

## СТАБИЛИЗАЦИЯ И МИКРОФАКЕЛЬНОЕ ГОРЕНИЕ ЗА УДОБООБТЕКАЕМЫМИ ТЕЛАМИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ

**Автор:** Катранова Г. С.

**Организация:** НАО «Алматинский Университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан

Обеспечение стабильного горения при различных избытках воздуха является одной из важных проблем камер сгорания газотурбинных установок. Стабилизация пламени обеспечивается различными способами: к ним относятся закрутка топлива в горелочном устройстве, создание рециркуляционной зоны за плохообтекаемыми телами и комбинация двух способов. Особый интерес представляет изучение стабилизации при микрофакельном горении топлива.

Принцип работы микрофакельных устройств заключается в распределении факелов по сечению и объему на более мелкие. Такой принцип обеспечивает высокую степень сжигания топлива, хорошую стабилизацию при тех же средних температурах в зоне горения жаровой трубы. Устройства на базе хорошообтекаемых (удобообтекаемых) тел имеют высокий потенциал в виду малых гидравлических сопротивлений [1].

В статье [2] рассматривалось влияние коэффициента избытка топлива  $\varphi$  (избытка воздуха  $\alpha$ ) на концентрацию оксидов азота и недожога топлива при использовании турбинных профилей с накладками. Исследование показало, что турбинные профили являются хорошими стабилизаторами с достаточно высокими показателями горения, в первую очередь низким недожогом топлива. Также было показано, что профили имеют достаточно широкий диапазон стабилизации при  $\varphi=0,2\div 2,3$  ( $\alpha=5\div 0,43$ ).

При исследовании использовалась программа ANSYS Fluent. При построении моделей было предложено, что топливо будет поступать на широкую часть (спинку) турбинного профиля. В данной статье рассмотрены три способа подачи топлива, представленные на рисунке 1. Проведенные экспериментальные исследования на угольных стабилизаторах показывали [3], что способ подачи топлива играет значительную роль в формировании рециркуляционной зоны, соответственно и обеспечении стабилизации пламени.

Исходя из этого, были рассмотрены три варианта подачи топлива. В первом варианте топливо подается на широкую сторону (спинку) профиля, во втором варианте топливо распыляется непосредственно в рециркуляционную зону образующуюся между накладкой и профилей, в третьем варианте топливо распылялось со спинки.

Область моделирования состоит из трех профилей лопаток, причем все профили участвуют в процессе горения. Профили снабжены регулируемыми (в данной статье регулировка не рассматривалась) накладками, угол которых был равен  $45^{\circ}$  от касательной к выпуклой (спинке) стороне профиля. Угол был выбран исходя из прошлых результатов моделирования и [2,3]. Начальные параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Начальные параметры

Расход топлива, кг/ч	Скорость воздуха, м/с (бралась согласно экспериментальной установке)	$\phi$ , коэффициент избытка топлива по [1]	Начальная температура окислителя (воздуха)/топлива, К	Количество тетраэдрических элементов в моделируемой области
1	10	0,06	300	200000

При моделировании использовалась модель турбулентности k- $\epsilon$  realizable, которая является наиболее оптимальным решением.

В виду того, что в статье рассматривалось лишь влияние подачи топлива, при моделировании скорость и значение расхода топлива не изменялись.

На рисунке 1 представлены рассмотренные варианты подачи топлива. В первом варианте (а) топливо подается на широкую сторону профиля, во втором варианте (б) топливо распыляется непосредственно в рециркуляционную зону, образующуюся между накладкой и профилем, в третьем варианте (в) топливо распылялось с выпуклой (спинки) части профиля.

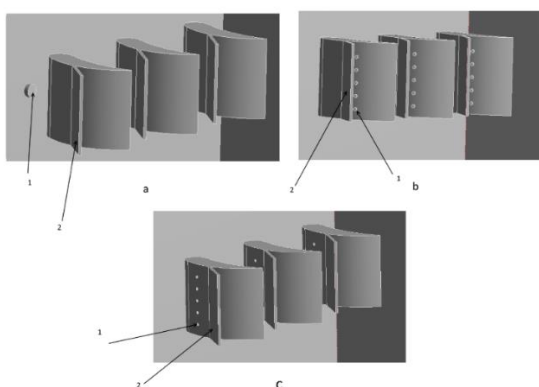


Рисунок 1 – Варианты подачи топлива

а – на турбинный профиль, б – в рециркуляционную зону, с – со спинки профиля

1 – сопла, 2 - накладка

Анализ полученных результатов показал следующее:

Температура. Контуры температур в зависимости от вариантов подачи топлива представлены на рисунке 2. При подаче топлива на турбинный профиль (вариант «а») имеется высокотемпературная зона, образующая за турбинным профилем, где сгорает основная часть топлива, причем по сравнению с другими вариантами подачи топлива, температура выше. Наименьшие температуры наблюдаются при подаче топлива со спинки турбинного профиля (вариант «с»), ввиду того, что топливо реагирует раньше с окислителем, чем в других вариантах, соответственно выгорая раньше. Заметно, что правый профиль подвержен наиболее высоким температурам (вариант «а»). Это происходит за счет того, что с левой стороны профиля нет возмущений. При подаче в зону рециркуляции сама зона рециркуляции выталкивается из внутреннего пространства между накладкой и профилем за счет дополнительно создаваемой силы потока топлива. Из рисунка можно сделать вывод, что при вариантах «а» и «с» имеется максимальная температурная нагрузка на накладку, а при варианте «б» она несколько ниже в виду того, что высокотемпературная зона находится лишь с одной стороны.

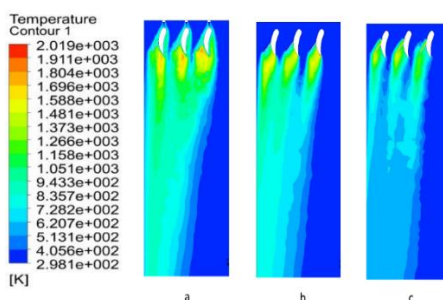


Рисунок 2 – Температурные контуры в зависимости от варианта избытка подачи топлива

а – варианта подачи на профиль, б – вариант подачи в пространство между профилем и накладкой, с – вариант подачи с спинки

Таблица 2 – Результаты численного моделирования

Вариант подачи топлива	а	б	с
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	6,8	3,5	1,3
Температура на выходе из моделируемой области, К	358	360	358
Концентрация топлива на выходе, г/м <sup>3</sup>	0,058	0,059	0,056
Осевая скорость на выходе, м/с	11,8	12	11,93

Температура на выходе. В таблице 2 представлены температуры на выходе из моделируемой области. Как видно из результатов, значительного влияния на температуру газов подача топлива не оказывает.

Недожог топлива. Недожог топлива анализировался исходя из концентрации топлива на выходе из моделируемой области. Видно, что разность концентраций топлива на выходе из моделируемой области находится в пределах погрешности.

Концентрация оксидов азота (NO<sub>x</sub>). Наиболее интересным выглядят результаты концентрации оксидов азота на выходе из моделируемой области. Как видно из таблицы 2, концентрация топлива максимальна при варианте подачи «а». Это объясняется тем, что топливо с воздухом достаточно поздно смешивается, по сравнению с другими вариантами. Поэтому концентрация топлива в рециркуляционной зоне достаточно высока, что также можно видеть на рисунке 2 по высоким температурам варианта «а». Непосредственная подача топлива в зону рециркуляции снижает концентрацию оксидов азота за счет более равномерной подачи топлива (см. рисунок 1). Очевидно, что дробление потока топлива на более мелкие приводит к более быстрому выгоранию, и снижению локальной температуры, которая является основным источником образования оксидов азота.

Вариант «с» является наиболее приемлемым с точки зрения снижения оксидов азота. Равномерная подача топлива вдоль спинки профиля приводит к смешению и горению топлива до зоны рециркуляции, что снижает его концентрацию. Снижение концентрации топлива в зоне рециркуляции приводит к снижению температуры, соответственно и образованию оксидов азота.

Выводы: Исследования показали, что турбинные профили могут служить в качестве микрофакельных устройств при формировании фронтального устройства камер сгорания газотурбинных двигателей, обеспечивая устойчивость стабилизации пламени и низкие выбросы NO<sub>x</sub>.

#### Литература:

1. Достияров А.М. Разработка топливосжигающих устройств с микрофакельным горением и методика их расчета. Диссертация на соискание степени доктора технических наук, Алматы, 2000 г.

2. A.M. Dostiyarov, D.R. Umyshev and G.S. Katranova. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 274(2019) 012144 doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012144. Numerical modeling of the influence of different options for feeding fuel on the combustion process for turbine profiles.

3. Умышев Д.Р. Разработка и исследование камеры сгорания ГТУ с пониженным образованием токсичных веществ. Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD), Алматы, 2017 г.