

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ЗОНАХ ПОДАЧИ ТОПЛИВНОГО ГАЗА В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Гребенюк Г.П., Арефин В.И., Гишварова И.Г., Фокин Н.И.

ФГУП «НПП «Мотор»», г. Уфа

Перевод камер сгорания наземных газотурбинных установок на природный газ при условии реализации его сжигания с концентрацией оксидов азота (NO_x) в продуктах сгорания ≤ 50 мг/мм³ требует решение ряда сложных технических проблем. Одной из основных является обеспечение устойчивого процесса горения в фронтном устройстве газозвушной смеси (ГВС) в диапазоне коэффициента избытка воздуха $\alpha_{фв} = 1.8 \dots 2.2$, что позволяет получить температуру факела пламени не выше 1800 К – температуру при которой азот атмосферы окисляется незначительно. Равномерность температуры по сечению факела достигается подачей в зону горения предварительно перемешанной ГВС.

Известно, что граница “бедного” срыва при горении предварительно перемешанной ГВС составляет $\alpha_{фв} = 2.2 \dots 2.4$. Изменение состава смеси в фронтном устройстве камеры сгорания газотурбинной энергоустановки ГТП-10/95 на базе серийного авиа двигателя Р13-300 при изменении мощности привода $N = 1.0 \dots 0.5$ составляет $\alpha_{фв} = 1.75 \dots 2.2$, т.е. его верхняя граница близка к границе “бедного” срыва. В этой связи экспериментальная отработка характеристик камеры сгорания, работающей на бедных предварительно перемешанных смесях природного газа с воздухом, имеет свои принципиальные особенности. Одной из них является требование по повышению точности оценки перепада давления на газовой форсунке.

Сложность точной оценки $\pi_{*ф}$ при работе на газе состоит в том, что из двух составляющих её величин, величина статического давления в зоне подачи в жаровую трубу при испытаниях обычно не измеряется. Это связано с тем, что ранее при работе камер сгорания на жидком топливе уровень противодавления в зоне его подачи $P_{жст}$ слабо влиял на погрешность оценки расхода топлива $Q_m = C \sqrt{P_{*ф}^* - P_{жст}}$, поскольку уро-

вень давления топлива P^*_ϕ был в несколько раз выше давления воздуха в камере сгорания.

Так, например, на режиме работы ГТП $N = 10$ МВт перепад давления жидкого топлива при расходе $Q_m = 4300$ л/ч равен $\Delta P = 60$ кг/см². Полное и статическое давления воздуха на входе в камеру сгорания на этом режиме составляют, соответственно, 8,47 кг/см² и 7,72 кг/см², т. е. максимально возможное различие в уровне противодействия жаровой трубы $\Delta P \leq 0,75$ кг/см². В этом случае максимальная погрешность оценки расхода жидкого топлива в диапазоне перепадов давления на форсунке от $\Delta P = 60$ кг/см² до $\Delta P = 10$ кг/см² составит от 0,6 до 3,6 % (рис. 1)

При работе камеры сгорания на природном газе перепад давления на газовой форсунке на рабочих режимах не превышает $\pi^*_\phi = 1,3$ и отклонение в оценке его расхода при изменении противодействия жаровой трубы на $\Delta P_{жст} = 0,75$ кг/см² резко возрастает и согласно уравнению расхода газа:

$$G_\phi = 0,2883 \cdot \mu F_\phi \cdot P^*_\phi \cdot q(\lambda_\phi) / \sqrt{T^*_\phi} ,$$

где 0,2883 – константа, зависящая от термодинамических свойств природного газа, на 96...98 % состоящего из метана CH_4 ($k_2 = 1,31$; $R_2 = 520$ Дж/кг·К); μF_ϕ – пропускная способность газовой форсунки; P^*_ϕ , T^*_ϕ –

полное давление и температура газа на входе в газовую форсунку; $q(\lambda_\phi)$ – газодинамическая функция, составит от 13 до 76 % (рис. 1), в зависимости от перепада давления на форсунке. Такая погрешность в оценке расхода газа и, соответст-

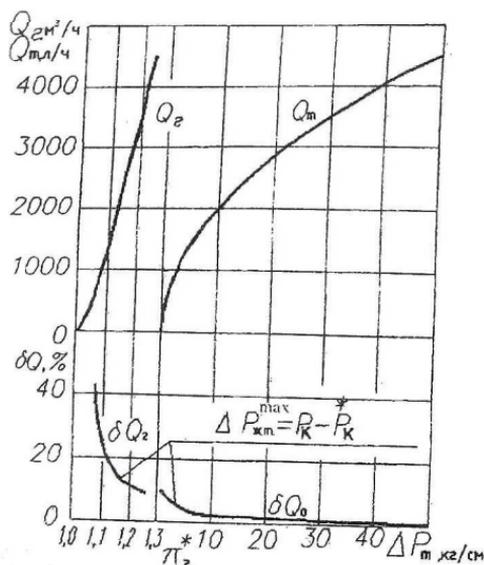


Рис. 1. Влияние отклонения противодействия жаровой трубы на погрешность оценки расходов жидкого и газообразного топлив

венно, состава смеси в камере сгорания и фронтном устройстве неприемлема, поскольку превышает разницу в $\alpha_{\text{фн}}$ рабочих режимов и границы бедного срыва.

Специально проведённые эксперименты позволили определить критериальную зависимость, позволяющую однозначно определить величину противодавления жаровой трубы в зонах подачи природного газа.

Экспериментальное исследование проводилось на узле полноразмерной камеры сгорания ГТП-10/95 с фронтным устройством, спроектированным под подачу в камеру сгорания как природного газа, так и жидкого топлива.

Основным элементом фронтного устройства является смесительная горелка представляющая собой конус с четырьмя каналами, в которые проходит до 35 % воздуха камеры сгорания. В эти же каналы по 4 трубчатым распылителям подаётся газ через 112 отверстий диаметром 1 мм (по 28 отверстий в каждом распылителе). В центре конуса СГ устанавливается форсунка для подачи 100 % жидкого топлива при работе камеры сгорания на керосине. При работе на газе через её основной контур подаётся газ в количестве 5...10 % от общего расхода с целью создания локально обогащённой зоны на выходе из СГ для расширения диапазона устойчивой работы на бедных смесях.

Измерение противодавления камеры сгорания в зонах подачи природного газа через распылители и центральную форсунку проводилось на режимах с неработающей камерой с помощью манометров, установленных в свободных от газа магистралях; на рабочих режимах измерялось противодавление в тангенциальных каналах через свободные от газа распылители при работе на керосине, а при работе на газе измерялось противодавление через свободные каналы форсунки. Параллельно замерам в СГ проводились измерение параметров потока воздуха на входе в камеру сгорания – расхода G_0 , статического давления P_K и температуры T_K^* .

Режимы испытаний охватывали весь диапазон рабочих режимов камеры сгорания в составе ГТП по T_K^* и двум критериям подобия: относительной скорости λ_K и коэффициенту избытка воздуха $\alpha_{\text{кс}}$. Измеренные величины параметров воздуха на входе в камеру сгорания составляли:

$$G_0 = 0,4 \dots 2,0 \text{ кг/с}; \quad T_K^* = 300 \dots 600 \text{ К};$$

$$P_k = 0,05 \dots 1,9 \text{ кг/см}^2; \quad T_k^* = 800 \dots 1250 \text{ К.}$$

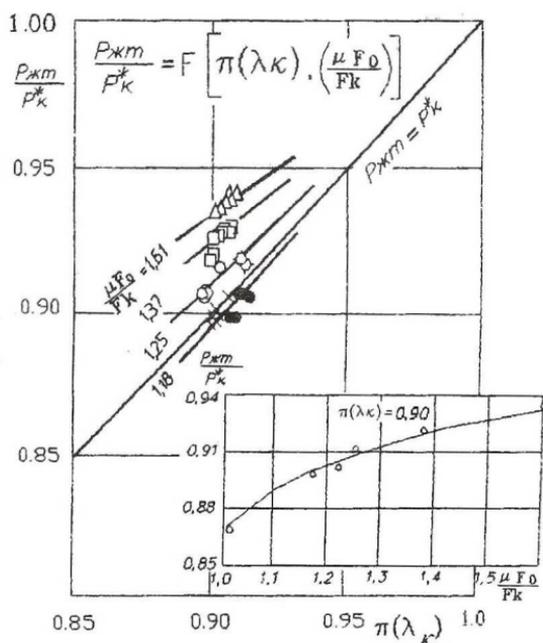
Испытания проводились на 5-ти вариантах жаровой трубы, отличающихся величиной степени раскрытия $\mu F_0 / F_k = 1,18 \dots 1,61$.

Результаты экспериментов в виде зависимостей относительных величин давлений $P_{жт} / P_k^*$ от газодинамической функции $\pi(\lambda_k) = P_k / P_k^*$ на входе в камеру сгорания и степени её раскрытия $\mu F_0 / F_k$ приведены на рис. 2. Как видно из рис. 2 во всём диапазоне критериев $\lambda_k, \alpha_{кс}$ полученная зависимость однозначно связывает искомое отношение давлений $P_{жт} / P_k^*$ с известной по измерениям T_k^*, P_k, G_g величиной $\pi(\lambda_k) = P_k / P_k^*$.

Представленная на этом же рисунке вставка, показывает расслоение зависимости $P_{жт} / P_k^* = f[\pi(\lambda_k)]$ по параметру $\mu F_0 / F_k$ при $\pi(\lambda_k) = 0,9$, в результате чего вытекает двухпараметрическая зависимость:

$$P_{жт} / P_k^* = f[\pi(\lambda_k), \mu F_0 / F_k]$$

достаточно просто аппроксимирующаяся двухпараметрическим полиномом. Противодавление в зоне подачи газа через центральную форсунку ниже $P_{жт} / P_k^*$ на 1 %.



Полученные зависимости, подтвержденные испытаниями КС и в составе газотурбинного привода, показывают, что использование в качестве противодавления жаровой трубы давления P_k неправомерно, т.к. не соответствует величине противодавления в зонах подачи газа при изменении степени

Рис.2. Обобщенная зависимость противодавления зон подачи топлива камеры сгорания

раскрытия жаровой трубы и влечёт за собой ошибку в оценке расхода газа на режимах розжига и погасания камеры сгорания. Так в случае неучета отличий между $P_{жт}$ и P_k для $\mu F_0/F_k = 1,18 \dots 1,61$ погрешность оценки расхода газа на режимах бедного срыва составит 5...15 % при уровне перепадов давлений в распылителях $\pi_{\phi}^* = 1,035 \dots 1,12$. Очевидно, что такая погрешность оценки π_{ϕ}^* и G_s при близости режимных и срывных величин α во фронтном устройстве недопустима. Предлагаемая уточняющая зависимость позволяет её исключить. В заключении следует отметить, что полученная зависимость в силу её критериальности может быть применена и для других схем фронтных устройств камер сгорания.

УДК 536.46.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНИЕВО - ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ГРАНИЦУ "БЕДНОГО" СРЫВА

Егоров А.Г.

Тольяттинский политехнический институт

Реализация проектов по созданию новых высокоэффективных двигательных установок во многом зависит от решения проблемы организации устойчивого горения порошкообразных металлических горючих (ПМГ) в турбулентном потоке газообразного окислителя. Одним из аспектов этой сложной проблемы является процесс стабилизации пламени, поскольку сложившиеся к настоящему времени представления о нем нельзя считать полностью законченными даже для гомогенных топливно-воздушных смесей (ТВС).

Имеющиеся экспериментальные данные по устойчивости горения получены в основном на стабилизаторах представляющие собой тела плохообтекаемой формы. Вместе с тем большой интерес представляют стабилизирующие устройства, в которых ЗР образуется при внезапном расширении канала, по которому движется горючая смесь. Если сечение канала до и после расширения круглое, то такое устройство называется камерой сгорания с внезапным расширением (КСВР) [1]. Такие стабили-