

УДК 621.311.22

М.З. АБДУЛИН

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА – ОСНОВА СОЗДАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ

Показана значимая роль топочных процессов в обеспечении работы огнетехнических объектов. Выявлена определяющая роль аэродинамики течения горючего, окислителя и продуктов сгорания в сложном аэротермохимическом комплексе. Разработана эффективная газодинамическая схема горелочного устройства с уникальными свойствами. Целью работы является разработка новой высокоэффективной струйно-нишевой технологии сжигания топлива для различных огнетехнических объектов на основе современных экспериментальных и теоретических исследований вихревых течений в условиях химического реагирования и высоких температур.

Ключевые слова: камера сгорания, газотурбинный двигатель, технология сжигания, аэродинамика течения.

Камеры сгорания (КС) газовых турбин, современные горелочные устройства котлов, печей различного назначения, сушил, как правило, не удовлетворяют совокупности требований по экономичности, экологической безопасности и надежности работы. Так, попытки, связанные с повышением экономичности работы огнетехнического объекта, приводят к ухудшению экологических показателей и снижению уровня надежности работы.

Результаты исследования рабочего процесса КС газотурбинных двигателей, как правило, переносятся на газогорелочные устройства, применяемые во всех отраслях промышленности.

При проектировании камер сгорания используются эмпирические методы расчета ожидаемых характеристик на основе давно устоявшихся традиционных решений. Нужны новые подходы, которые помогут создать универсальную технологию сжигания для различных огнетехнических объектов. Комплекс аэротермохимических процессов в КС является, пожалуй, одним из самых сложных встречающихся в природе. Огромное количество работ по его математическому моделированию пока не привели к существенному продвижению в области создания высокоэффективных КС.

Работы, проводимые в Лаборатории горения НТУУ «Киевский политехнический институт» (основанной профессором В.А. Христичем), показали одно из возможных направлений выхода из создавшейся ситуации. Исследования основных типов камер сгорания выявили зависимость их эффективной работы от устойчивости и возможности управлять аэродинамической структурой течения горючего, окислителя и продуктов сгорания. Как известно, для

организации смесеобразования и стабилизации горения используются так называемые плохообтекаемые тела (П.О.Т.) (рис. 1, а), за которыми образуются циркуляционные зоны постоянного объема ($V_{\text{зц}}^{\text{пот}}$).

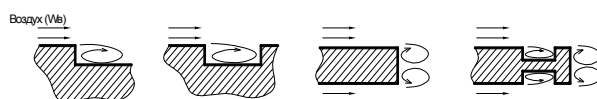


Рис. 1, а. Плохообтекаемые тела (П.О.Т.)

Для создания устойчивой вихревой структуры течения в широком диапазоне работы КС была разработана струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени [1], основой которой являются газодинамические завихрители потока окислителя, горючего и продуктов сгорания (рис. 1, б), обеспечивающие интенсивное смесеобразование топливной смеси и широкие пределы стабилизации горения по скорости набегающего потока (W_b) и по коэффициенту избытка воздуха (α).

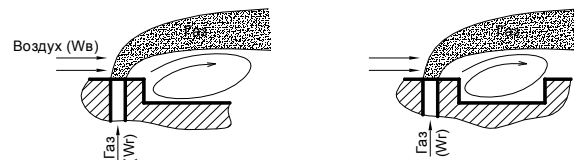


Рис. 1, б. Аэродинамические завихрители

Особенностью такой системы является образование в результате взаимодействия однорядной системы струй горючего с течением за П.О.Т. циркуляционной зоны переменного объема. Объем циркуляционной зоны ($V_{\text{зц}}$) прямо пропорционален гидродинамическому параметру

$$\bar{q} = \frac{\rho_{\Gamma} W_{\Gamma}^2}{\rho_{\text{В}} W_{\text{В}}^2}, \quad (1)$$

где ρ_{Γ} и $\rho_{\text{В}}$ – плотность горючего и окислителя соответственно (рис. 2).

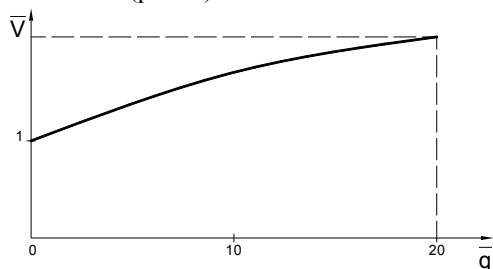


Рис. 2. Зависимость относительного объема циркуляционной зоны от гидродинамического параметра

$$\bar{V} = \frac{V_{\text{зц}}}{V_{\text{зц}}^{\text{пот}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{зц}}$ – объем циркуляционной зоны (о.ц.з.);

$V_{\text{зц}}^{\text{пот}}$ – о.ц.з. за плохообтекаемым телом.

Условия формирования регулируемой циркуляционной зоны определяются относительным шагом расположения данных отверстий

$$\bar{S} = \frac{S}{d}, \quad (3)$$

где S – расстояние между осями отверстий;
 d – их диаметр.

Причем соотношением геометрических параметров струйно-нишевой системы можно добиться поддержания необходимого постоянного состава однородной топливной смеси в зоне циркуляции в широких пределах изменения скоростей горючего и окислителя. Эти свойства струйно-нишевой системы позволили создать струйно-нишевые горелочные устройства для огнетехнических объектов различного назначения.

Так, в 1994 г. на экспериментальных стендах в Лаборатории горения НГУУ «КПИ» и НПО «Машпроект» (г. Николаев) в жаровой трубе серийной камеры сгорания газотурбинного двигателя ГТ-16 при участии автора были апробированы новые подходы в организации рабочего процесса (раздача горючего в потоке окислителя, смесеобразование, поджиг, стабилизация пламени, выгорание топливной смеси, формирование температурных, скоростных и концентрационных полей продуктов сгорания).

Особенностью данной КС прямоточного типа является то, что практически весь воздух подавался через фронтное устройство без периферийного ввода. Для этого перфорированные отверстия по длине жаровой трубы были перекрыты.

Исследования проводились без предварительного подогрева воздуха при температуре 35–40 °С

(горючее – природный газ) (рис. 3). В связи с этим полнота сгорания серийной КС при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 3,88$, соответствующего номинальному расчетному режиму работы, не достигла своего максимального значения. При уменьшении α до значений 2,75 полнота выгорания несколько увеличивается, а затем резко начинает падать. КС нового типа, как видно, при высокой полноте сгорания не имеет ярко выраженной экстремальной зависимости. Конечно, в области значений $\alpha < 2$ КС не эксплуатируются, но данный эксперимент проводился с целью сравнения возможности различных технологий сжигания.

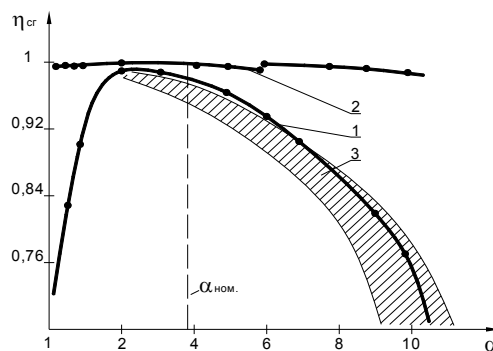


Рис. 3. Зависимость полноты сгорания топливной смеси $\eta_{\text{ср}}$ от коэффициента избытка воздуха:

1 – серийная КС ГТ-16;

2 – КС с аэродинамическими завихрителями;

3 – традиционные КС

Важнейшим параметром КС, определяющим их конкурентоспособность на внешнем рынке, является уровень концентрации вредных веществ в продуктах сгорания. На рис. 4 представлены результаты измерения содержания оксидов азота (NO_x) в продуктах сгорания КС различного типа при температуре воздуха 260–280 °С. Серийная КС на расчетном режиме показала 160 мг/нм³. У камеры сгорания нового типа за счет высокого качества смесеобразования и создания промежуточного механизма горения между диффузионным и кинетическим концентрация NO_x не превышала 10 мг/нм³. Данные эксперименты показали, что температура жаровой трубы новой камеры сгорания на 150 °С ниже, чем у серийной и не превышает 700 °С. Аэродинамическое сопротивление уменьшилось в 1,5 раза, а неравномерность температурного поля снизилась с 17 до 10%.

В настоящее время идет широкомасштабная апробация новых подходов к организации рабочего процесса горелочного устройства (ГУ) в котлах, печах, сушилах и т.д. Как известно, принципы организации горения в основных типах ГУ (ГМГ, ГА-110, РГМГ и т.д.) заимствованы у КС ГТД, поэтому вызывает определенный интерес сравнение возможностей различных технологий и в этих условиях.

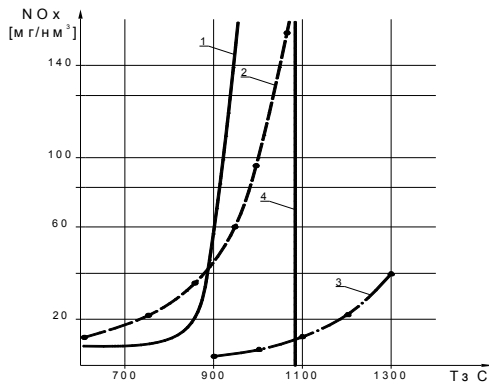


Рис. 4. Содержание оксидов азота в продуктах сгорания:

- 1 – многостабилизаторные КС;
- 2 – серийная КС ГТ-16;
- 3 – КС с газодинамическими завихрителями;
- 4 – расчетный режим работы

Так, например, в котлах удалось приблизиться к $\alpha \sim 1$ при полном выгорании топлива и значениях концентрации NO_x , не превышающих нормативных. При этом значительно уменьшилось аэродинамическое сопротивление ГУ, определяющее затраты энергии на привод тягодутьевых машин (рис. 5). Новые горелочные устройства легко разжигаются при давлениях газа 5–10 Па и устойчиво работают в необычно широком диапазоне мощности. Аналогичные результаты получены на печах различного назначения (мартены, обжиговые печи и др.).

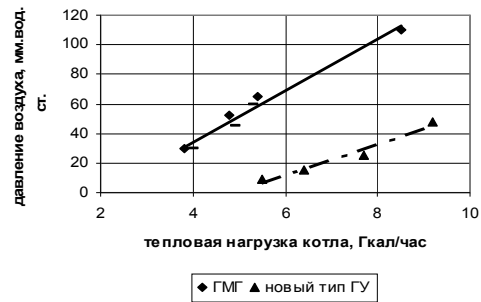


Рис. 5. Аэродинамическое сопротивление ГУ

Проведенные результаты указывают на путь к конструированию не только высокоэффективной КС, но и созданию универсальной технологии сжигания [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулин М.З. Струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Абдулин М.З.; НТУУ «КПИ». – К., 1986. – 18 с.
2. Абдулин М.З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках / М.З. Абдулин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Энергетическое и теплотехническое оборудование». – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – № 6. – С. 130-144.

Поступила в редакцию 2.06.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ТЭУТ и АЭС Н.М. Фиалко, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев.

ТЕХНОЛОГІЯ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА – ОСНОВА СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КАМЕР ЗГОРЯННЯ

М.З. Абдулін

Показано значущу роль топкових процесів в забезпеченні роботи вогнетехнічних об'єктів. Виявлено визначну роль аеродинаміки течії пального, окислювача та продуктів згоряння в складному аеротермохімічному комплексі. Розроблено ефективну газодинамічну схему пальникового пристрою з унікальними властивостями. Метою роботи є розробка нової високоєфективної струменево-нишевої технології спалювання палива для різноманітних вогнетехнічних об'єктів на основі сучасних експериментальних та теоретичних досліджень віхрових течій в умовах хімічного реагування та високих температур.

Ключові слова: камера згоряння, газотурбінний двигун, технологія спалювання, аеродинаміка течії.

FUEL FIRING TECHNOLOGY – THE BASIS OF HIGH-EFFECTIVE COMBUSTION CAMERAS

M.Z. Abdulin

The significant role of furnace processes in operational provisions of fire technical objects is shown. The determining role of aerodynamics of the flow of fuel, oxidizer and combustion products in the elaborate aerothermochemical complex is revealed. The effective gas-dynamic the scheme of burner device (BD) with the unique properties is developed. The purpose of the work is the development of the new highly effective stream-niche technology (SNT) of the combustion of fuels for different fire technical objects (furnaces, heat-generators, dryer, heaters, boiler units, gas turbines, ets) on the basis of contemporary experimental and theoretical investigations of vortex flows under the conditions of chemical reaction and high temperatures.

Key words: combustion chamber, gas-turbine engine, technology of incineration, aerodynamics of flow.

Абдулин Михаил Загретдинович – канд. техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тепловых энергетических установок тепловых и атомных электростанций НТУУ «КПИ», Киев, Украина, e-mail: pnosnt@i.ua.