

рована реализация модели с использованием программного обеспечения QT Creator и ее внедрение в программный комплекс ЦД МФР. Имитация работы линии заключается в проверке условий запуска/останова/нештатных ситуаций на различных участках и аппаратах, имитации работы ЛСУ, контроле зависимости между элементами и правильности выполнения технологических операций, передвижения промежуточных продуктов и вспомогательных компонентов сборки ТВС. Модель имитирует как прямой ход движения продукции при ее высоком качестве, так и обратный ход при обнаружении различных дефектов в тепловыделяющей сборке. Имитация выпуска ТВС с наличием различных дефектов и разборки дефектных ТВС с учетом различных типов нарушений технологических операций позволяет получать информацию для анализа возможных причин выпуска некачественной продукции в ходе работы реального оборудования. В результате работы была разработана имитационная модель технологической линии изготовления ТВС для МФР, состоящая из участков подачи комплектующих, сборки и контроля ТВС, запеналивания ТВС и разборки дефектных каркасов ТВС. Данная модель позволяет проводить анализ процесса изготовления ТВС МФР, учитывая различные параметры, ресурсы и условия каждого этапа сборки ТВС. Использование имитационной модели позволит получить информацию для оптимизации производства, а также проанализировать затраты на производство. Таким образом, модель позволяет имитировать работу линии ТВС в режиме сборки ТВС с учетом потребления ресурсов для выпуска продукции заданного качества, получать информацию для анализа возможностей оптимизации производства, временных и ресурсных затрат.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОРОШКА СО СТЕАРАТОМ ЦИНКА

Хохленков М.Е.¹, Сизов С.И.¹

Научные руководители: Ефремов Е.В.¹, Фейгин А.И.²

*¹Томский политехнический университет (ТПУ),
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ²АО «Прорыв», г. Москва
E-mail: meh2@tpu.ru*

В рамках проекта «Прорыв», реализуемого госкорпорацией «Росатом», сотрудники Отделения ядерно-топливного цикла ТПУ разрабатывают программный комплекс «Код оптимизации и диагностики технологических процессов (КОД ТП)». Этот комплекс предназначен для имитации работы технологических схем замкнутого ядерного топливно-

го цикла (ЗЯТЦ). Одной из важных операций в ЗЯТЦ является перемешивание смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топливо) со стеаратом цинка. Поэтому в комплексе КОД ТП требуется создать модуль, который будет имитировать процесс смешивания порошка со стеаратом цинка. При создании модели в качестве входных были выбраны: частота вращения контейнера (f), размеры гранул ($d_1 \dots d_k$), их массовые доли ($n_1 \dots n_k$), размеры частиц стеарата цинка ($d_{1c} \dots d_{kc}$), их массовые доли ($n_{1c} \dots n_{kc}$), плотность гранулы (ρ), плотность частицы стеарата цинка (ρ_c), конструктивный коэффициент (k), а в качестве выходной – коэффициент налипания K_n , который численно равен отношению площади гранул, покрытых частицами стеарата цинка к общей площади гранул. В качестве основы взята ранее разработанную и внедренную в КОД ТП модель процесса усреднения, дополнив ее следующими соотношениями.

Расчет коэффициента налипания K_n производился по формуле [1]:

$$K_n = \frac{S_{\text{нал.}}}{S_{\text{общ.}}} = \left(\left(\frac{w_{\text{действ.}}}{w_{\text{необ.}}} \right)^{\left(\frac{1}{1 + e^{k \left(\frac{w_{\text{действ.}}}{w_{\text{необ.}}} - 1 \right)}} \right)} \right) (1 - e^{-\alpha t}),$$

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

Расчёт необходимой массовой доли стеарата цинка производился по формуле:

$$w_{\text{необ.}} = \frac{N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}}{D^3 \cdot \rho_{\text{гр.}} + N \cdot d^3 \cdot \rho_{\text{ст.}}},$$

где N – количество частиц стеарата цинка, 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.

Список использованной литературы

1. Dry mixing and coating of powders – URL: <https://www.researchgate.net/publication/45259158> Dry mixing and coating of powders. – Текст: электронный.