

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ ТАХОМЕТРОВ
АВИАЦИОННЫХ ГТД**

Методические указания

Куйбышев 1990

Составители: Н. Н. Игошин, С. Д. Стенгач

УДК 629.735.05 (075)

Исследование метрологических характеристик магнитоиндукционных тахометров авиационных ГТД: Метод. указания / Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. Н. Н. Игошин, С. Д. Стенгач. Куйбышев, 1990, 24 с.

В указаниях дано описание принципов работы авиационных тахометрических устройств, конструкции магнитоиндукционного тахометра типа ИТЭ, метрологических характеристик тахометров и технологических указаний по определению метрологических характеристик в вероятностном аспекте.

Указания предназначены студентам специальности 13.03 для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Автоматизация производственных процессов технической эксплуатации летательных аппаратов».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королева

Рецензенты: О. В. Скуба, Ю. С. Анисимкин

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является закрепление знаний при изучении соответствующих разделов дисциплины «Автоматизация производственных процессов технической эксплуатации летательных аппаратов» и приобретение навыков по проверке метрологических характеристик электрических магнитондукционных тахометров измерения частот вращения роторов ГТД.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с принципом работы и конструкцией измерителей частоты вращения.
2. Изучить методику определения метрологических характеристик тахометров типа ИТЭ.
3. Ознакомиться с конструкцией лабораторной установки и с технологией проведения проверки тахометра.
4. Выполнить измерения параметров для определения метрологических характеристик.
5. Произвести обработку результатов измерений и дать заключение о годности тахометра к эксплуатации.
6. Оформить отчет.

К выполнению работы студент допускается после контроля знаний конструкции, принципа работы и методики проверки метрологических характеристик тахометров.

3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВИАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

3.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АВИАЦИОННЫХ ТАХОМЕТРОВ

Частота вращения роторов авиационных двигателей является одним из важных параметров, определяющих режим его работы, который используется для:

установления и контроля режима;
управления процессом запуска;
регулирования и ограничения предельных параметров;
контроля и диагностирования технического состояния двигателя.

Целесообразность использования параметра частоты вращения для установления и контроля режима работы двигателя объясняется существенной зависимостью тяги (мощности) двигателя от частоты вращения его роторов.

Процесс запуска современных ГТД регламентируется по времени и по частоте вращения роторов. По частоте вращения ротора определяется момент подачи рабочего топлива к форсункам камеры сгорания, отключение стартера, закрытие клапанов перепуска воздуха компрессора и т. д.

Ограничение предельных значений некоторых параметров двигателя на повышенных режимах работы достигается ограничением частоты вращения. Так, механическая прочность роторов и элементов газозадушного тракта обеспечивается ограничением максимальной физической частоты вращения роторов, а газодинамическая устойчивость компрессоров — по приведенной частоте вращения.

Контроль технического состояния двигателя в процессе эксплуатации основан на измерении и анализе изменений диагностических параметров, в число которых входит частота вращения двигателя. Следовательно, частота вращения двигателя как важный параметр должна измеряться с высокой точностью.

Приборы и устройства, предназначенные для измерения частоты вращения роторов, называют тахометрами. Авиационные тахометры основаны на магнитоиндукционном методе преобразования частоты вращения роторов двигателя непосредственно в отклонение стрелки указателя (магнитоиндукционные тахометры), либо в электрический импульсный сигнал с последующей регистрацией частоты электронным частотомером с аналоговым или цифровым выходом.

Магнитоиндукционный метод преобразования частоты вращения ротора в угловое отклонение стрелки указателя применяется в тахометрах типа ТЭ и ИТЭ.

Принцип действия магнитоиндукционных тахометров (рис. 1) основан на измерении сил, возникающих в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля с магнитными полями вихревых токов, наведенными в чувствительном элементе. Чувствительный элемент тахометра выполняется в виде металлического немагнитного диска 2, помещенного в зазор между вращающимися магнитами.

При вращении магнитов в диске индуцируются вихревые токи

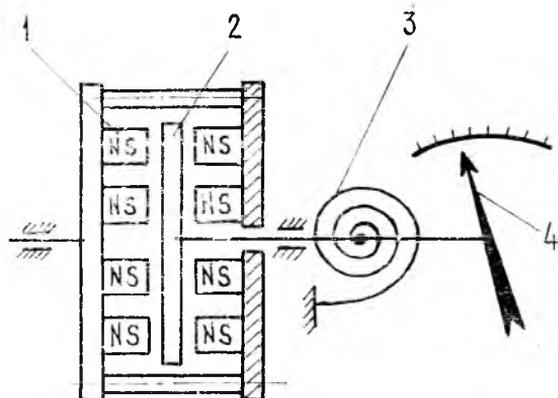


Рис. 1. Кинематическая схема магнитной системы магнитоиндукционного тахометра: 1—постоянный магнит; 2—диск чувствительного элемента; 3—спиральная пружина; 4—стрелка указателя

и, следовательно, возникает магнитное поле. При взаимодействии магнитных полей чувствительного элемента и постоянных магнитов создается вращающийся момент, увлекающий диск вслед за вращающейся магнитной системой. Вращению диска препятствует момент спиральной пружины 3.

Таким образом, на установившейся частоте вращения стрелка 4, посаженная на ось чувствительного элемента, будет поворачиваться на угол φ , пропорциональный частоте f вращения

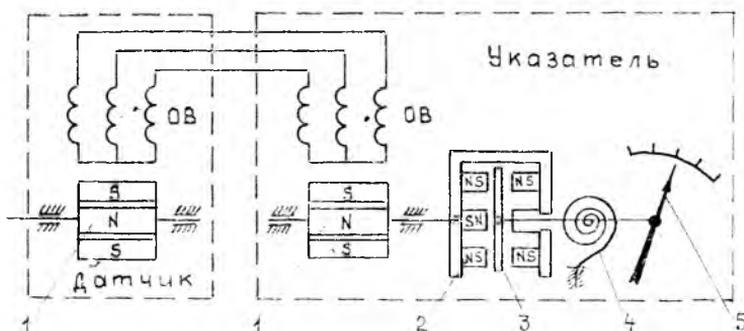


Рис. 2. Принципиальная схема магнитоиндукционного тахометра типа ИТЭ-1: 1—якорь—четырёхполюсный ротор; 2—магнитный узел; 3—диск магнитного узла; 4—спиральная пружина; 5—стрелка указателя

магнитной системы, т. е. $\varphi = b\dot{j}$, где b — коэффициент пропорциональности.

В авиационных тахометрах применена электрическая связь (рис. 2) между ротором ГТД и магнитной системой тахометра (система типа «электрический вал»). Датчиком тахометра служит синхронный генератор переменного трехфазного тока с ротором, выполненным в виде постоянного магнита. Напряжение генератора по трехпроводной линии связи подается на статорную обмотку синхронного электродвигателя, ротор которого вращается синхронно с той же частотой вращения, что и ротор генератора. Синхронный электродвигатель установлен в корпусе указателя и приводит во вращение магнитный узел тахометра.

Магнитоиндукционные тахометры типа ТЭ и ИТЭ обладают погрешностью измерения частоты вращения роторов не более 0,5 %, и она увеличивается с наработкой тахометра.

В связи с использованием частоты вращения роторов для управления и регулирования режимами работы ГТД требования к точности измерения частоты вращения повышаются. Повышенные точности измерения частоты вращения роторов достигается в магнитоиндукционном методе преобразованием частоты вращения ротора в частотно-импульсный электрический сигнал, который после соответствующих преобразований поступает на экран дисплея бортовой ЭВМ или на аналоговый частотомер-указатель.

Принцип действия датчика частотно-импульсного тахометра заключается в генерации электрических импульсов, частота которых пропорциональна частоте вращения ротора ГТД. Датчик (рис. 3, а) представляет собой цилиндрический магнит 3, на котором размещена катушка 4. Катушка и магнит помещены в

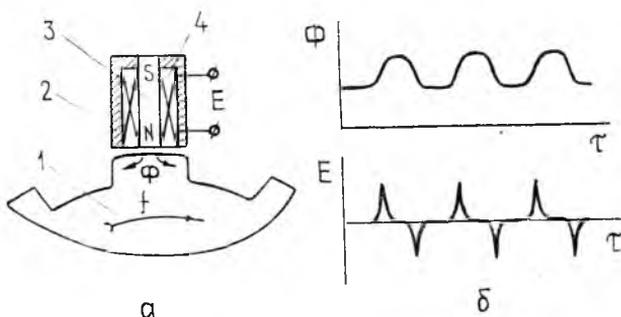


Рис. 3. Схема частотно-импульсного датчика (а) и графики изменения магнитного потока Φ и амплитуды ЭДС (б) в функции времени: 1—индуктор; 2—корпус; 3—постоянный магнит; 4—обмотка датчика

стальной корпус 2 и залиты специальным изоляционным компаундом.

Переменное магнитное поле в датчике создается в результате изменения магнитного сопротивления магнитной цепи при вращении индуктора I , вращающегося от вала двигателя. В качестве индуктора обычно используется зубчатое колесо коробки передач. При вращении индуктора за счет изменения зазора происходит изменение магнитного потока постоянного магнита. Поток Φ (рис. 3, б) увеличивается, когда зуб индуктора замыкает магнитную цепь (минимальный зазор), и уменьшается, когда под датчиком находится паз индуктора (максимальный

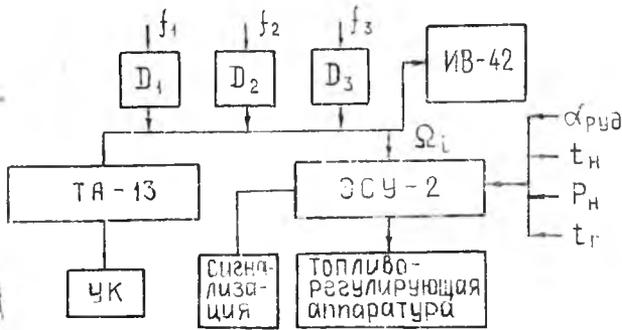


Рис. 4. Структурная схема комплексной системы регулирования двигателя Д-36: D_1, D_2, D_3 —частотные датчики ДТА-10 частоты вращения роторов; ЭСУ—электронная система управления двигателем; ЧК—трехстрелочный указатель; ИВ-42—измеритель вибрации роторов; ТА—тахометрическая аппаратура

зазор). За счет переменной составляющей магнитного потока в витках катушки индуцируется ЭДС (E), частота Ω которой определяется частотой вращения f и числом зубцов n индуктора, т. е.

$$\Omega = nf. \quad (1)$$

Примером использования частотно-импульсных датчиков для регистрации и регулирования режимов работы двигателя может служить комплексная система двигателя Д-36 на самолете ЯК-42 (рис. 4). Три частотных датчика D_1, D_2, D_3 (тип датчика ДТА-10) преобразуют частоту вращения 3 роторов двигателя в частотные сигналы. Сигналы поступают на вход тахометрической аппаратуры ТА-13, в электронную систему управления двигателем ЭСУ-2 и в измеритель вибраций ИВ-42. Для индикации частоты вращения применен 3-стрелочный указатель аналогового типа (ЧК).

3.2. КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ ТАХОМЕТРОВ

На летательных аппаратах ГА широкое распространение получили тахометры типа ТЭ (ТЭ-15, 2ТЭ-15-А, ТЭ-5-2М и др.), указывающие частоту вращения роторов в абсолютных единицах (об/мин) и типа ИТЭ (ИТЭ-1, ИТЭ-2 и др.), шкала которых проградуирована в относительных единицах—процентах. В состав тахометра входят датчик ДТЭ—генератор переменного тока и указатель, в корпусе которого установлены синхронный двигатель и магнитоиндукционный измерительный узел. Тахометры типа ИТЭ-2—сдвоенные тахометры, в комплект которых входят два датчика и один двухстрелочный указатель.

Максимальная частота вращения датчика тахометра равна 2500 об/мин, поэтому для измерения частот вращения роторов ГТД необходим редуктор с соответствующим передаточным отношением.

Датчик (рис. 5)—генератор трехфазного переменного тока с четырехполюсным постоянным магнитом 3, установленным непосредственно на вал 7. Вал ротора приводится во вращение

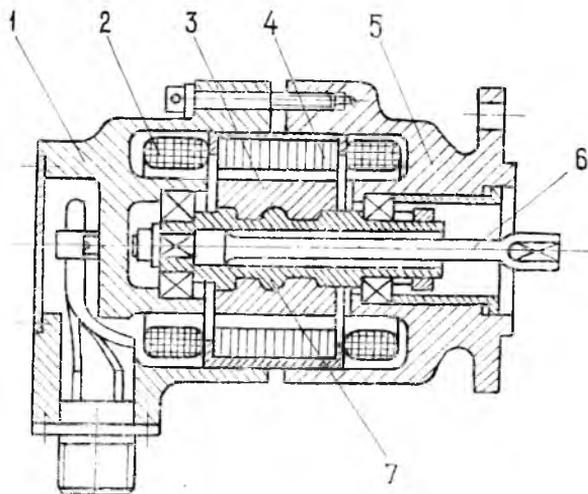


Рис. 5 Датчик тахометра типа ИТЭ: 1—крышка корпуса; 2—обмотка статора; 3—ротор-магнит; 4—статор; 5—крышка корпуса с фланцем крепления; 6—рессора; 7—втулка

от измеряемого вала через упругую рессору 6. Благодаря достаточно малой жесткости рессора демпфирует резкие изменения частоты вращения и компенсирует возможные перекосы, возникающие при монтаже датчика на объект.

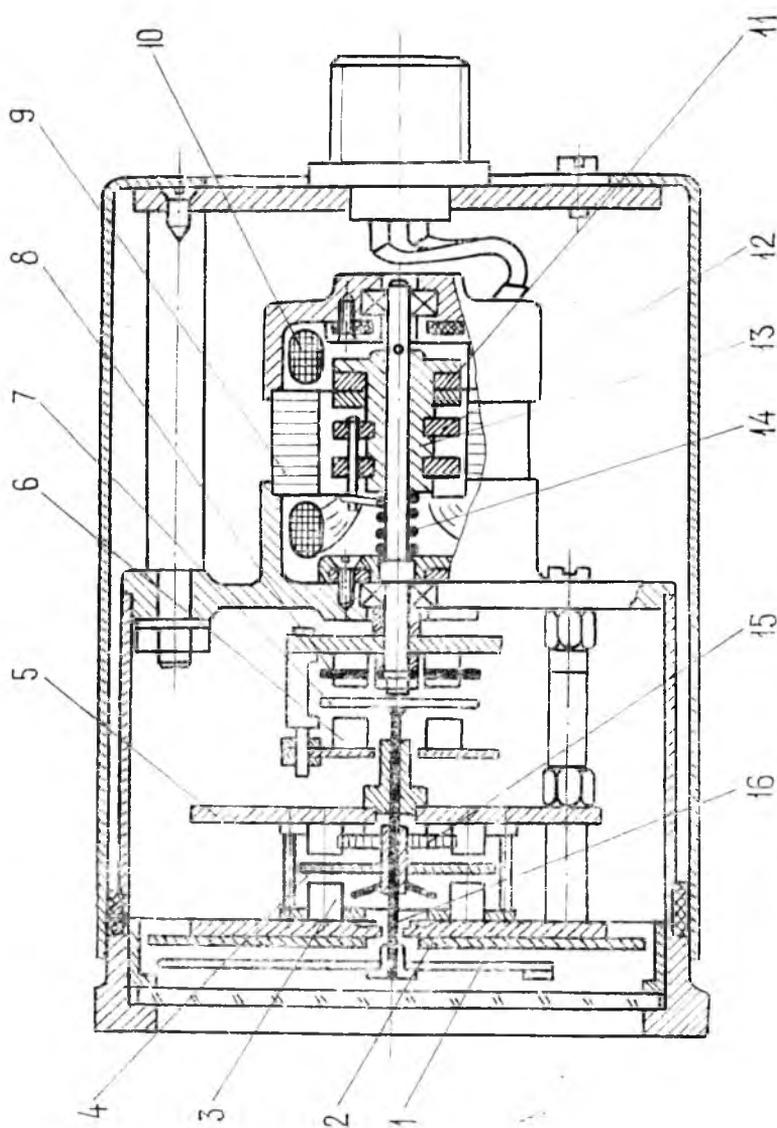


Рис. 6. Указатель тахометра типа ИТЭ-1: 1—стрелка указателя; 2—шкала; 3—магнитная система дельфера; 4—диск дельфера; 5—плато дельфера; 6—постоянный магнит магнитоиндукционного преобразователя; 7—диск чувствительного элемента; 8—терромагнитный шунт; 9—статор электродвигателя; 10—статорная обмотка; 11—гистерезисные диски; 12—четырёхполюсный магнит; 13—втулка ротора; 14—пружина

Статор генератора изготовлен из пластин трансформаторной стали. В пазы статора уложены три обмотки, соединенные по схеме «звезда».

Указатель тахометра ИТЭ-1 (рис. 6) состоит из синхронного двигателя, вращающего магнитную систему, и измерительного механизма с демпфером. Ротор синхронного двигателя содержит четырехполосный магнит 12, посаженный на втулку 13 ротора свободно, и соединен с валом пружиной 14. Пружина позволяет магниту поворачиваться относительно вала и входить в синхронизм с вращающимся магнитным полем статора.

На конце вала двигателя смонтирован магнитный узел с шестью парами постоянных магнитов 6. На магниты надето кольцо 8 — термомагнитный шунт, магнитная проницаемость которого изменяется с изменением температуры. Чувствительный элемент 7 магнитного узла (диск) выполнен из материала с малым температурным коэффициентом электрического сопротивления. К оси диска крепится пружина 15 и стрелка 1, а также диск 16 демпфирующего устройства. Демпфер по конструкции аналогичен измерительному магнитному узлу, однако платы с магнитами 3 закреплены в корпусе указателя неподвижно. Шкала 2 прибора проградуирована от 0 до 110 %.

Показывающий прибор ИТЭ-2 отличается от ИТЭ-1 наличием двух независимых измерительных узлов со своими двигателями и отсутствием демпферных устройств. Схема тахометра ИТЭ-2 приведена на рис. 7.

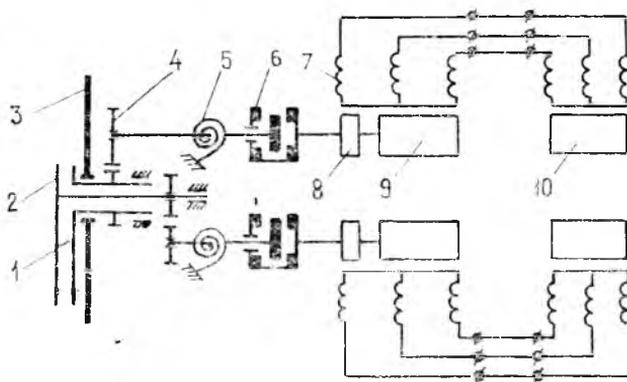


Рис. 7. Схема тахометра ИТЭ-2Т: 1,2—стрелка указателя; 3—шкала указателя; 4—зубчатая передача; 5—пружина; 6—магнитный узел с чувствительным элементом; 7—статорная обмотка синхронного двигателя; 8—гистерезисный диск; 9—ротор синхронного двигателя; 10—ротор синхронного генератора

3.3. ПОГРЕШНОСТИ МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ ТАХОМЕТРОВ

Электродистанционные тахометры типа ТЭ и ИТЭ состоят из двух конструктивных узлов — дистанционной передачи частоты вращения измеряемого вала и магнитоиндукционного преобразователя. Если характеристики дистанционной передачи вращения в процессе изготовления и эксплуатации тахометра практически не изменяются, то характеристики магнитного преобразователя подвержены влиянию различных конструктивно-производственных и эксплуатационных факторов, что приводит к возникновению погрешностей измерения частот вращения.

По характеру различают следующие виды погрешностей:

1. Систематическая погрешность — это отклонение показаний реального указателя от идеального, не имеющего погрешностей. Возникновение систематической погрешности в процессе изготовления обусловлено неидентичностью деталей, отклонениями, допущенными при сборке, регулировке и градуировке, а в эксплуатации — процессами «старения» упругих, электрических и магнитных характеристик материала деталей тахометра.

2. Случайная погрешность — это отклонение показаний реального указателя от значений измеряемой величины, обусловленное наличием трения и зазоров в сочленениях подвижных элементов, изменением условий измерений случайного характера (температуры, вибраций, внешних электрических и магнитных полей), условий считываний показаний и т. д.

Существенное влияние на величину погрешности оказывает температура окружающей среды. Изменение температуры среды (деталей тахометра) приводит к изменению величины магнитной индукции в зазоре магнитного узла, модуля упругости материала пружины, электропроводности диска чувствительного элемента, сил трения в опорах и т. д. Для уменьшения температурной погрешности в измерительном узле тахометра устанавливается термомагнитный шунт 8 (см. рис. 6), который при изменении температуры среды соответственно изменяет магнитную чувствительность тахометра в необходимых пределах. Величины допустимой суммарной погрешности для тахометров типа ИТЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1
Погрешности показаний тахометров, %

Пределы измерений, %	Температура окружающей среды, °С		
	+ 20 ± 5	+ 50 ± 5	- 60 ± 5
от 10 до 60	1,0	1,5	2,5
от 60 до 100	0,5	1,0	1,5
от 100 до 110	1,0	1,5	2,5

3.4. НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ ТАХОМЕТРОВ

Согласно ГОСТ 8.009—84 нормируемыми метрологическими характеристиками средств измерения называются характеристики, количественные значения которых устанавливаются (нормируются), определяются и контролируются. Нормируемые метрологические характеристики позволяют определить результат и погрешность измерений в рабочих условиях применения средств измерения.

К нормируемым метрологическим характеристикам тахометрических измерителей частот вращения относятся: диапазон измеряемых частот (предел измерения), рабочие условия работы, погрешности тахометра (основная и дополнительная) и номинальная функция преобразования.

Для авиационных тахометров типа ТЭ и ИТЭ диапазон измеряемых частот вращения равен 0—2500 об/мин (0—41,666 Гц) по валу датчика или 0—100 % по шкале тахометра типа ИТЭ. Функция преобразования тахометрического измерителя частоты вращения — зависимость показаний Π прибора от измеряемой частоты f , она может быть типовой и индивидуальной.

Типовая функция преобразования едина для всех магнитоиндукционных тахометров одного типа. Она нормируется аналитической зависимостью вида $\Pi = bf$, где b — коэффициент пропорциональности.

Индивидуальная функция преобразования определяется экспериментально для каждого конкретного преобразователя. Она представляется табличной формой записи, графиком или аналитической зависимостью вида $\Pi = \Pi_0 + bf$. Графическое изображение функции преобразования приведено на рис. 8. Индивидуальная функция преобразования определяется при нормальных условиях. Для тахометрических преобразователей нормальными условиями являются;

температура окружающей среды $20 \pm 5^\circ \text{C}$;

атмосферное давление 84—107 кПа (88—630 мм рт ст);

относительная влажность 45—80 %;

отсутствие внешних электрических, электромагнитных полей и ускорений.

В общем случае для средств измерений отдельно оцениваются погрешности при нормальных условиях применения и погрешности, имеющие место при выходе влияющих факторов (температура, давление, влажность, внешние воздействия и т. п.) за пределы нормальной области, но остающиеся в пределах рабочих условий. Погрешность в нормальных условиях называется основной, а погрешность, обусловленная отклонением

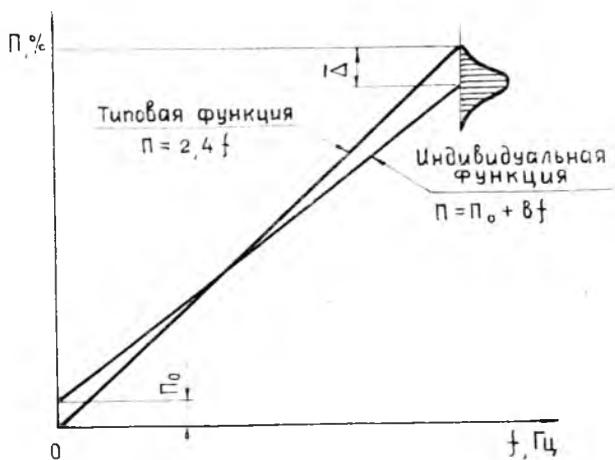


Рис. 8. Типовая и индивидуальная функции преобразования магнитоиндукционного тахометра

хотя бы одного из влияющих факторов от нормальных значений, дополнительной.

Основная погрешность средств измерения Δ состоит из двух составляющих — систематической $\bar{\Delta}$ и случайной Δ (см. рис. 8) и равна их сумме:

$$\Delta = \bar{\Delta} + \Delta. \quad (2)$$

Для магнитоиндукционных тахометров типа ТЭ и ИТЭ величина систематической и случайной погрешности не нормируется. Нормируется величина суммарной основной и дополнительной погрешности на различных участках шкалы указателя (см. табл. 1).

На рабочем участке шкалы (60—100 %) величина суммарной основной погрешности тахометров типа ИТЭ не должна превышать 0,5 деления шкалы ($\pm 0,5\%$).

Пределы допускаемых погрешностей устанавливаются в виде абсолютных Δ , относительных δ и приведенных $\delta_{пр}$ погрешностей. Приведенной погрешностью $\delta_{пр}$ называется отношение абсолютной погрешности Δ к диапазону измерения частоты вращения D , т. е. $\delta_{пр} = \frac{\Delta}{D} 100\%$.

Основные метрологические характеристики подлежат контролю перед постановкой тахометра на объект и далее периодически проверяются в течение установленного ресурса. Резуль-

гаты проверок фиксируются в технической документации (в паспорте изделия).

Контроль нормируемых метрологических характеристик тахометров в общем случае производится в нормальных условиях и при раздельном воздействии влияющих факторов, соответствующих рабочим условиям. Для тахометров типа ТЭ и ИТЭ перечень влияющих факторов не оговаривается и проверки проводятся в нормальных условиях.

Проверка основных метрологических характеристик тахометрических измерителей производится на специальных стендах.

3.5. СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАХОМЕТРИЧЕСКИХ УКАЗАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Проверка характеристик тахометра заключается в определении экспериментальным путем индивидуальной функции преобразования указателя и сравнения ее с типовой. Если индивидуальная функция преобразования отличается от типовой на величину большую, чем нормируемая величина допуска, указатель к эксплуатации не пригоден. Определение индивидуальной функции измерителя типа ИТЭ проводится при дискретных значениях частот вращения. Применяемые в поверочных установках контрольные измерительные приборы (измеритель частоты вращения) должны иметь погрешности на порядок меньше, чем нормируемая величина основной погрешности проверяемых указателей. На поверочной установке задаются дискретные значения частот вращения (не менее 5) и регистрируются показания проверяемого указателя. По результатам измерений функция преобразования представляется в табличной форме и в виде аналитической зависимости

$$\Pi = \Pi_0 + bf,$$

где Π — показания проверяемого указателя;

b — коэффициент пропорциональности;

f — частота вращения.

Для указателя типа ИТЭ показания выражаются относительной величиной в процентах, 100% по шкале указателя должно соответствовать 2500 об/мин датчика. Допуски на отклонение не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.

В лабораторной работе в качестве эталонного измерителя частоты вращения используется цифровой частотомер. Для уменьшения погрешности измерения измеряется не частота, а период колебаний при дискретных значениях показаний указа-

теля тахометра. Период колебаний T связан с частотой вращения f соотношением $f = 1/T$.

Проверка указателя проводится совместно с датчиком в следующей последовательности:

1. Определяется индивидуальная характеристика (функция преобразования) тахометра вида $\Pi = \Pi_0 + bf$ по результатам измерений периода частоты вращения датчика для контрольных значений показаний по указателю проверяемого тахометра.

Коэффициенты Π_0 и b вычисляются по методу наименьших квадратов по формулам

$$\Pi_0 = \frac{n \sum f_i^2 \sum n_i^2 - \sum f_i \sum n_i f_i}{n \sum f_i^2 - (\sum f_i)^2}, \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum \Pi_i f_i - \sum \Pi_i \sum f_i}{n \sum f_i^2 - (\sum f_i)^2}, \quad (4)$$

где n — число измерений.

2. Вычисляется величина систематической погрешности тахометра как максимальная абсолютная разница между показаниями идеального и проверяемого тахометра (определяется по индивидуальной функции измерителя) для контрольных значений частот вращения.

3. Определяется величина случайной погрешности по результатам многократных (более 10) измерений одной и той же частоты вращения при доверительной вероятности 0,997.

4. Вычисляется суммарная основная погрешность по формуле

$$\Delta = \bar{\Delta} + \overset{\circ}{\Delta}.$$

5. Вычисляется доверительная вероятность невыхода результата измерения из поля допуска $\pm 0,5\%$ (тахометр типа ИТЭ) для контрольной точки, соответствующей частоте вращения 41,666 Гц (показания идеального тахометра типа ИТЭ $\Pi = 100\%$). Тахометр считается пригодным для установки на объект при доверительной вероятности 0,95 нахождения результата измерения в поле допуска.

6. Для годного к эксплуатации тахометра вычисляется приведенная основная погрешность.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Практическая часть работы заключается в получении экспериментальных данных для определения индивидуальной функции преобразования измерителя частоты вращения типа ИТЭ-1,

систематической и случайной погрешностей в нормальных условиях.

4.1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В состав экспериментальной установки (рис. 9) входят стенд для снятия характеристик указателей частоты вращения, цифровой частотомер и электронный осциллограф. Осциллограф используется для наблюдения формы электрического сигнала, вырабатываемого датчиком тахометра. Стенд содержит фрикцион-

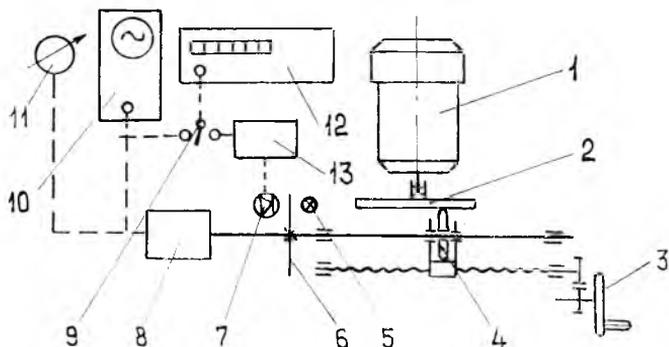


Рис. 9. Состав экспериментальной установки: 1—электродвигатель вариатора; 2—ведущий диск вариатора; 3—штурвал вариатора; 4—текстолитовый диск; 5—лампа накаливания; 6—диск фотодиодного преобразователя; 7—фотодиод; 8—датчик проверяемого тахометра; 9—переключатель; 10—электронный осциллограф; 12—частотомер; 13—электронный блок фотодиодного преобразователя

ный вариатор с приводом от асинхронного электродвигателя. Вариатор позволяет в широком диапазоне (от нуля до 3000 об/мин) изменять частоту вращения выходного вала, который через жесткую муфту вращает вал-рессору датчика. Изменение частоты вращения датчика тахометра осуществляется вращением штурвала, который через червячный редуктор и винтовую пару перемещает ведомый фрикционный диск вариатора относительно ведущего, изменяя величину передаточного отношения вариатора. На выходном валу вариатора смонтирован фотодиодный преобразователь, который предназначен для преобразования частоты вращения вала в электрические импульсы напряжения.

При вращении вала вариатора диск 6 (рис. 9) с отверстием периодически освещает фотодиод 7, который совместно с электронным блоком 13 вырабатывает импульсный электрический

сигнал. Импульсы напряжения используются для точного измерения частоты (периода) вращения датчика цифровым частотомером.

Органы управления установкой размещены на передней панели (рис. 10). Нажатием кнопок 10 «Пуск» и «Стоп» осуществляется управление электродвигателем вариатора, а автоматом защиты 6 включается в работу фотодиодный преобразователь частоты вращения вала вариатора.

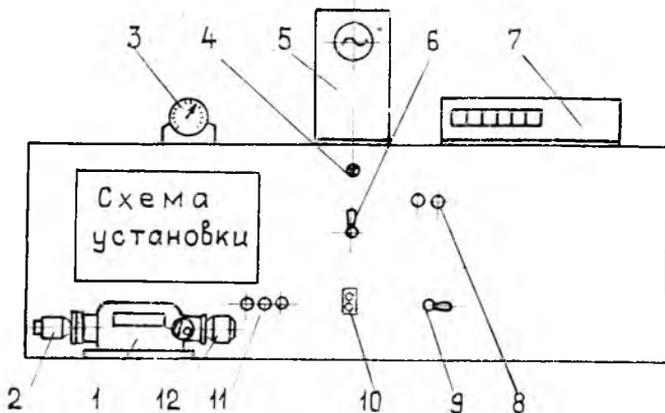


Рис. 10. Вид на переднюю панель установки: 1—вариатор; 2,12—датчики тахометра; 3—проверяемый указатель; 4—лампа сигнализации; 5—осциллограф; 6—АЗС питания 27В; 7—частотомер; 8—клеммы подключения частотомера; 9—переключатель подключения клемм 8 к электронному блоку фотодиодного преобразователя или к датчику тахометра; 10—кнопка управления двигателем вариатора; 11—клеммы подключения проверяемого указателя тахометра

Проверяемый указатель и датчик тахометра электрически соединены линией связи через клеммы 11. К этим клеммам подсоединяется кабель осциллографа. Частотомер подключается кабелем к клеммам 8 и в зависимости от положения переключателя 9 позволяет измерять либо частоту вращения вала вариатора, либо частоту электрического тока датчика тахометра.

На верхней панели установки установлены проверяемый указатель 3, осциллограф 5 и частотомер 7.

4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Получение экспериментальных данных на установке проводится в следующей последовательности:

1. Включить частотомер и осциллограф переводом выключателей «Сеть» в положение «Включено» и проконтролировать их включение по загоранию сигнальных ламп. Проверить подключение частотомера и осциллографа соответственно к гнездам 8 и 11 (рис. 10) передней панели установки.

2. Включить автомат защиты АЗС 6 питания и проконтролировать включение установки по загоранию сигнальной лампы 4.

3. Подключить проверяемый указатель тахометра к клеммам 11 стенда.

4. Проверить положение переключателя 9 подключения частотомера к выходу электронного блока фотодиодного преобразователя. Переключатель должен находиться в левом положении.

Примечание. Если переключатель находится в правом положении, то вход частотомера подключен к датчику тахометра.

5. Включить электродвигатель вариатора нажатием кнопки «Пуск».

6. Вращением штурвала вариатора установить требуемое показание измерителя тахометра (табл. П1 протокола испытания) и по показанию частотомера замерить величину периода T вращения выходного вала вариатора (датчика тахометра). Результат измерения занести в протокол испытания.

7. Замерить периоды вращения датчика для других контрольных точек при прямом (увеличении частоты вращения) и обратном ходе (уменьшении частоты вращения). Результаты измерений занести в протокол испытания.

8. На каждом режиме испытания контролировать величину и форму напряжения от датчика тахометра на экране осциллографа. Убедиться, что с увеличением частоты вращения амплитуда напряжения возрастает и не происходит искажения его формы.

9. Измерить многократно (≥ 10) период вращения датчика тахометра для показания указателя 95 % как при прямом, так и обратном направлениях подхода к контрольной точке 95 %. Результаты занести в табл. П2 протокола испытания.

10. Уменьшить частоту вращения вала вариатора до минимально возможной, выключить электродвигатель, частотомер, осциллограф и АЗС стенда.

4.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Определить индивидуальную функцию преобразования. Вычислить значение частот вращения f_i вала вариатора для каждой величины периода T_i :

$$f_i = 1/T_i.$$

Вычислить значения коэффициентов Π_0 и b уравнения индивидуальной функции преобразования тахометра по формулам (3) и (4).

2. Определить систематическую погрешность.

Для эталонных значений частот вращения датчика $f_{\text{эт}}$ (табл. ПЗ) вычислить величину показания проверяемого указателя по уравнению $\Pi = \Pi_0 + bf_{\text{эт}}$ индивидуальной функции преобразования тахометра.

Вычислить величину отклонения показания проверяемого тахометра от идеального для каждого значения:

$$\Delta \Pi_i = \Pi_i - \Pi_{\text{ит}}$$

Определить величину систематической погрешности

$$\bar{\Delta} = |\Delta \Pi_i|_{\text{макс.}}$$

3. Определить случайную погрешность.

Вычислить значения частот вращения f_i по результатам многократных измерений периода вращения датчика (табл. ПЗ).

Вычислить значение показания тахометра для каждой частоты вращения f_i по уравнению индивидуальной функции преобразования $\Pi_i = \Pi_0 + bf_i$.

Вычислить среднее значение показания тахометра

$$\bar{\Pi} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Pi_i,$$

где n — число измерений.

Определить значение среднего квадратичного отклонения по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{\Pi} - \Pi_i)^2}{n-1}}$$

Определить величину случайной погрешности, принимая нормальный закон распределения и величину доверительной вероятности 0,957

$$\Delta = 2 \sigma.$$

Определить величину суммарной погрешности

$$\Delta = \bar{\Delta} + \Delta.$$

4. Определить вероятность невыхода результата измерения проверяемого указателя из поля допуска $\pm 0,5\%$ для контрольной точки $f_{\text{эт}} = 41,666$ Гц.

Вычислить значение квантиля нормального распределения Z и по табл. 2 определить величину вероятности $P = \Phi(Z)$. Для

Нормированная функция Лапласа $\Phi(Z)$

Z	$\Phi(Z)$, с учетом сотых долей Z				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
0.0	0.500	0.508	0.516	0.524	0.532
0.1	0.5398	0.548	0.5556	0.5635	0.571
0.2	0.579	0.587	0.595	0.603	0.610
0.3	0.618	0.625	0.633	0.640	0.648
0.4	0.655	0.663	0.670	0.677	0.683
0.5	0.691	0.698	0.705	0.712	0.719
0.6	0.726	0.732	0.739	0.745	0.752
0.7	0.758	0.764	0.770	0.776	0.782
0.8	0.788	0.794	0.799	0.805	0.810
0.9	0.816	0.821	0.826	0.831	0.836
1.0	0.841	0.846	0.850	0.855	0.860
1.1	0.864	0.869	0.873	0.877	0.881
1.2	0.885	0.889	0.892	0.896	0.899
1.3	0.903	0.906	0.910	0.914	0.916
1.4	0.919	0.922	0.925	0.928	0.930
1.5	0.933	0.936	0.938	0.940	0.943
1.6	0.945	0.947	0.949	0.951	0.953
1.7	0.955	0.957	0.959	0.961	0.962
1.8	0.964	0.965	0.967	0.968	0.970
1.9	0.971	0.972	0.974	0.975	0.976
2.0	0.977	0.978	0.979	0.980	0.981
2.1	0.982	0.983	0.984	0.985	0.9854
2.2	0.986	0.9868	0.987	0.988	0.9887
2.3	0.989	0.9898	0.990	0.9908	0.991
2.4	0.9918	0.992	0.9926	0.993	0.9934
2.5	0.9938	0.9941	0.9945	0.9948	0.995
2.6	0.9953	0.9956	0.9958	0.9961	0.9963
2.7	0.9965	0.9967	0.9969	0.9971	0.9973
2.8	0.9974	0.9976	0.9977	0.9978	0.998
2.9	0.9981	0.9982	0.9983	0.9984	0.9985

случая, когда $\bar{\Pi}_{\text{инд}}$ меньше нижней границы допуска 99,5 % (рис. 11, а):

$$Z = \frac{99,5 - \bar{\Pi}_{\text{инд}}}{\sigma} \text{ и } P = 1 - \Phi(Z).$$

Для случая, когда $\Pi_{\text{инд}}$ находится в поле допуска 99,5 — 100,5 % (рис. 11, б):

$$Z_1 = \frac{100,5 - \bar{\Pi}_{\text{инд}}}{\sigma}, Z_2 = \frac{99,5 - \bar{\Pi}_{\text{инд}}}{\sigma}$$

$$P = \Phi(Z_1) - \Phi \times \\ \times (-Z_2) \text{ или } P = \Phi \times \\ \times (Z_1) - [1 - \Phi(Z_2)]$$

Для случая, когда $\bar{P}_{\text{инд}}$ больше верхнего предела 100,5 % (рис. 11, в):

$$Z = \frac{100,5 - \bar{P}_{\text{инд}}}{\sigma}$$

$$P = \Phi(-Z) = \\ = 1 - \Phi \times (Z).$$

Дать заключение о годности тахометра к установке на объект.

Условием годности служит неравенство $P \geq 0,95$.

Примечания: 1. Заштрихованная площадь под кривой плотности вероятности нормального распределения — вероятность нахождения результата измерения в поле допуска.
2. Все пункты подразд. 4.3 (кроме 4) выполняются на ЭВМ с использованием программы, разработанной кафедрой ЭЛАНД.

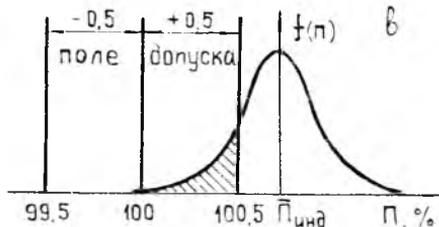
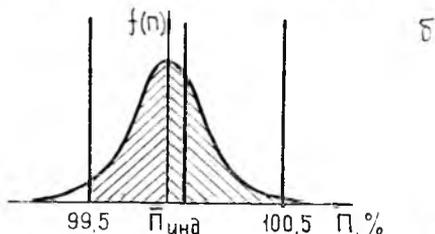
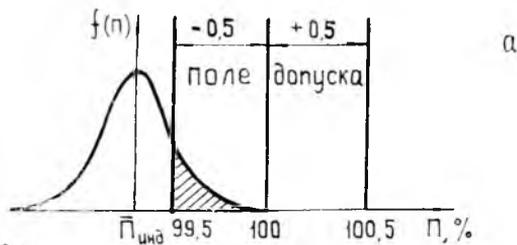


Рис. 11. К определению доверительной вероятности выхода показаний проверяемого тахометра из поля допуска для контрольной точки $f_{21} = 11,666 \text{ Гц}$

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы магнитоиндукционного тахометра типа ИТЭ.
2. Как влияет температура среды на показания тахометра?
3. Причины возникновения систематической и случайной погрешностей.
4. Чем различаются типовая и индивидуальная функции преобразования тахометра?
5. Почему необходимо согласовывать диапазоны измерения частот вращения тахометра типа ИТЭ и измеряемого вала ГТД?
6. Какие характеристики тахометра нормируются?

7. Дайте определения основной и дополнительной погрешностей.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Принцип работы и техническая характеристика магнитодукационного тахометра.
2. Протокол результатов измерений и расчетных величин.
3. График функции преобразования.
4. Результаты проверки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Браславский Д. А., Логунов С. С., Пельпор Д. С.* Авиационные приборы и автоматы. М.: Машиностроение, 1978. 428 с.
2. Авиационные приборы и измерительные системы /Под ред. *В. Г. Воробьева*. М.: Транспорт, 1981. 391 с.
3. *Селиванов М. Н., Фридман А. Э., Кудряшева Ж. Ф.* Качество измерений. Метрологическая справочная книга. Л.: Лениздат, 1987. 295 с.

Приложение

Протокол испытания

тип указателя _____ № _____ дата _____

Таблица III

Параметры	контрольные точки $P_{эт}, \%$					
	35	55	65	75	85	95
T_i пр ход, МС						
T_i обр ход, МС						
f_i пр ход, Гц						
f_i обр ход, Гц						
Уравнение преобразования						

Таблица III2

Результаты измерений и вычислений величины случайной погрешности тахометра

Параметры	Контрольная точка 95 % по указателю ИТЭ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T_b , МС								
f_i , Гц								
P_{i_1} , %								
\bar{P} , %								
σ , %								
Δ , %								

Параметры	Контрольные точки $P_{эТ}, \%$				
	20	40	60	80	100
$f_{эТ}, \text{Гц}$	8,3333	16,6666	25,0	33,333	41,666
$T_{эТ}, \text{МС}$	120,0	60,0	40,0	30,0	24,0
$n_{эТ}, \text{об/мин}$	500	1000	1500	2000	2500
$P_i, \%$					
$\Delta P_i, \%$					
$\bar{\Delta}$					
$\overset{\circ}{\Delta}$					
$\Delta = \bar{\Delta} + \overset{\circ}{\Delta}$					

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	1
2. Порядок выполнения работы	1
3. Общие сведения об авиационных измерителях частоты вращения	1
3.1 Назначение и принцип действия авиационных тахометров	1
3.2 Конструкция магнитоиндукционных тахометров	6
3.3 Погрешности магнитоиндукционных тахометров	9
3.4 Нормируемые метрологические характеристики магнитоиндукционных тахометров	10
3.5 Способы проверки и определения основных метрологических характеристик тахометрических указателей частоты вращения	12
4. Экспериментальное определение метрологических характеристик	13
4.1 Описание экспериментальной установки	14
4.2 Технологические указания	15
4.3 Обработка результатов измерений	16
5. Контрольные вопросы	19
6. Содержание отчета	20
Библиографический список	20
Приложение	21