

Дегтярев А. А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ, ОСЛОЖНЕННОГО РАЗЛОЖЕНИЕМ ЦЕЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА

Работа выполнена под руководством д.т.н. Леонтьевой А. И.

*ТГТУ, Кафедра «Химические технологии
органических веществ»*

Для определения технических параметров процесса сушки продуктов органического синтеза (термолабильные) необходимо рассматривать процесс в совокупности с процессом термического разложения целевого вещества количество которого будет определяться из уравнения химической кинетики:

$$dC = k_0 \cdot C^n \cdot \exp\left(\frac{-E_A}{R \cdot T}\right) \cdot dt$$

Где:

k_0 – предэкспоненциальный множитель

n – порядок реакции

E_A – энергия активации

R – универсальная газовая постоянная

C – концентрация целевого вещества

T – его температура

t – время

Задача – интегрировать это уравнение с получением зависимости концентрации от времени или, что гораздо удобнее, от влагосодержания (x), или от пройденного пути(1). Сделаем это на примере прямого движения сушильного агента и материала.

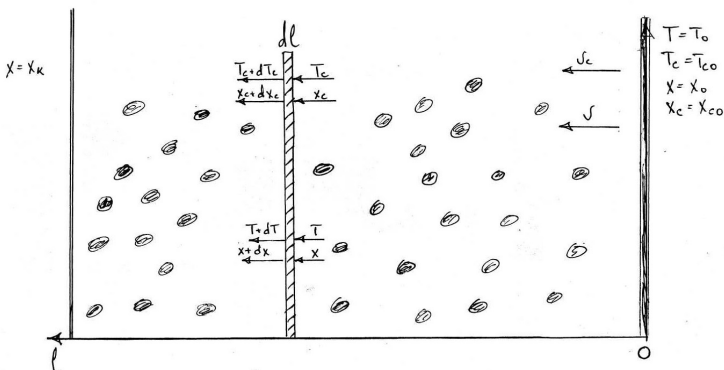


Рис. 1. Схема движения потоков

Примем допущения:

1. Температура по сечению одинакова (т.е. внутри материала и на поверхности).

2. Пренебрегаем продольным теплообменом в сравнении с поперечным (из-за малой движущей силы).

3. Температура материала в первом периоде сушки постоянна

Вводим необходимые величины для проведения замены $d\tau$ на dl и dx :

$v = \partial m / \partial \tau$ – массовый расход материала (кг/с).

$v_c = \partial m_c / \partial \tau$ – массовый расход сушильного агента (кг/с).

$v_1 = dl / d\tau$ – скорость передвижения элемента dl (м/с).

dm – масса материала в элементе dl .

$$dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot S \cdot dl$$

где ρ – плотность абсолютно сухого материала (кг/м³)

$\rho \cdot S$ – линейная плотность абсолютно сухого материала (кг/м)

Тогда поток материала через dl :

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{\partial m}{\partial \tau} - \rho \cdot S \cdot dl$$

Поток сушильного агента:

$$\frac{dm_c}{d\tau} = \frac{\partial m_c}{\partial \tau} - \rho_c \cdot S_c \cdot dl$$

$\rho_c \cdot S_c$ – линейная плотность абсолютно сухого сушильного агента (кг/м)

Химическую реакцию не учитываем т.к. в итоге мы подбираем условия при которых она незначительна.

Возьмем такое v_1 , что $\partial m / \partial \tau = \rho \cdot S \cdot v_1$, т.е. элемент dl движется вместе с элементом dm , тогда:

$$\frac{dm_c}{d\tau} = \frac{\partial m_c}{\partial \tau} - \frac{\rho_c \cdot S_c}{\rho \cdot S} \cdot \frac{\partial m}{\partial \tau}$$

$$\text{вводим } a = \frac{\rho_c \cdot S_c}{\rho \cdot S}$$

тогда:

$$dm_c = (v_c - a \cdot v) \cdot d\tau$$

Проводя математические преобразования из материального баланса получаем:

$$dx_c = \frac{v_{\text{вл}} \cdot b}{v_c - a \cdot v} \cdot dl$$

$$dx = -\frac{v_{\text{вл}} \cdot b}{v} \cdot dl$$

Где:

x – влагосодержание материала(кг/кг).

x_c – влагосодержание сушильного агента(кг/кг).

$v_{\text{вл}}$ – скорость сушки(кг/(м²·с)).

b – коэффициент пропорциональности.

Из теплового баланса:

$$\begin{aligned} & (c + c_{H_2O} \cdot x) \cdot \rho \cdot S \cdot dl \cdot dT + \\ & + (c_c + c_n \cdot x_c) \cdot (v_c - a \cdot v) \cdot d\tau \cdot dT_c + (r + E) \cdot v_{\text{вл}} \cdot b \cdot dl \cdot d\tau = 0 \end{aligned}$$

Где:

c, c_c, c_n, c_{H_2O} – теплоемкости соответственно материала, сушильного агента, пара и воды.

r – удельная теплота растворения.

E – удельная энергия связи влаги с материалом.

T_c – температура сушильного агента.

Периодом сушки пренебрегаем из-за его не очень высокой температуры (только интегрируя совместно полученные уравнения плюс уравнение теплообмена:

$$dQ = K \cdot (T_c - T) \cdot dF \cdot d\tau$$

находим границы зоны).

Для периода постоянной скорости ($T = \text{const}$):

$$dC = k_0 \cdot C^n \cdot \exp\left(\frac{-E_A}{R \cdot T}\right) \cdot \left(-\frac{v}{v_{\text{вн}} \cdot b \cdot v_l}\right) dx$$

Находим границы зоны аналогично периоду прогрева.

Для второго периода аналитические решения не получаются и поэтому решения дифференциальных уравнений находят путем численного или графического интегрирования.

Далее закрепляем конечные результаты сушки (конечная допустимая влажность) и находим минимум функции $C = f(\text{параметры сушки})$, дифференцируя эту функцию попеременно по одному или нескольким параметрам в диапазоне в котором возможно их изменение в промышленных условиях. Параметры сушки – это: температура, скорость и влажность сушильного агента, скорость подачи материала