

изготавливался каталитический блок, который размещался в лабораторной установке для изучения режимов горения. На данной установке воссоздавались условия горения соответствующие условиям горения на газотурбинных установках, и газоанализатором измерялись показания вредных выбросов до каталитического блока и после. Изготовленный из ткани с катализатором каталитический блок обладал низким гидравлическим сопротивлением и высокой каталитической активностью, и в связи с чем может быть рекомендован к испытанию на реальных газотурбинных энергетических установках. В проведенной работе была проведена оценка степени закрепления каталитически активных частиц на тканевом носителе и степень распределения частиц по площади носителя.

### Список литературы

1. A.A. Gokhale, J.A.Dumesic, M.J. Mavrikakis, Am. Chem. Soc. 130:1402 (2008)
2. L.L. Wang, L.M. Yang, Y.H. Zhang, W. Ding, S.P. Chen, W.P. Fang, Y.Q. Yang, Fuel Process Technol, 91:723 (2010)
3. M. Shelef, and R. W.McCabe, Catal. Today 62:35 (2000)
4. G. Lenaers, Sci. Total Environ. 139: 189 – 190 (1996)
5. R.C. Rijkeboer, Catal. Today 11:141 (1991)

УДК 621.45

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В ПОТОКЕ НА ВСТРЕЧНОЙ ЗАКРУЧЕННОЙ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СТРУЕ

Мухаметгалеев Т.Х., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»,  
г. Казань, [TKhMukhametgaliev@kai.ru](mailto:TKhMukhametgaliev@kai.ru)

Мингазов Б.Г., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, [BGMingazov@kai.ru](mailto:BG Mingazov@kai.ru)

В настоящее время стал актуальным вопрос снижения гидравлических потерь в форсажных камерах сгорания, что обусловило продолжение, проводившихся ранее исследований газодинамической стабилизации пламени [1, 2].

Стабилизация пламени в скоростном потоке с помощью плообтекаемых тел и струйных экранов обусловлена образованием характерной газодинамической структуры течения с зоной циркуляции в приосевой части потока.

Газодинамической основой рассматриваемого способа стабилизации пламени является противонаправленная закрученная струя двухфазной топливо-воздушной смеси. В отличие от известных струйных течений

в потоке (встречная, веерная, плоскопараллельная) данная схема взаимодействия струи с потоком имеет свои специфические особенности, которые требуют детального изучения.

Струя, истекающая из завихрителя форсунки, благодаря своей закрутке, обладает углом атаки по отношению к закрученному потоку. Поэтому кольцевая закрученная струя под действием встречного потока разворачивается и изгибается, образуя осесимметричный купол (см. рис. 1а)

При этом предварительная закрутка струи гасится потоком и дальнейшее ее развитие в нем происходит так же как прямооточной.

Обладая определенной упругостью, газодинамический купол в передней его части является препятствием по отношению ко встречному потоку. В результате отрывного обтекания потоком, за этим препятствием, как за плохообтекаемым телом, образуется циркуляционная область с зоной обратных токов (ЗОТ) в приосевой части.

Распространение закрученной струи во встречном потоке со скоростью  $W$  можно рассматривать как развитие эквивалентной прямооточной кольцевой струи со скоростью равной скорости в межлопаточных каналах  $V_0$ , с эквивалентной начальной толщиной  $b_3$  и углом атаки  $\beta_0$ . Поэтому появляется возможность использования гидродинамического параметра  $q_v = \rho v^2 / \rho_w W^2$  для обобщения полученных экспериментальных данных. Согласно [1] параметр  $q_v$  можно привести к виду:

$$\bar{q}_v = \frac{P_v^* \lambda_v^2}{P_w \lambda_w^2} \varepsilon(\lambda_v) \tau(\lambda_w),$$

где  $P_v^*$  – полное давление перед завихрителем;  $P_w$  – статическое давление газа в потоке;  $\lambda_v$  – коэффициент скорости на выходе из завихрителя;  $\lambda_w$  – коэффициент скорости встречного потока. В результате анализа полученных экспериментальных данных по изменению максимального радиуса от газодинамического параметра  $q_v$  при различных соотношениях скоростей и температур струи и потока при постоянном угле крутки  $\varphi=60^\circ$  была получена обобщающая зависимость (рис. 1б).

Можно отметить, что все экспериментальные точки группируются вокруг общей кривой, которая аппроксимируется эмпирическим уравнением вида:

$$R_1 = k_\varphi \bar{q}_v^{0.5}.$$

Окончательное выражение для определения диаметра газодинамического купола:

$$D_k = d_n + k_\varphi b_3 \bar{q}_v^{0.5}$$

Здесь коэффициент  $k_\varphi$  зависит от угла крутки струи. Максимальное значение  $k_\varphi$ , а, следовательно, и диаметра  $D_k$ , достигается при  $\varphi = 60^\circ$  в этом случае  $k_\varphi = 14.0$ .

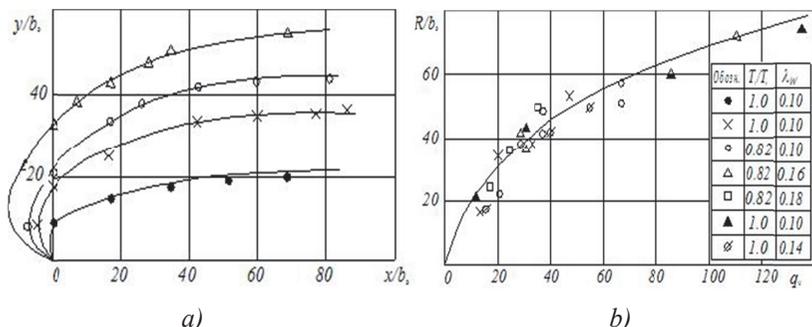


Рис. 1.  $T_v=283K, T_w=350K; b_3 = 1,2$

a) траектории струй при различных  $q_v$ ;  $\Delta-q_v=47$ ,  $\circ-q_v=33$ ,  $\times-q_v=20$ ;  
 ●  $q_v=11, W=30m/c$ .

b) Изменение максимального радиуса траектории струи по  $q_v$ .

В результате обобщения опытных данных было получено следующее эмпирическое уравнение для подсчета диаметра зоны обратных токов при вдуве закрученной двухфазной струи во встречный поток:

$$\frac{D_{зот}}{b_3} = 0,6 \left( \frac{d_0}{b_0} + k_\varphi b_3 \bar{q}_v^{0.5} \right) \Theta^{0,12}, \text{ где } \Theta = T_{зот} / T_w \text{ - степень по-}$$

догрева, зависит от  $\alpha_{зот}$ .

На рис. 2 приведены «бедные» срывные характеристики, полученные в виде зависимости состава в струе  $\alpha_v$  от параметра  $\bar{q}_v$  при различных скоростях набегающего потока. Как видно, эти срывные характеристики также протекают с максимумом, причем для каждой скорости потока существует свое оптимальное значение параметра  $\bar{q}_v$ , при котором достигаются наиболее широкие пределы устойчивого горения двухфазной смеси.

Приведенная на этом же графике срывная кривая для однородной паровоздушной струи, показывает, что в области малых  $\bar{q}_v$  преимущественно в диапазоне устойчивого горения обладает паровоздушная смесь, а в области больших  $\bar{q}_v$  – двухфазная смесь.

При стабилизации пламени с помощью газодинамического стабилизатора происходит более быстрое смесеобразование за счет воздушного распыливания топлива, поэтому срывные характеристики более близки к соответствующим характеристикам гомогенной смеси. Следовательно, для обобщения данных по срыву пламени можно применить общеизвестные критерияльные соотношения и состав смеси в ЗОТ.

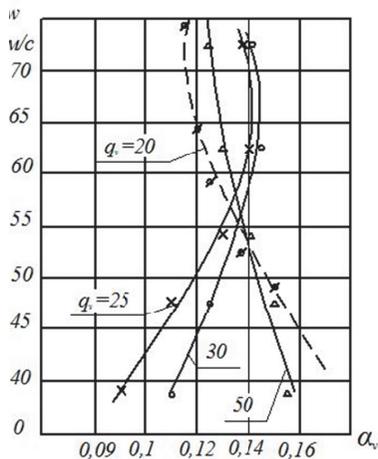


Рис. 2. «Бедные» границы срыва пламени при различных значениях параметра  $\bar{q}_v$ ;  
 ----- гомогенная смесь; ———— двухфазная смесь;  
 $T_v = 283\text{K}, T_w = 350\text{K}; P_w = 0,1\text{Mpa}$

### Список литературы

1. Костерин В.А. и др. Обобщение экспериментальных данных по пределам стабилизации пламени на струях // Известия ВУЗов. Сер. «Авиационная техника». 1967. № 3.
2. Мингазов Б.Г. и др. О механизме стабилизации пламени в потоке двухфазной топливо воздушной смеси // Известия ВУЗов. «Авиационная техника» 1979. № 3. С. 68-74.

УДК 621.45.022

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ГОМОГЕННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ

Вахитов А.Р., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань  
 Мингазов Б.Г., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, [BGMingazov@kai.ru](mailto:BG Mingazov@kai.ru)

Предполагая, что в камерах сгорания происходит горение в турбулентном потоке однородной смеси, можно применить закономерности теории турбулентного горения. В частности, для определения полноты сгорания можно применить модель поверхностного сгорания осредненного