

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СЛОЯ В БАРАБАННОМ ДЫМОГЕНЕРАТОРЕ СО СТЕРЖНЕВОЙ НАСАДКОЙ

С.Т. Антипов, О.А. Ткачев, С.В. Шахов

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19

E-mail: s_shahov@mail.ru

Определена температура газозвушной смеси на выходе из слоя опилок в оригинальной конструкции барабанного дымогенератора со стержневой насадкой и индуктивным подводом энергии. При этом барабан разделен на пять условных зон, для которых приведены зависимости, отражающие тепломассообмен.

дымогенератор, стержневая насадка, индуктивный подвод энергии

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА БАРАБАННОГО ДЫМОГЕНЕРАТОРА

Дымогенератор – барабанный аппарат 1, внутри которого расположены металлические стержни 2. Их длина определяет зоны, где происходит пиролиз опилок (рис.1).

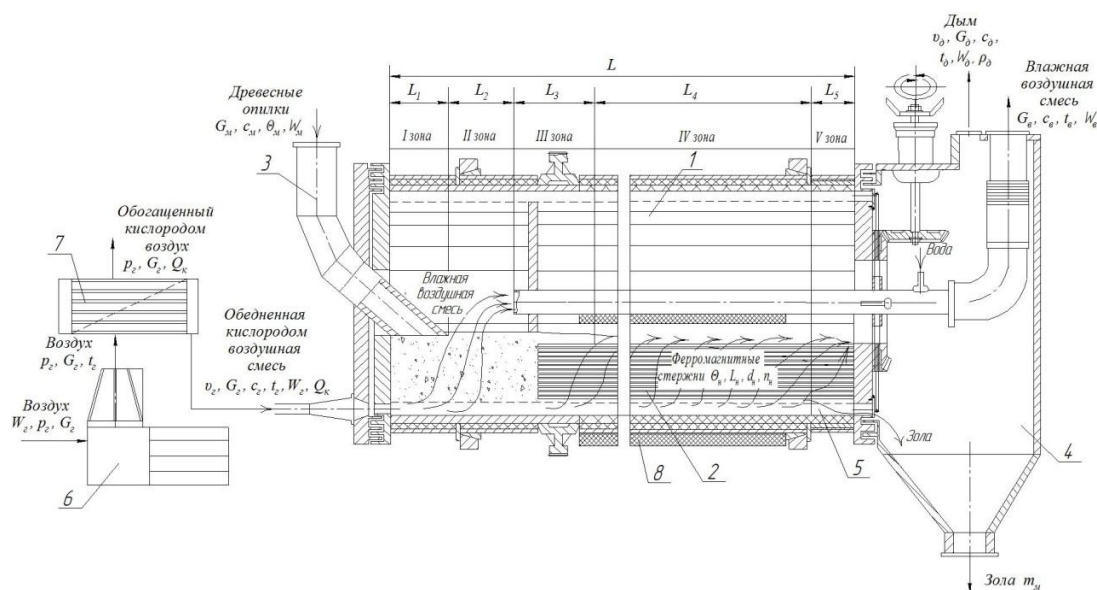


Рис. 1. Схема барабанного дымогенератора со стержневой насадкой

Fig. 1. The scheme of a drum-type dymogenerator with a rod nozzle

Аппарат работает в непрерывном режиме. Опилки подаются в левую торцевую часть через загрузочное устройство 3 и перемещаются вдоль аппарата в правую его часть. Твердый остаток, образующийся в результате пиролиза опилок, выводится из правой торцевой части аппарата 1 в разгрузочный бункер 4. Через специальный коллектор 5, расположенный в нижней части барабана 1, в слой по всей длине подается обогащенная азотом воздушная смесь, предварительно под-

готовленная методом ультрафильтрации с помощью компрессора 6 и мембранного аппарата 7. Смесь не содержит кислорода, что исключает горение опилок.

Стержни 2 насадки могут быть выполнены сплошными из металлов с хорошей теплопроводностью (меди, латуни, алюминия, дюралюминия). Назначение стержней – перенос теплоты из зоны пиролиза опилок на другие участки: нагревания и сушки опилок. Эти стержни реализуют функцию нагревательного устройства. Энергоподвод к ним осуществляется переменным магнитным полем, генерируемым специальным индуктором 8.

Энергосберегающий эффект разработанного устройства определяется полезным использованием теплоты пиролиза опилок. Наиболее интенсивный перенос теплоты по стержням достигается в случае применения тепловых труб (рис. 2).

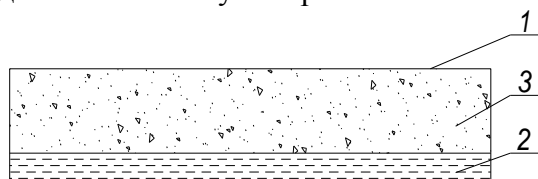


Рис. 2. Принципиальная схема тепловой трубы:

1 – корпус трубы; 2 – жидкость; 3 – пар

Fig. 2. Schematic diagram of a thermal pipe:

1 – case of a pipe; 2 – liquid; 3 – pairs

Эквивалентная теплопроводность тепловой трубы весьма высока, поэтому изменение температуры по длине трубы несущественно.

По длине барабанный дымогенератор можно разделить на пять зон.

В 1-й зоне происходит нагревание опилок от начальной (комнатной) температуры до температуры кипения воды в опилках ($\approx 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В зоне 2 осуществляется обезвоживание опилок. Температура их здесь изменяется несущественно ($\approx 100\text{...}120\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В зоне 3 обезвоженные опилки нагреваются до температуры начала пиролиза ($\approx 270\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В 4-й зоне осуществляются основные процессы пиролиза опилок: образование, испарение и возгонка основного количества продуктов разложения древесины. Эти процессы протекают в интервале температур от 270 до $450\text{...}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1, 2].

В ходе пиролиза выделяется теплота в количестве $1\text{...}1,2$ МДж/кг. Масса твердого остатка в конце процесса составляет примерно $1/3$ от начальной массы опилок.

Зона 5 служит для прокаливания твердого остатка при температуре до $550\text{...}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отделения золы.

Таким образом, пиролиз опилок в зоне 4 протекает с выделением теплоты, а все остальные процессы — при подводе теплоты.

Наличие стержней в барабане обеспечивает полезное использование теплоты пиролиза опилок для энергообеспечения остальных процессов.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЛОЯ СТЕРЖНЕЙ И МАТЕРИАЛА

Барабан частично заполнен слоем стержней (рис. 3). Порозность слоя стержней (насадки) приближенно определяется соотношением (рис. 4):

$$\varepsilon_n = \frac{d_n^2 - \frac{\pi}{4} d_n^2}{d_n^2} \approx 0,215 \quad , \quad (1)$$

где d_n – диаметр стержней.

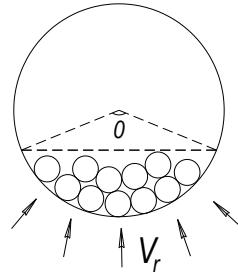


Рис. 3. Схема размещения стержней в барабане
Fig. 3. The scheme of placement of cores in a drum

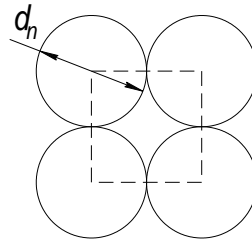


Рис. 4. К определению порозности слоя насадки
Fig. 4. To definition of a poroznost of a layer of a nozzle

Удельный объем металла стержней (на 1 м^3 слоя) равен:

$$V_n = 1 - \varepsilon_n \quad . \quad (2)$$

Количество стержней

$$n = \frac{4SL(1 - \varepsilon_n)}{\pi d_n^2 L} \quad , \quad (3)$$

$$n = \frac{4S(1 - \varepsilon_n)}{\pi d_n^2} \quad , \quad (4)$$

где S – площадь сегмента сечения барабана, заполненная стержнями и материалом (опилками);

$$S = \pi R^2 \frac{\alpha}{360} - \frac{1}{2} R^2 \sin \alpha; \quad . \quad (5)$$

Заменяя $R = \frac{D^2}{4}$, получим

$$S = \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi \alpha}{360} - \frac{1}{2} \sin \alpha \right) \quad , \quad (6)$$

где α – центральный угол, град.

После подстановки (6) в (4) и преобразований получим:

$$n = \varphi \left(\frac{D}{d_n} \right)^2 \varepsilon_n, \quad (7)$$

$$\text{где } \varphi = \frac{\alpha}{360} - \frac{1}{2\pi} \sin \alpha \quad (8)$$

коэффициент заполнения барабана (α – в градусах).

Удельная площадь поверхности стержней

$$f_n = \frac{n\pi d_n L}{SL}. \quad (9)$$

С учетом (6) - (8) получим

$$f_n = \frac{4 \varepsilon_n}{d_n}. \quad (10)$$

На рис. 5, 6 представлены зависимости параметра φ от центрального угла α и удельной поверхности стержней f_n от их диаметра d_n .

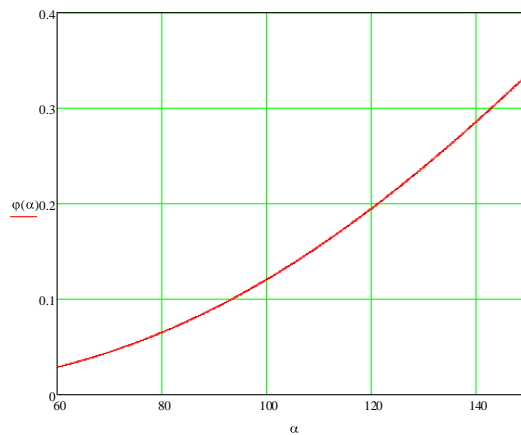


Рис. 5. Зависимость коэффициента заполнения барабана φ от центрального угла α

Fig. 5. To definition of a poroznost of a layer of a nozzle

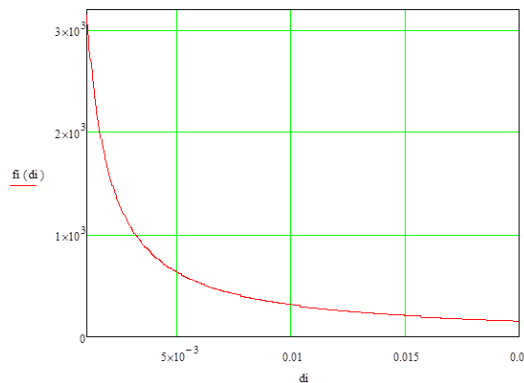


Рис. 6. Зависимость удельной поверхности f_n от диаметра стержней d_n при $\varepsilon_n = 0,215$

Fig. 6. Dependence of a specific surface f_n on diameter of cores of d_n at $\varepsilon_n = 0,215$

Удельный объем материала (опилок)

$$V_m = \varepsilon_m \varepsilon_n, \quad (11)$$

где ε_m – порозность слоя опилок.

Удельная поверхность материала (опилок)

$$f_m = \Pi d_m^2 \cdot n_m, \quad (12)$$

где n_m – число частиц материала в 1 м^3 слоя;

$$n_m = \frac{6V_m}{\Pi d_m^3}. \quad (13)$$

С учетом (11) и (13) из (12) следует:

$$f_m = \frac{6\varepsilon_n (1 - \varepsilon_m)}{d_m}. \quad (14)$$

На рис. 7 представлена зависимость удельной поверхности f_m от диаметра частиц d_m при $\varepsilon_n = 0,215$, $\varepsilon_m = 0,4$.

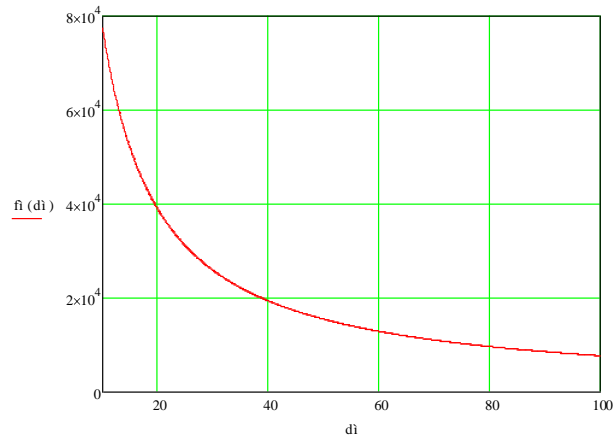


Рис. 7. Зависимость удельной поверхности f_m от диаметра частиц d_m при $\varepsilon_n = 0,215$, $\varepsilon_m = 0,4$

Fig. 7. Dependence of a specific surface f_m on diameter particles d_m at $\varepsilon_n = 0,215$, $\varepsilon_m = 0,4$

Слой дисперсного материала занимает часть сечения барабана, доля которого задается коэффициентом заполнения барабана (рис. 3), равным

$$\Psi = S_0/S, \quad (15)$$

где $S_0 = \frac{1}{2} \cdot R^2 (\alpha - \sin \alpha)$ – площадь сечения барабана, заполненного слоем;

$S = \pi \cdot R^2$ – общая площадь сечения.

Или из (15) получим:

$$\Psi = \frac{1}{2\pi} (\alpha - \sin \alpha). \quad (16)$$

Рекомендуемые значения коэффициента заполнения $\Psi = 0,2 \dots 0,3$.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ АЗОТОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СЛОЯ

Рассмотрим элемент слоя стержней с материалом $dx \cdot dy$. Материал (опилки) движется в направлении x .

Уравнение теплового баланса имеет вид [3, 4]:

$$\frac{c_r G_r}{L} \cdot \frac{\partial t_r}{\partial y} \cdot dx \cdot dy = \alpha_{mr} f_m (\theta_n - t_r) \cdot l \cdot dx \cdot dy + \alpha_{nr} f_n (\theta_n - t_r) \cdot l \cdot dx \cdot dy \quad (17)$$

где c_r – теплоемкость газовой смеси; G_r – массовый расход азото-воздушной смеси; L – длина барабана; t_r – температура азото-воздушной смеси; l – средняя длина образующей слоя насадки; α_{mr} – коэффициент теплоотдачи от материала к газу; α_{nr} – коэффициент теплоотдачи от насадки (стержней) к газу; θ_n – температура стержня.

Разделив все слагаемые уравнения (17) на $\frac{c_r G_r}{L} dx \cdot dy$, получим:

$$\frac{\partial t_r}{\partial y} = \frac{\alpha_{mr} f_m L \cdot l}{c_r G_r} \cdot (\theta_n - t_r) + \frac{\alpha_{nr} f_n L \cdot l}{c_r G_r} \cdot (\theta_n - t_r) \quad (18)$$

Обозначим:

$$A = \frac{\alpha_{mr} f_m L \cdot l}{c_r G_r}, \quad (19)$$

$$B = \frac{\alpha_{nr} f_n L \cdot l}{c_r G_r}. \quad (20)$$

С учетом (19), (20) уравнение (18) принимает вид:

$$\frac{\partial t_r}{\partial y} = A (\theta_n - t_r) + B (\theta_n - t_r) \quad (21)$$

Выполним оценку слагаемых в правой части (21). Поскольку разности температур $\theta_n - t_r$ и $\theta_n - t_r$ – величины одного порядка, то влияние этих слагаемых определяется A и B .

Определим отношение B/A с учетом (19), (20):

$$\frac{B}{A} = \frac{\alpha_{nr} f_n}{\alpha_{mr} f_m}. \quad (22)$$

Поскольку $\alpha_{nr} / \alpha_{mr} \approx 1$, получим:

$$\frac{B}{A} = \frac{f_n}{f_m}, \quad (23)$$

или с учетом (11), (15):

$$\frac{B}{A} = \frac{2 \cdot (1 - \varepsilon_n)}{3 \cdot \varepsilon_n (1 - \varepsilon_m)} \cdot \frac{d_m}{d_n}. \quad (24)$$

При $d_m = 50$ мкм, $d_n = 5$ мм, $\varepsilon_n = 0,215$, $\varepsilon_m = 0,4$ получим: $B/A = 0,041$, т.е.

$B \ll A$.

Это означает, что вклад теплоотдачи от стержней к газу пренебрежимо мал по сравнению с теплоотдачей от частиц материала к газу.

Уравнение (21) существенно упрощается:

$$\frac{\partial t_r}{\partial y} = A (\theta_n - t_r) \quad (25)$$

После разделения переменных и интегрирования при начальном условии $t_r(0) = t_r'$ получим:

$$t_r = \theta_n + (\theta_n - t_r') e^{-Ay}. \quad (26)$$

На выходе из слоя при $y=h$ получим

$$t_r'' = \theta_m + (-\theta_m) e^{-Ah}. \quad (27)$$

Найдем высоту слоя h^* , для которой разность температур $t_r'' - \theta_m$ составляет 1 % от начальной разности $t_r' - \theta_m$:

$$h^* = \frac{1}{A} \cdot \ln \frac{\theta_r' - \theta_m}{\theta_r'' - \theta_m}. \quad (28)$$

С учетом выражения (19) и (15) для A получим:

$$h^* = 0.768 \frac{c_r G_r d_m}{\alpha_m L \varepsilon_n (-\varepsilon_m)}. \quad (29)$$

При характерных значениях параметров ($c_r = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$, $G_r = 0.001 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, $d_m = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, $\alpha_m = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$, $L=2 \text{ м}$, $l = 0,2 \text{ м}$, $\varepsilon_n = 0,215$, $\varepsilon_m = 0,4$) $h^* = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, что на несколько порядков меньше действительной средней высоты слоя.

ВЫВОДЫ

1. Тепловой поток от стержней к газу пренебрежимо мал по сравнению с тепловым потоком от частиц к газу. Это объясняется большим отличием удельных поверхностей частиц материала и стержней посадки. Температура стержней практически не влияет на температуру газа.

2. Температура газа на выходе из слоя практически равна температуре материала (опилок) в данном сечении барабана, т.е. теплообмен между газом и материалом полностью заканчивается внутри слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. - 628 с.
2. Еордон, Л.В. Технология и оборудование лесохимических производств / Л.В. Еордон, С.О. Скворцов, В.И. Лисов. - М.: Лесная промышленность, 1988. - 360 с.
3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носов. - Л.: Химия, 1987.
4. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: в 2 кн. – М.: Химия, 1981. - 812 с.

DETERMINING THE TEMPERATURE OF THE GAS-AIR MIXTURE AT THE OUTLET OF A LAYER OF SMOKE GENERATORS IN THE DRUM WITH A ROD PLANT A COY

S.T. Antipov, O.A. Tkachev, S.V. Shahov

The article deals with the definition of temperature and gas mixture at the outlet of a layer of sawdust in the original design of the drum smoke generator with rod attachment and using inductive energy supply. In this case, the drum is divided into five conventional zones that are based, reflecting heat and mass transfer.

smoke generator, rod cap, inductive energy supply

Сведения об авторах на русском и английском языках

Ф.И.О. полностью, уч. степень, звание, должность

Антипов Сергей Тихонович, д.т.н., профессор, проректор по науке, технике и производству ВГУИТ, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»

Сотовый телефон: 89525481765

Домашний адрес: 394009 г. Воронеж, Переулок Транспортный д. 12

Ткачев Олег Александрович, аспирант кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»

Сотовый телефон: 89204210341

Домашний адрес: 397505, г. Бутурлиновка, улица Дорожная, д. 45, кв. 61

Шахов Сергей Васильевич, д.т.н., доцент, кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»

Домашний адрес: 394052, г. Воронеж, улица Краснознамённая, 154

Сотовый телефон: 89601013238

Рабочий адрес 390436, проспект Революции, 19

Рабочий телефон: 8473 - 2553896

Antipov Sergey Tikhonovich, д.т.н., the professor, the vice rector on a science, equipment and production ВГУИТ, the head of the department «Cars and devices of food productions»

Cellular телефон: 89525481765

Home address: 394009 g Voronezh, Lane Transport 12

Tkachev Oleg Aleksandrovich, graduate student of chair «Cars and devices of food productions»

Cellular телефон: 89204210341

Home address: 397505, of Buturlinovk, Dorozhnaya Street, 45, quarter 61

Shahov Sergey Vasilyevich, д.т.н., assistant professor, chairs «Cars and devices of food productions»

Home address: 394052, Voronezh, Krasnoznamyonnaya Street, 154

Cell phone: 89601013238

Working address 390436, Revolyutsii Avenue, 19

Office number: 8473-2553896

FSBEIOHE Voronezh State University engineering technologies, Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19