

ранение струй газов, поступающих через сбросные горелки на изотермической модели, выполненной в масштабе 1:20 (рис. 1).

Методика исследований включала в себя изучение смешения перегретой на 8-градусов струи воздуха, вытекающей из одной сбросной горелки, с основным потоком с помощью гипертермопары медь-константан, а также визуализацию течения путем подачи в поток воздуха воспламененных частиц древесного угля.

Было обнаружено, что струя сбросного воздуха, пересекая основной поток, интенсивно размывается, и по достижении противоположной стенки камеры ее температура превышает температуру основной струи лишь на 0,4 градуса. При этом происходит снос оси струи в направлении вращения основного потока. Кроме того, происходит проникновение сбросного воздуха в направлении основного факела на 1,5-2,0 размера сбросной горелки.

Выполненное исследование позволяет сделать вывод о том, что проектное расположение сбросных горелок не исключает взаимодействия сбросного воздуха с факелом, часть его может проникнуть в ядро факела, что приведет к снижению надежности работы котлоагрегата.

Для устранения такого явления достаточно вводить сбросной воздух наклонно вверх с углом 15-20 градусов к горизонтальной плоскости.

Реализация предложения позволит повысить стабилизацию горения и расширить диапазон нагрузок котлоагрегата.

УДК 501.312:532.527.2

А.Н.Дружин , А.М.Ланский, В.Е.Нигодюк,
В.В.Рыжков

ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА
В ВИХРЕВОМ ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

$\eta_{РКТ}$ - коэффициент полноты тепловыделения; τ_n - время пребывания газообразных продуктов в объеме камеры сгорания; $\tau_{диф}$ - время диффузионного смешения; $\sqrt{V'^2}$ - пульсационная скорость; \bar{V} - осредненная скорость; $l_{см}$ - турбулентный путь смешения;

ε_v - интенсивность турбулентности; f_k - относительная площадь камеры; α_* - параметр закрутки в форме Магера; p_k - давление подачи воздуха.

В настоящее время закрученные течения рабочего тела нашли широкое применение в различных технических устройствах для интенсификации процессов теплообмена за счет высокой степени турбулентности таких потоков. Некоторые свойства вращающихся течений представляют интерес с точки зрения организации эффективного рабочего процесса в камерах сгорания вихревого типа с суживающимися соплами, используемых, в частности, для генерации высокотемпературного газа.

На основе модели диффузионного горения [1] получено соотношение для коэффициента полноты сгорания, однозначно связывающее его с конструктивными параметрами камеры и параметрами рабочего процесса:

$$\varphi_{p_{kT}} = 1 - \exp(-\tau_n \sqrt{V'^2} / \ell_{cm}), \quad (I)$$

где τ_n - время пребывания газообразных продуктов в камере; $\sqrt{V'^2}$ - среднее квадратичное значение пульсационной составляющей скорости потока; ℓ_{cm} - лагранжев масштаб турбулентности или путь смешения.

Анализ выражения (I) показывает, что решающее влияние на величину коэффициента $\varphi_{p_{kT}}$ оказывает уровень пульсационной скорости, так как параметры τ_n и ℓ_{cm} тесно взаимосвязаны и их отношение в реальных случаях обычно сохраняется постоянным. Повышение полноты сгорания за счет увеличения величины $\sqrt{V'^2}$ - сложная техническая задача из-за ограниченности уровня турбулентности в осевом потоке. В этом плане представляется весьма перспективным использование закрутки для повышения полноты сгорания.

Однако отсутствие количественных результатов по турбулентным характеристикам вращающихся потоков в камерах с конфузорными соплами, которые обеспечивают запертый режим истечения при сверхкритическом перепаде давления и оказывают существенное влияние на физическую картину движения и турбулентную структуру потока в камере, тормозит развитие аналитических методов расчета процесса горения и выбора оптимальных конструктивных параметров газогенераторов вихревого типа.

Порядок величин ζ_n и $\zeta_{см}$, входящих в (I), можно найти на стадии проектирования. Экспериментальная часть данной работы выполнена с целью определения величины $\sqrt{\overline{v'^2}}$ в закрученном потоке, необходимой для инженерных расчетов по соотношению (I).

Измерение осредненной скорости \overline{V} и ее пульсационной составляющей $\sqrt{\overline{v'^2}}$ в вихревом газогенераторе проводилось с помощью термоанемометра, работающего в режиме постоянной температуры нити, разработанного в Донецком госуниверситете на газодинамическом стенде по специально разработанной методике. Объекты исследования и возможности стенда позволяют изменять в ходе эксперимента конструктивные и режимные параметры в следующих диапазонах:

давление подачи модельного рабочего тела (сжатого воздуха)

$$p_k = 0,2-0,5 \text{ Мн/м}^2;$$

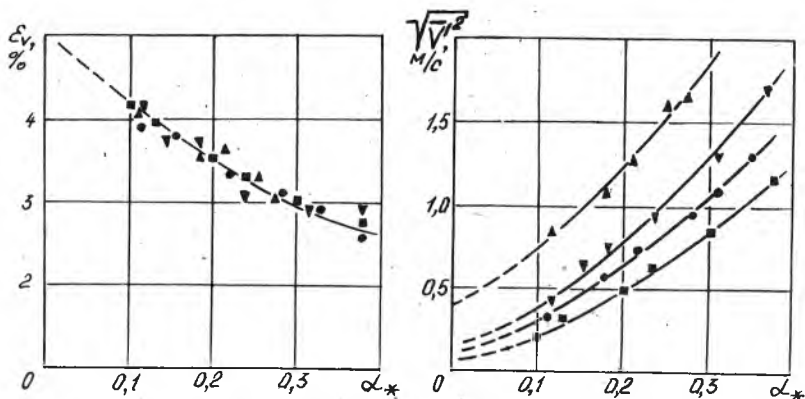
относительная площадь камеры, определяемая отношением площадей камеры и минимального сечения сопла, $f_k = 25-100$;

параметр закрутки в форме Магера, равный отношению окружной скорости на стенке в минимальном сечении к максимальной скорости газа, $\alpha_* = 0-0,4$.

Экспериментально получено распределение локальных турбулентных характеристик закрученного потока в поперечном сечении вихревой камеры в зависимости от перечисленных выше факторов, которое характеризуется существенной неравномерностью из-за резкого изменения градиента скорости на оси и у стенки. Локальные пульсации $\sqrt{\overline{v'^2}}$ по мере увеличения α_* и уменьшения f_k растут во всем объеме камеры, тогда как давление подачи p_k в диапазоне сверхкритических перепадов практически не влияет на распределение $\sqrt{\overline{v'^2}}$ в сечении, равно как и на газодинамические параметры потока.

Данные исследования локальной интенсивности турбулентности ϵ_v , по определению равной отношению $\sqrt{\overline{v'^2}}/\overline{V}$, показывают ее независимость также от геометрии камеры, характеризуемой f_k , что говорит о целесообразности количественного описания турбулентности в закрученном потоке интегральными параметрами.

Обнаруженное снижение интегральной ϵ_v с ростом закрутки (рис. I), видимо, связано со стабилизирующим воздействием поля центробежных сил на турбулентную структуру вращающегося потока. Однако для целей интенсификации рабочего процесса интерес пред-

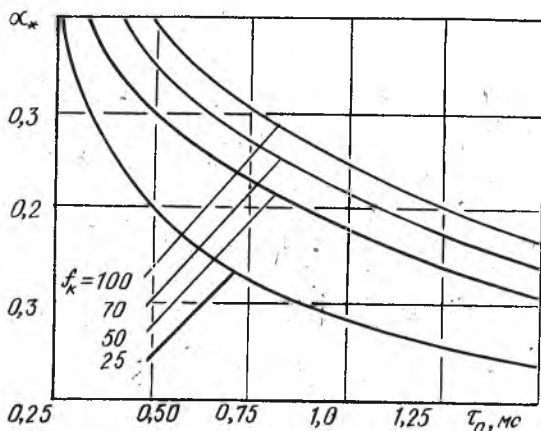


Р и с. 1. Влияние геометрических параметров вихревой камеры на зависимость турбулентных характеристик от параметра закрутки: ϵ_v , %; $\sqrt{V'^2}$, м/с; $p_k = 0,3$ Мн/м²; α_* и f_k - безразмерные; \blacktriangle - \blacktriangledown - \bullet - \blacksquare - $f_k = 25; 50; 70; 100$ соответственно

ставляет изменение величины $\sqrt{V'^2}$, которая, согласно (I), прямо влияет на коэффициент полноты сгорания. Приведенная на рис. 1 зависимость интегральной $\sqrt{V'^2}$ от α_* и f_k показывает возможность ее многократного увеличения с помощью закрутки, что позволяет в широких пределах влиять на эффективность процесса преобразования топлива в вихревом газогенераторе. Отметим, что для получения максимальных характеристик пульсационного движения целесообразно увеличивать α_* и уменьшать f_k .

Проведенное расчетное исследование влияния турбулентной структуры закрученного потока газа на тепловыделение и экспериментальное ее определение в вихревой камере позволяют еще на стадии проектирования назначить конструктивные и режимные параметры, обеспечивающие полное тепловыделение в объеме газогенератора. Для этого можно использовать изображенную на рис. 2 номограмму, которая представляет собой семейство кривых ($\varphi_{p_{кт}} = 1,0$) для камер сгорания с различной относительной площадью.

Таким образом, в работе экспериментально определены параметры закрученного потока, который обладает высокой степенью турбулентности и характеризуется существенной неравномерностью по сечению вихревого газогенератора, а также предложена номограмма



Р и с. 2. Оптимальные по тепловыделению соотношения геометрических параметров вихревой камеры: τ_a^{oc} и τ_n — м/с; α_* и φ_{pkr} — безразмерные; $\tau_a^{oc} = 0,25$; $\varphi_{pkr} = 1,0$

для выбора параметров вихревой камеры сгорания и рабочего процесса, обеспечивающих полное энергосодержание в ее объеме.

Л и т е р а т у р а

И. Шаулов Ю.Х., Лернер М.О. Горение в ЖРД. — М.: Оборонгиз, 1961.

УДК 533.17:629.7.036.3

С.В.Дятел, В.Е.Нигодюк, В.В.Рыжков

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ
ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА ГАЗА
В ТРАНСЗВУКОВОЙ ОБЛАСТИ СОПЛА ЛАВАЛЯ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

d_* — диаметр минимального сечения сопла; α_* — параметр закрутки в форме Магера; n — степень нерасчетности; z_c — расстояние от среза сопла до прямого скачка уплотнения; \bar{z}_c — отно-