

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Экспериментальное исследование
статических и динамических характеристик
датчиков энергетических установок**

Электронные методические указания
к лабораторной работе

Самара

2010

Авторы-составители: **Гимадиев Асгат Гатьятович,**

Быстров Николай Дмитриевич

Рецензент: заведующий кафедрой «Управление и системный анализ в теплоэнергетике» Самарского государственного технического университета, д.т.н. профессор Дилигенский Н. В.

Приведены конструктивные схемы и изложен принцип действия датчиков основных параметров энергетических установок. Даны методические указания по проверке характеристик датчиков температуры, давления, частоты вращения, вибраций. Описаны лабораторные установки по экспериментальному определению статических характеристик датчиков и методика их проведения. Приведены вопросы для проверки усвоения материала лабораторной работы.

Методические указания предназначены для магистрантов в рамках магистерской программы «Энергетика, экология и двигательные установки ракетных и космических систем» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», а также для студентов специальности 160302 «Ракетные двигатели» и 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» по дисциплинам: «Автоматика и регулирование двигательных установок ракетных и космических систем», «Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем» и могут быть полезны при выполнении курсовых работ, дипломных проектов и подготовке к экзаменам.

Подготовлены на кафедре автоматических систем энергетических установок.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Цель и задачи лабораторной работы	4
2. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ СИСТЕМ КОНРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	5
2.1 Датчики давления	5
2.2 Датчик частоты вращения	9
2.3 Датчики температуры	10
2.4 Датчик вибраций	15
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	16
4. Содержание отчета по лабораторной работе	18
5. Вопросы для проверки знаний по датчикам энергетических установок	18
Список использованных источников	19

Предисловие

Датчики являются одними из основных элементов систем контроля и управления различных энергетических установок, включая авиационные и ракетные двигатели. 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 температурами, большим уровнем вибраций.

К важному этапу проектированию систем контроля и управления относится выбор первичных преобразователей и датчиков, удовлетворяющих заданным показателям точности и надежности. Правильный выбор датчиков 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 и ракетных двигателей и порядок проверки их характеристик на соответствии паспортным данным, а также о методах экспериментального определения их статических и динамических характеристик.

2 КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ СИСТЕМ КОНРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2.2 Датчики давления

Для измерения давления и пульсации давления на ракетных двигателях применяются датчики типа Вт (рис. 2.1), отличающиеся друг от друга только диапазоном измеряемого давления.

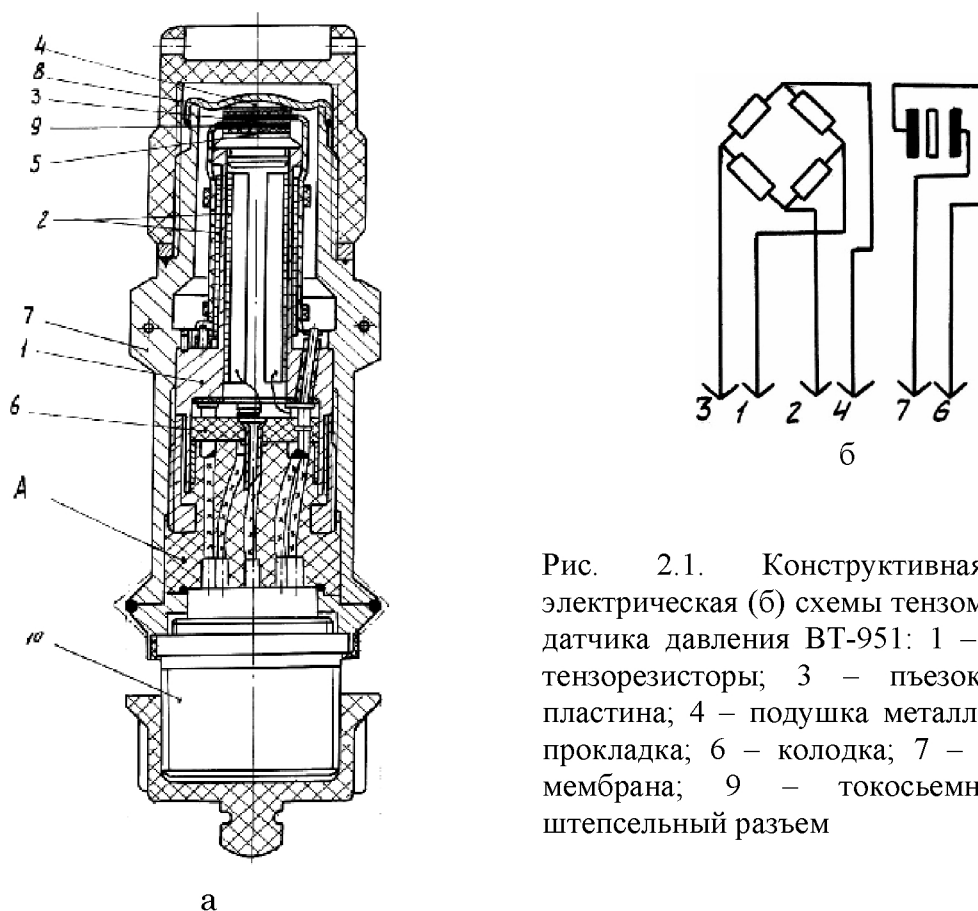


Рис. 2.1. Конструктивная (а) и электрическая (б) схемы тензометрического датчика давления ВТ-951: 1 – стакан; 2 – тензорезисторы; 3 – пьезокерамическая пластина; 4 – подушка металлическая; 5 – прокладка; 6 – колодка; 7 – корпус; 8 – мембрана; 9 – токосъемник; 10 – штепсельный разъем

Основным узлом датчика ВТ-951 является чувствительный элемент, содержащий два канала: тензометрический и пьезоэлектрический. Тензометрический канал представляет собой стакан 1, на внутренней и наружной поверхности которого наклеены тензорезисторы 2 из

тензочувствительной проволоки. Тензорезисторы соединены в мостовую схему. Пьезоэлектрический канал представляет собой пьезокерамическую пластину 3, изолированную от корпуса прокладками 5 из стеклоткани. Мембрана 8 изготовлена из стальной ленты и соединена с корпусом сваркой. Полость А датчика заливается эпоксидным компаундом, что создает надежную герметичность датчика на случай разрушения мембраны.

Для измерения полного давления предусмотрен тензометрический выход (контакты 1 - 3 штепсельного разъема), для измерения пульсаций давления - пьезоэлектрический выход (контакты 6 - 7 штепсельного разъема).

Давление и пульсация давления воспринимаются тонкой мембраной датчика и передаются через нее на чувствительные элементы пьезодатчика и тензодатчика. На обкладках пьезоэлемента появляется знакопеременное напряжение, величина которого меняется с изменением величины пульсаций давления. Одновременно вследствие деформации чувствительного элемента тензодатчика в измерительной диагонали мостовой схемы появляется сигнал, пропорциональный величине измеряемого давления, который усиливается усилителем и передается на вход регистрирующей аппаратуры.

На ракетных двигателях часто применяются и потенциметрические датчики типа ДТ, отличающиеся лишь номинальным значением измеряемого давления. Измеряемое давление на датчике ДТ-200 (рис. 2.2) воспринимается чувствительным элементом, в качестве которого применена витая трубчатая пружина 1. Под воздействием избыточного давления витая трубчатая пружина 1 раскручивается, конец её, несущий наконечник 2, поворачивается и под действием пружины 4 поводок 3 оси следует за наконечником 2, поворачивая ось 5. На оси укреплен щеткодержатель 6, который своей щёткой скользит по потенциометру 8. Выводы от потенциометра и щетки подпаиваются к штепсельному разъему 7 датчика. Каждому значению давления соответствует определенное положение скользящего контакта (щеткой) на потенциометре и соответственно его сопротивление.

Датчик типа ДАТ предназначен для измерения избыточного давления нейтральных жидкостей и газов с выдачей электрического сигнала. Датчик действует по схеме дифференциального трансформатора.

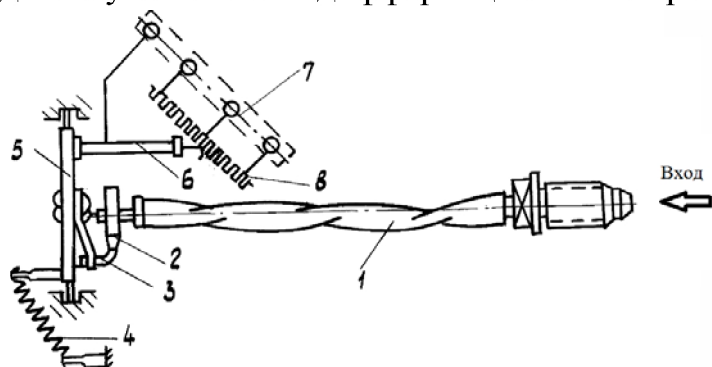


Рис. 2.3. Принципиальная схема потенциометрического датчика давления ДТ-200: 1 – трубчатая пружина; 2 – наконечник; 3 – поводок оси; 4 – пружина; 5 – ось; 6 – щеткодержатель; 7 – штепсельный разъем; 8 – потенциометр

В системах авиационных двигателей применяются датчики автоконтроля теплостойкие типа ДАТ, принципиальная схема которого представлена на рис. 2.4, а конструктивная схема на рис. 2.5.

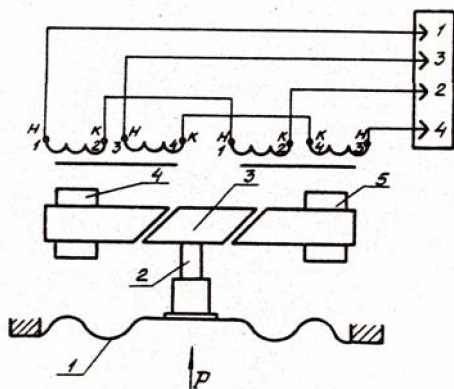


Рис. 2.4. Принципиальная схема датчика давления типа ДАТ: 1 – чувствительный элемент; 2 – шток; 3 – якорь; 4, 5 – катушки с сердечником

Избыточное давление действует на чувствительный элемент 1, деформация которого передается на шток 2, жестко связанный с якорем 3. При этом изменяются зазоры магнитных цепей катушек 4 и 5, что приводит к изменению выходного напряжения.

Приемный узел датчика (рис. 2.5) состоит из корпуса 1, мембраны 2, крышки приемного узла и кольца 3. В крышку вворачивается упор 6, который предохраняет мембрану от разрушения. На крышке с помощью винтов 8 крепятся верхняя и нижняя катушки с сердечниками 13, а также возвратная пружина 10. На пружине 10 жестко закреплен якорь 11, служащий для механической связи якоря с мембраной.

Для защиты датчиков от гидроударов и пульсаций во входной штуцер датчиков вворачивается демпфер Д59.

Аналогичен по схеме и принципу действия датчик давления логарифмический, который предназначен для измерения избыточного давления газа с выдачей сигнала переменного тока пропорционального логарифму измеряемого давления.

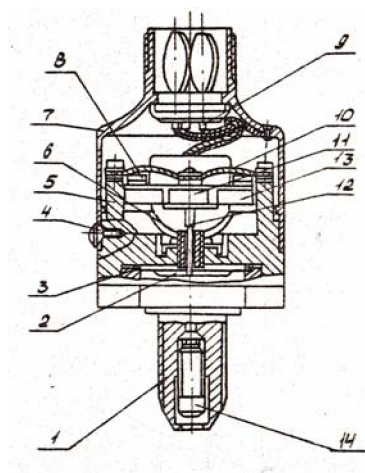


Рис. 2.5. Конструктивная схема индуктивного датчика типа ДАТ: 1 – корпус; 2 - мембрана; 3 - кольцо; 4 - винт; 5 - крышка; 6 - упор; 7 – кожух; 8 - винт; 9 - вилка; 10 - пружина; 11 - якорь; 12 - шток; 13 - катушка с сердечником; 14 - демпфер типа Д59

Принцип действия датчика основан на преобразовании измеряемого давления в перемещение центра чувствительного элемента - мембраны по логарифмическому закону (рис. 2.6). Это перемещение вызывает перераспределение зазоров между якорем и магнитопроводами дифференциального трансформатора, изменяя взаимную индукцию между первичными и вторичными обмотками, с которых снимается выходной сигнал.

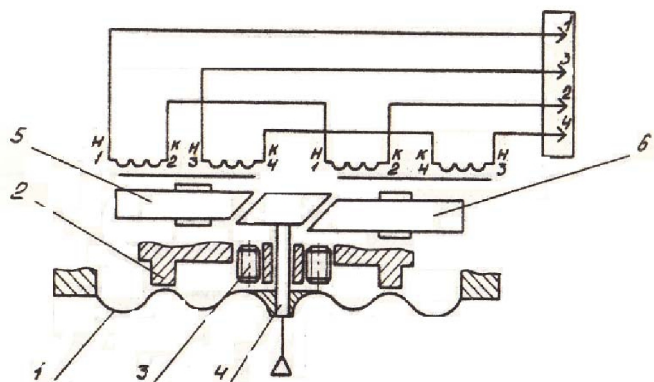


Рис. 2.6. Принципиальная схема датчика типа ДОЛ: 1 – чувствительный элемент; 2 - упор кольцевой; 3 – винт регулировочный; 4 - шток; 5 -, 6 – катушка с сердечниками

В процессе работы давление подается в штуцер приемного узла и действует на мембрану 1, вызывая ее перемещение. 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. Конструктивная схема датчика типа ДОЛ приведена на рис. 2.7.

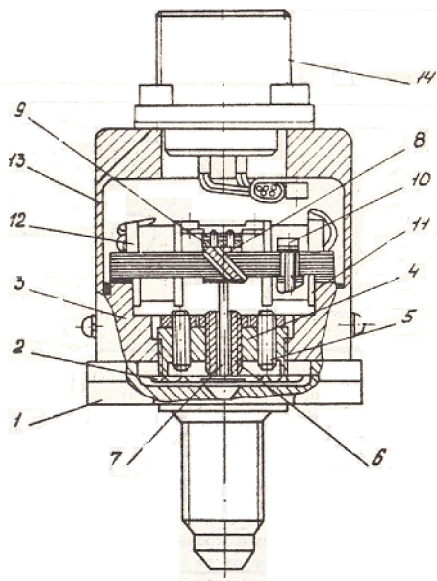


Рис. 2.7. Конструктивная схема датчика типа ДОЛ: 1 - корпус; 2 - мембрана; 3 - крышка; 4 - упор резьбовой; 5 - винты; 6 - втулка; 7 - шток; 8 - якорь; 9 - пружина возвратная; 10 - винты; 11 - катушка верхняя; 12 - катушка нижняя; 13 - кожух; 14 - вилка

Датчики ДОЛ работоспособен в интервале температур от -60°C до $+220^{\circ}\text{C}$ и кратковременно при температуре $+250^{\circ}\text{C}$ и в течение 5 мин при температуре $+300^{\circ}\text{C}$.

2.2 Датчики 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. 2.8).

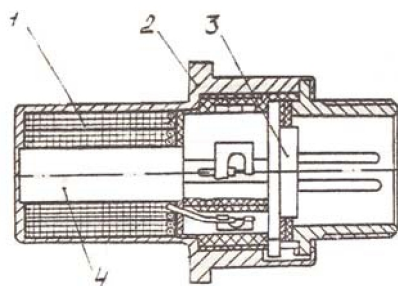


Рис. 2.8. Конструктивная схема индукционного датчика частоты вращения ДЧВ2500: 1 – двухобмоточная катушка; 2 – корпус; 3 – штепсельный разъем; 4 – магнит

Датчик работает следующим образом. При вращении индуктора, находящегося на валу двигателя, каждый из его зубьев, проходя в непосредственной близости от торца датчика, изменяет магнитное поле, охватывающее витки катушек. При этом возникает ЭДС в катушках датчика. Частота импульсов напряжения, снимаемого с датчика, соответствует частоте прохождения зубьев мимо торца датчика, то есть зависит от скорости вращения индуктора и, следовательно, вала изделия. Датчик имеет две независимые обмотки для дублирования.

Диапазон частот вращения вала, измеряемых датчиком зависит от числа зубьев кондуктора, однако при этом частот следования импульсов на выходе электрической цепи должна быть менее 2500 Гц. Например, при числе зубьев 50 это соответствует частоте вращения вала 3000 об/мин.

2.3 Датчики температуры

Из многочисленной классификации датчиков температуры в энергетических установках наибольшее применение получили датчики – термопары и термосопротивления.

Термопара Т-93 (рис. 2.9) предназначена для измерения температуры газов в авиационных двигателях в условиях полета и на земле. Принцип действия термопары основан на измерении термоЭДС, возникающей при разности температуры его горячего и холодного спаев. В термопаре Т-93 в качестве термоэлектродных материалов использованы хромель (Х) и алюмель (А).

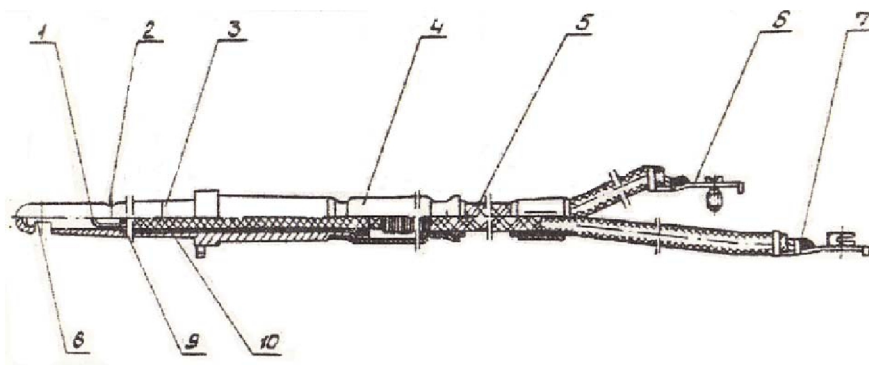


Рис. 2.9. Конструктивная схема хромел-алюмелевой термопары Т-93: 1- термоэлектроды; 2 – отверстие; 3 - штуцер; 4 - трубка; 5 - металлическая оплетка; 6, 7 - наконечники; 8 - штуцер; 9 - термоцементная масса; 10 - трубка двухканальная

Концы термоэлектродов 1, сваренные вместе и образующие конец термопары, 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 авиационным асбестовым чехлом и пропитанные лаком, 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 затормаживается, что дает возможность измерять температуру заторможенного потока. Присоединение термопары к соединительным проводам осуществляется двумя специальными наконечниками 6, 7. Во избежание перепутывания полярности электрод из хромеля (положительный) сделан короче алюмелевого (отрицательного) электрода.

Диапазон измеряемых температур от 0 °С до +1100 °С, рабочий диапазон измерения от +500 °С до 1000 °С. Погрешность измерения в диапазоне температур от +200 °С до 1000 °С не превышает 5%.

Другой датчик температуры (термопара) Т-112 (рис. 2.10) предназначен для выдачи двух автономных сигналов, соответствующих температуре газов в лопатках соплового аппарата, одновременно на регулятор двигателя и прибор, показывающий температуру.

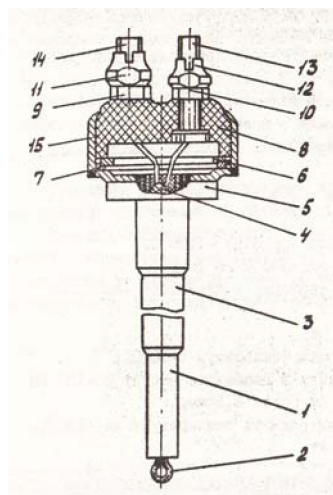
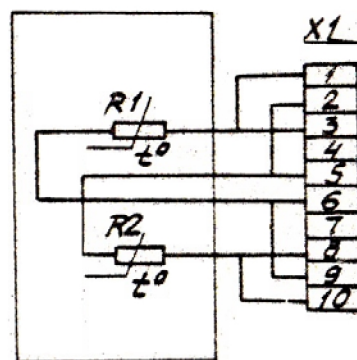
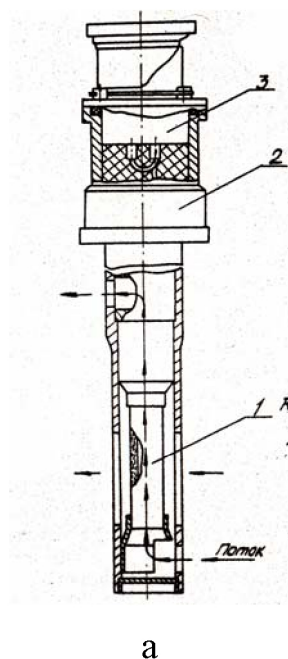


Рис. 2.10. Конструктивная схема датчика температуры Т-112: 1 – втулка; 2 – термоэлектроды; 3 – штуцер; 4 – керамическая трубка; 5 – корпус; 6, 7 – шайба; 8 – изолятор; 9, 10 – гайка; 11, 12 – гайка самонярящаяся; 13, 14 – винт; 15 – кожух

Термопара Т-112 представляет собой неразборную конструкцию, в которой размещены два одинаковых автономных термоэлемента. Рабочий спай образуют два сваренных между собой термоэлектрода из сплавов хромель и алюмель. Изоляция термоэлектродов в штуцере осуществляется термоцементной массой и керамической трубкой 4. Втулка 1 с армированными в нее термоэлектродами 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. Диапазон измерения от 0 °С до + 1200 °С. Рабочий диапазон от +300 °С до 1000 °С.

Датчик температуры П-98А предназначен для выдачи электрических сигналов, соответствующих температуре заторможенного потока воздуха в цифровые и аналоговые системы автоматического регулирования двигателя. Принцип действия датчика основан на использовании свойств металла (платиновой проволоки) изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от изменения температуры.



б

Рис. 2.11. Конструктивная (а) и электрическая (б) схемы датчика заторможенного потока газа П-98А: 1 - термочувствительный элемент; 2 - корпус; 3 - вилка соединителя

Поток воздуха, движущийся относительно датчика в направлении, указанном стрелкой «поток», 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.

Термочувствительный элемент 1 (термоэлемента) в датчике П-98А представляет собой трубку с намотанной на нее платиновой проволокой сопротивлением 100 Ом, изолированной и герметично закрытой снаружи. Концы проволоки с помощью проводов подсоединены к контактам вилки 3 и образуют две независимые электрические цепи (см. рис. 2.11,б).

Подключение датчика к вторичной аппаратуре производится по четырехпроводной компенсационной схеме. К каждому из концов обмотки термоэлемента подсоединяются по два провода для уменьшения влияния проводов на погрешность измерения и повышения надежности датчика.

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

Другой датчик температуры П-109 предназначен для выдачи электрических сигналов, пропорциональных измеряемой температуре топлива, масла, воздуха в системы автоматического регулирования параметров, диагностики, кондиционирования и другие системы.

Принцип действия датчика П-109 и его конструктивная схема аналогичны датчику П-98А.

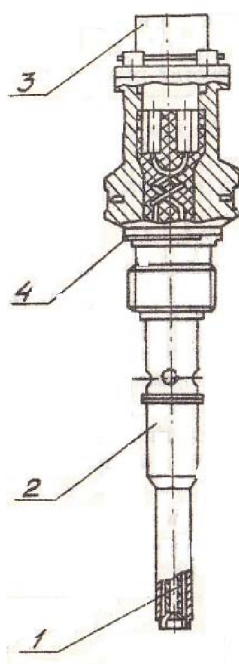


Рис. 2.12. Конструктивная схема датчика температуры П-109: 1 – термочувствительный элемент; 2 – кожух; 3 – штепсельный разъем; 4 – кольцо уплотнительное

Датчик температуры ИС-344Б (рис. 2.13) предназначен для измерения температуры воздуха окружающей среды. Датчик состоит из карболитового корпуса, чувствительного элемента и кожуха. Чувствительный элемент представляет собой тонкую медную проволоку сопротивлением 50 Ом, намотанную на крестовину каркаса. Для предохранения чувствительного элемента от механических повреждений одевается кожух, выполненный в виде тонкостенного металлического цилиндра, имеющего отверстия в стенке.

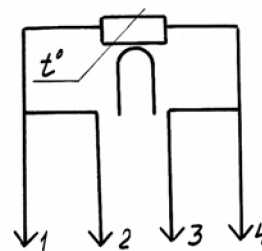
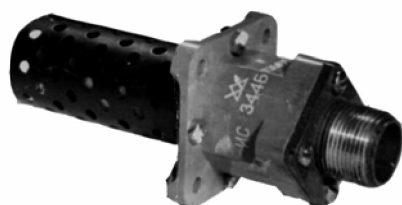


Рис 2.13. Внешний вид (а) и электрическая схема (б) датчика температуры ИС-344Б

Электрическая часть датчика подключается к кабелю системы измерения параметров двигателя через малогабаритный штепсельный разъём, установленный на корпусе датчика. При изменении окружающей температуры меняется омическое сопротивление чувствительного элемента датчика (медной проволоки) и соответственно напряжение во вторичной аппаратуре.

2.4 Датчик вибраций

Датчик вибраций ИС-312 (рис. 2.14) предназначен для измерения вибрационных и ударных ускорений, возникающих на агрегатах двигательных установок.

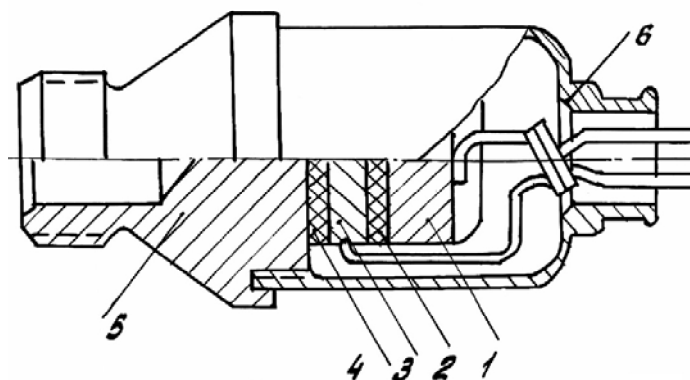


Рис. 2.14. Конструктивная схема датчика вибраций ИС-312: 1 – сейсмическая масса; 2 – пьезоэлемент; 3 – контактная шайба; 4 – изолирующая шайба; 5 – основание датчика; 6 – колпачок

Датчик состоит из основания 5 датчика, чувствительного элемента 1, колпачка 6, кабеля, вилки и контактной шайбы 3. Чувствительным элементом датчика является сейсмическая масса 1, выполненная из стали, и пьезоэлемента 2. Пьезоэлемент с помощью специального клея закрепляется на основании датчика 5. Электрическими выводами датчика являются контактная шайба 3 и сама сейсмическая масса. Между контактной шайбой 3 и основанием датчика 5 установлена на клею изолирующая шайба 4. Для

защиты датчика от загрязнения и от внешних электрических и атмосферных воздействий применен колпачок 6. Подсоединение датчика к кабельной сети изделия производится специальным антивибрационным кабелем, экранированным по всей длине, оканчивающимся малогабаритным штепсельным разъёмом. При действии вибрационных ускорений по оси датчика сейсмическая масса, жестко связанная с пьезоэлементом, будет его растягивать и сжимать. В результате на обкладках пьезоэлемента появятся знакопеременные электрические заряды. При этом в цепи датчика возникает переменное напряжение, величина которого пропорциональна измеряемому ускорению, а частота и фаза соответствуют частоте и фазе ускорения объекта контроля.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ

3.1 Исследование датчиков давления

Для определения статической характеристики датчиков типа ДАТ собирают схему, представленную на рис. 3.1.

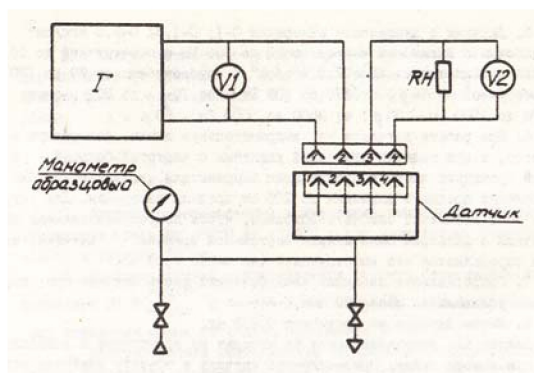


Рис. 3.1. Схема испытаний датчиков давления: Γ — источник электрического напряжения 36 В, 400 Гц; V1 - вольтметр переменного тока для измерения среднего значения входного напряжения; V2 - вольтметр для измерения среднего значения выходного напряжения до 5 В; R_n — сопротивление нагрузки 1000 Ом

Включают электрическое питание и плавно подают напряжение на электрический вход датчика, которое контролируют по вольтметру V1, и давление воздуха на пневматический вход датчика, которое контролируют по образцовому манометру. На тарируемых точках снимают показания напряжения по вольтметру V2 и давления по манометру. Давление в тарируемых точках устанавливают в процентах от номинального значения

давления, которое соответствует испытываемому датчику: 0; 20; 40; 60; 80; 100 %. При этом показания вольтметра должны быть: 0,5; 1,34; 2,21; 3,11; 4,04; 5,0 В. Дается оценка погрешности датчика. Относительная погрешность датчика, приведенная к номинальному значению, не должна превышать 4 %.

Для испытаний логарифмических датчиков типа ДОЛ и их настройки необходимо собрать установку по схеме, представленной на рис. 3.2. Подсоединить испытываемый датчик к источнику давления. Включить питание и по вольтметру установить напряжение 1 В. Открыв дроссельный кран 7, подать давление на вход датчика. Величину давления контролировать по манометру 2. Установив номинальное значение давления и снизив его на 40%, снять показание напряжения вольтметром 4.

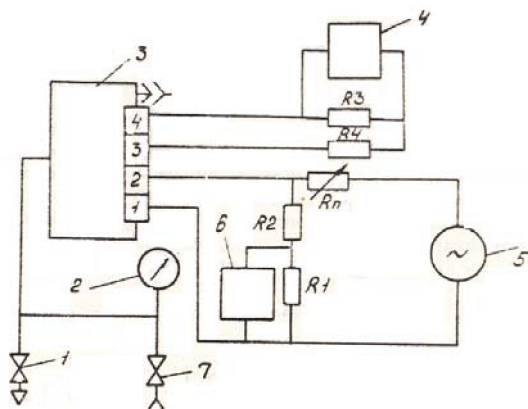
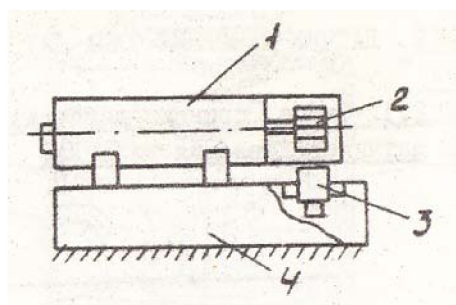


Рис. 3.2. Схема проведения испытаний датчика типа ДОЛ: 1, 7 - кран; 2 - манометр образцовый; 3 - испытываемый датчик; 4, 6 - вольтметр переменного напряжения; 5 - источник переменного напряжения (среднее напряжение 40 В, частота 2000 Гц с коэффициентом нелинейных искажений не более 5%)

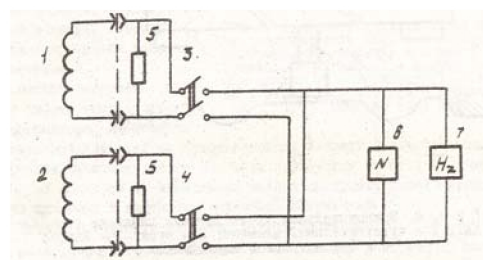
Относительная погрешность датчика не должна превышать 1%.

3.2 Исследование датчика частоты вращения

Экспериментальное исследование статических характеристик датчика частоты вращения производится на установке, схема которого приведена на рис. 3.1.



а



б

Рис. 3.1. Схема установки для экспериментального исследования датчика частоты

вращения (а) и ее электрическая схема (б): 1 – электродвигатель; 2 – индуктор; 3 – датчик частоты вращения; 4 – станина

При экспериментальном исследовании статических характеристик датчика проверяется форма и уровень выходных импульсов. Для этого датчик устанавливается в приспособление согласно приведенной схеме и подключается к измерительным приборам в соответствие с электрической схемой (см. рис. 3.1,б), на которой изображены: 1, 2 – обмотки датчика; 3, 4 – тумблеры; 5 – нагрузочное сопротивление 2 кОм; 6 – электронный осциллограф; 7 – частотомер. Изменяя скорость вращения индуктора, устанавливается частота следования импульсов с обмоток датчика 250 Гц и замеряется амплитуда 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 замеряются амплитуда импульсов с каждой из обмоток датчика. Результаты считаются удовлетворительными, если амплитуды импульсов не менее 0,2 В при частоте следования импульсов 250 Гц и не менее 1 В при частоте следования импульсов 2500 Гц.

3.3 Исследование датчиков температуры

Исследование статических характеристик датчиков температуры производится с применением эталонных средств измерения температуры и электрических нагревательных элементов. При этом для измерения выходных параметров датчиков - термопар применяются прецизионные средства измерения термоЭДС, а для определения датчиков, основанных на изменении сопротивления - прецизионные Омметры. В качестве электрических нагревательных элементов применяют электрические печи с температурой нагрева до 1000 °С.

4 Содержание отчета по лабораторной работе

В отчете по лабораторной работе должны быть включены принципиальные схемы изученных датчиков энергетических установок, а также описаны принципы их действия. Нарисованы схемы экспериментальных установок и результаты проведенных исследований статических характеристик датчиков. Необходимо дать оценку погрешности полученных результатов.

5 Вопросы для проверки знаний по датчикам энергетических установок

1. Перечислите измеряемые параметры авиационного и ракетного двигателей.
2. На каких принципах строятся датчики для измерения температуры, давления и частоты вращения ротора двигателя?
3. Нарисуйте схему и поясните принцип действия датчика частоты вращения ДЧВ-2500.
4. Нарисуйте схему и поясните принцип действия датчика давления типа ДАТ.
5. Какой материал используется в датчиках температуры, принцип действия которых основан на изменении электрического сопротивления? Нарисуйте его статическую характеристику.
6. Нарисуйте схему включения термопары для измерения температуры газа на входе в турбину двигателя.
7. Назовите величины погрешностей датчиков измерения основных параметров двигателя.

Список использованных источников

1. Датчик частоты вращения ДЧВ2500. Руководство по технической эксплуатации 6В2.553.300Э.
2. Датчик контроля теалостойкий типа ДАТ. Руководство по технической эксплуатации ДАТ (С). - Энгельс, 1979. - 21 с.

3. Датчик температуры П-109. Руководство по технической эксплуатации. - Казань, 1984. - 23 с.
4. Датчик температуры торможения П-98АМ. Руководство по технической эксплуатации. - Казань, 1984. - 24 с.
5. Двигатель 11Д111. Техническое описание 33. 000.000 ТО. – Самара: ОАО СНТК имени Н.Д. Кузнецова, 2010. – 148 с.