



*A specified numerical model of heat and mass transfer in the system of quasi-liquid synthetic gases purifying from carbon dioxide is given. Numerical calculation of the heat emission coefficient according to the specified model is done. The results of the calculation are compared.*

А. П. НЕСЕНЧУК, В. М. КОПКО, Т. В. РЫЖОВА, М. Г. ПШОНИК, БГПА

## УТОЧНЕННАЯ ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ТЕРМОПСЕВДООЖИЖЕННОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОТОКЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ИСКУССТВЕННЫХ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

УДК 536.244

Практическая реализация параметров аппаратов очистки газовых смесей от диоксида углерода, полученных в результате численного решения модели тепло- и массопереноса [1], указывает на необходимость уточнения уравнения диффузии твердой фазы псевдоожигенной системы. Это объясняется условиями обтекания трубного пучка сорбентом.

Анализ теплообмена в системе "греющая поверхность—дисперсный поток" позволяет выявить эффективность компоновки элементов поверхности аппаратов разделения газовых смесей и дать конкретные рекомендации по конструированию элементов трубного пучка.

Характеристики, устанавливающие влияние технологических и конструктивных параметров на коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , получены для задачи при граничных условиях второго рода. Для стационарного процесса и потока с цилиндрической симметрией (конвекция направлена вдоль вертикальной оси аппарата) уравнения диффузии имеют вид [1]

$$w_{г\gamma_a} \rho_r \frac{\partial \varepsilon}{\partial X} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho_r D_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) + I[a - a(T)] \rho_r (1 - \varepsilon), \quad (1)$$

$$w_{г\gamma_a} (1 - \varepsilon) \rho_r \frac{\partial a}{\partial X} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r (1 - \varepsilon) \rho_r D_a \frac{\partial a}{\partial r} \right] - I[a - a(T)] \rho_r (1 - \varepsilon). \quad (2)$$

Уравнениями (1) и (2) соответственно описывается диффузия газообразной и твердой фаз в аппарате разделения.

После соответствующей доработки модели и оценке ее адекватности по результатам эксперимента было изменено выражение (1):

$$w_{г\gamma_a} \frac{f(y_a) + \Delta f(y_a)}{f(y_a)} f \left( \frac{r_0}{r_{var}} \right) \frac{\rho_r}{\rho_r \cos \varphi} (1 - \varepsilon) \rho_r \frac{\partial a}{\partial X} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r (1 - \varepsilon) \rho_r D_a \frac{\partial a}{\partial r} \right] - I[a - a(T)] \rho_r (1 - \varepsilon). \quad (3)$$

В численном анализе для разных тепловых потоков (по величине) и варьируемых факторов математическую модель (1) и (3), а также уравнение энергии [1] решали относительно средних температур стенки  $\bar{T}_{ст}$  и потока дисперсного материала  $\bar{T}$ , после чего определяли коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{Q}{\bar{T}_{ст} - \bar{T}},$$

$$\alpha = \frac{Q}{\frac{1}{4} R_0 \int_{-2R_0}^{2R_0} T(U, V)|_{V=0} dU - \frac{1}{V_0} \int_0^{V_0} T(U, V)|_{U=0} dV}.$$

Результаты моделирования для пучков с изменяющейся ориентацией относительно вертикальной оси показаны на рис. 1, а—в.

Как видно из рисунка, при небольших расходах материала  $G \leq 1$  кг/(м<sup>2</sup>·с) (рис. 1, а) 2/3 длины пучка (считая снизу) находится в плотном дисперсном материале, более того, перегретом гравитационном потоке цеолита. Плотный гравитационный поток характеризуется невысоким коэффициентом теплоотдачи, который в соответствии с рис. 1, а сохраняется по высоте пучка X. И только в верхней части аппарата (X = 0—0,07 м) имеет место значительное увеличение интенсивности конвективного теплообмена за счет возрастающего эффекта перемешивания слоя материала. Как видим, при малых значениях расхода материала роль газовой прослойки невелика и не может сдерживать нарастание абсолютного значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ . С ростом G наблюдается увеличение  $\alpha$ . Это имеет место до тех пор, пока роль газовой прослойки в верхней части пучка не начнет сдерживать такое нарастание. Как видим (рис. 1, а, линия G = 6 кг/(м<sup>2</sup>·с)), графики имеют экстремум, после которого происходят

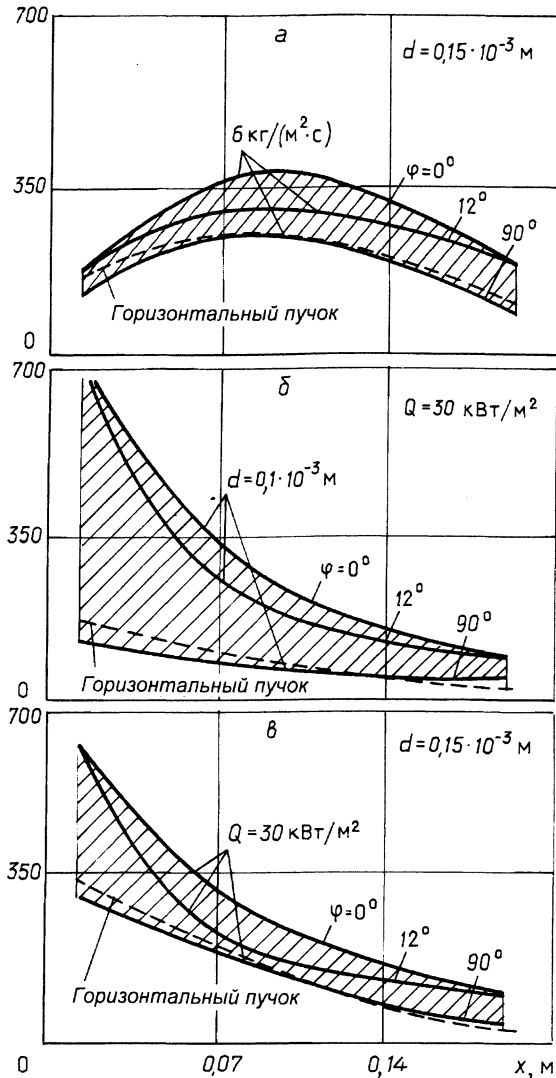
$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ 

Рис. 1. Зависимость величины коэффициента теплоотдачи от расчетных параметров аппарата разделения газовой смеси: а —  $\alpha = f(G, X)$ ; б —  $\alpha = f_1(d, X)$ ; в —  $\alpha = f_2(Q, X)$

резкое снижение  $\alpha$ , и верхняя часть аппарата в тепловом отношении начинает работать малоэффективно, что сразу же сказывается на энергозатратах процесса разделения газовой смеси.

Влияние  $G$  на теплообмен между дисперсным гравитационным потоком и погруженной поверхностью исключительно велико как в зоне плотного слоя ( $X = 0,14-0,21$  м), где разбежка значений  $\alpha$  в интервале max и min составляет 400%, так и в зоне с видимым тернопсевдооживлением (при малых расходах материала зона плотного слоя смещается влево). Аналогичная картина наблюдается и в пристенной области, но при  $G > 4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Здесь обнаруживается сильное влияние газовой прослойки. Картина существенно изменяется для трубных пучков с переменной ориентацией относительно вертикальной оси аппарата (кривые, полученные при  $\varphi = 0, 12$  и  $90^\circ$  (подобие горизонтального пучка), рис. 1, а). Как видно из рисунка, в средней части графика наблюдается значительное

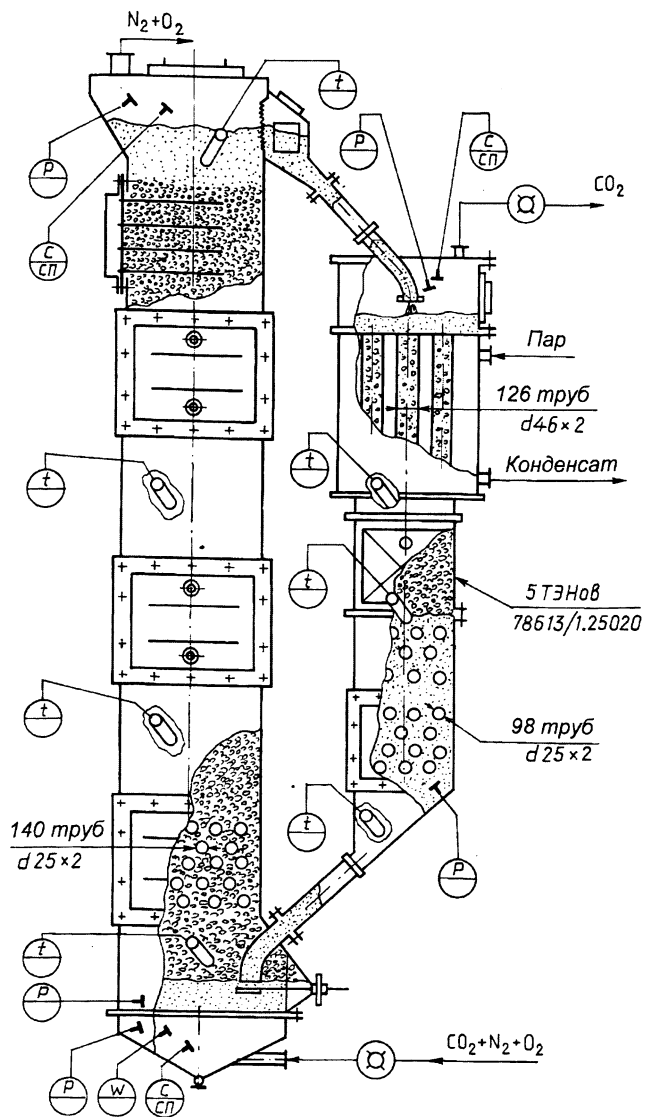


Рис. 2. Общий вид аппарата сорбционного разделения газовых смесей

снижение коэффициента теплоотдачи, что опять-таки скажется на энергозатратах.

На рис. 1, б показано влияние размера частиц на интенсивность теплообмена между дисперсным потоком и погруженной трубной поверхностью. В области плотного слоя ( $X \geq 0,14$  м) в отличие от рис. 1, а не наблюдается существенного изменения  $\alpha$  с изменением варьируемого параметра. Иная картина прослеживается в зоне расширенного слоя с видимым тернопсевдооживлением ( $X = 0,03-0,14$  м). Для частиц, у которых размеры более  $0,4 \cdot 10^{-3}$  м, нарастание  $\alpha$  к верху аппарата происходит значительно слабее, чем у мелких частиц. Это объясняется их незначительным перемешиванием в слое.

Влияние теплового потока на теплообмен между греющей погруженной поверхностью и дисперсным материалом показано на рис. 1, в. Величина теплового потока находится в прямой зависимости от коэффициента теплоотдачи и для обычных псевдооживленных слоев такая зависимость отчет-

ливо просматривается, так как она преобладает при формировании абсолютной величины  $\alpha$ . Когда с увеличением теплового потока повышается толщина газовой прослойки и температура стенки, эффект возрастания  $\alpha$  и  $Q$  подавляется ростом  $T_{ст} - \bar{T}$ .

Для "качающейся" поверхности теплообмена отмеченное выше влияние сглаживается, чего нельзя не учитывать при конструировании аппарата и оценке ожидаемых энергетических затрат на десорбцию.

На рис. 1, *a-v* пунктирной линией отмечены результаты численного расчета по формулам (1) и (2).

Эксперимент по оценке коэффициента теплоотдачи от трубного пучка к движущемуся сорбенту выполняли на лабораторной установке модели (гидромеханическое и тепловое подобие) (рис. 2).

### Литература

1. Несенчук А. П., Копко В. М., Рыжова Т. В. и др. Моделирование процессов тепломассопереноса в системах очистки искусственных горячих газов от  $CO_2$  // Литье и металлургия. 2001. № 1. С. 83—85.



## НОВЫЕ ПАТЕНТЫ ПО ЛИТЬЮ И МЕТАЛЛУРГИИ В ПАТЕНТНОМ ФОНДЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКИ

### • Патент 3717 РБ, МПК6 C22C1/02. Способ выплавки алюминиевых сплавов.

Изобретение относится к литейно - металлургическому производству, а именно к способам выплавки алюминиевых сплавов из окисленных отходов.

Использование данного способа плавки во вращающейся печи позволяет интенсифицировать теплообмен при нагреве дисперсных материалов, тем самым сократить длительность плавки и удельный расход энергоносителей.

### • Патент 3743 РБ, МПК6 C21B7/10. Охлаждающая плита для шахтных печей.

Изобретение относится к охлаждающей плите для оснащенных огнеупорной футеровкой шахтных печей, в частности доменных печей. Задача изобретения — создание охлаждающей плиты, у которой усиленные головные концы включаются в систему охлаждения. Отвод тепла в этой зоне плиты происходит равномерно и однородно, чтобы там также обеспечивалось улучшенное охлаждение огнеупорной футеровки печи и кожуха печи.

### • Патент 2161206 РФ, МПК6 C21C7/00. Проволока для внепечной обработки металлургических расплавов.

Изобретение относится к черной металлургии, а именно к обработке порошкообразными реагентами. Технический результат — увеличение степени использования кальция и алюминия, полная глобуляризация неметаллических включений и повышение литейных и механических свойств стали.

### • Патент 2161209 РФ, МПК6 C22C38/06. Al—Mn—Si—N Аустенитная нержавеющая кислотоупорная сталь.

Техническим результатом изобретения является получение нержавеющей стали с хорошей коррозионной устойчивостью, характеристиками ковкости, сварочными и эксплуатационными параметрами.

Ознакомиться с описаниями изобретений и заказать отдельные страницы копий, а также осуществить тематический поиск в INTERNET можно по адресу:

г. Минск, проспект Машерова, 7,  
Республиканская научно-техническая библиотека,  
читальный зал патентной документации (502 к.)  
тел.: 226-65-05.