

доожигенный слой с локальным фонтанированием и другие методы определяются при решении конкретной задачи на стадии научно-исследовательской и проектно-конструкторской проработки.

Классификация эксплуатационных мероприятий по повышению теплоэнергетической эффективности при модернизации действующего сушильного оборудования и рационализации режимов сушки представлена на рис. 2.

Анализ экспериментальных данных, полученных нами при испытании барабанов в процессе сушки калийных солей, показал, что повышение загрузки сушильного объема с 60 т/ч до 80 т/ч снижает удельный расход топлива на 10% при начальной влажности материала 8,25% и конечной – 1,5%.

Основными аппаратами в промышленности до сих пор служат барабанные, ленточные, шахтные сушильные установки, но на ряде объектов они не отвечают энергетическим и технологическим требованиям и должны быть заменены аппаратами взвешенного слоя с активными гидродинамическими режимами: кипящим и фонтанирующим слоями, встречными и закрученными потоками, виброкипящим слоем и т.д.

Автоматизация сушильных процессов и внедрение метода регулирования по оптимальным режимам сушки с корреляцией по расходу топлива позволяет сэкономить не менее 10–15% топлива. Для учета и контроля энергозатрат в ряде случаев следует применять ЭВМ.

Большое практическое значение представляет создание научно обоснованных методик и программ технико-экономической оптимизации энергоиспользования, тепломассообменных, технологических показателей надежности.

УДК 536.2

С.А.Федюшин, Ю.А.Малевич, В.Н.Папкович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В данной работе исследуется возможность создания устройств, позволяющих на основе использования затопленных струй со сложными начальными температурными и скоростными профилями получать достаточно большие поперечные градиенты плотности.

В [1,2] были предприняты попытки обобщить исследования по смешению систем плоских и коаксиальных турбулентных струй различной плотности. Однако в них рассматриваются в основном автомодельные турбулентные струи.

Для расчета неавтомодельных турбулентных струй жидкости и газа целесообразно использовать метод эквивалентной задачи теории теплопроводности [3].

В качестве исходных запишем уравнения турбулентного пограничного слоя в виде

$$\left. \begin{aligned} \rho u \frac{\partial u}{\partial t} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \tau_T; \\ \frac{\partial}{\partial z} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) &= 0; \\ \rho u c_p \frac{\partial}{\partial z} \Delta T + \rho v c_p \frac{\partial}{\partial y} \Delta T &= \frac{\partial}{\partial y} g_T, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\Delta T = T - T_0$

Путем введения новых независимых переменных

$$\xi = (z, y); \quad \eta = \eta(z, y); \quad \xi_T = \xi_T(z, y); \quad (2)$$

$$\eta_T = \eta_T(z, y)$$

представляется возможным преобразование уравнений (1) к линейным уравнениям вида

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \xi} (\rho u^2) &= \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} (\rho u^2); \\ \frac{\partial}{\partial \xi_T} (\rho u c_p \Delta T) &= \frac{\partial^2}{\partial \eta_T^2} (\rho u c_p \Delta T), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Приближенная связь между новыми и старыми независимыми переменными устанавливается из сравнения решений методом асимптотического слоя и методом эквивалентной задачи теории теплопроводности уравнений пограничного слоя для струйных источников и имеет вид

$$\xi = cz^2; \quad \eta = y \quad (4)$$

Такая же связь была использована при исследовании распространений плоской турбулентной струи конечного размера с начальным профилем скорости в виде ступеньки, а также плоской струи в струйном потоке [1,2]. В этом случае константа определяется из эксперимента и получается удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Аналогичным образом решается тепловая задача с заменой независимых переменных

$$\xi_T = c_T z^2; \quad \eta_T = y. \quad (5)$$

Используя метод эквивалентной задачи теории теплопроводности, будем искать решения уравнений (3) для следующих начальных и граничных условий:

$$\begin{aligned}
 1 \geq y \geq 2/3; & \quad \Delta T = \Delta T_1; & (6) \\
 2/3 \geq y \geq 1/3; & \quad \Delta T = \Delta T_2; \\
 1/3 > y \geq 0; & \quad \Delta T = \Delta T_3; \\
 0 > y \geq -1/3; & \quad \Delta T = \Delta T_4; \\
 -1/3 > y \geq -2/3; & \quad \Delta T = \Delta T_5; \\
 -2/3 > y \geq -1; & \quad \Delta T = \Delta T_6; \\
 +1 > y \geq -1; & \quad u = u_0
 \end{aligned}$$

Общее решение уравнений (3) с начальными условиями согласно [4] будет

$$\frac{u}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{\bar{y}+1}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{\bar{y}-1}{2\sqrt{\xi}} \right) \right]; \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta T}{\Delta T_1} = \frac{1}{2} \frac{u_0}{u \Delta T} \left\{ \Delta T_6 \left[\operatorname{erf} \left(\frac{-1-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{-2/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] + \right. \\
 + \Delta T_5 \left[\operatorname{erf} \left(\frac{-2/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{-1/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] + \Delta T_4 \operatorname{erf} \left(\frac{-1/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) + \\
 + \Delta T_3 \operatorname{erf} \left(\frac{1/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) + \Delta T_2 \left[\operatorname{erf} \left(\frac{2/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{1/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] + \\
 \left. + \Delta T_1 \left[\operatorname{erf} \left(\frac{1-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{2/3-\bar{y}}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] \right\}, \quad (8)
 \end{aligned}$$

где $\bar{y} = y/h$; $\bar{\xi} = \xi/h$.

Здесь h – полуширина струи.

Расчет искомых функций производится по формулам (7), (8) при различных начальных условиях, указанных в табл. 1

Режим	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4	ΔT_5	ΔT_6
I	50	75	77	80	55	5
II	55	90	85	75	55	5
III	60	100	95	75	60	5
IV	65	110	105	90	65	5
V	75	120	147	95	75	5
VI	80	145	145	115	90	5
VII	85	160	160	130	95	5

Путем алгебраического пересчета, учитывая (4), (5), можно перейти к реальным профилям скорости и температуры или известных коэффициентов s и s_T , которые определяются сравнением расчетных зависимостей $u(\xi)$ и $\Delta T(\xi)$ с экспериментальными, $u(z)$ и $\Delta T(z)$. С этой целью был проведен эксперимент по измерению скорости и температуры по высоте затопленной струи с начальными условиями, равными расчетным. Получены численные значения постоянных $s = 0,03$; $s_T = 0,0375$.

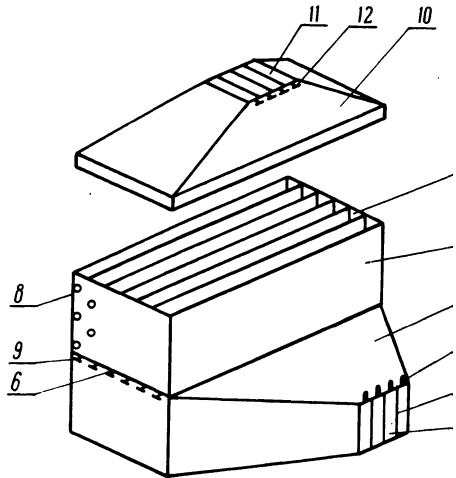


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Воздух подается в приемное окно 1, которое расплагалось на входе в распределитель 2. В распределителе устанавливались направляющие 3 и регулирующие шибера 4, позволяющие создавать равномерное поступление воздуха по всей 1200 мм длине установки. Над распределителем установлен нагреватель 5. Для равномерного распределения воздуха в поперечном сечении вмонтирована таллическая сетка 6 с ячеистостью 80%. Нагреватель разделен абсоцементными плитами 7 на шесть секций с одинаковым поперечным сечением. В каждой секции устанавливались в шахматном порядке электроннагреватели 8 мар НСВТ-250. Нагреватели каждой секции соединялись параллельно и подключались к трансформатору РНО-250. Суммарная мощность нагревателей достигала 6 кВт. Скорость воздуха регулировалась шиберами 9. Для поддер-

ния температуры окружающего воздуха постоянной нагретый воздух отсасывался с помощью вытяжной части 10.

Подача воздуха осуществлялась вентилятором Ц-13-50 № 5 (производительность $1,3 \times 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$) и напором 300мм водяного столба. Расход воздуха регулировался шибером 4. Отсос воздуха производился вентилятором, который обеспечивал максимальный расход $7,2 \times 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор до 300мм водяного столба.

С помощью шиберов 4,9 и 12 устанавливалось равномерное распределение скорости по всему выходящему из нагревателя сечению струи и замерялась термоанемометром "Disa". Начиная с высоты 3 см, наблюдалось равномерное по сечению струи распределение скорости до 4 м/с. Характер распределения скорости по высоте струи согласуется с расчетным, представленным на рис. 2.

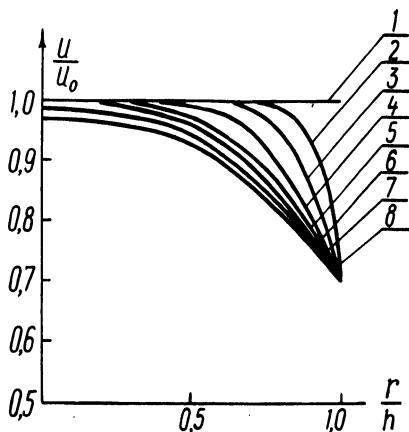


Рис. 2. Профиль скоростей в зависимости от высоты струи:
1 - $z/h = 0$; 2 - $z/h = 0,286$; 3 - $z/h = 0,572$; 4 - $z/h = 0,858$; 5 - $z/h = 1,14$; 6 - $z/h = 1,43$; 7 - $z/h = 1,715$; 8 - $z/h = 2,0$.

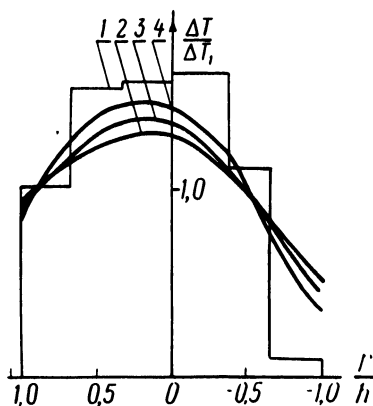


Рис. 3. Профиль избыточной температуры в зависимости от высоты струи:
1 - $z/h = 0$; 2 - $z/h = 1,44$; 3 - $z/h = 1,715$; 4 - $z/h = 2,0$, вариант I (табл.1).

Температура по высоте струи измерялась заранее протарированной медь-константановой термопарой и потенциометром УПИП-60М. Зависимость температуры от высоты струи находилась с целью определения коэффициентов s и s_T , необходимых для решения уравнения (3). Измерения температуры проводились без вытяжной части 10, что соответствовало теоретической постановке задачи.

Расчетные профили скорости и избыточной температуры в зависимости от высоты струи при различных начальных условиях соответствовали характеру, представленному на рис. 3.

Изменение температуры струи в интервале высот $0 \leq z/h \leq 2$ является незначительным и в области от $0 \leq z/h \leq 2$ поперечный градиент температуры практически не изменяется.

Анализ кривых позволяет заключить, что путем варьирования начальных температурных распределений по сечению, на определенной высоте можно получить область с линейным распределением температуры в поперечном направлении, а следовательно, создавать среду с заранее заданным распределением градиента плотности.

Л и т е р а т у р а

1. У с т и м е н к о Б.П. Исследование плоских турбулентных струй со сложным начальным профилем скорости. — Изв. АН Каз. ССР. Сер. Энергетика, вып. 2 (18), 1960. 2. В у л и с Л.А., К а ш к а р о в В.П. Теория струй вязкой жидкости. — М., 1965. 3. В у л и с Л.А. К расчету свободных турбулентных течений с помощью эквивалентной задачи теории теплопроводности. — Изв. АН Каз. ССР. сер. Энергетика, вып. 2(18), 1960. 4. Т и х о н о в А.Н., С а м а р с к и й А.В. Уравнения математической физики. — М., 1966.