

## 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

### **ЗОНАЛЬНЫЙ МЕТОД И МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ОГНЕТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

*Аннотация: в данной работе предложена модификация зонального метода и методика расчета теплообмена в огнетехнических установках, обладающие точным, комплексным математическим описанием процессов теплопереноса и позволяющие получать обоснованные и достоверные решения.*

*Ключевые слова: топочные устройства, сложный теплообмен, зональный метод, обобщенные угловые коэффициенты излучения.*

Огнетехнические установки (энергетические котлы, промышленные печи, камеры сгорания) используют энергию горения органического топлива. В рабочих камерах этих установок развиваются высокие температуры и тепловые потоки к поверхностям нагрева, находящимся на уровнях близких к максимально допустимым. Поэтому прогнозирование детальных характеристик теплообмена в этих устройствах является весьма актуальной задачей.

В настоящее время для моделирования сложного теплообмена в огнетехнических установках широко применяется различные модификации зонального метода. Зональные методы основаны на замене исходных интегро-дифференциальных уравнений сложного теплообмена системой уравнений теплового баланса поверхностных и объемных зон в многозонной расчетной

области [1]. Интегральный характер излучения учитывается угловыми коэффициентами, которые могут вычисляться различными методами. В системах, заполненных излучающе-поглощающей средой, определяются так называемые обобщенные угловые коэффициенты излучения (ОУК).

Предложена модификация зонального метода и методика расчета теплообмена в огнетехнических установках, обладающие точным, комплексным математическим описанием процессов теплопереноса и позволяющие получать обоснованные и достоверные решения.

Математическое описание сложного теплообмена в радиационной (топочной) камере в рамках зонального подхода включает в себя систему зональных балансовых уравнений, коэффициенты в которых учитывают радиационный и конвективный перенос тепла и вычисляются на основе моделирования соответствующих процессов.

Обобщенная система зональных уравнений имеет вид:

$$\sum_{i=1}^N P_{ij} T_i^4 + \sum_{i=1}^M \Omega_{ij} T_i + C_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N; \quad (1)$$

где  $N$  – общее число зон в расчетной области;

$M$  – число зон, непосредственно контактирующих с  $j$ -ой зоной;

$T_i$  – абсолютная температура  $i$ -ой зоны;

$P_{ij}$  – коэффициент радиационного обмена между зонами  $i$  и  $j$ ;

$\Omega_{ij}$  – коэффициент конвективно-турбулентного обмена;

$C_j = f(Q_j)$  – свободный член уравнения, включающий в себя внутреннее тепловыделение в объемной зоне  $j$  за счет горения топлива или внешний (через топочные ограждения) тепловой поток к поверхностной зоне  $j$ ;

$i, j$  – зоны источник и приемник теплоты, соответственно.

Коэффициенты радиационного обмена  $P_{ij}$ , входящие в уравнения (1), рассчитываются на основе разрешающих ОУК для основных полос спектра излучения продуктов сгорания. Первичные ОУК рассчитываются численным методом

статистических испытаний Монте-Карло применительно к вероятностным процессам излучения и поглощения в многозонной системе, что обеспечивает высокую точность их определения.

Коэффициенты конвективно-турбулентного обмена  $\Omega_{ij}$  между зонами  $i$  и  $j$ , входящие в уравнение (1), определяются с использованием расчетных и экспериментальных данных по газодинамике и конвективной теплоотдаче в топочных камерах.

Математическое описание топочных процессов содержит также замыкающие выражения для тепловыделения в факельных зонах и методику определения длины факела при различных схемах сжигания топлива в печах. Для объемных и настильных газовых факелов предложена полуэмпирическая методика, учитывающая параметры факельного горения (соотношение количеств движения воздушного и газового потоков; степень предварительного смешения газа с воздухом; интенсификацию горения за счет установки в горелках завихрителей; стесненность факела; температурный уровень топки) и основанная на введении соответствующих поправок к расчетной длине и кривой выгорания свободного диффузионного факела при прочих равных условиях [2].

Предложенные модификация зонального метода и методика расчета сложного теплообмена в топках паровых котлов и промышленных печей позволяет численно исследовать детальные характеристики топочных процессов в реальном оборудовании, и на этапе проектирования обоснованно выбирать конструкции и тепловые режимы, обеспечивающие требуемые показатели работы.

### ***Список литературы***

1. Блох А.Г. Теплообмен излучением / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
2. Кулешов О.Ю. Полуэмпирический метод расчета характеристик диффузионных газовых факелов в промышленных печах / О.Ю. Кулешов, В.М. Седелкин, Е.С. Ершов // Проблемы теплоэнергетики: Сб. науч. трудов. – Саратов, 2014. – С. 394–397.