

## ЛОКАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООТДАЧИ ГАЗОВЫХ ИМПАКТНЫХ СТРУЙ

### АННОТАЦИЯ

Приводятся экспериментальные данные по локальным коэффициентам теплоотдачи в газовых импактных струях и их различных системах, образованных соплами с несимметричной формой поперечного сечения.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее эффективных способов интенсификации теплообмена в газовых импактных струях является изменение формы поперечного сечения струеобразующего канала с круглой на несимметричную, что позволяет увеличить теплоотдачу в одиночных струях и их регулярных (изоморфных) системах на 80 и 50 % соответственно [1]. Данный эффект может быть усилен дополнительно на 25–27%, если использовать нерегулярные комплексы импактных струй, образованных соплами с разной формой поперечного сечения, в частности биморфные системы. Однако данные о локальных характеристиках теплоотдачи в таких струях фактически отсутствуют.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения локальных характеристик теплоотдачи была разработана методика синхронной тепловизионной диагностики [2], которая позволяет получить одновременно температурные поля на поверхности твердого тела, омываемом его газовом потоке, и на этой основе рассчитать локальные характеристики теплоотдачи.

Схема установки приведена на рис. 1. Температура внутри дутьевой камеры и температура преграды фиксировались при помощи медь-константановых термопар 10. Преобразователь температур в виде сетки из тонких полимерных нитей 7 размещался в потоке так, что край сетки, обращенный к преграде, находился в пределах пограничного слоя, а противоположный ее край, максимально приближен к выходному отверстию струеобразующего сопла. Тепловизор воспринимал инфракрасное излучение от нитей сетки, формируя тем самым на своём экране температурное поле газового потока импактной струи. С помощью поворотного механизма преобразователь-сетка поворачивался по углу относительно оси сопла, что позволило получить тепловые картины – срезы потока.

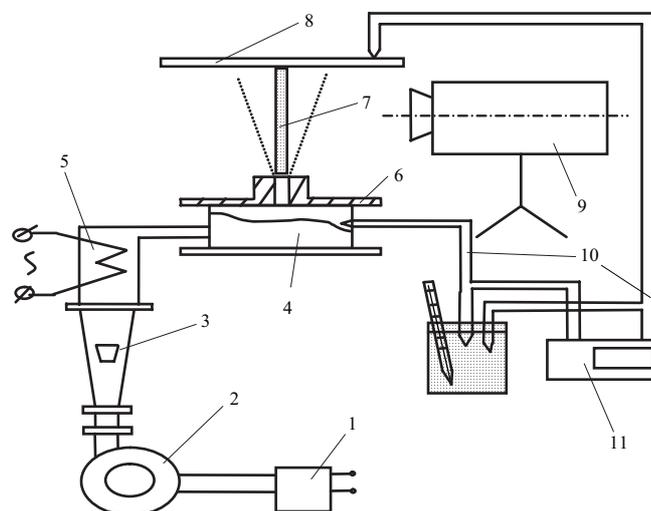


Рис. 1. Схема установки для определения температурного поля в газовых импактных струях: 1 – лабораторный автотрансформатор; 2 – воздухоподка; 3 – ротаметр; 4 – дутьевая камера; 5 – электронагреватель; 6 – сменная верхняя крышка со встроенным соплом; 7 – преобразователь температуры – сетка; 8 – преграда; 9 – тепловизор; 10 – термопара; 11 – милливольтметр

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООТДАЧИ

$$\alpha_y = \frac{\lambda_{\Gamma y}}{t_{\Gamma} - t_{wy}} \text{grad}_y t(x=0). \quad (1)$$

В формуле (1) используется приведенный градиент температур, который определяется следующим образом (см. рис. 2).

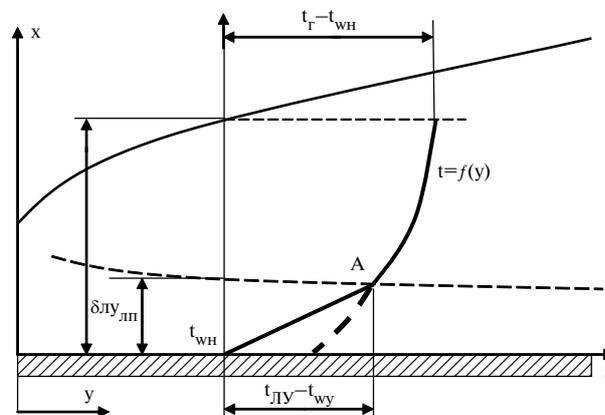


Рис. 2. Схема гидродинамического пограничного слоя

Сначала находится распределение температур по всему пограничному слою  $t_{\Gamma y}=f(x)$ . Затем рассчитывается толщина вязкого (ламинарного) подслоя  $\delta_{\text{л}y}$  по методике, соответствующей рассматриваемому течению

После чего, по распределению  $t_{\Gamma y}=f(x)$  находится температура на границе (точка А) вязкого подслоя и турбулентного погранслоя  $t_{\text{л}}=f(y)_{y=\delta_{\text{л}}}$ . А поскольку распределение температуры в ламинарном подслое имеет линейный характер, то можно найти приведенный градиент температур, который определится как

$$\text{grad}_y t_{(x=0)} = (t_{\text{л}} - t_w) / \delta_{\text{л}} \quad (2)$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИМПАКТНЫХ СТРУЯХ

Оказалось, что распределение локального коэффициента теплоотдачи сильно зависит от формы поперечного сечения струеобразующего сопла, что хорошо согласуется с данными по гидродинамике. Прежде всего, влияние эффекта трансформации течения во вторичной веерной струе, прослеживается и в конфигурации распределения локального  $\alpha$  [3]. Наблюдается «разворот» на  $60^\circ$  (треугольное сопло) и  $45^\circ$  (квадратное сопло) области высоких значений локального коэффициента теплоотдачи. На нижеприведенных рисунках показаны диаграммы распределения относительного локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha^*_{y} = \alpha_y / \alpha_{y\text{min}}$ , по преграде для треугольного (рис. 3) и квадратного (рис. 4) сопел, а также для систем импактных струй (рис. 6 и рис. 7). Характерным является наличие зон с высоким коэффициентом теплоотдачи в области середин сторон струеобразующего сопла, именно в тех зонах, где существуют области с высокими градиентами давления потока на преграду. Наличие этих высокодинамичных зон и приводит к интенсификации теплоотдачи.

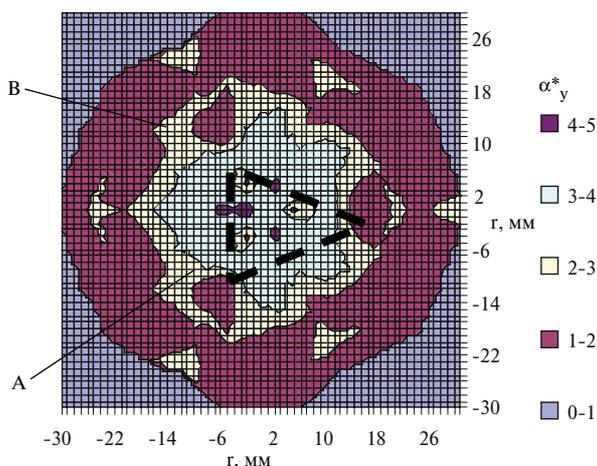


Рис. 3. Распределение относительного локального коэффициента  $\alpha^*_{y}$  по преграде для одиночной импактной струи, образованной соплом с треугольной формой поперечного сечения и схема (жирные пунктирные линии) расположения сопла в плане:  $\tau = 60$  с,  $d_3=10$  мм,  $z^*=4$ ,  $w=10$  м/с

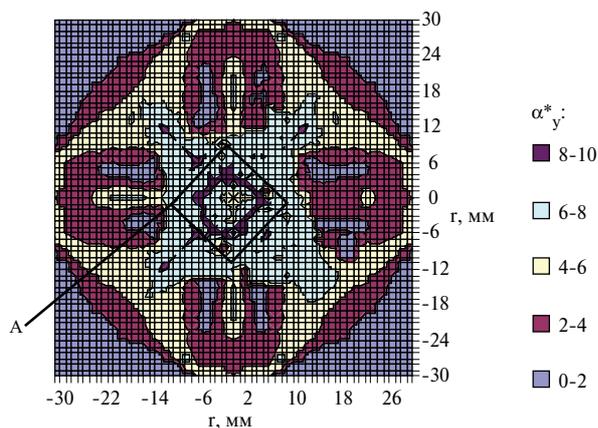


Рис. 4. Распределение относительного локального коэффициента  $\alpha^*_{y}$  по преграде для одиночной импактной струи, образованной соплом с квадратной формой поперечного сечения и схема расположения сопла (контур А) в плане:  $\tau = 60$  с,  $d_3=10$  мм,  $z^*=4$ ,  $w=10$  м/с

Было установлено, что распределение  $\alpha^*_{y}$  имеет ту же периодическую неравномерность по углу, как и поле давления [2]. На рис. 6 видно, что максимальное значение локального  $\alpha$  достигается не в точке торможения, а на расстоянии  $1 \div 2r^* = r/d_3$ , от оси струи, где  $d_3$  гидравлический (эквивалентный) диаметр канала. Для больших поверхностей рассмотрены регулярные (изоморфные) системы струй, а затем и нерегулярные (биморфные) комплексы, сравнительные опыты проводились для следующих схем размещения сопел в плане (рис. 5).

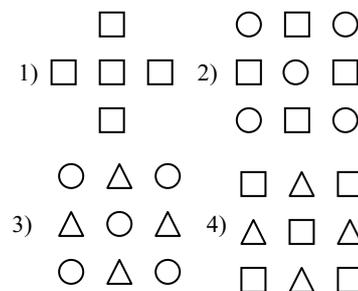


Рис. 5. Схемы размещения сопел в плане

На рис. 6 представлено распределение относительного локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha^*_{y}$  для изоморфной системы из «квадратных» струй.

На рис. 7 представлено распределение локального коэффициента теплоотдачи для системы из четырех «квадратных» струй и «треугольной» струей в центре комплекса

Было установлено, что при применении сопел с разной формой поперечного сечения в системах «несимметричных» импактных струй, распределение локального коэффициента теплоотдачи становится более сложным, зоны с высокими значениями

локального коэффициента теплоотдачи занимают большую площадь, чем в случае регулярных систем, превышение достигает 25–30%. Это объясняется более сложной гидродинамической обстановкой на поверхности преграды. Поле давления на преграду усложняется, зоны с повышенными значениями градиентов давления увеличиваются, становятся более развитыми зоны взаимодействия между пристенными течениями от струй различной формы.

Наиболее эффективен набор сопел № 4. Примечательно что наибольший разброс по  $\alpha^*_y$  наблюдался у систем из круглых сопел.

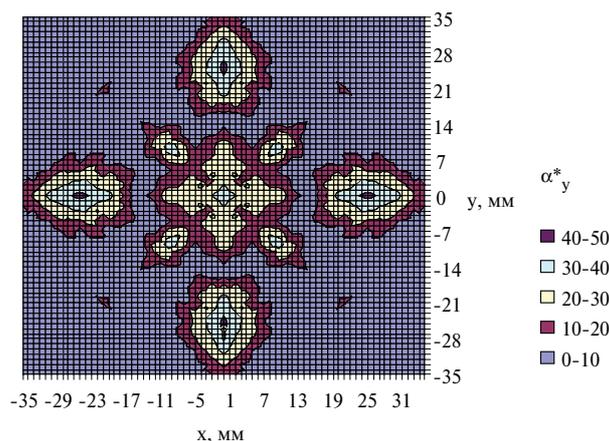


Рис. 6. Распределение относительного локального коэффициента  $\alpha^*_y$  по преграде для системы из 5 импактных струй (а), образованной соплами с квадратной формой поперечного сечения

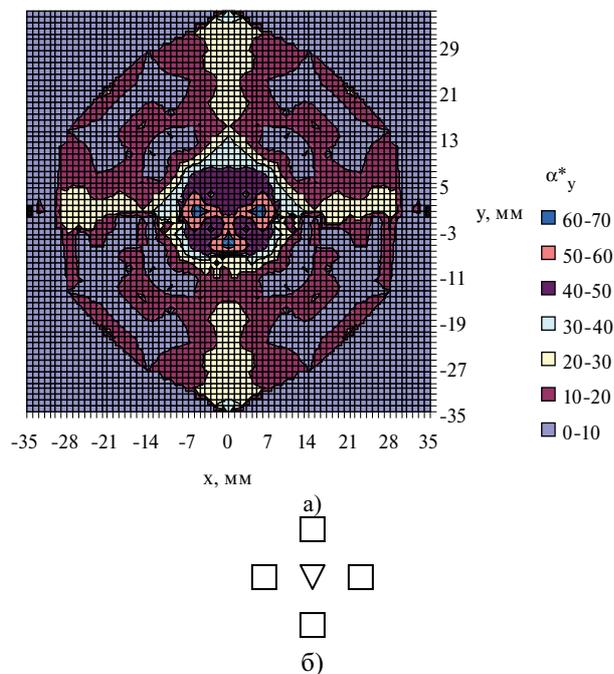


Рис. 7. Распределение относительного локального коэффициента  $\alpha^*_y$  по преграде для системы из 5 импактных струй (а), образованной соплами с квадратной и треугольной формой поперечного сечения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жилкин Б.П., Гулаков А.А., Бродов Ю.М.** Интенсификация теплоотдачи в импактных струях путем изменения формы поперечного сечения сопла «тепломассообмен ММФ-2000. Конвективный теплообмен Минск: АНК «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ» 2000. Т. 1. С. 329–336.
2. **Пат. 2 25 5315 С1, МПК7 G 01 K 13/02.** Способ тепловизионной диагностики процессов теплоотдачи / Т.Ф. Богатова, Е.А. Еременко, А.В. Ефимова, Б.П. Жилкин, А.В. Зайцев, В.А. Зайцев, В.Н. Осмаков, В.Ф. Резинских, Н.А. Хапонен. Заявл.16.07.2004; опубл. 27.06.2005. Бюл. №18.
3. **Зайцев А.В.** О локальной теплоотдаче газовых импактных струй, создаваемых соплами с несимметричной формой поперечного сечения / А.В. Зайцев, Б.П. Жилкин, В.В. Тюльпа // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках: тр. XV Школы-семинара молодых ученых и специалистов / под рук. акад. РАН А.И. Леонтьева. (23–27 мая 2005 г. г.Калуга, Россия). М.: Издательство МЭИ, 2005. С. 333–335.