

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОРОШКА СО СТЕАРАТОМ ЦИНКА

Хохленков М.Е.¹, Сизов С.И.², Ефремов Е.В.³, Фейгин А.И.⁴

¹НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0701,

E-mail:meh2@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИЯТШ, инженер-исследователь,

E-mail:sis17@tpu.ru;

³НИ ТПУ, ИЯТШ, доцент,

E-mail:efremov@tpu.ru;

⁴АО «Прорыв», и.о. начальника отдела ИТ,

E-mail:feygina-ai@mail.ru

С использованием современных технологий создаются виртуальные модели производственных систем, что позволяет выбирать оптимальные режимы работы и проводить эксперименты без риска повреждения оборудования. Это также помогает оптимизировать износ и вероятность выхода из строя элементов системы.

Госкорпорация «Росатом» реализует проект «Прорыв», который направлен на создание ядерных технологий на базе замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с реакторами на быстрых нейтронах. С целью исследования работоспособности, управляемости и оптимизации как отдельных процессов, узлов и установок, так и технологических схем в целом, сотрудниками Отделения ядерно-топливного цикла ТПУ разрабатывается программный комплекс КОД ТП.

В схемах ЗЯТЦ присутствует технологический процесс перемешивания смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топливо) со стеаратом цинка. А так как данный модуль в КОД ТП отсутствует, появилась необходимость его создания.

Смешивание со стеаратом цинка происходит в аппарате усреднения, (рис. 1) где к грануляту добавляется стеарат цинка. Установка приводится во вращение и происходит перемешивание гранулята с частицами стеарата цинка, а также их прилипание к гранулам. Получаемый продукт – пресс-порошок, который используется для дальнейшего производства таблеток. Создание виртуальной модели этого процесса позволяет проводить оптимизацию и эксперименты без риска повреждения оборудования.



Рис. 1. Смешивание со стеаратом цинка в схеме фабрикации СНУП-топлива

При математическом описании процессов перемешивания обычно в качестве входных выбираются размеры частиц, их массовые доли, параметры установки, а в качестве выходных – коэффициент налипания/смешения. Поэтому при создании модели процесса производства пресс-порошка в качестве входных были выбраны (рис. 2): частота вращения контейнера (f), размеры гранул ($d_1 \dots d_k$), относительные доли их содержания в грануляте ($n_1 \dots n_k$), размеры частиц стеарата цинка ($d_{1c} \dots d_{kc}$), относительные доли их содержания ($n_{1c} \dots n_{kc}$), плотность гранулы (ρ), плотность частицы стеарата цинка (ρ_c), конструктивный коэффициент установки (k), а в качестве выходной – коэффициент налипания K_n , который численно равен отношению площади гранул, покрытых частицами стеарата цинка к общей площади гранул [1–3].



Рис. 2. Информационная схема модели процесса смешивания со стеаратом цинка

В качестве основы было решено взять ранее разработанную и внедренную в КОД ТП модель процесса усреднения, дополнив ее следующими соотношениями.

На основании [4] расчет коэффициента налипания K_H производится по формуле:

$$K_H = \frac{S_{\text{нал.}}}{S_{\text{общ.}}} = \left(\left(\frac{W_{\text{действ.}}}{W_{\text{необх.}}} \right)^{\left(\frac{1}{1 + e^{k \left(\frac{W_{\text{действ.}}}{W_{\text{необх.}}} - 1 \right)}} \right)} \right) (1 - e^{-\alpha t}), \quad (1)$$

где $S_{\text{нал.}}$ – площадь гранулята, покрытая стеаратом цинка; $W_{\text{необх.}}$ – массовая доля стеарата цинка, необходимая для полного покрытия гранулята; $W_{\text{действ.}}$ – массовая доля стеарата цинка, фактически добавленная в аппарат; k – конструктивный коэффициент; α – константа скорости смешения.

Для расчёта массовой доли стеарата цинка, необходимой для покрытия всех гранул частицами стеарата цинка было решено воспользоваться формулой [5]:

$$W = \frac{N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}}{D^3 \cdot \rho_{\text{гр.}} + N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}}, \quad (2)$$

где N – количество частиц стеарата цинка, необходимое для покрытия одной гранулы; D – диаметр частиц гранулята; d – диаметр частиц стеарата цинка; $\rho_{\text{гр.}}$ – плотность гранулы; $\rho_{\text{ст.}}$ – плотность частицы стеарата цинка.

Для расчёта количества частиц стеарата, покрывающих одну гранулу, было решено воспользоваться формулой, отражающей зависимость количества частиц стеарата цинка от размеров гранулы и частиц стеарата цинка:

$$N = \frac{4(D+d)^2}{d^2}, \quad (3)$$

где D – диаметр частиц гранулята; d – диаметр частицы стеарата цинка; N – количество частиц стеарата цинка, находящихся в контакте с гранулой.

В ходе исследования был изучен подход к описанию процесса смешения со стеаратом и создано математическое описание этого процесса. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности работы промышленных предприятий, использующих аналогичные установки.

Список литературы

1. Dry mixing and coating of powders – URL: https://www.researchgate.net/publication/45259158_Dry_mixing_and_coating_of_powders – Текст: электронный.
2. Mechanical Methods for Dry Particle Coating Processes and Their Applications in Drug Delivery and Development – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/78896815.pdf> – Текст: электронный.
3. Закономерности Измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава – URL: https://www.studmed.ru/andreev-s-e-tovarov-v-v-perov-v-a-zakonomernosti-izmelcheniya-i-ischislenie-harakteristik-granulometricheskogo-sostava_b4187c5c6a0.html
4. Functionalised particles using dry powder coating in pharmaceutical drug delivery: promises and challenges – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/78896815.pdf>
5. Dry Particle Coating for Improving the Flowability of Cohesive Powders URL: https://www.researchgate.net/publication/228408784_Dry_Particle_Coating_for_Improving_the_Flowability_of_Cohesive_Powders