

УДК 621.4

**ГРАНИЦЫ БЕДНОГО СРЫВА В ВИХРЕВОМ  
ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ**Тарасов А.В.<sup>1</sup>, студент гр. ТФМ-23, II курсНаучный руководитель: Веретенников С.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент<sup>1</sup>Рыбинский государственный авиационный технический  
университет имени П.А. Соловьева  
г. Рыбинск

Вихревой поток является одним из распространенных методов усиления процессов газовой динамики, теплообмена и горения. Многие вихревые технические устройства, такие как вихревые трубы, эжекторы, сепараторы, горелочные устройства и другие, основаны на закрученных течениях.

Вихревые горелочные устройства можно классифицировать на основе схемы потока воздуха в них на прямоточные и противоточные. Противоточные устройства имеют более перспективные характеристики в отношении диапазона стабильной работы, полноты сгорания топлива и эмиссионных свойств. Это объясняется тем, что при противоточном движении увеличивается время пребывания компонентов топливно-воздушной смеси в зоне высокой температуры. Практическими результатами этого являются существующие прототипы вихревых противоточных горелочных устройств, которые используются в качестве воспламенителей, форсуночно-горелочных модулей, малогабаритных реактивных двигателей, плазменных устройств и т.д (Guryanov A.I. et al. Criterion analysis and experimental study of combustion mechanisms in a bidirectional swirling flow and their relationship with pollutants emission // Int J Energy Res. 2021. Vol. 45, № 4. P. 5500–5516).

Целью данной работы является изучение структуры фронта пламени в вихревом противоточном горелочном устройстве и дальнейшей определение границ бедного срыва. Для изучения течения в противоточных горелочных устройствах был создан опытный образец, который изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Противоточное вихревое горелочное устройство, закрепленное на стенде

Особенностью данного горелочного устройства является наличие дополнительного отвода, который способен отводить нужное количество нагретого воздуха. В дальнейшем это количество воздуха будет обозначено как  $G_r$ .

Была проведена серия экспериментов при разных режимах работы горелочного устройства. В качестве топлива использовался пропан, а в качестве окислителя — атмосферный воздух. Для проведения эксперимента был разработан и собран специальный стенд.

Воздух подается с помощью компрессора в горелочное устройство. Одновременно с этим из баллона подается газ пропан. Магистрали окислителя и топлива подключены к расходомерам, что позволяет плавно и четко контролировать поток воздуха и газа. Дополнительный подвод открывается с помощью крана на подключенной к нему магистрали, которая в свою очередь также подключена к расходомеру для показаний количества воздуха, проходящего через неё.

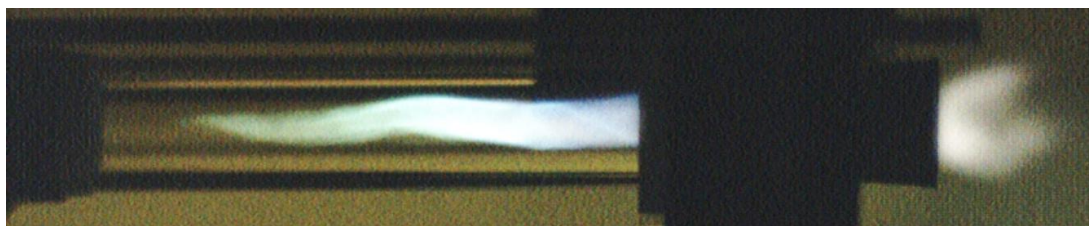


Рисунок 2 – Фотография работающего горелочного устройства

Эксперимент проводился при четырех разных значениях количество воздуха на входе:  $G_v = 1.5$  г/с,  $G_v = 2.5$  г/с,  $G_v = 3.5$  г/с,  $G_v = 4.5$  г/с. Количество топлива постепенно уменьшалось. Для каждого значения количества воздуха менялась относительная доля приосевого потока  $\mu$  путем открытия крана на отводе. Значение топлива, предшествующего погасанию горения в вихревом устройстве, записывалось.

Таким образом, в результате эксперимента были получены данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1.1 – Параметры режимов горения

№	$G_v$ , кг/с	$G_T$ , кг/с	$G_r$ , кг/с	$\mu$	$\alpha$
1	0,0015	0,000025	0	1,00	3,518605
2	0,0015	0,000035	0,000075	0,95	2,524917
3	0,0015	0,000038	0,000151	0,90	2,340881
4	0,0025	0,000035	0	1,00	4,152824
5	0,0025	0,000036	0,000125	0,95	4,037468
6	0,0025	0,000031	0,00025	0,90	4,688672
7	0,0035	0,000026	0	1,00	7,826476
8	0,0035	0,000023	0,00017	0,95	8,847321
9	0,0035	0,000017	0,000348	0,90	11,9699
10	0,0045	0,000027	0	1,00	9,689922
11	0,0045	0,000022	0,000225	0,95	11,89218
12	0,0045	0,000013	0,00045	0,90	20,12522

где:

$G_v$  – количество подводимого воздуха, кг/с;

$G_T$  – количество подводимого топлива, кг/с;

$G_r$  – количество отводимого воздуха, кг/с;

$\mu$  – доля воздуха при открытии периферийного потока;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

Далее была посчитана площадь проходного сечения соплового ввода по формуле:

$$F_c = 0.1 * F_k = 0.1 \cdot \frac{\pi \cdot 0.021^2}{4} = 3.462 * 10^{-5}$$

где  $F_k$  – площадь поперечного сечения проточной части камеры сгорания.

На основании полученных данных был произведен расчет окружной скорости воздушного потока по формуле:

$$w = \frac{G_B}{\rho * F_c}$$

где  $\rho$  – плотность воздуха.

В таблице 1.2 приведены посчитанные значение окружной скорости воздушного потока для каждого из режимов:

Таблица 1.2 – Значения окружной скорости

№	w
1	33,87981
2	34,03656
3	34,26048
4	55,98118
5	55,98118
6	55,98118
7	78,37365
8	78,37365
9	78,37365
10	100,7661
11	100,7661
12	100,7661

Далее необходимо посчитать число Рейнольдса для каждого из режимов по формуле:

$$Re = \frac{w d_k}{\nu}$$

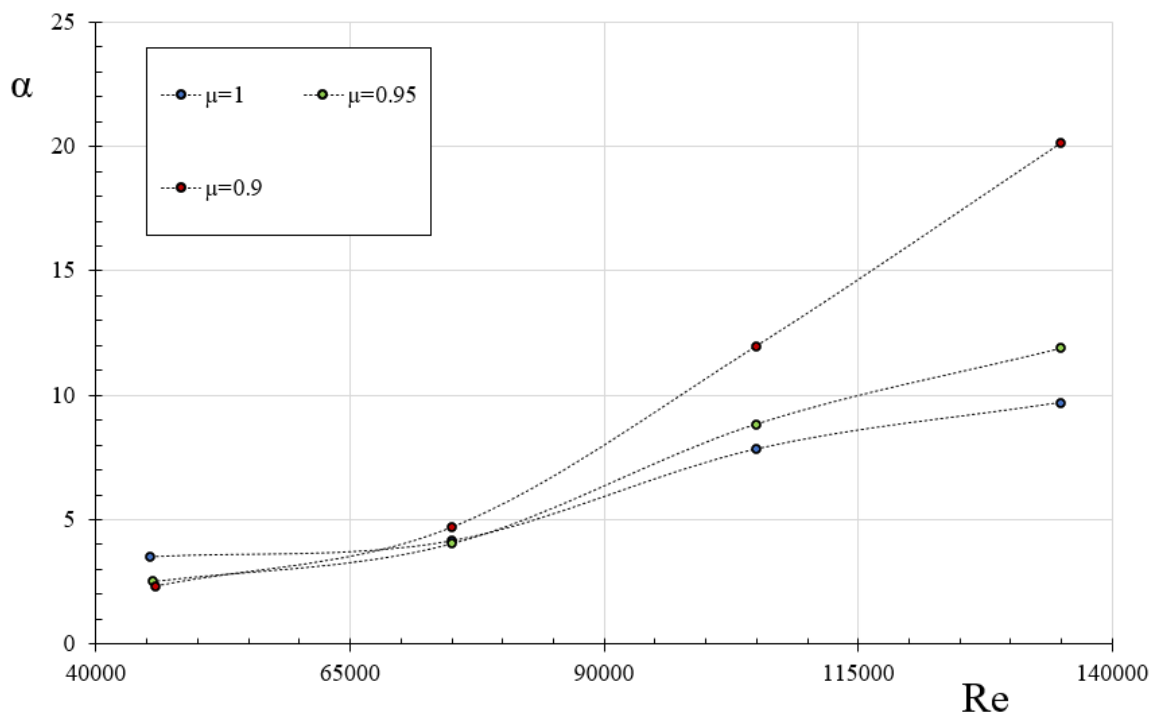
где  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха;  $d_k$  – диаметр проточной части горелочного устройства.

В таблице 2.3 приведены посчитанные значения чисел Рейнольдса для каждого из режимов

Таблица 1.3 – Значения числа Рейнольдса

№	$Re$
1	45345,83
2	45555,62
3	45855,33
4	74927,01
5	74927,01
6	74927,01
7	104897,8
8	104897,8
9	104897,8
10	134868,6
11	134868,6
12	134868,6

На основании полученных сведений и расчетов был построен график зависимости коэффициента избытка воздуха от числа Рейнольдса, изображенный на рисунке 2.

Рисунок 3 – График зависимости  $\alpha$  от  $Re$ .

Данный график позволяет определить границы бедного срыва для вихревого противоточного горелочного устройства при разной доле воздуха открытого периферийного потока.

Список литературы:

1. Guryanov A.I. et al. Criterion analysis and experimental study of combustion mechanisms in a bidirectional swirling flow and their relationship with pollutants emission // Int J Energy Res. 2021. Vol. 45, № 4. P. 5500–5516.
2. Guryanov A.I. et al. An experimental study of syngas combustion in a bidirectional swirling flow // International Journal of Hydrogen Energy. 2022. P. S036031992205162X.