

Аналогичная камера сгорания мощностью 180 кВт ($\approx 18 \text{ м}^3/\text{ч}$ расход природного газа) аттестовывалась на Каменском заводе испытаний горелочных устройств. Результаты показали ее хорошие характеристики: устойчивую работу вплоть до стехиометрического состава смеси, высокую полноту сгорания топлива (недожог по СО и C_nH_m в продуктах сгорания на выходе из камеры не обнаружен даже при $\alpha \approx 1$); концентрация NO_x , приведенная к $\alpha = 1$ составляет $102 \text{ мг}/\text{м}^3$ (или $\approx 50 \text{ р.р.м.}$).

Общий вывод из работы: данный способ сжигания газообразного топлива позволяет конструировать камеры сгорания с достаточно высокими рабочими характеристиками. В настоящей работе далеко не исчерпаны возможности диффузионного способа организации процесса сжигания и требуется продолжение его исследования и совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурико Ю.Я., Кузнецов В.Р. Влияние подмешивания воздуха к горючему газу на образование окислов азота в турбулентном диффузионном факеле. // ФГВ №4, 1980, том 16. - С. 60...67.
2. Бурико Ю.Я., Кузнецов В.Р. Образование окислов азота при турбулентном диффузионном горении в течениях струйного типа. - Труды ЦИАМ №1086, 1983. - С. 1...7.
3. Иванов Ю.В. Газогорелочные устройства. - М.: Недра, 1972. - 376 с.
4. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашениников С.Ю. и др. Теория турбулентных струй. - М.: Наука, 1984. - 720 с.
5. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалов И.В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. - М.: Машиностроение, 1964. - 526 с.

УДК 629.7.05

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРЕВА ПОТОКА В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Батенин А.В.

Московский Авиационный Институт, г. Москва

При исследовании камер сгорания ВРД одним из важнейших параметров, оценивающих камеру, является среднemasсовая температура газа на выходе из камеры или нагрев газа в камере сгорания на различных режимах ее работы. Этот параметр важен не только сам по себе, но в системе двигателя

определяет ресурс, надежность, тяговые и экономические характеристики силовой установки. Поэтому температура газа в камере сгорания представляет как важнейший информационный параметр для систем управления и диагностики.

Измерение температуры газа в условиях лаборатории, на исследовательском стенде хотя и вызывает определенные трудности при использовании, например, оптических и электронных методов, но позволяет измерять как само температурное поле, так и среднемассовую температуру. Но в полетных условиях при имеющейся неравномерности потока на входе в камеру (основную или форсажную) измерение нагрева газа не производится. Причиной этого служат:

высокий уровень динамических и тепловых нагрузок;

- большая инерционность чувствительного элемента;
- высокая неравномерность температурного поля в радиальном, окружном и временном измерениях;

высокие требования к эксплуатационной надежности при трудных условиях работы датчиков температуры;

- высокие требования к статическим и динамическим характеристикам термодатчиков в широком диапазоне температуры газа в реальном двигателе.

Всякого рода термопары, дилатометры, термометры сопротивления, биметаллические элементы и другие устройства измерения температуры потока не могут быть применимы для системы управления в связи с большой инерционностью. Термометры излучения, термоэлектронные устройства, обладавая хорошими динамическими свойствами, не применяются в системе управления из-за недостаточной эксплуатационной надежности. Кроме того, использование контактных методов ограничено наличием влияния самих приемников на искажение температурного поля, а по прочности неприемлемо для некоторых типов двигателей, в частности, ГПВРД, ЖРД. Поэтому в полетных условиях могут быть использованы только газодинамические методы, которые имеют возможность работать с очень высокими температурами (до 6000 град.) и использовать сам газ в качестве источника информации.

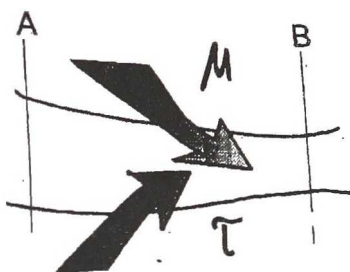


Рис. 1. Трубопровод с подводом массы и тепла

нии статических давлений $P = P_B/P_A$ и отношения проходных сечений канала $F = F_A/F_B$:

$$\lambda_A = \left(\frac{k+1}{k-1} \frac{(\sigma \cdot p)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\sigma^{\frac{1-k}{k}} p^{\frac{k+1}{k}} (F \cdot \mu)^2 \cdot \tau - 1} \right)^{0.5}, \quad \lambda_B = \left(\frac{k+1}{k-1} \frac{(\sigma \cdot p)^{\frac{1-k}{k}} - 1}{\sigma^{\frac{k-1}{k}} p^{\frac{k+1}{k}} (F \cdot \mu)^2 \cdot \tau^{-1} - 1} \right)^{0.5}$$

Функциональная зависимость $\lambda = \varphi(\sigma, \mu, \tau, P, F, k)$ позволяет при измененных P и F определить λ , если известны σ, μ, τ , или при известном сочетании заданных факторов (в том числе и λ), определить какой-либо неизвестный параметр.

Как правило, на некотором участке А-В неизвестны σ, μ, τ , да и само значение λ чаще всего неизвестно. Поэтому представленные уравнения в явном виде не могут быть применимы для определения τ из-за недостаточной информации. Так, величину σ в полетных условиях невозможно определить, а при его задании возникают существенные погрешности в определении λ . Автором разработан и запатентован следующий метод определения уровня нагрева газа в движущемся потоке по трубопроводу, будь то основная или форсажная камера сгорания, компрессор, турбина и т.д.

Выберем некоторое расстояние (базу) между двумя сечениями L_0 , в которых площади отличаются на 2...6%. Будем считать, что на этой базе отсутствуют изменение температуры $\tau = 1$, изменение массы $\mu = 1$ и потери полного давления $\sigma = 1$. Условие выбора базы L_0 заключается в том, что увеличение расстояния между двумя сечениями, в которых проводится отбор статического давления, может привести к погрешности, связанной с проявлением потерь полного давления, а уменьшение этого расстояния может при-

Автором на базе уравнений баланса расхода газа между двумя сечениями (рис. 1) и уравнения энергии получено аналитическое выражение, которое позволяет определить относительную скорость потока при наличии потерь полного давления $\sigma = P_B/P_A$, изменения массы газа $\mu = G_B/G_A$, нагрева газа $\tau = T_B^*/T_A^*$ при измеренном соотноше-

вести к методической погрешности, связанной с увеличивающимся влиянием точности измерения отношения давлений на точность вычисления относительной скорости. Минимизация этих погрешностей, зависящих от выбора базы, как показано на рис. 2, была апробирована расчетами и экспериментами на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.

На выбранной базе производится отбор статических давлений и формируется сигнал, пропорциональный отношению $P = P_1/P_2$. Для основной камеры сгорания ВРД (рис. 3) схема измерений заключается в измерениях отношений статических давлений на входе в камеру и на выходе из нее, т.е. $P_a = P_{a1}/P_{a2}$ и $P_b = P_{b1}/P_{b2}$. При этом отношение площадей на выбранной базе будет представляться

как постоянная величина, которая мало изменяется даже при нагреве конструкции. Согласно исходным выражениям легко определяется относительная скорость как на входе, так и на выходе камеры сгорания.

$$\lambda_{A1} = \left(\frac{k+1}{k-1} \cdot \frac{P_A^{\frac{k-1}{k}} - 1}{P_A^{\frac{k+1}{k}} \cdot F_A^2 - 1} \right)^{0,5}, \quad \lambda_{B2} = \left(\frac{k+1}{k-1} \cdot \frac{P_B^{\frac{1-k}{k}} - 1}{P_B^{\frac{k+1}{k}} \cdot F_B^2 - 1} \right)^{0,5}$$

Зная относительные скорости потока, определяются потери полного давления в камере сгорания, т.е. на участке между сечениями А1–В2:

$$\sigma = \frac{P_{B2}}{P_{A1}} \left(\frac{1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{A1}^2}{1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{B2}^2} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Окончательно определяется нагрев газа в камере сгорания по формуле:

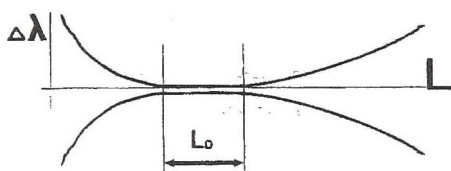


Рис. 2. Выбор базы между насадками статического давления

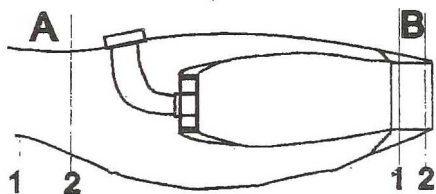


Рис. 3. Схема измерений статического давления

$$\tau = \frac{T_B^*}{T_A^*} = \frac{\lambda_{B2} \sigma^{\frac{k-1}{k}} \mu}{\lambda_{A1} \left(\frac{P_{A1}}{P_{B2}} \right)^{\frac{1}{k}} \frac{F_{A1}}{F_{B2}}}$$

Рассмотренный метод обладает следующими свойствами:

- информация о процессе работы камеры заключается в виде измеренных статических давлений, которые имеют более равномерное поле, чем сама температура, скорость или полное давление;
- использование отношения статических давлений позволяет производить все измерения на стенке канала с учетом того, что при выбранной базе поля статических давлений имеют подобный вид и нетрудно получить, что отношение статических давлений на стенке будут идентичны отношению осредненных давлений в потоке;

изменение полноты сгорания, процессы диссипации, диссоциации и т.д., сопровождающие процессы горения, изменяют уровень температуры газа и, соответственно, влияют на статическое давление, которое представляется как информативный фактор, характеризующий рабочие процессы в камере;

- отсутствует необходимость ввода чувствительных элементов в поток и связанное с этим загромождение проточной части;
- уровень измеряемых температур может быть практически любой и будет определяться только прочностью самой конструкции камеры;
- энергетические возможности бортовых вычислительных комплексов достаточны, чтобы выполнить необходимые расчеты по предложенному алгоритму, не требующему никаких итераций;
- статическая погрешность системы измерений будет определяться только погрешностью самих датчиков отношений давлений, которые могут быть унифицированы для различного уровня давлений, а также точностью определения отбора воздуха на охлаждение конструкции; расчетная статическая погрешность равна 0,4%;

динамическая погрешность системы измерения будет определяться только динамикой самих датчиков и вычислительными ресурсами

бортовой ЭВМ; время определения температуры газа в системе датчик – АЦП – процессор составляет 0.1 сек.;

использование датчиков отношения давлений на базе элементов пневмоники улучшает массовые, эксплуатационные и точностные характеристики системы измерения;

различие статических давлений в окружном направлении может служить информацией об изменении температуры по окружности и дает возможность установления корреляции между неравномерностью на входе в камеру и выходе из нее.

Использование разработанного газодинамического метода измерения нагрева газа позволяет использовать новый информативный параметр в системе силовой установки для задач исследования и доводки камер сгорания, а также задач управления и диагностирования. Система измерения, построенная по этому принципу, может решать комплексные задачи вплоть до измерений тяги в полете, а также позволяет унифицировать все измерители первичной информации в виде датчиков отношения давлений.

УДК 629.7.048(045).697

АВТОНОМНЫЕ ВИХРЕВЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ

Бирюк В.В., Белозерцев В.Н., Андреев О.Ю.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Ухудшающиеся условия окружающей среды, рост стоимости традиционных энергоносителей: нефти и природного газа, настоятельно обращают внимание на поиск и разработку альтернативных преобразователей энергии для нужд теплоснабжения жилого и производственного фондов.

Эта задача наиболее актуальна для старых городских районов, где отсутствует разветвленная сеть центрального теплоснабжения или срок эксплуатации которой давно истек.

Таковыми альтернативными преобразователями энергии являются гидравлические теплогенераторы.