

Е. В. Флисюк^{1,2}, Л. В. Шугарова¹**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ СУХОГО ЭКСТРАКТА ЖЕНЬШЕНЯ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ**¹ Санкт-Петербургская Химико-Фармацевтическая Академия;² ООО "НТФФ "ПОЛИСАН"

Сухой экстракт женьшеня, как большинство растительных экстрактов обладает значительной гигроскопичностью. Поэтому для снижения его гигроскопичности и создания таблетированной лекарственной формы женьшеня необходимо гранулирование сухого экстракта. Известно, что процесс гранулирования в псевдоожигенном слое является многостадийным и включает следующую совокупность взаимосвязанных процессов, участвующих в образовании гранул: непрерывный рост частиц за счет вводимых в слой жидкой и пылевидной фаз, истирание частиц, дробление и агломерация. Математическое описание такого процесса является сложной задачей.

В данной работе рассмотрен один из "частных" процессов гранулирования в псевдоожигенном слое — агломерация частиц, т.е. взаимодействие нескольких частиц слоя и вводимой в слой жидкой фазы с образованием более крупной частицы. Для математического описания процесса агломерации наиболее часто используют кинетическое уравнение Смолуховского [1].

$$\frac{\partial n(m)}{\partial \tau} = \frac{1}{2} \int_0^m \beta(m^*, m - m^*) \times n(m^*) \times n(m - m^*) dm^* - \int_0^{\infty} \beta(m, m^*) \times n(m) \times n(m^*) dm^*, \quad (1)$$

где: τ — время процесса; $n(m)$ — число частиц массы m в слое; $\beta(m^*, m - m^*)$ — ядро интегрального преобразования, описывающее вероятность результирующего парного взаимодействия частиц массой $m - m^*$ и m^* .

Уравнение Смолуховского описывает образование частиц массой m во времени в результате парного взаимодействия частиц массы m^* и $(m - m^*)$ и агломерацию частиц массы m с окружающими частицами в условиях модели полного перемешивания [2].

Ядро коагуляции $\beta(m, m^*)$ имеет стохастический смысл и определяется многими факторами: гидроди-

намическими условиями в аппарате (характеристиками случайного движения частиц в том числе и в зависимости от размера частиц), условиями распыления связующего агента, условиями теплообмена как между слоем и оживающим агентом, так и между частицами и связующей жидкостью, адгезией связующего агента к поверхности взаимодействующих частиц и т.д.

При известном виде ядра уравнение Смолуховского позволяет рассчитать дисперсный состав материала в аппарате, в любой момент времени, или определить время проведения процесса до заданного (необходимого) гранулометрического состава [3].

Первым приближением в наших исследованиях было принято, что $\beta(m, m^*) = \text{const}$, т.е. ядро интегрального преобразования не зависит от массы m и m^* (взаимодействующих частиц), а определяется условиями проведения опытов (гидродинамическим режимом, концентрацией связующего, распылом). В этом случае средняя масса частицы в зависимости от времени определяется уравнением:

$$m(\tau) = m_0 \left[1 + \frac{N_0 B \tau}{2} \right], \quad (2)$$

где: $B = \beta(m, m^*)$ — константа коагуляции;

$$\theta = \left[1 + \frac{N B \tau}{2} \right], \quad (3)$$

где: θ — характеристическое время системы, зависящее от условий проведения процесса агломерации и числа частиц в начальный момент времени (объема системы) $\theta \in [1; \infty]$.

$$m(\tau) = m_0 \times \theta, \quad (4)$$

где: m_0 — средняя масса частиц в начальный момент времени; $m(\tau)$ — средняя масса частиц в момент времени τ .



Рис. 1. Фракционный состав исходной смеси

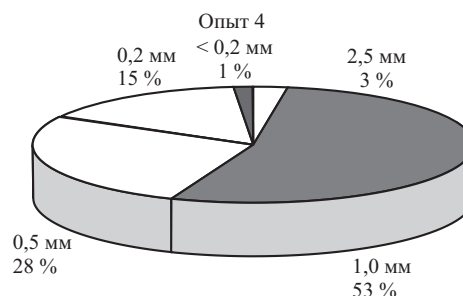


Рис. 2. Фракционный состав смеси по истечении 15 мин гранулирования

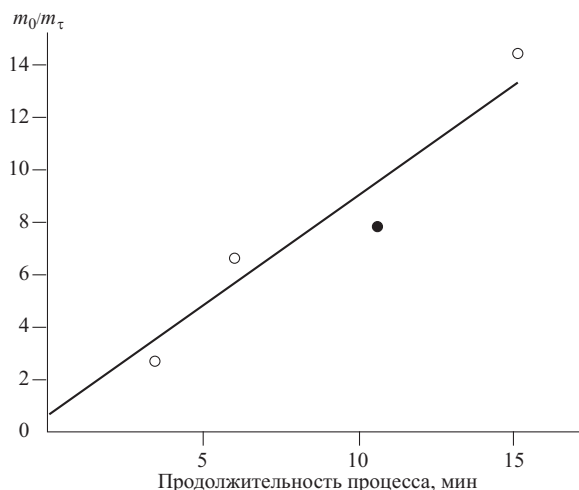


Рис. 3. Зависимость изменения средней массы частиц от времени

$$m(\tau)N = N_0 m_0 \rightarrow \frac{m(\tau)}{m_0} = \frac{N_0}{N} = \theta. \quad (5)$$

где: N_0 , N — число частиц в системе в начальный момент времени и момент времени τ .

Константа коагуляции B характеризует условия проведения процесса агломерации и определяется по экспериментальным данным:

$$B = \frac{\theta - 1}{2N_0\tau}. \quad (6)$$

Таким образом, изменение средней массы частиц во времени является функцией числа частиц в начальный момент времени (N_0) и времени процесса τ .

Для сопоставления результатов расчета с экспериментальными данными в качестве объекта исследования использовали смесь экстракта женьшеня с молочным сахаром. Условия проведения опытов приняты на основании результатов, полученных при оптимизации процесса гранулирования в псевдооживленном слое [4].

Экспериментальное исследование проводили в лабораторном аппарате псевдооживленного слоя типа “STREA” фирмы “AEROMATIC”, диаметром 0,12 м. Масса слоя составляла 250 г, расход оживляющего агента (воздуха) поддерживался в диапазоне 25 – 35 м³/ч. Температура воздуха на входе в продуктовый резервуар составляла 333 – 338 К, на выходе из него — 308 – 313 К. Давление сжатого воздуха, подаваемого на форсунку, варьировали в пределах 0,1 – 0,7 Ати. Длительность процесса составляла 20 мин. Пробы отбирали через определенные проме-

жутки времени (4, 7, 10, 15 мин), рассеивали на фракции и определяли массу каждой фракции. Результаты определения фракционного состава гранул приведены на рис. 1 – 2 в виде круговых диаграмм.

На основании экспериментальных данных построена зависимость изменения средней массы частиц от времени. Как видно на рис. 3, экспериментальные точки по изменению средней массы частиц достаточно хорошо аппроксимируются прямой линией, что свидетельствует о возможности использования принятых допущений.

В соответствии с полученными результатами мы определили численное значение константы коагуляции.

Экспериментально определено, что $m_0 = 0,09 \cdot 10^{-3}$ г, тогда $N_0 = M/m_0 = 200/0,09 \cdot 10^{-3} = 2,22 \cdot 10^6$. Из рис. 3 при $\tau = 12$ мин: $\theta = m(\tau)/m_0 = 10,7$ и, согласно формуле (6), $B = 1,27 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$.

Исходя из формул (4 – 5), $\theta = m(\tau)/m_0 = 1 + 0,0141\tau$. (7)

По результатам эксперимента средняя масса частицы (диаметром 1,00 мм) равна $1,08 \cdot 10^{-3}$ г. Тогда по формуле (7) рассчитываем необходимое время гранулирования смеси для получения частиц указанной средней массы — его численное значение составило 748 с или примерно 13 мин.

По результатам эксперимента определено численное значение константы B . Это позволило расчетным путем установить время гранулирования смеси экстракта женьшеня и молочного сахара при минимальном значении пылевидной фракции в грануляте, его численное значение (13 мин) хорошо согласуется с временем проведения процесса в оптимальных условиях (12,5 мин).

Таким образом, зная коэффициент B , определяемый для рассматриваемого процесса экспериментальным путем, с помощью предложенной модели можно определить время процесса гранулирования для достижения заданного значения средней массы частиц гранулированного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. М. Тодес, в кн.: *Проблемы кинетики и катализа*, Изд. АН СССР, Москва (1949), № 7, сс. 137 – 173.
2. В. М. Волошук, Ю. С. Седунов, *Процессы коагуляции в дисперсных системах*, Гидрометеиздат, Ленинград (1975), с. 233.
3. Е. В. Флисюк, Л. В. Шигарова, С. А. Минина, в сб.: *Фармация в XXI веке: Инновации и традиции, междунар. конф.*, С.-Петербург (1999), с. 77.
4. С. А. Минина, А. В. Шигарова, Д. В. Чижиков, Л. С. Ефимова, *Хим. фарм. журн.*, 30(11), 28 – 31 (1996).

Поступила 21.11.02