

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Кулешов Олег Юрьевич**

д-р техн. наук, доцент, профессор

**Муслимов Евгений Ильдусович**

студент

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный  
технический университет им. Гагарина Ю.А.»

г. Саратов, Саратовская область

### **МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ**

*Аннотация: в данной статье авторами предложен метод расчета характеристик газовых факелов, который приближенно на основе принципа относительного моделирования учитывает закономерности массопереноса в факеле и позволяет эффективно определять длину и кривую тепловыделения диффузионных и смешанных факелов в условиях промышленных печей.*

*Ключевые слова: газовый факел, промышленные печи, горелки, условия сжигания, диффузионное горение, относительное моделирование.*

Сжигание газа в длинных диффузионных и диффузионно-кинетических (смешанных) факелах является одним из основных теплотехнических принципов, реализуемых в промышленных печах для обеспечения равномерности теплоподвода в рабочей камере. Поэтому актуальной является разработка достаточно простых в математическом отношении, но в то же время эффективных и универсальных моделей факелов для использования в инженерных расчетах теплообмена в печах.

В данной работе предложен метод расчета характеристик (длины и кривой тепловыделения) диффузионных и смешанных газовых факелов в промышленных печах с различными видами горелок, приближенно учитывающий закономерности диффузионных процессов в спутном потоке горючего и окислителя и

окончательно уточняемый по экспериментальным данным. Это делает метод достаточно общим и универсальным.

Метод расчета основан на применении принципа относительного моделирования, когда за основу берется длина и кривая выгорания свободного диффузионного газового факела (вне печи) при тех же основных условиях и вводятся поправочные функции, каждая из которых учитывает одно из дополнительных условий, определяющих процесс факельного горения в промышленных печах. При этом поправочные функции зависят от отношений определяющих параметров для ограниченного внутрипечного и свободного факельного горения. Последнее чрезвычайно важно, поскольку эти относительные параметры слабо изменяются по длине расчетного внутрипечного факела и могут служить характеристиками факельного процесса в целом, что значительно упрощает задачу без существенной потери точности.

Анализ процессов факельного сжигания газообразного топлива в промышленных печах с различными видами горелок позволил установить следующие условия горения и соответствующие им поправочные функции  $f_x$ : 1) стесненность факела,  $f_{oep}$ ; 2) спутность потоков горючего и окислителя, включая значение коэффициента избытка воздуха,  $f_m$ ; 3) крутка и дополнительная турбулизация факела за счет установки в горелках завихрителей,  $f_\Omega$ ; 4) настильность факела,  $f_w$ ; 5) частичное предварительное смешение горючего газа с воздухом,  $f_{cm}$ .

В отличие от диффузионного смешанный факел, образующийся при частичном предварительном смешении топливного газа с воздухом, имеет два фронта горения – кинетический (короткий, расположенный вблизи среза горелочного сопла) и диффузионный (длинный, в котором происходит догорание топлива). Поэтому горение на основном участке смешанного факела  $x > L_{нач}$  по сути является диффузионным с меньшей концентрацией горючих компонентов в газовой струе и интенсивным тепловыделением на начальном участке за счет горения в кинетическом фронте.

В соответствии с развивающимся подходом длина произвольного факела в условиях промышленной печи выражается в виде:

$$L_{\phi} = L_{\text{св.ф}} \cdot f_{\text{огр}} \cdot f_m \cdot f_{\Omega} \cdot f_w \cdot f_{\text{см}} \quad (1)$$

Длина свободного диффузионного факела  $L_{\text{св.ф}}$  имеет достаточно простое выражение. Экспериментально установлено, что длина диффузионного факела пропорциональна его стехиометрической длине  $L_{\text{сх}}$ , на которой подсасывается теоретически необходимое количество воздуха, и приведенному критерию Фруда  $\text{Fr}_{\phi}$  или Архимеда  $\text{Ar}_{\phi}$  (при воздействии массовых сил на формирование факела).

Вид поправочных функций в выражении (1) конкретизируется для каждого случая путем учета относительного изменения определяющих параметров факельного процесса на основе теории турбулентных струй [1] и уточняется по экспериментальным данным путем введения корреляционных коэффициентов.

При определении динамики выгорания (тепловыделения) газового факела используется качественная схожесть кривых изменения химического недожога топлива вдоль диффузионных факелов при различных условиях сжигания, а также предположение о приближенной автомодельности факельных процессов на основном участке факела  $x > L_{\text{нач}}$ . В качестве нормирующего выступает параметр, являющийся производным от общей длины факела  $L_{\phi}$ .

Проведенные предварительные оценки показывают хорошее качественное совпадение теоретических результатов и экспериментальных данных, полученных на огневых стендах [2].

### ***Список литературы***

1. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович, Т.А. Гиршович, С.Ю. Крашенинников и др. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
2. Седелкин В.М. Исследование и разработка методов расчета теплообмена в трубчатых печах газовой и нефтехимической промышленности: Дис. ... докт. техн. наук / В.М. Седелкин. – Саратов, 1982. – 577 с.