

ТЕПЛООБМЕН В СИСТЕМЕ СТРУЙ

Сайидов Хамрокул Кувондиқович

Бухарский инженерно-технологический институт

saidovhk@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Одно из направлений повышения эффективности использования топлива – сжигание газообразного топлива с разбиением его на мелкие струйки и подачей между ними окислителя (воздуха). Исследование горения в системе турбулентных струй показали, что такой способ организации процесса горения позволяет значительно повысить тепловое напряжение в несколько раз. Наряду с технологическими показателями важна токсикологическая характеристика выбрасываемых продуктов сгорания. Поэтому исследование закономерностей развития параметров факелов в процессе горения в системе струй является актуальными.

Ключевые слова: система струй, тепловое напряжение, горение, конечная скорость, продукт сгорания.

HEAT TRANSFER IN THE JET SYSTEM

ABSTRACT

One of the directions of increasing fuel efficiency is combustion of gaseous fuel with splitting it into small jets and feeding an oxidizer (air) between them. Studies of combustion in the system of turbulent jets showed that this way of organizing the combustion process allows a significant increase in thermal stress by several times. Along with technological indicators, the toxicological characteristics of the emitted combustion products are important. Therefore, the study of regularities of development of flame parameters in the process of combustion in a jet system is relevant.

Keywords: jet system, thermal stress, combustion, final velocity, combustion product.

ВВЕДЕНИЕ

Теплообмен – это процесс изменения внутренней энергии и всегда происходит в определенном направлении: от тел с более высокой температурой к телам с более низкой. Когда температура тел выравниваются, теплообмен прекращается.

Теплообмен можно осуществлять тремя способами: теплопроводностью, конвекцией, излучением. Мы будем изучать теплообмен жидкости или газа в системе струй реагирующих струй.

В организации топочного процесса важное место отводится аэродинамике топки. При разработке аэродинамики топки стоит цель увеличить эффективность горения, уменьшив выброса окислов азота и других вредных продуктов сгорания в атмосферу. Наибольшее применение получило в огнетехнических устройствах параллельное расположение факелов в камере сгорания. Такое расположение камер сгорания называем система струй реагирующих газов.

При таком расположении камера разделяется на верхняя и нижняя части. Горящие струи, взаимодействуя между собой или ударяясь о стенку канала, направляется в верхнюю и нижнюю части камеры.

Взаимодействие и соударение горящих струй, пересечение их потоком, протекающим из нижней в верхнюю часть камеры сгорания, весьма усложняет аэродинамику топки, делает ее неуправляемой и часто неустойчивой. Вследствие этого ухудшается эффект горения, увеличивается объем выброса вредных газов.

В данной статье исследуем один из путей устранения этих недостатков исключение возможности слияния факелов друг с другом.

Постановка задачи. Рассматривается течение, образующееся в зоне смешения системы плоских периодических турбулентных струй газов с конечной скоростью химической реакции.

Пусть в цилиндрическом канале с радиусом R симметрично относительно оси канала расположены два сопла с диаметром b (рис. 1). При этом из сопел подается горючее, а между ними по каналу – окислитель (воздух). Диаметры сопел удовлетворяют условию $R \geq 10$.

Параметры струй горючего и окислителя на выходе задавались ступенчатыми и однородными. Давление струи и спутного потока считаем равным атмосферному, т.е.

$$P_1 = P_2 = 1 \text{ атм} = 1,03323 \text{ кгс/см}^2.$$

Система дифференциальных уравнений описывающая рассматриваемый физико – химический процесс описывается в [1, 2]

Система уравнений интегрировалась численно. Использовалась двухслойная монотонная конечно–разностная схема для уравнения параболического типа [3].

Конечно–разностный аналог этих уравнений с граничными условиями (1) и (2) решаем методом прогонки [3]. Для реализации данной задачи составлена программа и реализована на Паскале и протестирована в MATLAB.

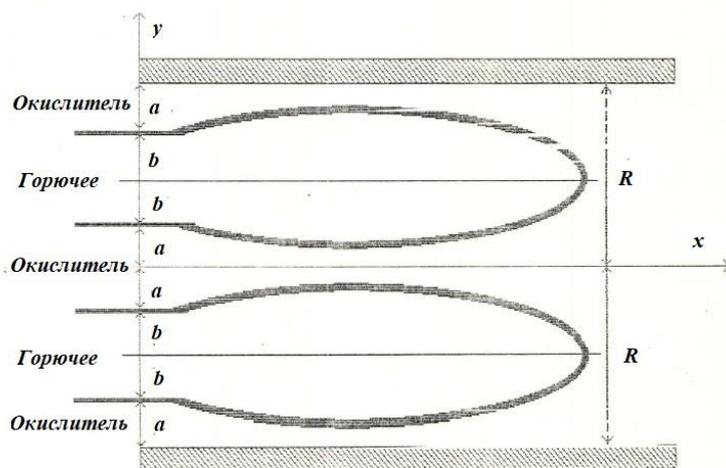


Рис. 1: Картина течения процесса.

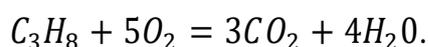
Для решения поставленной задачи используем следующие интегральные

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{a+b} (\rho u^2 + p) dy &= I_0 \\ \int_0^{a+b} \rho u dy &= M_0, (I_0, M_0 = const). \end{aligned} \right\} (1)$$

И граничные условия

$$\left. \begin{array}{l}
 x = 0: \left\{ \begin{array}{l}
 u = u_2, H = H_2, C_i = (C_i)_2, \varepsilon = \varepsilon_2 \quad \text{при } 0 \leq y \leq a \\
 u = u_1, H = H_1, C_i = (C_i)_1, \varepsilon = \varepsilon_1 \quad \text{при } a < y \leq b \\
 u = 0, H = H_1, C_i = (C_i)_1, \varepsilon = 0 \quad \text{при } b < y \leq R
 \end{array} \right. \\
 x > 0: \left\{ \begin{array}{l}
 \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial H}{\partial y} = \frac{\partial C_i}{\partial y} = \frac{\partial \rho}{\partial y} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = v = 0 \quad \text{при } y = 0 \\
 \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{\rho_e u_e^2 c_f}{\rho_{\text{ст}} \varepsilon_{\text{ст}} 2}, \frac{\partial C_i}{\partial r} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = 0, \\
 \frac{\partial H}{\partial r} = -\frac{q_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ст}} \varepsilon_{\text{ст}} (C_p)_{\text{ст}}} \quad \text{при } y = R.
 \end{array} \right.
 \end{array} \right\} (2)$$

В качестве примера проведен расчет горения пропана в воздухе в области перемешивания периодических плоских струй:



При этом параметры принимали следующие значения:

$$v_1 = 5, v_2 = 1, v_3 = 3, v_4 = 4$$

$$m_1 = 32, m_2 = 56, m_3 = 44, m_4 = 18$$

Расчеты проводились при следующих исходных данных:

$$u_2 = 61 \text{ m/s}, u_1 = 5; 10; 18.3 \text{ m/s}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}, T_2 = 1000; 1210; 1300 \text{ K}$$

$$(C_2)_2 = 0.085; 0.12; 0.2 \text{ kg/kg}$$

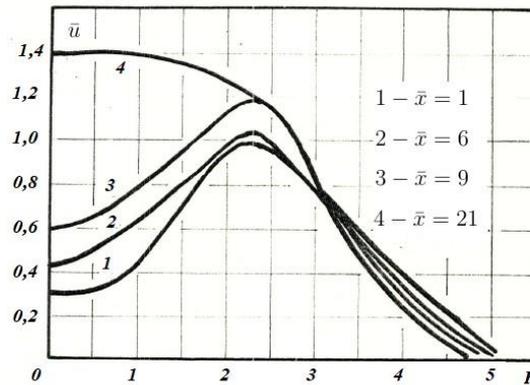
Основные результаты расчетов представлены в виде графиков на рис. 2–4.

На рис. 2 приведено радиальное распределение скорости потока на различных расстояниях от среза сопла при следующих исходных данных:

$$(C_2)_2 = 0.12 \text{ kg/kg}, T_1 = 300 \text{ K}, T_2 = 1210 \text{ K}, u_2 = 61 \text{ m/s}, u_1 = 18.3 \text{ m/s}$$

Как видно из рисунка, при удалении от среза сопла максимальные значения скорости потока тоже увеличиваются, поток ускоряется, а давление падает. Это объясняется тем, что происходит непрерывный рост выделения тепла в начальных сечениях потока.

Это видно и из рисунка 3, где представлено развитие профиля скорости потока. При удалении от среза сопла профиль скорости сохраняет



параболический вид.

Рис. 2: Радиальное распределение скорости потока на различных расстояниях от среза сопла при $T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 1210 \text{ K}$, $(C_2)_2 = 0.12 \text{ kg/kg}$, $u_1 = 18.3 \text{ m/s}$, $u_2 = 61 \text{ m/s}$

Можно сделать вывод, что при $\alpha > 1$ факела не сливаются друг с другом. Это способствует улучшению организации топочного процесса. В противном случае ($\alpha \leq 1$) наблюдается недожог горючего газа.

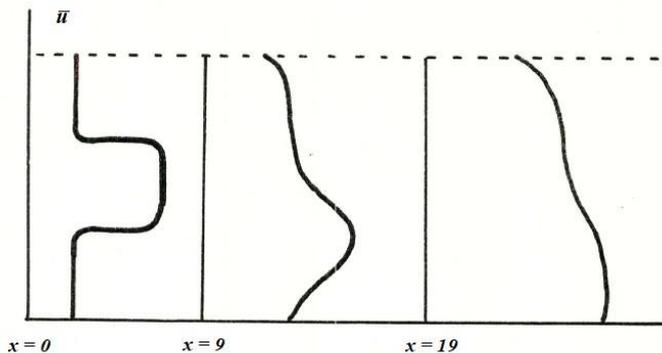


Рис. 3: Развитие профили скорости струи для различных сечений.

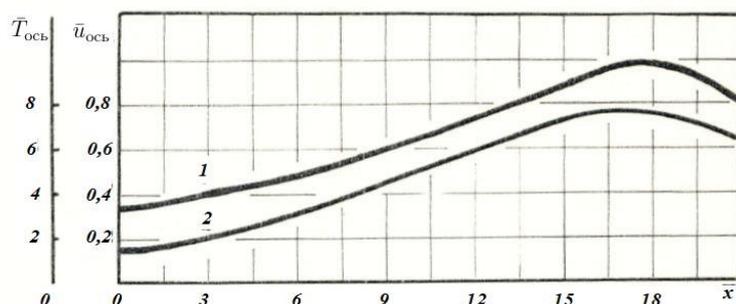


Рис. 4: Изменение осевых значений: скорости потока (1) и температуры (2) вдоль струи. Данные см. рис. 2.

Это способствует к перерасходу топлива, и тем самым загрязняет окружающую среду с продуктами сгорания.

Литература

1. Жумаев З.Ш., Саидов Х.К., Сайфутдинов А.И. Особенности горения газообразного топлива в системе плоских турбулентных струй //Изв. АН Р. Уз. с.т.н. - 1991. - № 6. С. 53–58.

2. Сайидов Х.К. Исследование турбулентных струй при диффузионном горении. Метод решения. // Глобаллашув даврида математика ва амалий математиканинг долзарб масалалари. Республика илмий анжумани 1-2 июнь 2021 йил материаллари тўплами. Т.2, С. 126–130.

3. Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные схемы газовой динамики. — М.: Наука, — 1992. — 352 с.

Бухарский инженерно-технологический институт. 12.05.2023 г.