

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ГРАНУЛИРОВАННОЙ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В УСТАНОВКАХ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

В.И. Замятин, А.В. Липин

Процесс сушки микрокристаллической целлюлозы, является заключительным этапом подготовки фармацевтической смеси для последующего таблетирования. На данном производственном этапе формируются основные эксплуатационные характеристики продукта: фракционный состав, насыпная плотность, сыпучесть, химико-физические характеристики и др.

Широкое распространение получили сушилки с псевдоожиженным слоем. Псевдоожижение позволяет повысить эффективность сушки дисперсных материалов. Очевидными достоинствами псевдоожиженных систем являются такие параметры: развитая поверхность контакта твердого материала и ожижающего агента, высокие тепло-обменные характеристики, возможность непрерывного ввода и вывода твердой фазы [3].

Отличительной особенностью сушилок с псевдоожиженным слоем является протиточное перемешивание, благодаря которому влагосодержание конечного материала достаточно однородно по всему объему.

Одноступенчатая сушилка с псевдоожиженным слое показана на рисунке 1. Влажный материал загружается в аппарат 1 через патрубок 2, высушенный материал выгружается через патрубок 3. Сушильный агент подается в аппарат 1 снизу на трубную решетку 4 и создает кипящий слой 5 [2].

Процесс сушки твердых материалов не поддается регулированию главным образом потому, что не существует непрерывного способа измерения влажности материала. Измерение любого параметра сыпучих твердых материалов (даже скорости их перемещения) связано с решением целого комплекса вопросов. Точное определение параметров материала непосредственно на технологическом потоке невозможно. Поэтому приходится полагаться на значения параметров осушающего агента, успешное использование которых всецело зависит от того, насколько правильно они характеризуют состояние процесса [1].

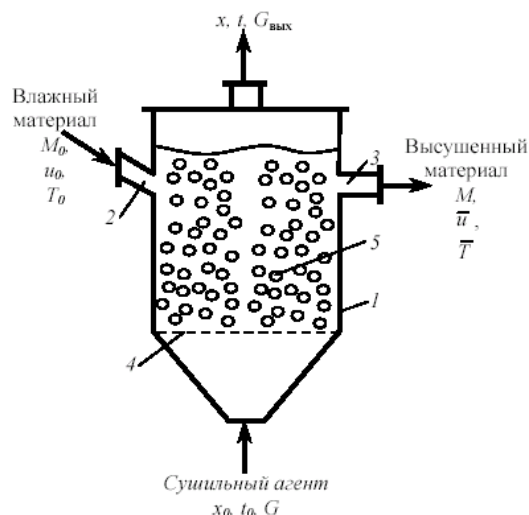


Рисунок 1 – Сушильная установка
с псевдоожиженным слоем

Основными технологическими параметрами процесса сушки, являются температура и влажность материала. Данные параметры определяют качество сушки.

Для упрощения построения зависимостей параметров материала от параметров осушающего агента примем следующие допущения:

- 1) движение сушильного агента через слой можно принять соответствующим режиму идеального вытеснения;
- 2) материал является однородным по влажности в каждый момент времени;
- 3) температура материала в каждый момент времени одинакова по всему объему.

В начале процесса определим некоторые параметры, неизменные на протяжении процесса. Начальное влагосодержание осушающего агента примем равным 0.0085 (кг/кг). Массовый расход осушающего агента равен 5.6 (кг/с). Начальная температура осушающего агента равна $T_0=60^\circ\text{C}$. Конечной равновесной влажностью материала примем величину 0.05 (кг/кг). Начальная влажность материала равна $U_0=0.58$ (кг/кг).

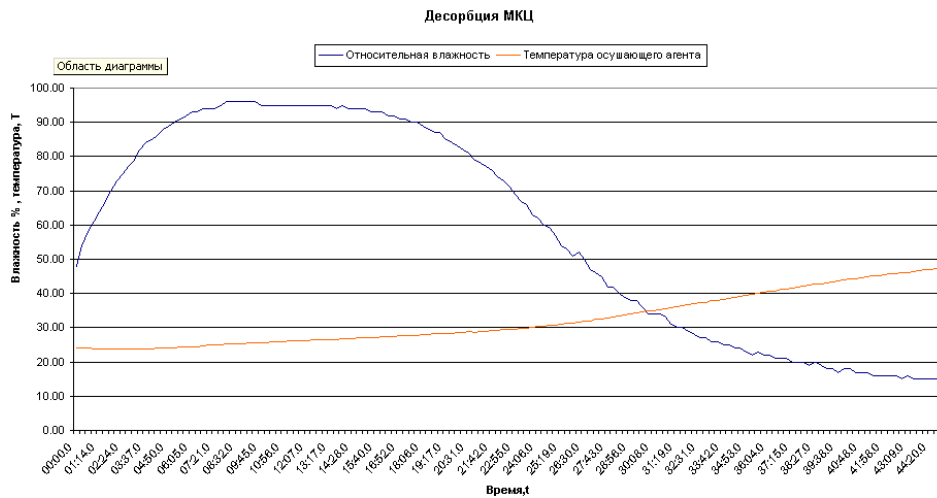


Рисунок 2 – Параметры сушильного агента на выходе из сушилки

При проведении эксперимента по сушке гранулированной микрокристаллической целлюлозы были получены следующие значения (см. рисунок 2) относительной влажности и температуры осушающего агента на выходе из сушилки.

По показаниям температуры «сухого» термометра и относительной влажности осушающего агента на выходе сушилки определим давление водяного пара в сушилке при температуре "мокрого" термометра.

$$\varphi = \frac{P_c}{P_s} 100, \quad (1)$$

где P_s – давление насыщенного водяного пара в осушающем агенте при температуре "сухого" термометра (ищется по таблицам свойств насыщенного водяного пара по t_c), Па; P_c – парциальное давление водяного пара в сушилке при температуре "сухого" термометра, Па.

Из следующего соотношения вычислим температуру «мокрого» термометра:

$$P_c = P_m - B(t_c - t_m) \Pi,$$

где P_m – давление насыщенного водяного пара при температуре "мокрого" термометра (ищется по таблицам свойств насыщенного водяного пара по t_m), Па; Π – барометрическое давление; B – коэффициент, зависящий от ряда факторов, из которых основным является скорость осушающего агента, для скорости осушающего агента $w > 5$ м/с: $B = 0,00001(65 + 6,75/w)$; $(t_c - t_m)$ – разность температур "сухого" и "мокрого" термометров.

Из параметров осушающего агента для атмосферного давления, рассчитаем влагосодержание на выходе из сушилки.

$$X = 0.622 / ((100 p / \varphi) / p_s - 1), \quad (2)$$

где p – атмосферное давление. Влагосодержание сушильного агента на выходе из аппарата определяется из баланса по испаряемой из материала влаге,

$$M(U_0 - U_k) = G(X_k - X_0), \quad (3)$$

где X_k – среднее значение влагосодержания в процессе сушки, U_k – конечное значение влажности материала. Рассчитаем из 3 среднее значение производительности по влажному материалу (кг/с).

$$M = 0.09 \text{ кг/с.}$$

$$U = U_p + (U_{kp} - U_p) e^{K(\tau - \tau_{kp})}, \quad (4)$$

где U_p – равновесное влагосодержание, K – коэффициент скорости сушки.

Очевидно, что первый период сушки заканчивается в точке 19:00. Второй период проходит с точки 19:18 до точки 44:56. В первом периоде сушки рассчитаем текущее значение влагосодержания материала из 3. Во втором периоде сушки среднее значение влагосодержания можно рассчитать, используя соотношение 4. Во втором периоде сушки будет падать, т.к. сушка проходит в зоне связанной влаги. При достижении равновесного состояния с параметрами газа в сушилке

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ГРАНУЛИРОВАННОЙ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В УСТАНОВКАХ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

производительность по влажному материалу станет равной нулю.

Период сушки, начиная с точки 41:00 можно считать периодом с почти нулевой производительностью, т.к. параметры газа на выходе из сушильной камеры приближаются к параметрам газа при входе в сушилку. Движущая сила процесса сушки стремиться к нулю.

Значение средней температуры материала в псевдооживленном слое может быть

определено как среднее взвешенное из температур влажной и сухой доли

$$\bar{T} = t_H(C_L) + t_c(1 - C_k) . \quad (5)$$

Дифференцированием кривой сушки получим скорость сушки (рисунок 4)

$$dU/dt = (U_1 - U_2) / (t_1 - t_2) . \quad (6)$$

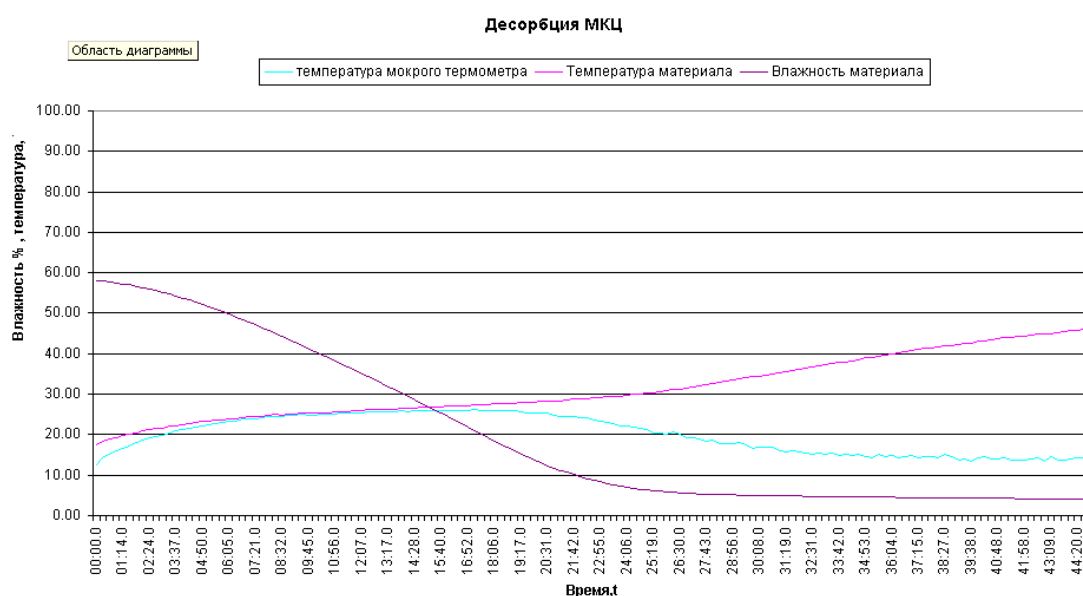


Рисунок 3 – Параметры материала в сушильной камере

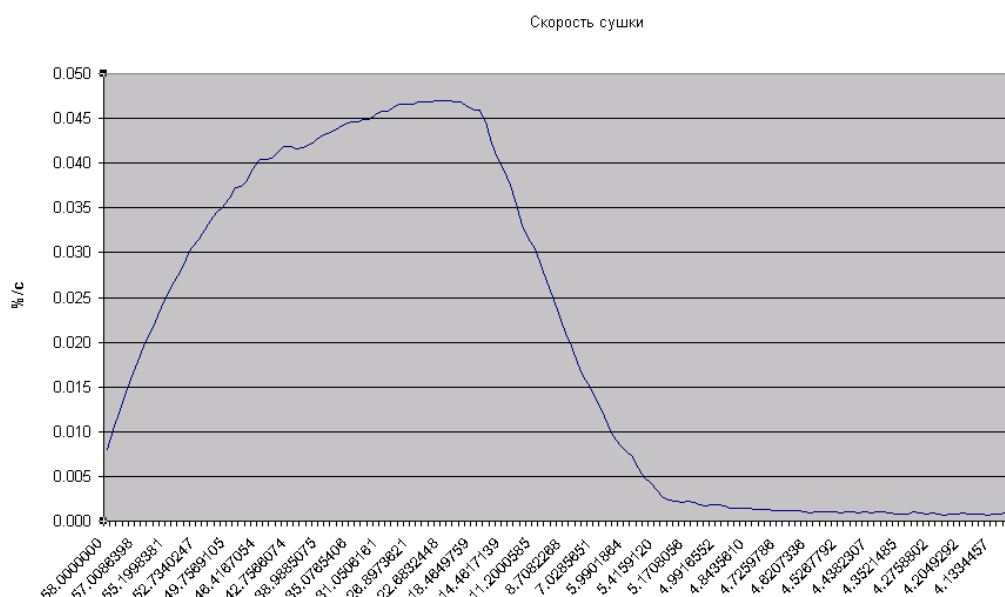


Рисунок 4 – Скорость сушки

По полученному графику найдем критическое влагосодержание материала. Критическое влагосодержание соответствует точке с координатами ($U=16.8, N=0.045$). Таким образом, значение критического влагосодержания продукта находится в пределах от 17 до 15 процентов [3].

Выводы

1. По термограммам материала и сушильного агента можно сделать вывод, что термограмма сушильного агента может быть рассмотрена как термограмма материала в сушильной камере $T_w = f(\tau)$.

2. Влагосодержание материала в первом периоде меняется линейно, во втором периоде кривая сушки существенно не линейна.

3. Кривая сушки в значительной степени зависит от типа материала и его свойств. По характеру кривой от точки критического влагосодержания до точки $U=5.34$, можно сказать, что материал относится к группе капиллярно-пористых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шински Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии (пер.с англ. под редакцией Е.К. Маслова). – М.: Мир, 1981. – 387 с.
2. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования С.И. Дворецкий, А.Ф. Егоров, Д.С. Дворецкий Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. университета, 2003. – С. 75-81.
3. Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1987. – С. 9-11.