

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА И ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ВХОДЕ В ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Пестов Д.В.

Самарский университет, г. Самара, denispestov@list.ru

*Ключевые слова:* газотурбинный двигатель, параметры потока, погрешность измерения.

При проведении специальных испытаний авиационных газотурбинных двигателей для определения распределений параметров потока по сечению на его входе, таких как полное  $p^*$  и статическое  $p$  давление, приведённая  $\lambda$  и абсолютная скорость  $C$ , плотность  $\rho$  потока применяются комбинированные приёмники давления (рис. 1), оснащённые термопарами 7 для измерения полной температуры потока  $t^*$ .

Приёмники такого устройства позволяют определять как осреднённые параметры потока, так и их динамические характеристики – амплитуду и частоту пульсаций. Стоит отметить, что благодаря минимальной длине каналов подвода воздуха к датчикам перепада давления в таких приёмниках практически отсутствуют искажения амплитудно-частотных характеристик набегающего потока.

Работает комбинированный приёмник следующим образом (рис.1). При набегании воздуха на вход в приёмник с абсолютной скоростью  $C$  и статическим давлением  $p$  поток тормозится и воздействует с внутренней стороны на чувствительные элементы датчиков 2 и 3 с полным абсолютным давлением  $p^*$ .

С внешней стороны на чувствительный элемент датчика 2 действует атмосферное давление  $p_H$ , подводимое по каналу 6. Поэтому на чувствительный элемент датчика 2 воздействует и, следовательно, замеряется перепад давления  $p^* - p_H$ , представляющий собой полное избыточное полное давление потока  $p_{изб}^* = p^* - p_H$ .

С внешней стороны на чувствительный элемент датчика 3 действует статическое давление потока  $p$ , подаваемое через канал 5. Поэтому этот чувствительный элемент находится под воздействием перепада давления  $p^* - p = \Delta_p$ .

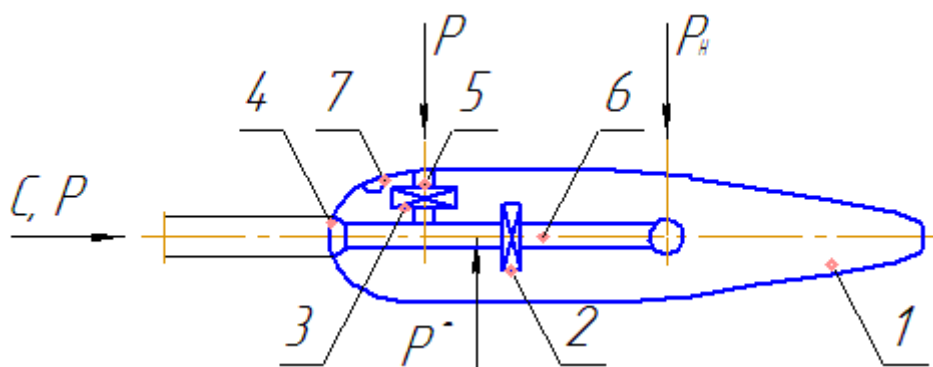


Рис. 1 Принципиальная схема комбинированного приёмника

1- корпус приёмника, 2-датчик абсолютного давления, 3-датчик скоростного напора, 4-отверстие для подвода полного абсолютного давления, 5-отверстие для подвода статического давления, 6-трубка подвода атмосферного давления, 7-термопара для замера температуры заторможенного воздушного потока

Измеряемые значения параметров  $p_{изб}^*$ ,  $\Delta_p$ ,  $p_H$  и  $t^*$  (в °C) позволяют найти:

- полное и статическое абсолютное давление потока  $p^* = p_{изб}^* + p_H$  и  $p = p^* - \Delta p$ ;
- газодинамических функций  $\pi(\lambda) = p/p^*$ ,  $\lambda = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \{1 - [\pi(\lambda)]^{\frac{k-1}{k}}\}}$  и  $\tau(\lambda) = 1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2$ ;
- абсолютной скорости потока  $C = \lambda \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT^*}$ ;
- статической температуры  $T = T^* \tau(\lambda)$ ;
- плотности потока  $\rho = p/(RT)$ ,

где  $k$  и  $R$  - коэффициент изэнтропии и удельная газовая постоянная воздуха, а  $T^*$  - полная температура потока в градусах Кельвина.

На основании представленных выше формул для обработки результатов измерений в соответствие с рекомендациями МИ 2083-90 [1] была составлена методика нахождения предельных относительных погрешностей косвенных измерений  $p$ ,  $p^*$ ,  $T$ ,  $T^*$ ,  $\lambda$ ,  $C$ ,  $\rho$ . Причём методика определения погрешностей была составлена в двух вариантах: без учёта и с учётом изменения плотности потока воздуха при его торможении в приёмнике полного давления.

Выполненная в последствие апробация разработанной методики показала, что учёт сжимаемости воздушного потока позволяет снизить погрешность определения параметров потока, в частности, абсолютной скорости на 0,3...1,2% в диапазоне  $\lambda = 0,15...0,30$  и на 1,2...4,6% в диапазоне  $\lambda = 0,35...0,65$ .

Расчёты также показали, что при параметрах потока в стандартных условиях ( $t^* = 15^\circ\text{C}$ ,  $p_H = 101330$  Па) и типовых погрешностях измерений, приведённых в табл. 1, погрешности косвенных измерений (с учётом сжимаемости воздушного потока) равны значениям, представленным в табл. 2.

Табл. 1. Значения параметров и их предельных погрешностей, определяемых прямыми измерениями

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение*
Предельная абсолютная погрешность измерения полной температуры воздуха на входе в двигатель	$\Delta t_{вх}^*$	°C	1,0
Предельная относительная погрешность измерения атмосферного давления	$\delta p_H$	%	0,15
Предельная относительная погрешность измерения полного избыточного давления	$\delta p_{изб}^*$	%	0,1
Предельная относительная погрешность измерения разницы между полным и статическим давлением	$\delta \Delta p$	%	0,1

Табл. 2. Значения предельных погрешностей косвенных измерений

Параметр	Значение*			
	$\lambda = 0,15$	$\lambda = 0,35$	$\lambda = 0,50$	$\lambda = 0,65$
Полного абсолютного давления потока $\delta p^*$ , %	0,16	0,15	0,14	0,13
Статического абсолютного давления потока $\delta p$ , %	0,17	0,17	0,17	0,17
Плотности потока $\delta \rho$ , %	0,39	0,40	0,40	0,41
Абсолютной скорости потока $\delta C$ , %	7,6	1,6	0,70	0,40

\* - значения погрешностей приведено без учёта знака.

Из данных табл. 2 следует, что в области рабочих режимов двигателя при  $\lambda \geq 0,35$  погрешность  $\delta C \leq 1,6\%$ , что можно считать вполне приемлемым, также как и погрешности  $\delta p^*$ ,  $\delta p$  и  $\delta \rho$ .

## Список литературы

1. МИ 2083-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: дата введения 1992-01-01/ Комитет стандартизации и метрологии СССР. - Изд. официальное. – Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.

### Сведения об авторах

Пестов Денис Вячеславович, аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачёва. Область научных интересов: газодинамическая устойчивость газотурбинных двигателей.

## **ANALYSIS OF AN EXPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINING FLOW PARAMETERS AND THEIR ERRORS AT THE GAS TURBINE ENGINE INLET**

Pestov D.V.

Samara National Research University, Samara, Russia, denispestov@list.ru

*Keywords: gas turbine engine, flow parameters, measurement error.*

When conducting special tests of aviation gas turbine engines, combined pressure receivers equipped with thermocouples for measuring the total flow temperature are used to determine the distributions of flow parameters along the cross-section at its inlet, such as total and static pressure, reduced and absolute velocity, and flow density.

Receivers of such a device allow determining both the averaged flow parameters and their dynamic characteristics – the amplitude and frequency of pulsations.

It is worth noting that due to the minimum length of the air supply channels to the pressure drop sensors in such receivers, there are practically no distortions of the amplitude-frequency characteristics of the incoming flow.