

## К ВОПРОСУ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ПРОДУКТОВ, ОСЛОЖНЕННОГО НАЛИЧИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Часто выпускной формой получаемых химических продуктов являются тонкодисперсные порошки, что обусловлено технологическими особенностями их дальнейшего применения или переработки на предприятиях-потребителях. Получение порошкообразных веществ традиционными методами, такими как сушка в вакуумных, ленточных и других типах сушилок с последующим размолотом или применение аппаратов распылительного типа приводит к тому, что продукт имеет неоднородный дисперсный состав. Такой продукт пылит при его выгрузке, при длительном хранении слеживается.

Малоисследованной областью является применение порофоров на стадии распылительной сушки с целью получения порошков, лишенных вышеперечисленных недостатков.

При получении микрогранулированного продукта на распылительной сушилке гидродинамические, теплообменные процессы значительно осложняются сопутствующими процессами: разложением газообразующего вещества, выделением газа из частицы распыленного раствора, образованием внутренней микропористой структуры.

Для расчета технологических параметров и промышленной реализации была составлена следующая математическая модель процесса сушки белофора КД-2 с добавкой порофора (карбамида) на распылительной сушилке.

Скорость накопления газа в пенном слое частицы

$$W_{\text{газ}} = W_{\text{го}} - W_{\text{ист}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{го}}$ ,  $W_{\text{ист}}$  – соответственно массовые скорости выделения газа из порофора и истечения газа из пенного слоя частицы, кг/с.

Кинетика разложения порофора (карбамида) представлена в виде, предложенном А.А. Берлиным

$$\frac{dm_{\text{го}}}{d\tau} = k_{\text{разл}} \left(1 - \frac{c_{\text{го}}}{u_{\text{к}}}\right)^{n_{\text{разл}}} \exp\left(-\frac{U_{\text{разл}}}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $k_{\text{разл}}$ ,  $n_{\text{разл}}$ ,  $U_{\text{разл}}$  – константа скорости, порядок и энергия активации реакции разложения карбамида;  $c_{\text{го}}$  – массовая концентрация порофора в расчете на абсолютно сухое вещество, кг/кг.

Массовая скорость выделения газа в пенный слой частицы определяется выражением

$$W_{\text{го}} = -\frac{dm_{\text{го}}}{d\tau} \eta_{\text{го}}, \quad (3)$$

где  $\eta_{\text{го}}$  – количество газа, выделяющееся при разложении 1 кг порофора, кг/кг

Скорость истечения газа из пенного слоя частицы

$$W_{\text{ист}} = k_{\text{ист}}(T, u_{\text{к}}) \frac{4\sigma}{d_{\text{п}}} F_{\text{к}}, \quad (4)$$

где  $F_{\text{к}}$  – внешняя поверхность частицы,  $k_{\text{ист}}(T, u_{\text{к}})$  – коэффициент истечения;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкой фазы капли;  $\overline{d_{\text{п}}}$  – текущий средний диаметр высушиваемых капель.

Выражения (3) и (4) позволяют рассчитать скорость накопления газа в пенном слое частицы по уравнению (1).

Текущий объем капли (частицы) определяется по формуле

$$V_{\text{к}} = V_{\text{вк}} + V_{\text{газ}}, \quad (5)$$

где  $V_{\text{вк}}$  – объем невспененного вещества частицы.

На основании проведенной экспериментальной работы авторами получена критериальная зависимость для расчета коэффициента массоотдачи при сушке суспензий белофоров с добавкой в качестве порофора карбамида, справедливое в диапазоне скоростей, характерном для распылительной сушки:

$$\text{Nu} = 1,211 + 0,8\text{Re}^{0,57} \text{Pr}^{0,689}. \quad (6)$$

Учитывая, что параллельно с процессом сушки протекает процесс разложения порофора (карбамида), при котором поглощается влага, динамика изменения влагосодержания капли может быть выражена зависимостью

$$\frac{du_{\text{к}}}{d\tau} = \frac{du}{d\tau} + \frac{du_{\text{го}}}{d\tau}, \quad (7)$$

где  $(du/d\tau)$  – собственно скорость сушки, а  $(du_{\text{го}}/d\tau)$  – скорость поглощения влаги на реакцию с карбамидом, определяемая как

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, проф. А.И. Леонтьевой.

$$\frac{du_{\text{ГО}}}{d\tau} = \eta_{\text{ВЛ ГО}} \frac{1}{m_{\text{ТВ}}} \frac{dm_{\text{ГО}}}{d\tau}, \quad (8)$$

где  $\eta_{\text{ВЛ ГО}}$  – количество влаги, поглощаемой при разложении 1 кг порофора, кг/кг;  $m_{\text{ТВ}}$  – масса твердой абсолютно сухой части высушиваемой капли.

Уравнение динамики изменения общей массы частицы сушимого материала

$$\frac{dm_{\text{К}}}{d\tau} = m_{\text{ТВ}} \frac{du_{\text{К}}}{d\tau} + \frac{dm_{\text{ГО}}}{d\tau}. \quad (9)$$

Решение уравнений (1) – (9) совместно с зависимостями материального и теплового балансов позволило получить расчетные значения технологических параметров процесса и провести промышленные испытания. Полученный положительный результат позволяет рекомендовать метод получения порошкообразных веществ в микрогранулированной форме к расширенному применению и в других отраслях промышленности (основной органический синтез, фармацевтическая промышленность и производство реактивов).

*Кафедра «Химические технологии органических веществ»*