

ИЗМЕРЕНИЕ МАССОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ДВИГАТЕЛЯХ ПС-90А

Е.Ф. Фурмаков, д-р техн. наук, профессор, Главный конструктор ОАО «Техприбор»;

В.С. Гусев, Главный специалист, г. Санкт-Петербург, Россия

Одним из основных тематических направлений нашего предприятия является разработка и поставка в эксплуатацию авиационных расходомеров: систем суммарного расхода, вычисляющих текущий запас топлива на самолете (в том числе на самолетах-заправщиках) в единицах массы (кг) или объема (m^3), и систем массового расхода, вычисляющих массовый расход топлива (Q_m) силовых установок (СУ) в единицу времени (кг/ч).

1. Методы измерения массового расхода топлива силовыми установками летательных аппаратов

Известны различные методы гидродинамических измерений расхода жидкости, например, такие как объемный - по перепаду давления, поршневой - по вытеснению объема, магнитогидродинамический - с метками потока, ультразвуковой - доплеровский, инерциальный - по измерению момента кориолисова ускорения, тепловой - анемометрический и др. [1, 2].

В настоящее время в авиации в основном используются расходомеры Q_m , реализованные только на двух методах измерения:

- на основе турботахометрического датчика роторного типа с приводом от потока,
- на основе датчика с измерением момента кориолисова ускорения.

Расходомеры Q_m по методу измерения кориолисова ускорения ввиду сложности конструкции датчика используются в основном на стендах авиационных двигателей в качестве эталонного.

Датчики Q_m турботахометрического принципа действия с приводом от потока (рис.1) обладают рядом преимуществ:

- высокая механическая прочность – работоспособность в контуре топливной магистрали высокого давления до 15 МПа (150 атм.);

- широкий диапазон измеряемых расходов - кратность изменения расхода ($Q_{max} \backslash Q_{min}$) не менее 40;
- работоспособность при температуре контролируемой среды в диапазоне $-60 \dots +120^\circ\text{C}$.

2. Особенности конструкции датчика массового расхода авиадвигателя ПС-90А

Новой разработкой нашего предприятия в области массовых расходомеров явилась модификация конструкции датчика (ДРТ5-3М) для канала измерения Q_m двигателя ПС-90А, реализованного в бортовой системе контроля двигателя БСКД-90А.

Аналогом датчика ДРТ5-3М служат датчики ДРТ5-3А, ДРТ5-Б. Датчики ДРТ5-3А,Б содержат роторный узел, выполненный в виде:

- ведущей турбины, составной, подпружиненной, с переменным шагом угла наклона лопастей, обеспечивающим перепуск топлива в целях обеспечения заданного диапазона измерения массового расхода Q_m за счет логарифмической зависимости $\omega = f(\ln Q_m)$, где ω - угловая скорость вращения ведущей турбины;
- ведомой турбины, прямолопастной, упруго-вязанной с ротором ведущей турбины.

При этом метрологическая характеристика (рис. 2) датчика ДРТ5-3Б выполнена типовой в отличие от индивидуальной метрологической характеристики датчика ДРТ5-3А. Это вызывало неудобство в эксплуатации, т.к. тридцать два градуировочных коэффициента индивидуальной характеристики датчика ДРТ5-3А должны были быть записаны в память БЦВМ каждой силовой установки самолета.

Датчик ДРТ5-3М имеет принципиальное отличие по выполнению конструкции ведущей турбины. В данной конструкции логарифмическая зависимость $\omega = f(\ln Q_m)$ обеспечивается перепуском топлива за счет расширения зазора прямооточных каналов 20-

лепестковым барабаном консольного типа, выполненного из сплава 36НХТЮ. Это конструктивное решение снизило влияние сил вязкостного трения, что позволило обеспечить новое требование по расширению диапазона измерения в область малых расходов и при этом сохранить типовую метрологическую характеристику датчика.

Внешний вид роторного узла показан на рис. 3.

Узел содержит пять подшипников качения, две турбины и калиброванную высокостабильную пружину, упруго связывающую ведомую прямолопостную турбину с ротором ведущей турбины. В качестве меток тахометрического узла служат магниты, выполненные из сплава редкоземельных металлов самарий - кобальт, которые диаметрально парами установлены на каждой турбине.

3. Стендовые испытания и метрологическая аттестация датчика Q_m

Стендовые испытания и метрологическую аттестацию датчика Q_m проводят на топливе марки ТС-1, при этом в соответствии с ГОСТ 8.407-80 нормированию подлежит следующий набор метрологических характеристик:

- номинальная статическая характеристика преобразования расходомера;
- диапазон измерений $Q_{min} - Q_{max}$;
- информативный параметр выходного сигнала;
- характеристики систематической составляющей погрешности Δ_c ;
- характеристики случайной составляющей погрешности δ_1 ;
- характеристики основной погрешности δ_2 ;
- неинформативные параметры выходного сигнала;
- воздействие расходомера на поток;
- динамическая характеристика;
- функция влияния $\psi(\xi)$, где ξ - влияющая величина;
- метрологическая надежность.

4. Альтернативные решения измерения массового расхода на авиадвигателях самолетов

В связи с высокой стоимостью сложного механического турботахометрического датчика Q_m , а также в связи

с тем, что в Авиационных правилах АП-25, действующих в настоящее время, сняты требования обязательной индикации расхода с заданной точностью, в последнее время наблюдается тенденция к отказу от автономного средства измерения Q_m путем перехода к косвенному контролю массового расхода - по положению дозирующей иглы топливного регулятора, задаваемому системой авторегулирования авиадвигателя РЭД. Однако при этом погрешность измерения Q_m возрастает в 5-10 раз, что исключает реализацию функции альтернативного дублирующего средства измерения суммарного запаса текущего топлива на самолете по параметру Q_m .

5. Заключение

Эксплуатация по техническому состоянию парка двигателей ПС-90А, в настоящее время, обеспечивается эффективным контролем набора параметров двигателя системой БСКД-90, в том числе параметра Q_m на всех этапах полета: взлет, полет на эшелоне, посадка и руление. Параметр Q_m также необходим для вычисления интегрального расхода топлива всеми СУ самолета за полет. Результат интегрирования Q_m бортовым вычислителем является вторым независимым источником информации определения текущего запаса топлива в полете. Наличие второго альтернативного источника измерения запаса по параметру Q_m является обязательным требованием при сертификации самолетов Гражданской авиации.

Литература

1. Катус Г.П. Системы автоматического контроля полей скоростей и расходов.- М.: Наука, 1965.- 180 с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества.- Л.: Машиностроение, 1989.- 165 с.

Поступила в редакцию 19.05.03

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. АН. Синяков, Государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург; канд. техн. наук, зам. Главного конструктора Н.В. Поливанов, ОАО «Техприбор», г. Санкт-Петербург.

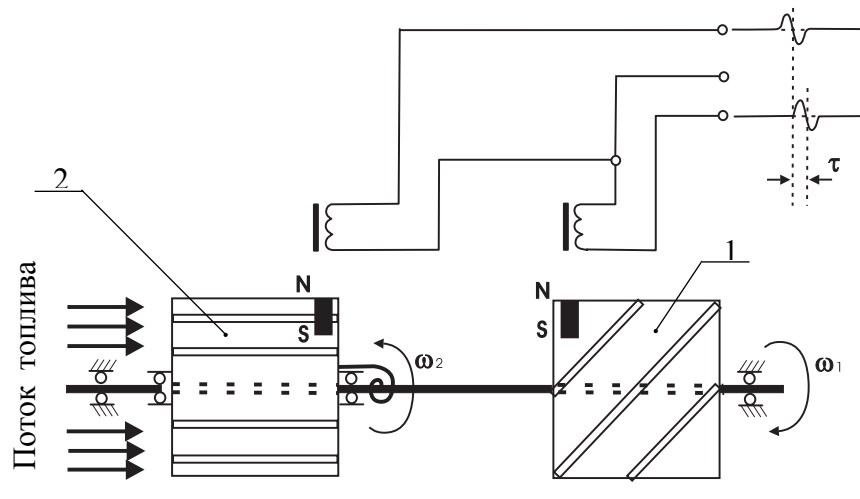


Рис. 1. Кинематическая схема турботахометрического датчика Q_m :

$\omega_1 = f(\ln Q_m)$ – угловая скорость ведущей турбины 1,
 $\omega_2 = \omega_1 - \Delta\omega$ – угловая скорость ведомой турбины 2,
 $\tau = f(Q_m)$ – время-импульсный сигнал датчика Q_m

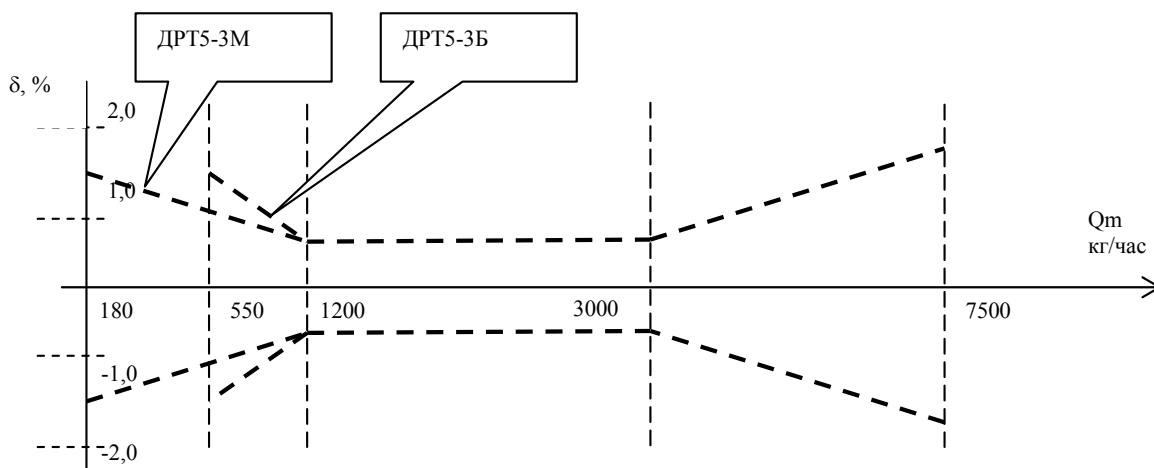
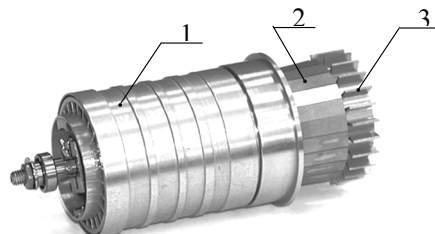


Рис. 2. Характеристика δ случайной составляющей погрешности датчиков массового расхода типа ДРТ5

Поддиапазоны Q_m двигателя ПС-90А, кг/ч:
 180...1200 – режимы «малый газ», руление;
 1200 ... 3000 – крейсерский режим полета;
 3000 ... 7500 – чрезвычайный режим



а)



б)

Рис. 3. Датчик массового расхода ДРТ5-3М

а) внешний вид;
 б) роторный узел датчика:
 1 – цилиндр вращающийся,
 2 – барабан лепестковый перепуска топлива,
 3 – турбина ведущая (гидропривод)