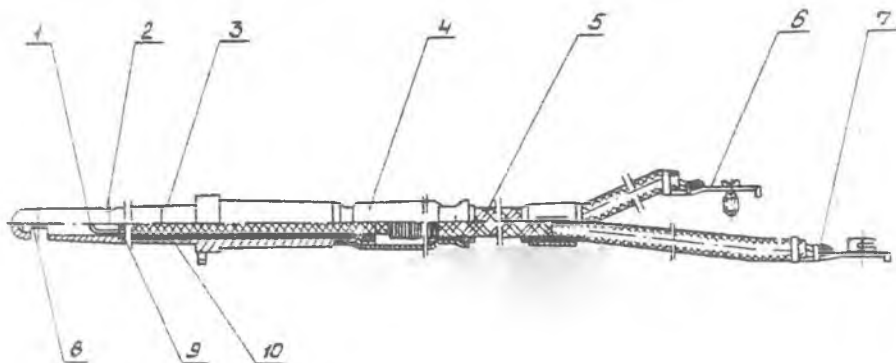
Если погрешность δ выходит за пределы допустимых значений, то сигнализатор не годен к эксплуатации, если укладывается в допуск, то проводят другие контрольные проверки. На лабораторных занятиях ограничиваются проверкой погрешности срабатывания СПТ.

4. ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА НА ВХОДЕ В ТУРБИНУ

4.1. Принцип действия и конструкция термомпары Т-93

Термопара Т-93 предназначена для измерения температуры газов авиационных двигателей в условиях полета и на земле.

Принцип действия термомпары основан на измерении термоЭДС, возникающей при разности температуры его рабочего и свободного концов. Конструкция термомпары показана на рис. 10. В термомпаре Т-93 в качестве термоэлектродных материалов использован хромель (Х) и алумель (А).



Р и с. 10. Конструктивная схема хромель-алюминиевой термомпары Т-93: 1 - термоэлектроды; 2 - отверстие; 3 - штуцер; 4 - трубка; 5 - металлическая оплетка; 6, 7 - наконечники; 8 - штуцер; 9 - термоцементная масса; 10 - трубка двухканальная

Концы термоэлектродов 1, сваренные вместе и образующие рабочий конец термомпары, вставлены в штуцер 8 из жаропрочной стали. Изоляция термоэлектродных проводов в штуцере 3 осуществляется втулкой, заполненной термоцементной массой 9 и керамической двухканальной трубкой 10.

Термоэлектроды за керамической трубкой, изолированные пропитанными лаком авиационными чехлами и общим асбестовым чехлом, проходят внутри трубки 4. Участок термоэлектродных проводов, находящийся вне трубки и частично в трубке, заключается в металлическую оплетку 5. Газовый поток, входящий через вырез 8 в пространство, окружающее рабочий конец, и выходящий в отверстие 2, затормаживается, что дает возможность измерять температуру заторможенного потока.

Присоединение термопары к соединительным проводам осуществляется двумя специальными наконечниками 6, 7, которые соединяются с соответствующими наконечниками проводов винтами. Во избежание перепутывания полярности электрод из хромеля (положительный) сделан короче алмелевого (отрицательного) электрода.

О с н о в н ы е т е х н и ч е с к и е д а н н ы е

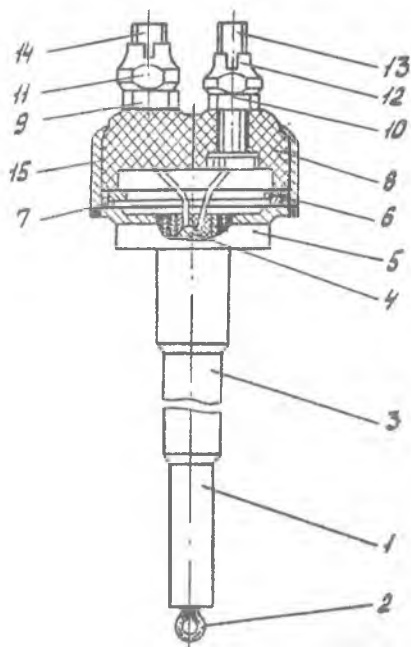
1. Диапазон измеряемых температур от 0 до $+1100^{\circ}\text{C}$.
2. Рабочий диапазон измерения от $+500^{\circ}\text{C}$ до 1000°C .
3. Градуировочная погрешность термопар в диапазоне $+200^{\circ}\text{C}$ - 1000°C не превышает $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Термопара должна:
быть стойкой к воздействию низких температур (-60°C);
выдерживать вибрационную нагрузку в диапазоне частот 20-150 Гц с перегрузкой до 8 g, с амплитудой не более 0,5 мм.
5. Головка термопары должна выдерживать температуру до $+250^{\circ}\text{C}$.
6. Вес термопары не более 0,2 кг.

4.2. Проверка термоЭДС термопар

Для проверки термоЭДС термопар отбираются по три образца термоэлектродной проволоки длиной 1,2 м из каждого сплава, один конец которых свариваются с образцовой термопарой платино-родий - платина 2-го разряда и помещаются в среду, обеспечивающую проверяемые температуры от $+100^{\circ}\text{C}$ до 1100°C через каждые 100°C . Другие концы образцов и платино-родий - платиновой термопары помещаются в среду с температурой 0°C (тающий лед). Измерение температуры производится компенсационным методом с помощью потенциометра 2-го класса точности. Разность между замеряемыми значениями термоЭДС термопар и значениями, соответствующими этим температурам по градуировочной таблице ХА-термопары, является погрешностью испытываемых термопар.

4.3. Датчик температуры Т-II2

Датчик температуры (термопара) Т-II2 предназначен для выдачи двух автономных сигналов, соответствующих температуре газов в лопатках соплового аппарата, одновременно на измеритель и регулятор температуры в условиях полета и на земле. Принцип действия термо-



Р и с. II. Конструктивная схема термопары Т-II2: 1 - втулка; 2 - термоэлектроды; 3 - штуцер; 4 - керамическая трубка; 5 - корпус; 6, 7 - шайба; 8 - изолятор; 9, 10 - гайка; 11, 12 - гайка самоконтрящаяся; 13, 14 - винт; 15 - кожух

пары Т-II2 основан на том, что при нагревании рабочего спая на свободных концах возникает ТЭДС, величина и знак которой зависят от материала термоэлектродов и разности температур между рабочим спаем и свободными концами (контактными винтами). Термопара Т-II2 представляет собой неразборную конструкцию, в которой размещены два одинаковых автономных термоэлемента. Рабочий спай образуют два сваренных между собой термоэлектродов из сплавов хромель (Х) и алумель (А). Термоэлектрод из сплава Х имеет положительную полярность, а из сплава А - отрицательную. Изоляция термоэлектродов в штуцере осуществляется термоцементной массой и керамической трубкой 4 (рис. II). Втулка 1 с заармированными в нее термоэлектродными 2 связана со штуцером 3, который в свою очередь сварен с корпусом 5. Термоэлектроды приварены к контактным винтам 13 и 14, которые установлены в керамический изолятор 8 и закреплены на нем при помощи гаек 9, 10 и термоцемента. Изолятор установлен в корпусе на шайбе 6 и закреплен при помощи завальцовки кромок корпуса. Для крепления к термопаре компенсационных проводов на контактных винтах имеются самоконтрящиеся гайки 11 и 12.

1. Диапазон измерения от 0 до 1200°C. Рабочий диапазон от 300 до 1000°C.
2. Теплоустойчивость головки термомпары: рабочая - до 200°C, предельная - до 300°C.
3. ТЭДС термоэлектродного материала датчика соответствует градуировочной характеристике X-A согласно ТУ 48-21-172-72.
4. Электрическое сопротивление изоляции термомпары при нормальных климатических условиях не менее 0,5 МОм.
5. Электрическое сопротивление изоляции термомпары при температуре рабочего спая 700°C - не менее 50 кОм. Для термомпар, бывших в эксплуатации, электрическое сопротивление изоляции при нормальных климатических условиях должно быть не менее 20 кОм.
6. Термомпара выдерживает вибрационные нагрузки с ускорением 10 g с частотой колебаний от 5 до 300 Гц и амплитудой вибраций не более 1 мм; ударные нагрузки с ускорением до 12 g.
7. Масса термомпары не более 0,2 кг.

5. ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАТОРМОЖЕННОГО ПОТОКА ГАЗА П-98А

Датчик температуры П-98АМ предназначен для выдачи электрических сигналов, соответствующих температуре заторможенного потока воздуха в цифровые и аналоговые системы автоматического регулирования.

Принцип действия датчика основан на использовании свойств металла (платиновой проволоки) изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от изменения температуры. Поток воздуха, движущийся относительно датчика в направлении, указанном стрелкой "поток" (рис. 12), попадая на термочувствительный элемент, затормаживается. При этом кинетическая энергия движения воздуха превращается в тепловую энергию, пропорциональную температуре торможения воздуха, которая воспринимается чувствительным элементом. Электрическое сопротивление термочувствительного элемента, выполненного из платиновой проволоки, имеет однозначную зависимость от температуры. Работу датчика оценивают показателем, называемым коэффициентом качества. Он представляет собой отношение той части полной энергии газа, которая преобразована датчиком в тепловую и воспринята чувствительным элементом, ко всей полной энергии газа. Коэффициент качества данного датчика не менее 0,98.

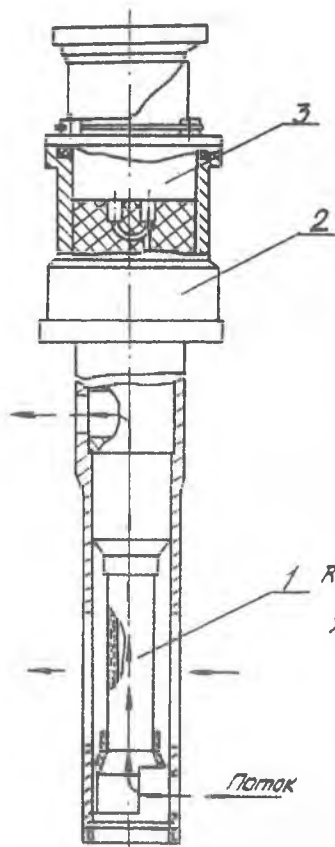
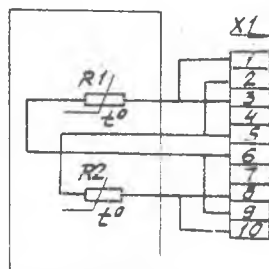


Схема электрическая
принципиальная



R_1, R_2 - сопротивление термочувствительного элемента;
X1 - вилка СНЦ, 2В-10/18В-1-В;

Р и с. 12. Конструктивная схема датчика заторможенного потока газа П-98А: 1 - термочувствительный элемент; 2 - корпус; 3 - вилка соединителя

В качестве термочувствительного элемента I (термоэлемента) в датчике П-98АМ использована проволока, намотанная на изолированную трубку, герметично закрытую наружной трубкой. Концы проволоки с помощью проводов подсоединены к контактам вилки соединителя 3 и образуют две независимые электрические цепи (см. рис. 12). Подключение датчика ко вторичной аппаратуре производится по четырехпроводной компенсационной схеме. К каждому из концов обмотки термоэлемента подсоединяются по два провода для уменьшения влияния подсоединительных проводов на погрешность измерения и повышения надежности датчика.

1. Датчик обеспечивает выдачу сигнала температуры в диапазоне от -60°C до $+350^{\circ}\text{C}$.

2. Погрешность каждого термоэлемента датчика в измеряемом диапазоне температур определяется по формулам:

в диапазоне от -60°C до 25°C

$$\delta = \pm(0,35 + 5 \cdot 10^{-3} t),$$

в диапазоне от 25°C до 300°C

$$\delta = \pm(0,5 + 5 \cdot 10^{-5} t),$$

где t - измеряемая температура в $^{\circ}\text{C}$.

Погрешность датчика в диапазоне температур от 300°C до 350°C не регламентируется.

3. Номинальная статическая характеристика термоэлемента датчика соответствует ГОСТ 6651-84 (табл. I) 50П ($R_0 = 50 \text{ Ом}$).

4. Допустимая сила тока через каждую обмотку датчика не более 5 мА.

5. Показатель тепловой инерции ($1,4 \pm 0,2$)с при скорости потока воздуха до 150 м/с и статическом давлении до 98 кПа (1 кгс/см^2).

6. Электрическое сопротивление изоляции во всех условиях эксплуатации не менее 1 МОм.

7. Датчик температуры работоспособен:

при вибрациях с амплитудой виброперемещения до 5 мм в диапазоне частот от 5 Гц до 10 Гц; с ускорением до $2g$ в диапазоне частот от 10 Гц до 32 Гц; с амплитудой виброперемещения до 0,5 мм в диапазоне частот от 32 Гц до 70 Гц; с ускорением до $10g$ в диапазоне частот от 70 Гц до 158 Гц; с амплитудой виброперемещения до 0,1 мм в диапазоне частот от 158 Гц до 224 Гц; с ускорением до $20g$ в диапазоне частот от 224 Гц до 400 Гц; с амплитудой виброперемещения до 0,03 мм в диапазоне частот от 400 Гц до 500 Гц; с ускорением $30g$ в диапазоне частот от 500 Гц до 2000 Гц;

при механическом ударе многократного действия - пиковое ударное ускорение до $8g$ с длительностью ударного ускорения до 20 мс.

8. Давление измеряемой среды от 0,67 кПа до 243 кПа.

9. Масса датчика не более 0,15 кг.

6. ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ П-109

Датчик предназначен для выдачи электрических сигналов, пропорциональных измеряемой температуре топлива, масла, воздуха в системы автоматического регулирования параметров, диагностики, кондиционирования и в топливоизмерительную систему.

Принцип действия датчика основан на использовании свойств металла (платиновой проволоки) изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от изменения температуры. Конструкция датчика П-109 (рис. 13) аналогична конструкции датчика П-96А. Датчик устанавливается навстречу потоку с наклоном под углом не более 60° к продольной оси трубопровода с глубиной погружения в измеряемую среду 70 мм.

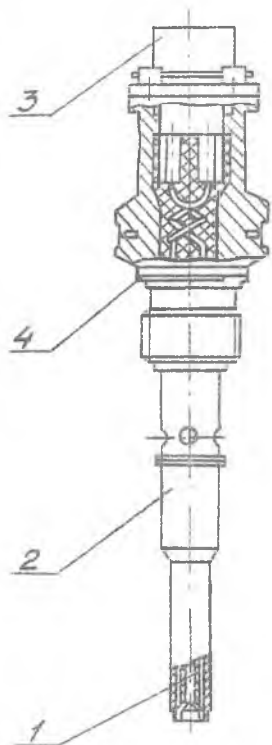
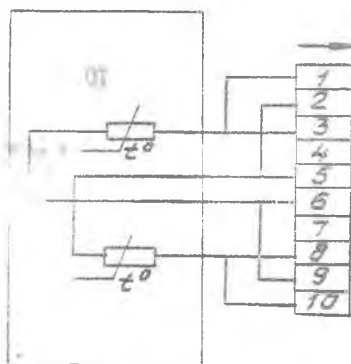


Схема электрическая
принципиальная



Р и с. 13. Конструктивная схема датчика температуры П-109;
1 - термочувствительный элемент; 2 - кожух; 3 - вилка соединителя; 4 - кольцо уплотнительное

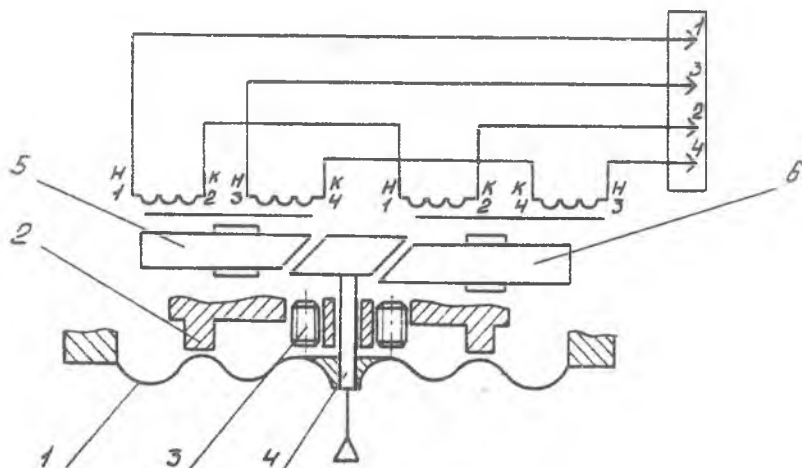
Техническая характеристика датчика П-109 в основном соответствует характеристике датчика П-98А, за исключением некоторых пунктов, которые приведены ниже.

1. Номинальная статическая характеристика термоэлемента датчика соответствует 100 П, ГОСТ 6651-84 ($R_0 = 100 \text{ Ом}$).
2. Показатель тепловой инерции не более 3 с.

7. ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ ТИПА ДОЛ

Датчик давления логарифмический предназначен для измерения избыточного давления газа с выдачей сигнала переменного тока пропорционального логарифму измеряемого давления.

Принцип действия датчика основан на преобразовании измеряемого давления в перемещение центра чувствительного элемента — мембраны по логарифмическому закону. Это перемещение вызывает перераспределение зазоров между якорем и магнитопроводами дифференциального трансформатора, изменяя взаимную индукцию между первичными и вторичными обмотками и, следовательно, напряжение на вторичных обмотках, с которых снимается выходной сигнал.



Р и с. 14. Принципиальная схема датчика типа ДОЛ:
 1 — чувствительный элемент; 2 — упор кольцевой;
 3 — винт регулировочный; 4 — шток; 5, 6 — катушка с сердечником

В процессе работы давление подается в штуцер приемного узла и действует на мембрану 1, вызывая ее перемещение (рис. 14). С помощью кольцевого упора 2 и регулировочных винтов 3, на которые садится гофра мембраны, реализуется заданная характеристика чувствительного элемента. Перемещение чувствительного элемента со штоком 4 изменяет зазоры магнитных цепей катушек 5, 6, что приводит к изменению выходного напряжения.

Конструктивно датчик ДОЛ состоит из следующих основных узлов: приемного узла, катушки с сердечником и кожуха (рис. 15). Приемный узел состоит из корпуса 1, мембраны 2, крышки 3, резьбового упора 4, ограничивающего перемещение первой гофры; четырех винтов 5, ограничивающих перемещение второй гофры и резьбовой втулки 6, ограничивающей перемещение центра мембраны. Пружина выполняет роль упругой подвески. На крышке винтами 10 крепятся катушки 11, 12 с сердечниками. Датчик закрывается кожухом 13 с вилкой 14.

Основные технические данные датчика ДОЛ

1. Номинальное давление, диапазон измерения и перегрузочное давление приведены в табл. 3.

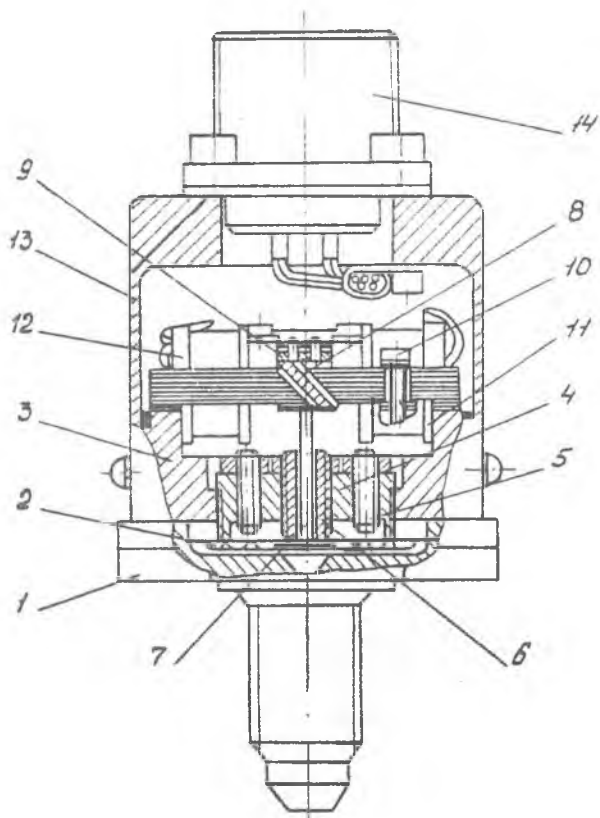
Таблица 3

Штуцер	Номинальное давление, кгс/см ²	Диапазон измерения кгс/см ²	Перегрузочное давление кгс/см ²
ДОЛ-16	16	1 - 16	24
ДОЛ-32	35	0,9 - 35	45

2. Датчики ДОЛ-16 работоспособны в интервале температур окружающей среды от -60°C до +220°C длительно и кратковременно при температуре +250°C, в течение 5 мин - при температуре +300°C.

3. Выходное напряжение датчика ДОЛ-16 при отсутствии давления 13,2 В (среднее значение) и от 2,5 В до 4 В - при номинальном давлении.

4. При уменьшении давления на 40% от текущего значения давления в диапазоне измерения при нагрузке 1,2 кОм $\pm 0,5\%$ выходной сигнал датчика увеличивается на 990 мВ (среднее значение) с погрешностью, указанной в табл. 4.



Р и с. 15. Конструктивная схема датчика типа ДДЛ:
 1 - корпус; 2 - мембрана; 3 - крышка; 4 - упор
 резьбовой; 5 - винты; 6 - втулка; 7 - шток; 8 -
 якорь; 9 - пружина возвратная; 10 - винты; 11 -
 катушка верхняя; 12 - катушка нижняя; 13 - кожух;
 14 - вилка

При изменении частоты и напряжения питания на 1% величина дополнительной погрешности не превышает соответственно 0,3% и 1,2%.

5. Датчики виброустойчивы и вибропрочны в диапазоне частот и с ускорением, указанными в табл. 5.

6. Масса датчика без монтажных деталей не превышает 0,35 кг.

Датчики работают в составе систем противопожарной защиты ПС-ЭВ, ПС-Э, СК-12 авиационных двигателей семейства НК.

Таблица 4

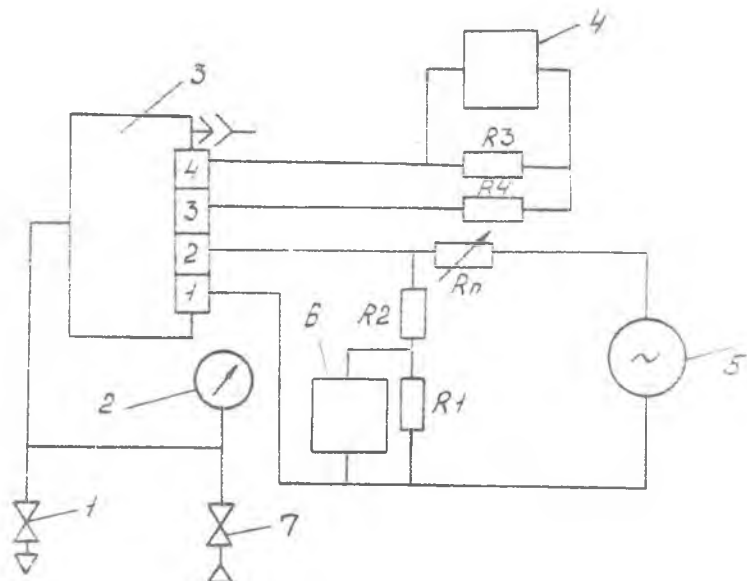
Уменьшение давления (на 40%) кгс/см ²	Погрешность, мВ (среднее значение)	
	при нормальных условиях и номи- нальных парамет- рах питания	при дестабилизиру- ющих факторах, кро- ме изменения пара- метров питания
16 ... 9,6	±165	+200; -165
12,76 ... 7,66	±160	+200; -160
9,6 ... 5,76	±155	+190; -155
7,66 ... 4,6	±150	+190; -150
5,76 ... 3,46	±145	+180; -145
4,6 ... 2,76	±140	+180; -140
3,46 ... 2,073	±135	+170; -135
2,76 ... 1,67	±130	+170; -130
2,073 ... 1,244	±125	+160; -125
1,67 ... 1,0	±120	+160; -125

Таблица 5

Диапазон частот, Гц	Амплитуда, мм	Ускорение, мс^{-2} (g)
20 ... 50	1	не контролируется до 293 (30)
50 ... 2000	соответствует ускорению	
2000 ... 5000	" "	с ускорением в месте установки датчика на изделии

Испытание и настройка датчиков типа ДОЛ

Для испытаний датчиков типа ДОЛ необходимо собрать установку по схеме, представленной на рис. 16. Подсоединить испытуемый датчик к источнику давления. Включить питание, по вольтметру установить напряжение $1 \pm 0,005$ В, что соответствует $U_{\text{вх}} = 40$ В. Открыв проссельный кран 7, подать давление на вход датчика. Величину давления контролировать по манометру 2. Установив номинальное значение давления и снизив его на 40% в соответствии с табл. 4, снять показания на выходе из датчика вольтметром 4 (см. рис. 16). Для получения истинного



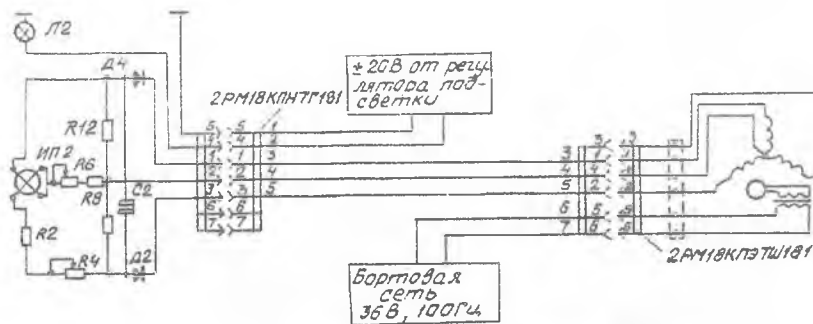
Р и с. 16. Схема проведения испытаний датчика типа ДОЛ: 1, 7 - кран; 2 - манометр образцовый; 3 - испытуемый датчик; 4, 6 - вольтметр переменного напряжения; 5 - источник переменного напряжения (среднее напряжение 40 В, частота 2000 Гц с коэффициентом нелинейных испытаний не более 5%)

значения выходного напряжения необходимо показание вольтметра умножить на 10. Погрешность датчика не должна превысить величину, заданную в табл. 2. Под погрешностью здесь понимается отклонение изменения выходного напряжения от 990мВ (среднее значение) при уменьшении давления на 40% от текущего значения.

8. ДАТЧИК УГЛА ПОВОРОТА ДС-11

В ЭСУ авиационных двигателей находят широкое применение датчики угла поворота на основе потенциометрических, сельсинных и синускосинусных трансформаторных чувствительных элементов. В данной лабораторной работе рассматривается сельсин-датчик ДС-11, принцип действия которого основан на возбуждении в двух обмотках статора переменных напряжений, величина которых зависит от относительного поло-

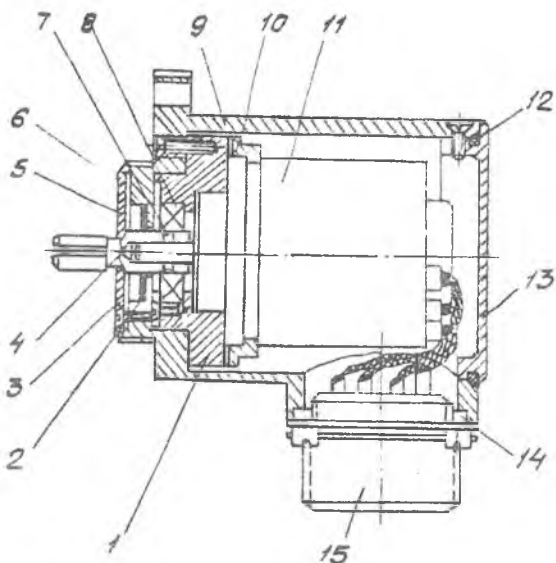
жения ротора и обмоток статора (рис. 17). Под действием напряжения в статорных обмотках датчика в рамках совместно работающего с датчиком логометра-указателя протекают постоянные, выпрямленные полупроводниковыми диодами токи, пропорциональные углу поворота ротора датчика. При среднем положении ротора напряжения в обмотках статора равны, поэтому токи в рамках логометра и создаваемые ими магнитные потоки равны и магнит устанавливается в среднее положение по направлению результирующего магнитного потока. Стрелка указателя жестко связана с магнитом. При отклонении ротора от среднего положения в одной из обмоток статора напряжение будет больше, поэтому в соответствующей рамке логометра ток будет больше и магнит повернется по новому направлению результирующего магнитного потока. Таким образом между положением ротора сельсина и положением магнита логометра имеется однозначная зависимость.



Р и с. 17. Электрическая схема датчика ДС-11 совместно с указателем УИП32

Конструкция датчика представлена на рис. 18. Основным элементом датчика является бесконтактный сельсин 11. Сельсин крепится к втулке 1 с помощью сухарей 10. Ось 4 датчика плотно насажена на ось сельсина, фиксируется штифтом 7 и вращается в подшипнике 8, закрепленном во втулке 1. Включение датчика осуществляется посредством разъема 15. Момент вращения оси датчика регулируется шайбой 2.

Основными элементами указателя (на рисунке не показаны) являются два логометра магнитоэлектрической системы. Логометры установлены в корпусе и фиксируются с помощью фланцев. На специальных печатных платах электрические элементы (резисторы, конденсаторы). Включение указателя осуществляется с помощью штепсельного разъема.



Р и с. 18. Конструктивная схема датчика ДС-11: 1 - втулка; 2 - гайка; 3, 13 - крышки; 4 - ось датчика; 5, 6, 12, 14 - прокладки; 7 - штырь; 8 - подшипник; 9 - корпус; 10 - сухарь; 11 - бесконтактный сельсия; 15 - штепсельный разъем

Основные технические данные датчика ДС-11 с указателем

1. Диапазон измерения - $0 \dots 120^{\circ}$.
2. Погрешность указателя - $\pm 3,2^{\circ}$.
3. Момент вращения оси датчика - $0,1 \dots 0,8$ кгс·см.
4. Напряжение питания $36 \text{ В}^{+5\%}_{-10\%}$ с частотой 400 Гц;
потребляемый ток:
по переменному напряжению не более 300 мА;
по постоянному напряжению не более 100 мА.
5. Условия работы:
температура окружающей среды:
 $-60^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ - для указателя;
 $-60^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$ - для датчика;

вибропрочность:

для указателя - частота до 300 Гц с ускорением $2 g$,

для датчика - частота до 300 Гц с ускорением до $10 g$;

виброустойчивость:

для указателя - частота до 80 Гц с ускорением до $1,5 g$.

для датчика - частота до 300 Гц с ускорением до $10 g$.

6. Масса указателя не более 0,7 кг.

Масса датчика не более 0,4 кг.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАНИЙ

1. Перечислите регулируемые параметры авиационного двигателя.

2. Перечислите контролируемые параметры авиационного двигателя.

3. На каких принципах строятся датчики для измерения температуры, давления, частоты вращения двигателя?

4. Нарисуйте схему и поясните принцип действия датчика частоты вращения ДЧВ-2500.

5. Нарисуйте схему и поясните принцип действия датчика давления типа ДАТ.

6. Нарисуйте схему и поясните принцип действия сигнализатора перепада давления топлива типа СПТ.

7. Какой материал используется в датчиках температуры газа, принцип действия которых основан на изменении электрического сопротивления? Нарисуйте его статическую характеристику.

8. Нарисуйте схему включения термопары для измерения температуры газа на входе в турбину двигателя.

9. Какие виды проверок проходят датчики перед установкой на изделие?

10. К каким воздействиям должны быть стойки датчики, устанавливаемые на двигателе? Назовите допустимые уровни этих воздействий по какому-либо из изученных датчиков.

11. Назовите величины погрешностей датчиков при измерении основных параметров двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Датчик частоты вращения ДЧВ-2500. Руководство по технической эксплуатации 6БЭ.553.300РЭ.

2. Датчик контроля теплостойкий типа ДАТ (С). Руководство по технической эксплуатации ДАТ (С). Энгельс, 1979. 21 с.

3. Сигнализатор перепада давлений топлива типа СПГ. Руководство по технической эксплуатации СПГ. Энгельс, 1978. 17 с.

4. Датчик температуры П-109М1. Руководство по технической эксплуатации. Казань, 1984. 23 с.

5. Датчик температуры торможения П-98АМ. Руководство по технической эксплуатации. Казань, 1984. 24 с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Датчик частоты вращения вала двигателя ДЧВ-2500	4
1.1. Схема, принцип действия и основные характеристики датчика частоты вращения	4
1.2. Проверка формы и величины уровня выходных импульсов датчика ДЧВ-2500	7
2. Датчик давления типа ДАТ	8
2.1. Схема, принцип действия и основные характеристики датчиков давления типа ДАТ	8
2.2. Проверка точности датчика ДАТ при измерении статического давления	11
3. Сигнализатор перепада давления типа СПТ	12
3.1. Схема и принцип действия сигнализатора перепада давления	12
3.2. Определение погрешности срабатывания сигнализатора	16
4. Датчик температуры газа на входе в турбину	18
4.1. Принцип действия и конструкция термопары Т-93..	18
4.2. Проверка термоЭДС термопары	19
4.3. Датчик температуры Т-112	20
5. Датчик температуры заторможенного потока газа П-98А	21
6. Датчик температуры П-109	24
7. Датчик давления логарифмический типа ДОД	25
8. Датчик угла поворота ДС-11	29
Вопросы для проверки полученных знаний*	32
Библиографический список.....	32

ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Составители: Г и м а д и е в Асгат Гатъятович,
Б е р е с т н е в Геннадий Иванович,
К р ю ч к о в Александр Николаевич

Редактор Л.Я.Ч е г о л а е в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91.

Подписано в печать 15.03.94. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 2,09. Усл.кр.-отт. 2.21. Уч.-изд.л. 2,0.
Тираж 200 экз. Заказ 99. Арт. С-22МР/94

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского аэрокосмического университета.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.