

РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ УЧАСТКА ГРАНУЛИРОВАНИЯ

Семенов Д.Ю.¹, Сизов С.И.², Ефремов Е.В.³, Фейгин А.И.⁴

¹Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа ядерных технологий (ИЯТШ),
зр. 0701, dys12@tpu.ru

²ТПУ, ИЯТШ, инженер-исследователь, sis17@tpu.ru;

³ТПУ, ИЯТШ, доцент, efremov@tpu.ru;

⁴АО «Прорыв», и.о. начальника отдела ИТ, feygin-ai@mail.ru

Введение

Виртуальное моделирование в производстве, научных исследованиях, экономике, военной сфере и т. д. позволяет, например, найти оптимальные режимы работы оборудования, проводить виртуальные эксперименты без риска повреждения дорогостоящего оборудования, а также определять и оптимизировать износ и вероятность отказов в производственных процессах.

В рамках проекта «Прорыв» Государственной корпорации «Росатом» сотрудниками Отделения ядерно-топливного цикла ТПУ разрабатывается программный комплекс «Код оптимизации и диагностики технологических процессов (КОД ТП)». Этот комплекс предназначен для имитации работы технологических схем замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с целью исследования работоспособности, управляемости и оптимизации как отдельных процессов, узлов и установок, так и технологических схем в целом.

Одним из технологических процессов ЗЯТЦ (см. рис. 1) является гранулирование порошка смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива) [1, 2]. Именно по этой причине возникла необходимость создания в КОД ТП модуля имитации процесса гранулирования.

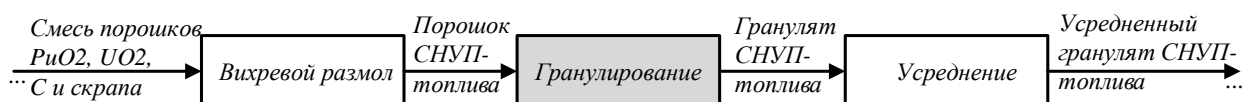


Рис. 1. Гранулирование в схеме фабрикации СНУП топлива

Модель процесса гранулирования

Для поиска необходимого в ходе разработки модели распределения частиц гранулята по диаметрам можно воспользоваться распределением Свенсона [3–5]. Коэффициенты распределения задаются с помощью параметров работы установки.

$$f(d) = A e^{-\left(\frac{d}{d_0}\right)^c} \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right)^{\left(\frac{\rho_{\text{гр}} n_{\text{ш}}}{k} - 1\right)}, \quad (1)$$

где d – диаметр гранул; d_0 – размер отверстий сетки гранулятора; $\rho_{\text{гр}}$ – насыпная плотность гранулята; $n_{\text{ш}}$ – частота вращения шнека; c^{-1} , k , A – параметры распределения.

Для вычисления коэффициента A необходимо провести нормировку:

$$A = \frac{1}{\int_0^{\infty} f(x) dx}. \quad (2)$$

Описание алгоритма

Для программной реализации данной модели решено было использовать фреймворк QT C++, так как другие модули в КОД ТП к моменту создания модели уже были написаны с помощью упомянутого фреймворка. Процесс разбиения на классы был выполнен с учетом специфики данной модели.

Был введен класс Granulation, который описывает общий функционал установки гранулирования. Такое описание процесса гранулирования одним классом необходимо для упрощения интеграции модели в КОД ТП. Для этого класса был разработан набор методов, предназначенных для приема входных данных с установки вихревого размола и передачи данных установке усреднения.

Для передачи информации между установками о составе слоев материала был создан класс Powder. На его основе были созданы производные классы PowderGrinded и PowderGranulated, которые

описывают параметры слоя материала, принятого с установки вихревого размола, и установки гранулирования соответственно. Такое описание слоев материалов позволяет стандартизировать структуру хранения информации об исходном материале для использования разными установками.

Моделирование процесса гранулирования начинается с создания и инициализации всех задействованных переменных (см. рис. 2). Далее начинается основной программный цикл, в котором проверяется информация о контейнерах, поступивших с установки вихревого размола, и информация об изменениях настроек установки гранулирования. Затем вызывается метод обновления текущего состояния и метод записи результатов итерации в файл. После завершения основного расчетного цикла происходит запись в файл рассчитанных параметров эффективности процесса и потребления ресурсов.

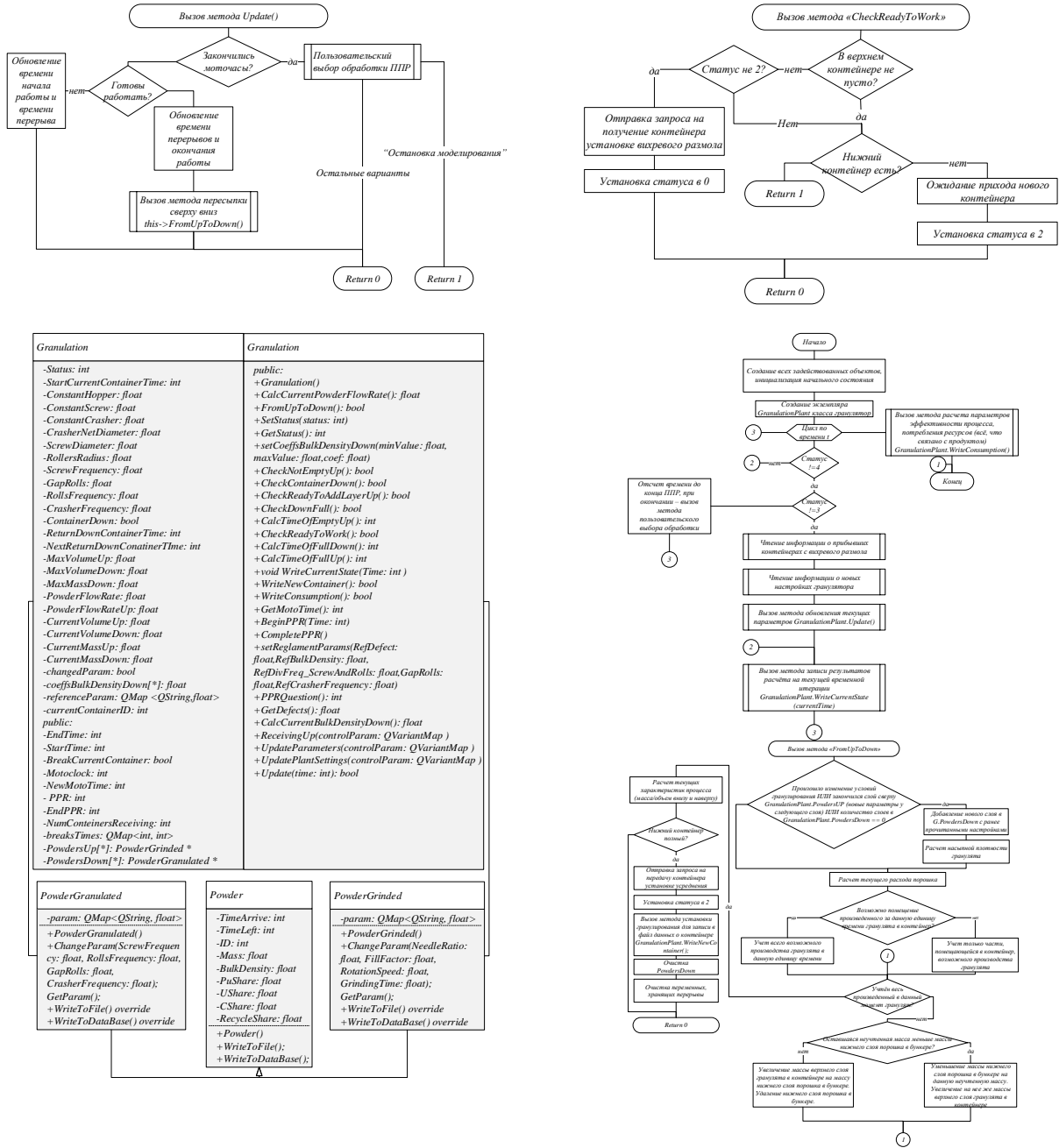


Рис. 2. UML-диаграммы разработанных классов и схемы алгоритма работы программы

Помимо указанного особенно важными для реализации модели участка гранулирования являются следующие методы.

Метод «Update» проверяет готовность установки к работе, осуществляет проверку необходимости проведения планово-предупредительного ремонта, фиксирует время начала работы, время окончания работы и перерывы в работе установки.

Метод «CheckReadyToWork» проверяет наполненность бункера установки, наличие контейнера снизу и выполняет проверку того, что он не наполнен полностью.

Метод «FromUpToDown» производит расчет текущего расхода порошка, который переводится в гранулят в контейнере. Затем выполняет расчет текущих характеристик процесса и проверяет наполненность нижнего контейнера. В случае его заполнения производится запись результатов производства данного контейнера в выходной файл и производится очистка переменных.

Разработанная модель позволяет пользователю изменять настройки параметров гранулирования в процессе работы. Для этого используются три входных файла: «Постоянные входные параметры установки.json», «Переменные входные параметры установки.json» и «Параметры входящего порошка.json». Первый файл содержит настройки гранулятора, которые невозможно изменить в процессе работы установки, поскольку они сопровождаются непосредственным вмешательством в конструкцию установки. Второй файл содержит данные, изменение которых связано с изменением настроек гранулятора. Эти данные хранятся в виде массива, из которого производится чтение и изменение настроек при достижении заданного в этом массиве времени. Третий файл содержит информацию о порошке, содержащемся в контейнерах, поступающих с установки вихревого размола. Чтение данного файла осуществляется аналогично предыдущему файлу.

Выходные данные организованы таким образом, чтобы при обработке полученных результатов пользователь мог работать с готовыми массивами данных, содержащих зависимость характеристик гранул от характеристик используемого порошка и настроек гранулятора. Также выходные данные обеспечивают возможность проверки состояния системы в каждую расчетную итерацию, что необходимо для анализа работы реализуемого алгоритма установки гранулирования.

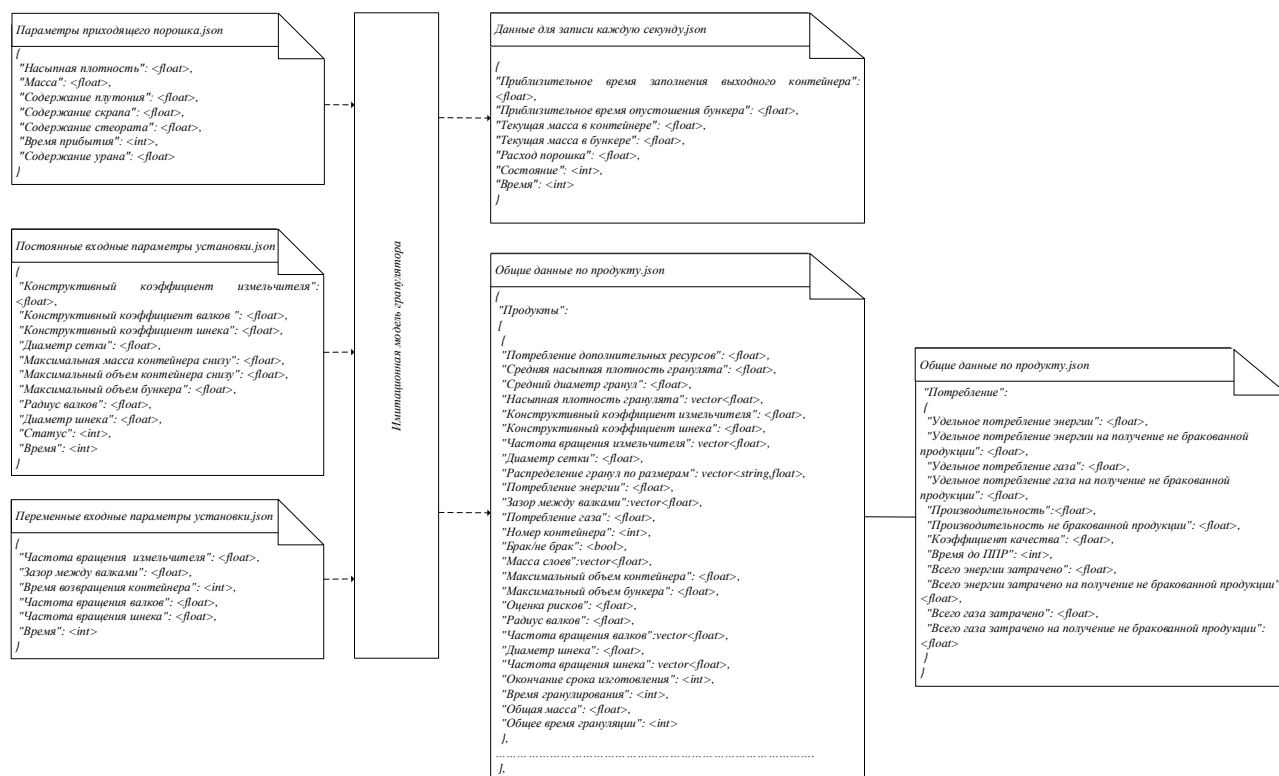


Рис. 3. Формат используемых данных

Для проверки работоспособности модели был сформирован набор входных данных (таблица 1).

Тестовый набор данных

Зазор между валками	Частота вращения валков	Частота вращения шнека	Размер отверстий сетки	Насыпная плотность порошка	Частота вращения измельчителя
1,4...6 мм	1...15 об/мин	10...150 об/мин	450 мкм	4,5...5 г/см ³	40...200 об/мин

При проведении моделирования были получены результаты, представленные на рис. 4.

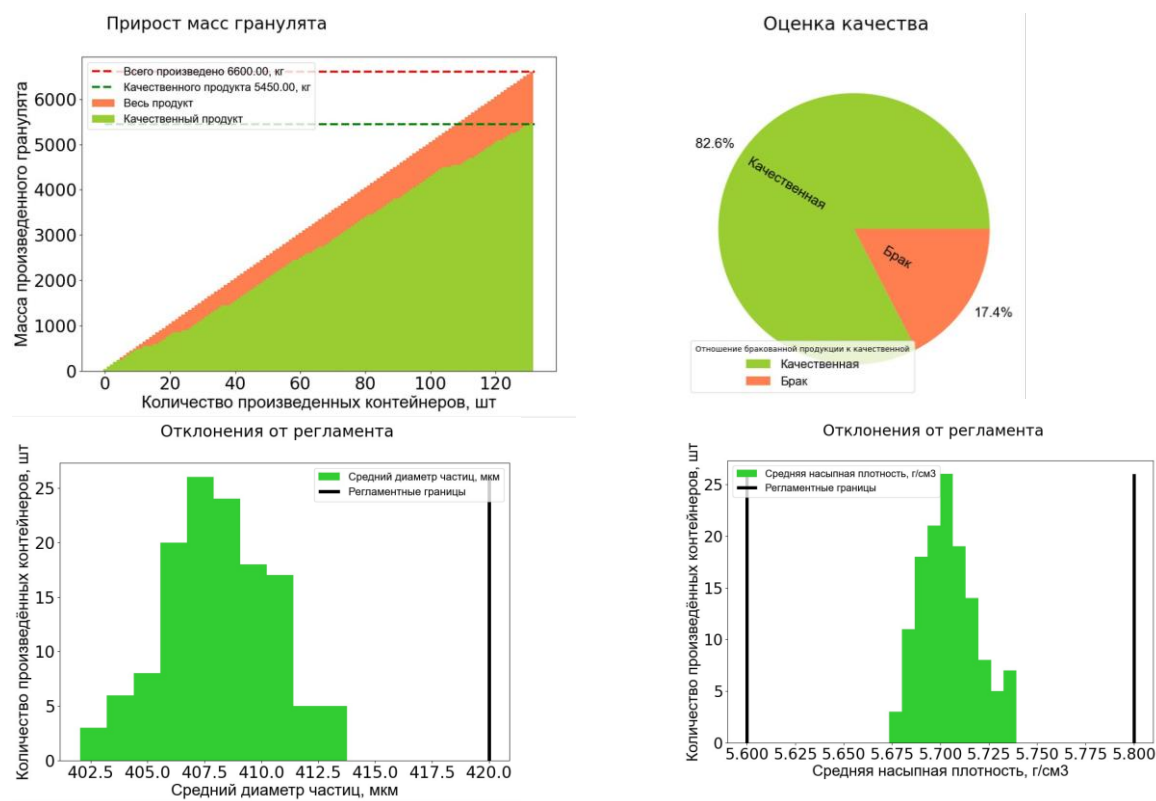


Рис. 4. Результаты моделирования

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана модель имитации работы участка гранулирования. Полученные в данной работе результаты предоставляют возможность оптимизации операций в производственных процессах и повышения эффективности деятельности промышленных предприятий, применяющих аналогичное оборудование.

Список использованных источников

1. Патент RU2785819C1 Колупаев Д.Н., Баранов О.Г., Карпенко А.А., Рассагагин С.В., Падалкин П.А., Апальков Г.А., Никитин С.С. Способ изготовления таблеток смешанного оксидного уран-плутониевого топлива.
2. Патент RU 2772886 Баранов О.Г., Карпенко А.А., Апальков Г.А., Ильиных Ю.С., Никитин С.С., Бычков И.С. Способ изготовления таблетированного уран-плутониевого топлива для тепловыделяющих элементов ядерных реакторов.
3. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава. – М. : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1959. – 437 с.
4. Luke R. Schenck, Russell V. Plank Impact milling of pharmaceutical agglomerates in the wet and dry states // International Journal of Pharmaceutics. – 2008. Vol. – 348. – P. 18–26.
5. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок: Пер. с англ. Под редакцией Ю.Ф. Чернилина. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 408 с.