

в топках паровых котлов при сжигании сернистых мазутов. Максимум интенсивности коррозии достигается при температуре стенки около 368 К, что связано с содержанием соляной кислоты.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что горючие ВЭР исследуемого производства поливинилхлоридных смол можно использовать как топливо в энергетических котлах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Магадеев В.Ш. Коррозия газового тракта котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с. 2. Внуков А.К. Теплохимические процессы в газовом тракте паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.

УДК 66.096.5

А.П. НЕСЕНЧУК, Д.И. ШКЛОВЧИК,  
В.Ф. КРАВЕЦ, В.И. ЧЕРНЫШЕВИЧ

#### ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ТЕРМОПСЕВДОЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Перемешивание газовой фазы обусловлено в основном перемешиванием твердых частиц [1], вытесняющих некоторый объем газа. Коэффициент перемешивания газовой фазы  $D_G$  можно принять равным коэффициенту перемешивания твердой фазы  $D_T$ . Как показало дальнейшее сопоставление расчетных и экспериментальных результатов, эти два коэффициента пропорциональны, но не равны — газовая фаза проникает в плотный слой гораздо хуже, чем твердая из плотного слоя в псевдооживленный. Это обусловлено, на наш взгляд, силами отдачи при ударе частицы о твердую стенку: они получают импульс в направлении от стенки и уплотняют внешнюю часть пограничного слоя, препятствуя перемешиванию газа. Чтобы учесть неравенство перемешивания твердой и газовой фазы, необходимо ввести коэффициент  $k \approx 10$ .

Характер теплопроводности резко меняется при переходе от внутренней части псевдооживленной зоны к стенке. Вблизи стенки он лишь немного превышает теплопроводность газа. Характер газовыделения в термопсевдооживленном слое таков, что газовая прослойка образуется в пристеночной зоне в процессе расчета предполагаемой модели (точнее, вблизи стенки при интенсивном газовыделении всегда существует зона с  $\epsilon \approx 1$ , в которой теплопроводность резко падает). При этом газовыделение происходит с конечной скоростью, пропорциональной отклонению текущей степени адсорбции частицы от равновесной (предположение о неравновесности процесса).

Уравнение конвективной диффузии газовой фазы с учетом изложенных предположений имеет вид

$$\rho_G \nabla (\vec{w}_T \epsilon) = \nabla (\rho_T D_\epsilon \nabla \epsilon) + I(a - a(T)) \rho_T (1 - \epsilon), \quad (1)$$

где  $D_\epsilon$  описывает фильтрацию в плотном слое, т. е. при порозности  $\epsilon < 0,5$ , причем скорость газовой фазы возрастает снизу вверх и задается нелинейной зависимостью от порозности.

Для диффузии сорбированной фазы справедливо выражение

$$\vec{G}\nabla a = \nabla (\rho_T (1 - \epsilon) D_a \nabla a) - I (a - a(T)) \rho_T (1 - \epsilon). \quad (2)$$

Здесь  $D_a$  описывает эффективную диффузию сорбированной фазы. Будучи связанной с твердыми частицами, эта фаза перемешивается так же, как и частицы.

Уравнениями, определяющими адсорбционные свойства твердой фазы, являются:

уравнение Астахова–Дубинина [2] для равновесной степени адсорбции

$$a(T) = w_0 \rho_c \exp\left(-\left(\frac{RT \ln \frac{p_s}{p}}{E}\right)^2\right)$$

с учетом полученной нами корреляции

$$E = \lambda + (5731,4 - 107,3t_p) 4,186;$$

уравнение Басмаджана для плотности сорбированной фазы

$$\rho_c = (T - 293) \left. \frac{\partial \rho_{ж}}{\partial T} \right|_{T=293}.$$

Давление насыщения находится из уравнения Ван-дер-Ваальса

$$p_s = p_{кр} \exp\left(\frac{T - T_{кр}}{T} \frac{H_\varphi}{RT_{кр}}\right),$$

где  $H_\varphi$  – теплота фазового перехода;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Дифференциальная теплота адсорбции  $i_i(T)$ , входящая в уравнение энергии

$$(c_T + ac_T) \vec{G}\nabla T = \nabla (\rho_T (1 - \epsilon) (c_T + ac_T) D_T \nabla T) - HI(a - a(T)) \rho_T (1 - \epsilon),$$

находится из уравнения Клапейрона–Клаузиуса

$$H(T) = H_\varphi + E \sqrt{\ln \frac{w_0 \rho_c}{a(T)}}.$$

Плотность газовой фазы определяется из уравнения Клапейрона–Менделеева

$$\rho_T = \frac{p \mu}{RT}. \quad (3)$$

Для описания гидродинамики термопсевдоожижения использованы уравнения Годеса [3]

$$w_T = \frac{\nu_T}{d_T} \frac{Ar \epsilon^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar \epsilon^{4,75}}};$$

$$w_{r0} = \frac{\nu_r}{d_T} \frac{A\Gamma}{1400 + 5,22 \sqrt{A\Gamma}}$$

Выражение (3) совместно с (1) определяет структуру порозности слоя. Особого внимания заслуживает сток-источник в (1) и (2), представленный выражением  $I(a - a(T))\rho_T(1 - \epsilon)$ . Он определяет характер газовыделения в слое и пропорционален отклонению текущей степени адсорбции  $a$  от ее равновесного значения  $a(T)$ . Константа скорости газовыделения в процессе десорбции определяется стадией внутреннего массообмена в частице. Приближенная теоретическая оценка константы  $I$  приведена в работе [4].

Важную роль играет коэффициент перемешивания твердой фазы. Он может рассчитываться в зависимости от порозности слоя:

$$D_a = D_T = kD_\epsilon = \begin{cases} D & \text{при } \epsilon \geq 0,5, \\ D_0 & \text{при } \epsilon < 0,5, \end{cases}$$

где, согласно [5],

$$D_0 = 0,94 \frac{1 + 0,807 \cdot 10^{-2} (T - 273)}{(c_T + ac_T)(1 - \epsilon)\rho_T} \lg \frac{0,74 - 0,31(1 - \epsilon_0)}{0,74 - (1 - \epsilon_0)}$$

При этом следует помнить, что в зоне псевдооживления, т. е. при  $\epsilon \geq 0,5$ , коэффициент перемешивания описывает действительное перемешивание твердой фазы, а в зоне плотного потока ( $\epsilon < 0,5$ ) задается эффективной теплопроводностью слоя

$$D_0 = \frac{\lambda_{эф}}{\rho_T(c_T + ac_T)(1 - \epsilon)}$$

Выполненный анализ указывает на подавляющую роль коэффициента перемешивания на формирование процессов тепло- и массопереноса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет тепло- и массообмена при десорбции в термopсевдооживленном слое цеолита // А.П. Несенчук, Л.В. Шатон, Е.Н. Антонишина, А.А. Шкляр / Изв. вузов. Энергетика. — 1983. — № 12. — С. 72–76. 2. Ш а т о н Л.В. Тепломассоперенос в технологических установках при термической десорбции твердых сорбентов: Дис. ... канд. техн. наук. — Мн., 1982. — 241 с. 3. Ш а т о н Л.В., Н е с е н ч у к А.П., А н т о н и ш и н а Е.Н. Исследование диффузии углекислоты в зернах цеолита СаА и МоА // Изв. вузов. Энергетика. — 1982. — № 1. — С. 121–123. 4. Р о м а н ю к В.Н. Интенсификация процессов тепло- и массопереноса и снижение энергозатрат при тепловой регенерации дисперсного адсорбента в промышленных установках: Дис. ... канд. техн. наук. — Мн., 1980. — 324 с. 5. Г о р о ш к о В.Д., Р о з е н б а у м Р.Б., Т о д е с О.М. Приближенные закономерности гидравлики взвешенного слоя и естественного падения // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1958. — № 1. — С. 125–131.