

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Петраш В.Д., Просенюк Л.Г., Гераскина Э.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры).

Наведена методика конструктивного розрахунку повітророзподільчих елементів в енергозберігаючих системах охолодження обертових обпалювальних печей. Визначена закономірність зміни площ отворів по довжині повітророзподільника для забезпечення інтенсивного теплообміну на охолоджуваній поверхні.

Вращающиеся печи являются основным видом технологического оборудования в производстве вяжущих и стеновых строительных материалов. Через их боковую поверхность теряется в окружающую среду до 30% расходуемого топлива. Известен широкий спектр способов и средств охлаждения печей с утилизацией теплоты. В работе [1] обоснована необходимость стабилизации теплообменных процессов охлаждения поверхности обжиговой печи.

Совершенствование теплоэнергосберегающих систем стабилизационного охлаждения для вращающихся печей обжига строительных материалов на основе воздушоструйного охлаждения поверхности связано с разработкой методики конструктивного расчета укрытий [2]. Применяемые для этой цели воздухораспределительные элементы позволяют организовать процесс интенсивного теплообмена на охлаждаемой поверхности.

В статье [3] рассмотрен круговой воздуховод с продольной щелью постоянной ширины. Выше была определена конфигурация боковой стенки по длине канала, обеспечивающая равномерное распределение воздуха из щели. Того же результата можно достичь при замене щели соответствующей перфорацией воздухораспределительного канала.

Сохраняется конструкция канала с заменой щели n отверстиями с площадью σ_i , расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, рис.1.

Определим закономерность изменения площадей отверстий по длине воздухораспределителя для обеспечения равномерной раздачи воздуха по отверстиям.

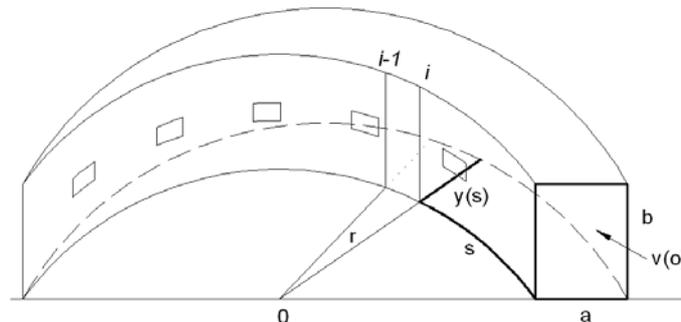


Рис.1. Расчетная схема полукольцевых каналов для равномерного распределения воздуха

Пронумеруем все отверстия против движения потока и проведем радиальные сечения i , как представлено на рис.1.

Площадь i -го отверстия при поставленных условиях равна

$$\sigma_i = b y_s v_s / n \omega_i \quad (1)$$

где v_o – скорость потока в радиальном сечении s , м/с; ω_i – нормальная скорость воздуха в i -м отверстии, м/с; y_s – ширина канала.

В свою очередь, нормальная скорость равна

$$\omega_i = \mu \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (2)$$

где μ – коэффициент расхода воздуха в процессе истечения, принимается постоянным; ΔP_i – избыточное статическое давление, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Запишем применительно к сечениям i и $i-1$ уравнение Д.Бернулли

$$\Delta P_{i-1} + \rho v_{i-1}^2 / 2 + H_{i-1} + \eta \rho / 2 (v_i - v_{i-1}) = \Delta P_i + \rho v_i^2 / 2, \quad (3)$$

где H_{i-1} – потери давления на трение по длине канала; v_i – скорость воздуха в сечении i , представленная в виде $v_i = v (\pi r - \pi r_i / n)$.

Потери же на проход воздуха мимо отверстия можно принимать как смягченные потери давления при внезапном расширении канала ($\mu = 0,4$).

При равномерной раздаче воздуха

$$v_i = y_o v_o / n y_i, \quad (4)$$

где y_i – ширина канала в i -ом радиальном сечении, определяемая соотношением $y_i = y(\pi r - \pi r_i/n)$

Далее везде переходим к безразмерным величинам $s = s/\pi r$, $a = a/\pi r$, $b = b/\pi r$, $\sigma_i = \sigma_i/(\pi r^2)$.

По методике [4] потери давления на трение между выбранными сечениями составят

$$P_{ш-1} = \lambda \rho y_{(o)}^2 M_{(o)}^2 (ш-1)^2 K_{ш-1} \cdot 8 \tau^2 \text{ и } б \quad (5)$$

где λ - коэффициент трения, его, как и в [3], принимаем постоянным.

$$K_{i-1} = \left(\int_{1-i/n}^{1-i/n} f(\bar{y}) \sin \pi \bar{s} d\bar{s} \right)^2 + \left(\int_{1-i/n}^{1-i/n} f(\bar{y}) \cos \pi \bar{s} d\bar{s} \right)^2 \cdot 1/2, \\ f(\bar{y}) = (2\bar{b} + 2\bar{y} + \pi \bar{y}^2) / \bar{y}^3,$$

а

Выразим из (2) ΔP_i , где вместо W_i запишем соответствующее выражение из (1). Подставив ΔP_i и ΔP_{i-1} в (3), с учетом (4),(5), получим рекуррентную зависимость для определения площадей отверстий

$$\bar{\sigma}_i = 1 / \left(1 / \bar{\sigma}_{i-1} + \frac{\mu^2}{b^2} \left(\frac{(i-1)^2}{\bar{y}_{i-1}^2} - \frac{i^2}{\bar{y}_i^2} + \mu \left(\frac{i}{\bar{y}_i} - \frac{i-1}{\bar{y}_{i-1}} \right)^2 + \frac{\lambda (i-1)^2}{4b} K_{i-1} \right) \right)^2 \quad (6)$$

В эту формулу входит ширина канала \bar{y}_i и площадь предыдущего отверстия.

Согласно работе [3] функция $\bar{y}(\bar{s})$ является решением задачи Коши для дифференциального уравнения второго порядка

$$\bar{y}'' = \pi + \pi^2 y' + \frac{2\pi \bar{y}'^2}{1 + \pi \bar{y}} + (\bar{y} + (1 - \bar{s})\bar{y}' - \lambda(1 - \bar{s})(2\bar{b} + 2\bar{y} + \bar{b} \pi \bar{y} + \pi \bar{y}^2) / 8\bar{b}) * 2((1 + \pi \bar{y})^2 + \bar{y}'^2)^2 / (1 - \bar{s}) \bar{y} \bar{y}' (1 + \pi \bar{y}) (2 + \pi \bar{y}) \quad (7)$$

где $\bar{y}(0) = \bar{a}$, $\bar{y}' = -\varepsilon$, $\varepsilon > 0$.

Площадь первого отверстия можно определить с ориентацией на условия истечения из канала со щелью,

$$\sigma_1 = \frac{a \cdot \varepsilon \cdot v(o)}{\eta \cdot \omega_{онм}}$$

а именно, полагая, что $\omega_{онм}$ – оптимальная скорость истечения воздуха из щели.

Опишем процедуру расчета по формуле (6) для одного из практически значимого случая, $a=v= 0,2$ м, $r=0,3$ м., $v(0) = 5$ м/с, $\lambda= 0,0197$, $\mu=0,62$, $\varepsilon=0,001$, $\omega_{онм} = 3$ м/с. Сначала на ЭВМ методом Рунге-Кутты находилось решение задачи (7) в 1000 промежуточных точках интервала $[0,1]$. Эскиз графика решения представлен на рис.2.

Затем, используя формулу прямоугольников для интегралов, вычислялись выражения K_{i-1} . После этого проводился расчет уже непосредственно по формуле (6). Его результаты сведем в таблицу (числитель в каждой строке – номер отверстия, знаменатель – его площадь в мм²).

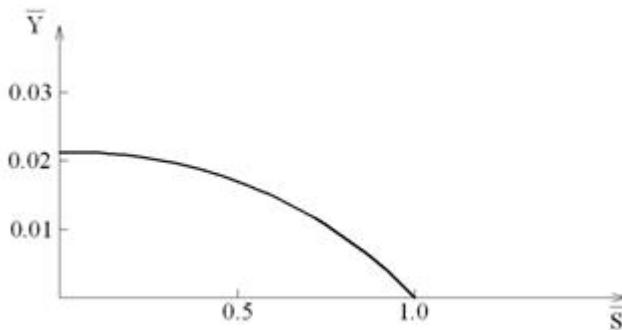


Рис. 2. Зависимость ширины канала от площади отверстий

Таблица. – Результаты расчета по формуле (6)

$\frac{1}{680}$	$\frac{2}{675}$	$\frac{3}{670}$	$\frac{4}{650}$	$\frac{5}{669}$	$\frac{6}{642}$	$\frac{7}{654}$	$\frac{8}{668}$	$\frac{9}{643}$	$\frac{10}{653}$
$\frac{11}{665}$	$\frac{12}{642}$	$\frac{13}{651}$	$\frac{14}{660}$	$\frac{15}{640}$	$\frac{17}{655}$	$\frac{17}{655}$	$\frac{18}{639}$	$\frac{19}{646}$	$\frac{20}{653}$
$\frac{12}{661}$	$\frac{22}{642}$	$\frac{23}{647}$	$\frac{24}{654}$	$\frac{25}{661}$	$\frac{26}{642}$	$\frac{27}{647}$	$\frac{12}{652}$	$\frac{29}{636}$	$\frac{30}{641}$
$\frac{31}{646}$	$\frac{32}{654}$	$\frac{33}{656}$	$\frac{34}{638}$	$\frac{35}{642}$	$\frac{36}{646}$	$\frac{37}{651}$	$\frac{38}{635}$	$\frac{39}{637}$	$\frac{40}{639}$
$\frac{41}{643}$	$\frac{42}{647}$	$\frac{43}{630}$	$\frac{44}{634}$	$\frac{45}{637}$	$\frac{46}{641}$	$\frac{47}{645}$	$\frac{48}{628}$	$\frac{49}{631}$	$\frac{50}{634}$
$\frac{51}{637}$	$\frac{52}{641}$	$\frac{53}{625}$	$\frac{54}{628}$	$\frac{55}{632}$	$\frac{56}{635}$	$\frac{57}{638}$	$\frac{58}{622}$	$\frac{59}{625}$	$\frac{60}{628}$
$\frac{61}{631}$	$\frac{62}{633}$	$\frac{63}{635}$	$\frac{64}{618}$	$\frac{65}{620}$	$\frac{66}{622}$	$\frac{67}{624}$	$\frac{68}{626}$	$\frac{69}{628}$	$\frac{70}{630}$
$\frac{71}{613}$	$\frac{72}{615}$	$\frac{73}{617}$	$\frac{74}{620}$	$\frac{75}{621}$	$\frac{76}{623}$	$\frac{77}{625}$	$\frac{78}{610}$	$\frac{79}{612}$	$\frac{80}{614}$
$\frac{81}{616}$	$\frac{82}{619}$	$\frac{83}{621}$	$\frac{84}{623}$	$\frac{85}{625}$	$\frac{86}{627}$	$\frac{87}{609}$	$\frac{88}{612}$	$\frac{89}{614}$	$\frac{90}{615}$
$\frac{91}{617}$	$\frac{92}{619}$	$\frac{93}{621}$	$\frac{94}{603}$	$\frac{95}{604}$	$\frac{96}{606}$	$\frac{97}{609}$	$\frac{98}{611}$	$\frac{99}{613}$	$\frac{100}{615}$

Вывод

Для систем воздухоплавного охлаждения вращающейся обжиговой печи с утилизацией энергии для промышленного теплоснабжения разработана методика конструктивного расчета воздухораспределительных элементов.

Литература

1. Петраш В.Д., Гераскина Э.А., Басист Д.В. Принципы автоматического регулирования охлаждения вращающейся печи с утилизацией энергии для промышленного теплоснабжения. // Вестник ОГАСА.- №20, 2005.- с.302-306.
2. Петраш В.Д., Гераскина Э.А., Кочкин М.М. Исследование теплоаэродинамических параметров нового теплоутилизатора для обжиговой печи. // Известия Вузов. Строительство и архитектура.- 1988.- №10.-с.115.
3. Петраш В.Д., Просенюк Л.Г. О равномерном истечении воздуха из кругового канала с продольной щелью. // Известия Вузов. Строительство и архитектура.- 1991.- №1.-с.101-103.
4. Петраш В.Д., Просенюк Л.Г. Расчет клиновидного воздухораспределителя полукольцевой формы. // Сб. «Экология. Энергосбережение. Экономика», Пермь.-1994.- с.178-181.