

Влияние турбулентной структуры газового потока на величину  $W_{EK}$  определяется при проведении исследования вторичного дробления с принудительной турбулизацией потока в камере сгорания решетками различных размеров.

### Л и т е р а т у р а

1. Анисимова М.И., Стекольников Е.В. Деформационное дробление капель в газовом потоке. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1977, № 3, с. 141-148.
2. Зайнштейн П.Б., Нигматулин Р.И. К теории распространения пламени в смеси газа и капель. - Журнал ПМТФ, 1973, № 4, с. 101-108.
3. Талантов А.В. Горение в потоке. - М.: Машиностроение, 1978. - 160 с.
4. Распыление жидкостей /Ю.Ф.Дитятин, Л.А.Клячко, Б.В.Новиков и др. - М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.

УДК 66.01-52

Ю.К.Т о д о р ц е в

### КРИТЕРИИ УПРАВЛЕНИЯ ВИХРЕВЫМ ПОТОКОМ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Вихревой эффект широко используется для интенсификации высокотемпературных технологических процессов обработки дисперсного сырья [1]. Основным технологическим аппаратом представляет собой циклонную камеру диаметром 1,6 и высотой 2,8 м, в которой перерабатывается до 7 т в час фосфоритов Каратау с содержанием фтора  $F_N \geq 2,5\%$  (рис. 1,а).

Главной целью технологического процесса является уменьшение содержания фтора в расплаве до заданного уровня ( $F_K < 0,2\%$ ) и обогащение его фосфором в виде  $P_2O_5$ .

Интенсивность вихревого потока часто характеризуют долей энергии  $\eta_{взр}$  входе в камеру, идущей на создание крутки  $\Delta P_{кр}$ , в виде так называемого аэродинамического к.п.д. циклона

$$\eta_{взр} = \frac{\Delta P_{кр}}{\sum \Delta P};$$

$$\sum \Delta P = \Delta P_{вх} + \Delta P_{вых} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{цур} + \Delta P_{кр}. \quad (1)$$

Общее гидравлическое сопротивление аппарата  $\sum \Delta P$  складывается из затрат энергии на входе  $\Delta P_{вх}$ ; выходе через пережим  $\Delta P_{вых}$ ; трение о



В технологической циклонной камере на металлической ошипованной охлаждаемой стенке [3] (рис. 1,б) образуется два слоя из обрабатываемого материала. Твердый 2 гарнисаж и жидкая пленка I. В зависимости от условий тепло-массообмена существует несколько режимов образования этой сложной поверхности:

толщина гарнисажа большая, так что на поверхности образуются зоны застывшего материала (настыли). Шероховатость поверхности большая; гарнисаж отсутствует, и возможно разрушение металлической стенки, обгорание шипов, выход аппарата из строя;

стационарный режим, при котором имеется гарнисаж толщиной  $\delta_r$  и хорошо стекающая пленка толщиной  $\delta_{пл}$ .

Переход от одного стационарного режима к другому можно оценить по скорости изменения толщины гарнисажа в зоне интенсивной сепарации материала [5]:

$$V_r = \frac{d\delta_r}{d\tau}$$

а за время  $\tau_r$  нестационарности гарнисажа

$$\Delta\delta_r(\tau_r) = \int_0^{\tau_r} V_r d\tau$$

Существует достаточно большое время  $\tau_k$ , при котором  $\Delta\delta_r(\tau_k) = 0$ , т.е. изменение толщины пленки и гарнисажа взаимно компенсируются.

Если за достаточно большой промежуток времени это условие не выполняется, то значит в камере происходит необратимый процесс роста настывей.

Устранение явления образования настывей требует введения третьей целевой функции управления  $\{U_3\} = 0$ :

$$U_3 = \left( \frac{1}{\tau_k} \int_0^{\tau_k} \frac{1}{\delta_r} d\tau_r \int_0^{\tau_r} V_r d\tau \right)^2 = 0$$

При этом выражение  $\Delta\delta_r(\tau_r)$  представлено в относительном виде

$$\bar{\Delta\delta}_r(\tau_r) = \frac{\Delta\delta_r}{\delta_r} = \frac{1}{\delta_r} \int_0^{\tau_r} V_r d\tau$$

и затем усреднено на достаточно большом отрезке времени  $\tau_k$ .

Таким образом, целевую функцию управления вихревым потоком в технологических камерах можно представить как  $U = U_1 + U_2 + U_3$ , стремящейся к нулю.

Оценим, возможна ли реализация  $U$  в промышленных условиях. Величина  $\Sigma\Delta P = P_{вх} - P_{вых}$  измеряется непосредственно достаточно просто промышленными приборами.

Прямое измерение максимальной тангенциальной скорости  $U_{\tau max}$  представляет большую трудность. Необходим координатный параметр, на основе которого можно судить о величине  $U_{\tau max}$  или  $\Delta P_{кр}$ .

Из (I) следует, что

$$\Delta P_{кр} = \sum \Delta P - \Delta P_{вх} - \Delta P_{вых} - \Delta P_{тр} - \Delta P_{цир},$$

однако чувствительность по этому каналу небольшая, так как  $\Delta P_{кр}$  относительно невелико на фоне других составляющих потерь, так же меняющихся в процессе эксплуатации.

С распределением тангенциальной скорости связано распределение статического давления, которое максимально у стенки циклона  $P_{стат}^{см}$  и уменьшается по направлению к его оси. Экспериментально показано [3], что имеет место следующее соотношение:

$$\Delta \bar{P}_{стат}^{см} = 2 \left( \frac{v_E}{v_{вх}} \right)^{9/5} \quad (2)$$

и, значит, статическое давление у стенки может служить в качестве косвенного параметра для оценки  $v_E$ .

Измерение статического давления у стенки, по которой течет жидкая пленка с температурой 1400–1500°C, связано с очевидными техническими трудностями. Но в той же работе показано, что статическое давление на срезе входного сопла мало отличается от  $P_{стат}^{см}$  при сравнительно больших относительных площадях входа. Тогда из (2) следует, что

$$v_{Emax} \approx \left( \frac{\bar{P}_{вх}^{см}}{2} \right)^{5/9} v_{вх},$$

где

$$\bar{P}_{вх}^{см} = \frac{2 P_{стат}^{см}}{\rho v_{вх}^2}.$$

Для формирования целевой функции  $U_3$  необходимо измерять толщину и скорость изменения гарнисажа в районе максимальной сепарации сырья. Тепловой поток через стенку циклона зависит от нескольких величин:

$$Q_{охл} = f(\delta_r, T_o, T_m, \lambda_r),$$

где  $T_o$  - температура затвердевания гарнисажа;

$T_m$  - температура металлической стенки;

$\lambda_r$  - теплопроводность гарнисажа.

С достаточной точностью, как показано в [6], можно судить о толщине гарнисажа по величине  $Q_{охл}$ , так как  $T_o$ ,  $\lambda_r$  практически постоянны, а температуру металла  $T_m$  и  $Q_{охл}$  легко измерить.

В этом случае критерий  $U_3$  может быть упрощен:

$$U_3' = \left( \frac{Q_{охл}}{Q_{охл}^0} - 1 \right)^2,$$

где  $Q_{охл}^0$  - заданное значение теплового потока в зоне максимальной плотности сепарации сырья.

## Л и т е р а т у р а

1. Теория и практика циклонных технологических процессов в металлургии и других отраслях промышленности. - Тезисы докладов XII Всесоюзной научно-технической конференции (Днепропетровск, сент. 1982 г.). - Днепропетровск: ДМЕТИ, 1982. - 118 с.
2. Балдуев Е.Д., Троянкин Ю.В. Аэродинамика циклонного процесса при переработке многокомпонентных шихт. - В кн.: Циклонные энерготехнологические процессы и установки: Труды НТС (Москва, ноябрь 1966 г.). - М.: Цветметинформация, 1967, с. 37-42.
3. Карпов С.В., Сабуров Э.Н. Методика расчета аэродинамических характеристик циклонных камер. - Химическое и нефтяное машиностроение, 1977, № 7, с. 20-22.
4. Резняков А.Б., Устименко Б.П., Вышенский В.В. и др. Технологические основы циклонных топочных и технологических процессов. - Алмата: Наука, 1974. - 374 с.
5. Теске Хартмут. Управление движением двухфазного потока в циклонно-вихревых аппаратах: Автореферат дис.канд.техн. наук. - Одесса, 1982. - 22 с.
6. Гайдабура И.П. Разработка и внедрение автоматической системы регулирования энерготехнологического вихревого аппарата с использованием косвенных переменных: Автореферат дис.канд.техн. наук. - Одесса, 1982. - 16 с.
7. Тодорцев Ю.К., Гайдабура И.П. Повышение эффективности аппаратов вихревого типа. - Химическая промышленность, 1981, № 2, с.56-57.

УДК 66.01-52

А.И.В а г а н о в

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ВИХРЕВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ

Вихревые технологические аппараты (ВТА) широко используются в химической и металлургической промышленности в качестве высокоинтенсивных плавителей полидисперсных материалов [1].

Основной рабочего процесса в ВТА (рис. 1) является закрученный газосовый поток, который образуется вследствие тангенциального подвода топливоокислительной смеси 1 в цилиндрическую камеру 2 и создает благоприятные условия для тепло- и массообменных процессов. Полидисперсный материал 3 подается в аппарат аксиально (или тангенциально с топ-