

ПОНЕВСКИЙ Николай
ЧИЖАР И.
ГОРБАЙ П.

Кафедра Теплоэнергетики, Высшая Техническая Школа,
Кошице

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТЕПЛООБМЕНА В СЛОЕ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

Резюме: Решение экономической проблемы использования топлива находит своё выражение в работах, касающихся сжигания газового топлива в шахтных печах. Правильное определение разделения потоков газа и тепла в слое зернистого материала очень важно для описания работы промышленных печей, в которых происходит обмен тепла и массы газа и частиц твёрдого тела, что присуще шахтным печам.

А. ПРОБЛЕМАТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ НА ХОЛОДНОЙ МОДЕЛИ ШАХТНОЙ ПЕЧИ

Процесс полного сгорания топлива в шахтной печи определяется распределением воздуха горения на первичный и вторичный. Первичный воздух подводится прямо к горелкам без предварительного подогрева, а вторичный — в зону охлаждения. Движение газа имеет потенциальный характер, что проявляется в медленном перемешивании вторичного воздуха с топливом. Исходя из этого, можно предполагать наличие двух областей горения топлива в шахтной печи:

- 1) область довольно-таки интенсивного перемешивания, а тем и горения топлива с первичным воздухом перед горелками
- 2) область довольно-таки медленного перемешивания, а тем и горения топлива со вторичным воздухом в большей части зоны горения.

Непосредственное изучение слоёв кускового материала на промышленных агрегатах очень затруднительно и, как правило, случайно; больше того, выбор переменных и интервала, в котором можно их менять, ограничен, а кроме того не всегда возможно обобщение полученных результатов. По этим причинам для решения вопросов поля концентраций и теплообмена были предложены, рассчитаны и сконструированы холодная и тёплая модель шахтной печи и экспериментальные оборудования, на которых проводились измерения (см. рис. 1 и 2).

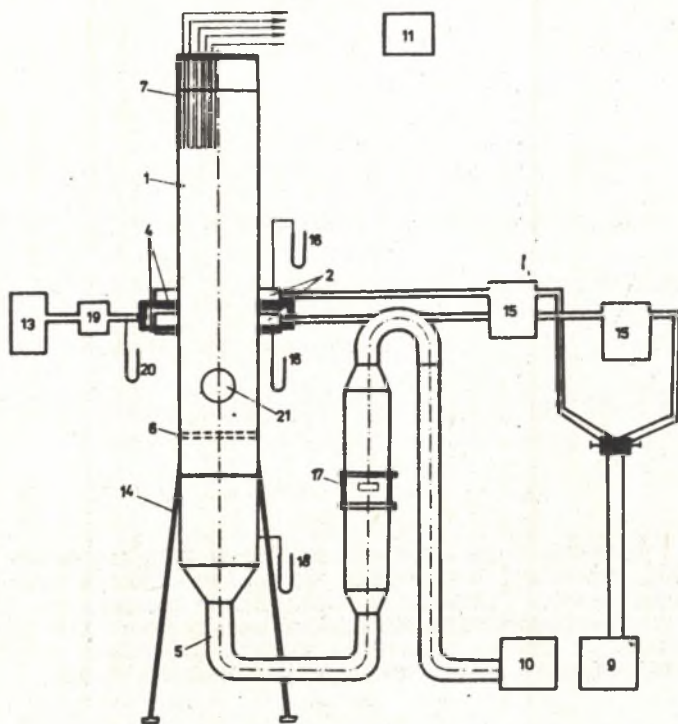


Рис. I

Предложенное экспериментальное оборудование на рис. I имеет следующие обозначения: I - холодная модель, 2 - два распределителя первичного воздуха, к которым воздух подводится по вентилятору - 9 - тангенциальная подача воздуха через мембранный газомер - 15-. В трубках подачи воздуха помещены струйные сопла -4- для подачи окиси углерода в модель. Окись углерода отбиралась из бутылей под давлением -13-, его количество измерялось газомером -19-, а в сопла подавался с места подачи -12-. Вторичный воздух к модели подводился около решётки -6- по вентилятору -10- через турбинный газомер и трубки подачи -5-. Давление первичного воздуха контролировалось U-трубками -16-, давление вторичного воздуха -U- трубкой -18- давление окиси углерода -U- трубкой -20-. К оборудованию относятся санды для отбора образцов -7- и анализатор -11-. Анализатором служит *Infra lit* - 4 для определения одной составляющей. Подставка модели обозначена -14-. Отверстие для выбора рабочего материала обозначено -21-.

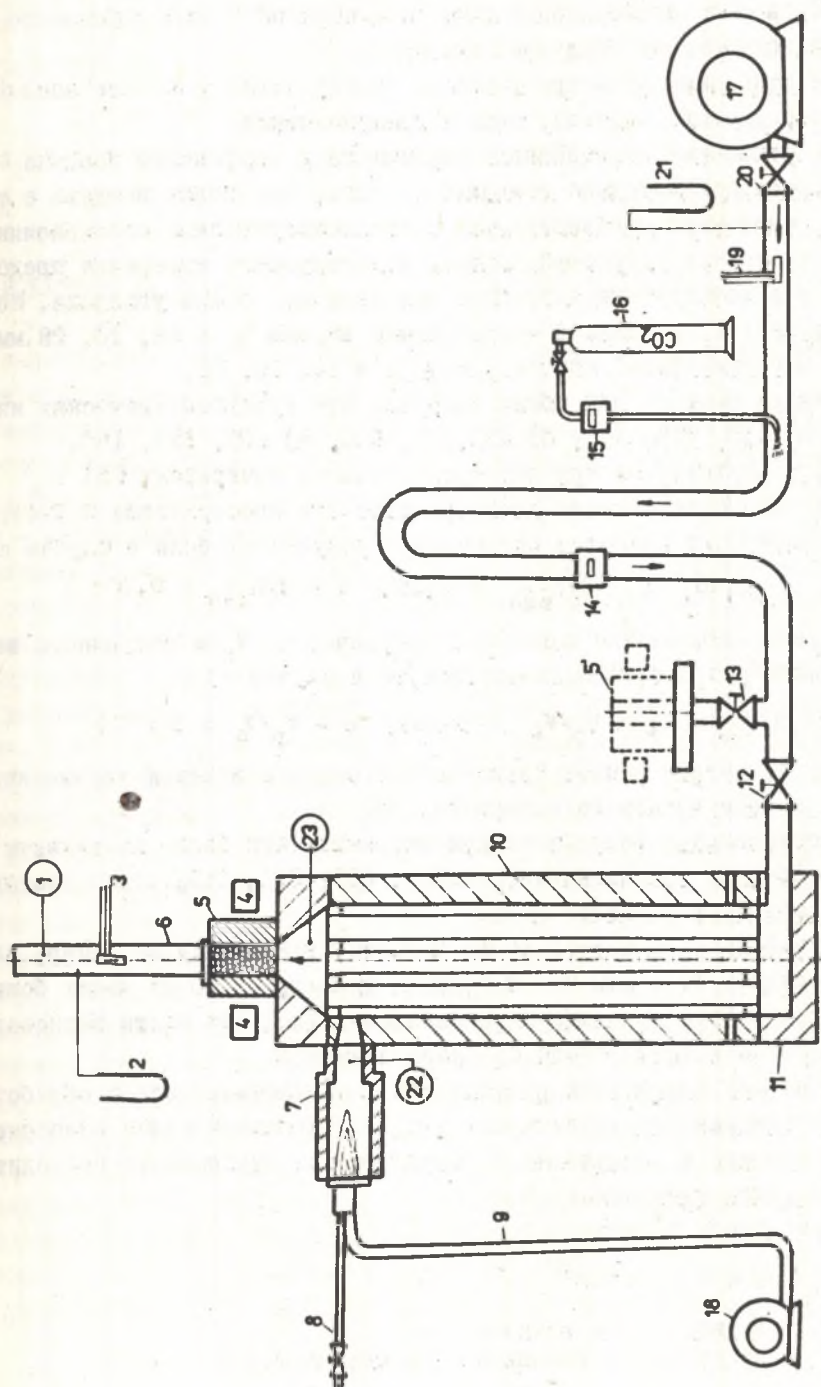


Рис. 2. I-анализатор CO_2 , 2- U трубка, 3- трубка Праудля, 4- компенсационный регистрирующий прибор, 5- рабочее пространство, 6- дополнительное приспособление для измерения скорости, 7- камера сгорания, 8- горелка, 9- подвод воздуха, 10- рекуператор, 11 - подставка, 12 - регулирующий клапан, 13 - регулирующий клапан, 14 - газомер, 15 - газомер, 16-газовый балон с CO_2 , 17-вентиль, 18-термометр, 19- трубка Праудля, 20-регулирующий клапан, 21 - U трубка, 22 - термометр, 23 - термометр

Целью работы было исследование поля концентраций в слое кускового материала в зависимости от следующих факторов:

- 1) изменение отношения диаметра рабочего пространства к высоте засыпки
- 2) изменение зернового состава, вида и гранулометрии
- 3) изменение отношения подведённого первичного и вторичного воздуха

Экспериментальная методика исходила из того, что смесь воздуха с топливом или CO_2 , смешанную приблизительно в стехиометрическом соотношении, можно считать полностью сгоревшей. Основу моделирующего материала представлял воздух, а в качестве топлива была использована окись углерода. Моделирующая загрузка: 1) идеальная - стеклянные шарики $d = 16, 20, 28$ мм

- 2) реальная - магнезитовый концентрат $d_{\text{ср}} = 10, 16, 22$.

Состав каждой фракции для обеих загрузок при гранулометрических изменениях был: а) 33%, 33%, 33%, б) 15%, 25%, 60%, в) 60%, 25%, 15%.

Результаты, достигнутые при экспериментальных измерениях [5]:

- 1) по исследуемым соотношениям диаметра рабочего пространства к высоте засыпанного материала наиболее оптимальные результаты были в случае а)

$$(a - d/h_{\text{зас}} = 0,18, \quad b - d/h_{\text{зас}} = 0,20, \quad c - d/h_{\text{зас}} = 0,225)$$

- 2) по исследуемым отношениям количества первичного $V_{\text{п}}$ и вторичного воздуха $V_{\text{в}}$ наилучшие результаты были достигнуты в случае с)

$$(a - V_{\text{п}}/V_{\text{в}} = 6,2/93,8, \quad b - V_{\text{п}}/V_{\text{в}} = 31/69, \quad c - V_{\text{п}}/V_{\text{в}} = 50/50)$$

- 3) с растущим диаметром растёт пористость слоя, что ведёт к улучшению перемешивания в слое кускового материала.

- 4) наиболее оптимальные результаты при перемешивании были достигнуты при следующем процентном соотношении фракций: 60%, 25%, 15%, такой состав брали для идеальной и реальной шихты.

- 5) эквивалентный диаметр недостаточно характеризует шихту, например, шихта с зерновым составом 70 - 230 мм и средним диаметром 150 мм имеет большее сопротивление и даёт результаты перемешивания хуже, чем шихта зернового состава 100-200 мм и одинакового среднего диаметра.

- 6) согласно анализу полученных результатов и их математической обработке с помощью корреляционного анализа следует, что математическое описание концентрации топлива и воздуха на холодной модели лучше всего проводится с помощью следующих уравнений:

- а) уравнение параболы в виде

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$$

где y - зависимая переменная

x - независимая переменная (высота модели)

a, b, c - постоянные

б) уравнение гиперболы в виде

$$y - c_1 = k \frac{1}{x + c_2}$$

где c_1 - стехиометрическая концентрация топлива или

k, c_2 - постоянные

Б. ПРОБЛЕМАТИКА ТЕПЛООБМЕНА В СЛОЕ КУСКОВОГО МАТЕРИАЛА

Теплообмен в слое кускового материала очень сложное явление, для него характерны три следующие особенности [1]:

1) Температура на поверхности кусков материала, образующего слой, определяется не только обменом тепла между собственно слоем и газом - внешний теплообмен, но и теплопроводностью между отдельными соприкасающимися кусками - внутренний теплообмен.

2) Внешний теплообмен, проходящий при технологических температурах шахтного процесса, включает в себя все три вида теплообмена - теплопроводность, конвекцию и радиацию.

3) Внутренний теплообмен определён размером кусков материала, коэффициентом теплопроводности и формой кусков. Форма реальных кусков материала различна, в связи с этим различна и форма каналов для прохождения газов.

Не все из приведённых факторов одинаково влияют на теплообмен в слое кускового материала. В некоторых случаях можно один или несколько влияющих факторов изъять, что даёт упрощение решения задачи.

Проблему определения коэффициента теплообмена при движении жидкости не подвижным слоем кускового материала изучало много исследователей. Экспериментальная методика, применяемая до сих пор, использовала стационарный принцип, основанный на электрическом нагреве исследуемых частиц или на принципе аналогии тепло- и массообмена с помощью диффузии, или на принципе постоянной скорости сушения частиц, или же нестационарный метод, к которому можно отнести однократный нагрев или охлаждение слоя, или циклический метод. Как в остальных случаях, касающихся теплообмена, так и в случае неподвижного слоя, зависимость коэффициента теплообмена от участвующих переменных, выражается с помощью функции критерия подобия. Последовательность описания теплообмена в неподвижном слое кускового материала, в отличие от других основных случаев теплообмена, не имеет до сих пор единой разработки. Общий вид этой зависимости имеет следующую форму:

$$Nu = f (Re, Pr, \epsilon, D/d_K, \theta)$$

Эта зависимость во многих случаях может быть выражена и в иной форме :

$$Nu = k \cdot Re^m \cdot \epsilon^i \cdot (D/d_K)^j \cdot \theta^k$$

Для оценки экспериментальных данных авторы выбирали разные характеристики, а также характерный размер частиц, скорость движения относили к слою (скорость в пористом слое) или к свободному сечению оборудования (скорость без кускового слоя). Для сравнения приведённых данных необходимо выразить все работы одинаковым выражением характерных частиц и Re - критерия. Для слоёв, состоящих из шариков, в качестве характерного размера брался диаметр шарика d_K и

$$Re = \frac{w \cdot d_K}{\nu}$$

Для слоёв, состоящих из частиц не шаровидной формы, рассчитывался эквивалентный диаметр частицы d и

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

Исходя из данных современной литературы можно сделать следующее заключение: в литературных данных имеется достаточно информации о теплообмене в слое кускового материала. Эти данные можно обобщить и использовать для решения определённых конкретных случаев. Для последующего теоретического и экспериментального анализа требуются сведения о теплообмене при высоких температурах, о теплообмене в неподвижном слое частиц неопределённой формы, а также о влиянии химического состава теплоносителя.

Исходя из этого анализа, наша работа была направлена на определение составляющей излучения. Излучение газов при нагреве слоя ограничено небольшими размерами каналов между частицами и низкой концентрацией многоатомных молекул.

Теплообмен излучением между газами и шихтой нельзя исключить в шахтных печах для обжига магнезита, главным образом в зоне нагрева, декарбонизации и обжига, а также в других шахтных печах подобного типа. Поскольку производительность шахтной печи и её размеры в принципе определяются интенсивностью теплообмена между газами и шихтой, необходимо для интенсификации хода шахтных печей при проектировании исходить как можно из более точных и исчерпывающих материалов о теплообмене в шахтных печах. Для наблюдения данной проблемы было выбрано следующее :

- метод
- экспериментальное оборудование

- способ измерения и обработки полученных экспериментальных данных. Для наблюдения был избран однократный нагрев, связанный с охлаждением. Для обеспечения наблюдений за излучением было необходимо сопоставить теплоноситель из излучающих составляющих, то есть из многоатомных газов, как, например, CO_2 , H_2O . Эти газы находятся в действительности и в печной атмосфере.

Эксперименты проводились на оборудовании, изображённом на рис. 2. Из полученных результатов, где в качестве теплоносителя использовался чистый воздух или воздух, обогащённый CO_2 в небольших концентрациях (5 - 10 %), можно сделать предварительное заключение. Для расчёта коэффициента теплообмена в слое кускового материала в конкретных случаях можно использовать зависимости, предложенные ниже исследователями. При выборе соответствующей зависимости необходимо исходить из величины Re - критерия, которая исчерпывающе характеризует аэродинамические отношения конкретного случая [2].

Gamson, B.W. :	$Nu = 1,4 \cdot (1 - \epsilon)^{0,61} \cdot Re^{0,59}$	$\frac{Re}{1-4550}$
McConnachie, J.T.	$Nu = \frac{1,064 \cdot Re (1 - \epsilon)^{0,41}}{Re^{0,41} - 1,52 (1 - \epsilon)^{0,41}}$	20-2500
Sen Gupta, A. Thodos, G. :	$Nu = \frac{0,235 \cdot Re}{Re^{0,35} - 1,555} \cdot \epsilon^{-1}$	30
Guchanov, Z.F. Sapatina, E.A.:	$Nu = 0,24 \cdot Re^{0,83}$	50-380
Gamson, B.W. Thodos, G. Hougen, O.A.:	$Nu = 0,954 \cdot Re^{0,59}$	60-4000
SVUSS	$Nu = 0,33 \cdot Re^{0,77}$	100-1000
Furnas, C.C. :	$Nu = 0,14 \cdot Re^{0,92}$	120-1200

Примечание: Эти зависимости можно использовать для слоя кускового материала из шаровидных частиц или приблизительно шаровидной формы. Следующие работы направлены на определение коэффициента теплообмена в слое кускового материала при более высоком содержании CO_2 .

$$Re = \frac{w \cdot d_K}{\nu}$$

w - скорость, отнесённая к свободному сечению м.сек,⁻¹

d_K - эквивалентный диаметр шарика, м,

ν - кинематическая вязкость, м².сек,⁻¹

$$Pr = \frac{\gamma}{a}$$

- a - коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2 \cdot \text{сек.}^{-1}$
 ϵ - пористость
 D - диаметр оборудования, м
 d - эквивалентный диаметр частицы нешаровидной формы, м
 f - коэффициент формы

LITERATURA

1. Kitajev B.I.: Teploobmen v šachtnych pečach. Izd. Metallurgizdat, Sverdlovsk - Moskva 1957
2. Hlavačka V. a i.: Tepelne technicke pochody v systémech plyn-tuhé častice. SNTL, Praha 1980
3. Gál J. a i.: Návrh fyzikálneho modelu šachtovej pece na pálenie magnezitu. Čiastková ÚVT VŠ a VŠT, Košice 1982
4. Detailný technologický a kontrolný predpis pálenia slinku v šachtových peciach slinkovej prevádzky SMZ Lubeník, n.p. Košice 1982
5. Horbaj P.: Experimentálny výskum horenia vo vrstve kusovej vsádzy. Kand. diz. práca, Košice 1986

Wpłynęło do Redakcji : grudzień 1986

Recenzent

Doc. dr hab.inż. Janusz Wandrasz

OKREŚLENIE POLA KONCENTRACJI I WYMIANY CIEPŁA W WARSTWIE MATERIAŁU ZIARNISTEGO

Streszczenie

Rozwiązanie problemu ekonomicznego wykorzystania paliwa znajduje wyraz w pracach dotyczących spalania paliwa gazowego w piecach szybowych, będących w stosunku do pieców obrotowych alternatywą nie mającą tak wysokich wymagań energetycznych. Prawidłowe określenie strumieni gazu i ciepła w warstwie materiału ziarnistego jest bardzo ważne dla opisu działania pieców przemysłowych, w których zachodzi wymiana ciepła i masy między gazem a cząstkami ciała stałego, co ma miejsce w przypadku pieców szybowych.

DETERMINATION OF CONCENTRATION FIELD AND HEAT EXCHANGE IN GRAINY MATERIAL BED

S u m m a r y

A solution of economical fuel utilization problem is worked out by investigations on fuel gas combustion in shaft furnaces which are alternative for rotary furnaces. Shaft furnaces have smaller energetical requirements. A proper determination of gas-streams and heat distribution in a grainy material bed is very important for description of industrial furnaces operation in which heat and mass transfer goes between the gas and solid phase particles what takes place in the case of shaft furnaces. The paper consist of two parts:

- problems on concentration field determination for a grainy material bed,
- problems on heat exchange in a grainy material bed,