

РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ И ХРАНЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКА

Смирнов Л.Ю.¹, Сизов С.И.², Ефремов Е.В.³, Фейгин А.И.⁴

¹Томский политехнический университет, ИЯИШ, гр. 0701, lys9@tpu.ru

²Томский политехнический университет, ИЯИШ, инженер-исследователь, sis17@tpu.ru

³Томский политехнический университет, ИЯИШ, доцент, efremov@tpu.ru

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

Введение

В современной промышленности программное моделирование технологических процессов является необходимым инструментом. Оно позволяет оптимизировать производственные процессы, снизить издержки на проектирование и модернизацию производства, а также повысить качество продукции и улучшить эффективность управления производством. В рамках проекта «Прорыв», реализуемого госкорпорацией Росатом, сотрудниками ТПУ разрабатывается цифровой двойник модуля фабрикаци-рефабрикаци ядерного топлива (ЦД МФР). Он предназначен для моделирования технологических процессов замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). Одним из таких процессов является усреднение. Настоящая работа посвящена созданию соответствующего программного блока в ЦД МФР.

Описание модели

Ключевым процессом в моделируемом участке является процесс усреднения [1] ядерного топлива, который протекает в специальной установке – усреднителе [2], на участке усреднения протекают и другие процессы: временное хранение, перемещение порошка между установками участка, внесение добавки в усредненный порошок, смешение порошка с добавкой (в усреднителе), пробоотбор и лабораторный анализ порошков, а также процессы граничащих с участком: гранулирование (перед усреднением), прессование (после усреднения).

Разработанная модель позволяет решать следующие задачи:

- оценка риска производства некачественной продукции;
- управление ресурсами (расчет удельного потребления ресурсов);
- определение времени до начала планово-предупредительных работ (ППР);
- определение и визуализация показателей, характеризующих работу участка, обработка и представление полученной информации для персонала.

Для создания ЦД моделируемого участка была разработана математическая модель процесса усреднения. На ее вход поступают данные о гранулометрическом составе порошка с выхода модели гранулирования, а выходными данными модели усреднения являются данные о степени смешения порошка. Параметрами модели являются частота вращения барабана усреднителя и время усреднения.

Так как топливный порошок состоит из двух компонентов, о качестве смеси судят по степени распределения одного (ключевого) компонента в объеме второго компонента. В качестве основы критерия оценки качества смеси принято среднее квадратическое отклонение содержания в пробах, взятых из смеси [3].

Программа, реализующая модель участка, была написана на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt [4]. Для того, чтобы реализовать вышеуказанный функционал модели, была сформирована система классов, представляющих каждый объект участка и обладающих определенными методами и свойствами. В диаграмме (рис. 1) присутствуют следующие основные элементы: «Operation» – базовый класс для операций участка, классы-наследники: «Averaging», «Probe» (пробоотбор), «Granulating» (гранулирование), «Press» (прессование), «Storage» (хранилище) – эти классы переопределяют работу некоторых методов отцовского класса в соответствии с моделью этого процесса, класс «Manipulator» (манипулятор), перемещающий продукты с одной операции на другую, класс «Container» (контейнер), в котором порошок со своими данными перемещается по участку между установками, класс «Batch» (партия) для хранения характеристик пресс-порошка.

Работа модели участка происходит следующим образом: создаются все существующие объекты и установки участка усреднения, выполняется установка атрибутов объектов значений, предусмотренных начальными условиями, запускается цикл по времени, в рамках которого осуществляется ряд следующих проверок, связанных с ходом времени, в результате которых состояние системы обновляется:

- проверка всех объектов на факт завершения выполнения текущей операции;

- проверка всех объектов на необходимость проведения ППР;
- проверка всех объектов на факт окончания проведения ППР.

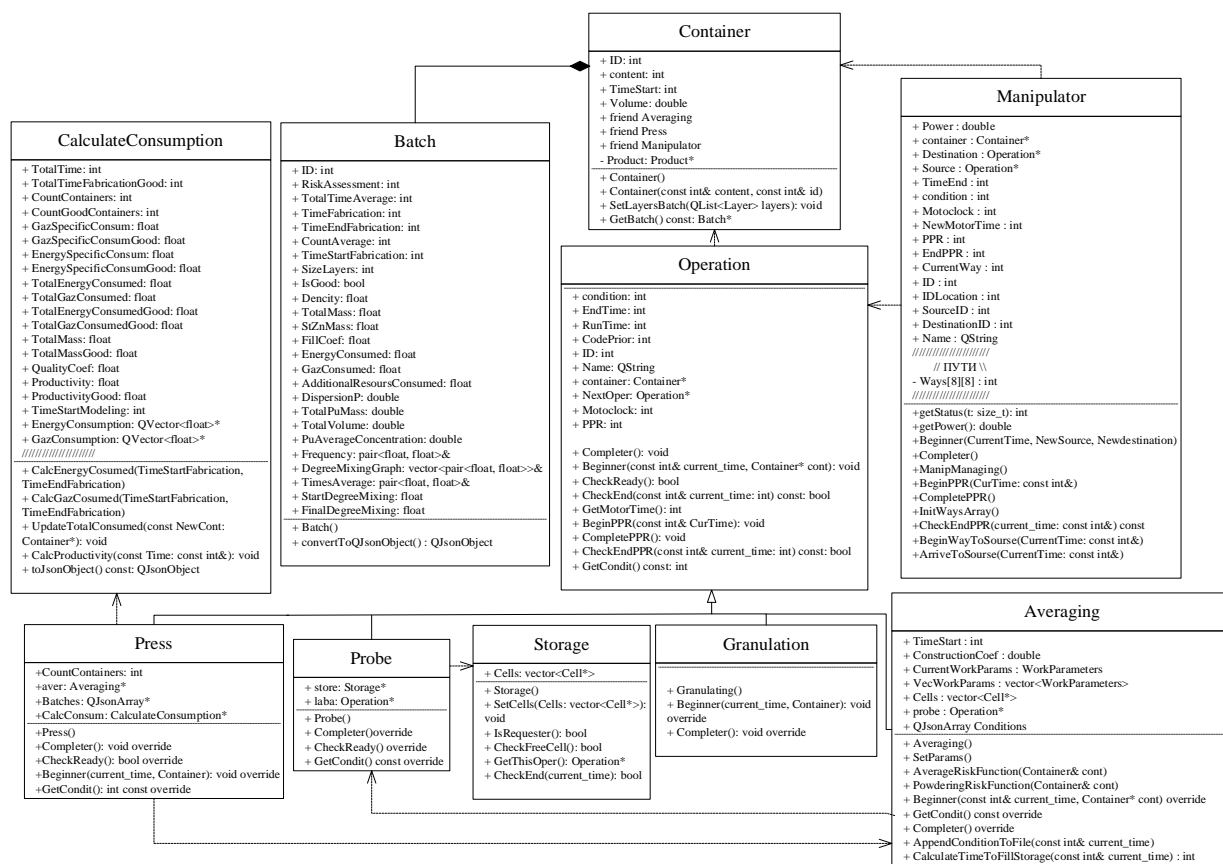


Рис. 1. UML-диаграммы разработанных классов

Далее следует проверка состояния манипулятора. Если его состояние поменялось и манипулятор не занят, то запускается алгоритм управления манипулятором, результатом работы которого является выезд манипулятора к установке, требующей забрать контейнер, если такая есть. Иначе манипулятор будет простаивать, ожидая выполнения данного условия. В конце итерации расчетного цикла осуществляется дополнение выходных файлов текущей информацией о состоянии системы.

Алгоритм работы программы при прохождении производственного цикла следующий: гранулятор наполнил контейнер, данные по составу и параметрам гранулята записались в контейнер, установка переходит в состояние ожидания манипулятора, манипулятор с помощью алгоритма выбрал установку гранулирования для забора у неё контейнера и перешел в состояние работы, когда манипулятор прибыл к гранулятору и забрал контейнер, последний переходит в состояние простаивания. Когда манипулятор привез контейнер на установку усреднения, она перешла в состояние работы, а манипулятор – простаивания, происходит вызов модели усреднителя. Так как поступивший гранулят находится на стадии не усредненного гранулята, вызывается модель усреднения, которая преобразовывает данные о грануляте и создает новые, и сохраняет их в структуре Batch. По завершению работы установки усреднения происходит перемещение контейнера в пробоотборник, где берется проба и отправляется в лабораторию для анализа, длящегося некоторое время. После взятия пробы контейнер попадает на склад, где ожидает завершения анализа. При положительном результате анализа контейнер перемещается на установку добавления стеарата цинка, далее контейнер вновь попадает в установку усреднения, где вызывается модель смешения со стеаратом цинка, которая преобразовывает данные о грануляте и создает новые, и сохраняет их в структуре Batch. После этого контейнер перемещается в ячейку хранилища, где ожидает результата анализа. Когда лаборатория выдает положительный результат, контейнер перемещается на установку прессования, в случае отрицательного результата анализа, контейнер отправляется туда же, но с пометкой «брак», в случае с усредненным гранулятом происходит то же самое. Установка прессования является конечным пунктом в алгоритме работы программы, в ней происходит

расчёт расходов ресурсов, затраченных на производство продукта, расчет коэффициента эффективности производства и других данных, а также запись данных в выходной json-файл. Далее контейнер очищается и перемещается на установку гранулирования и алгоритм повторяется в отношении данного контейнера вплоть до истечения времени моделирования. Разработанный алгоритм работы модели участка прессования представлен на рис. 2.

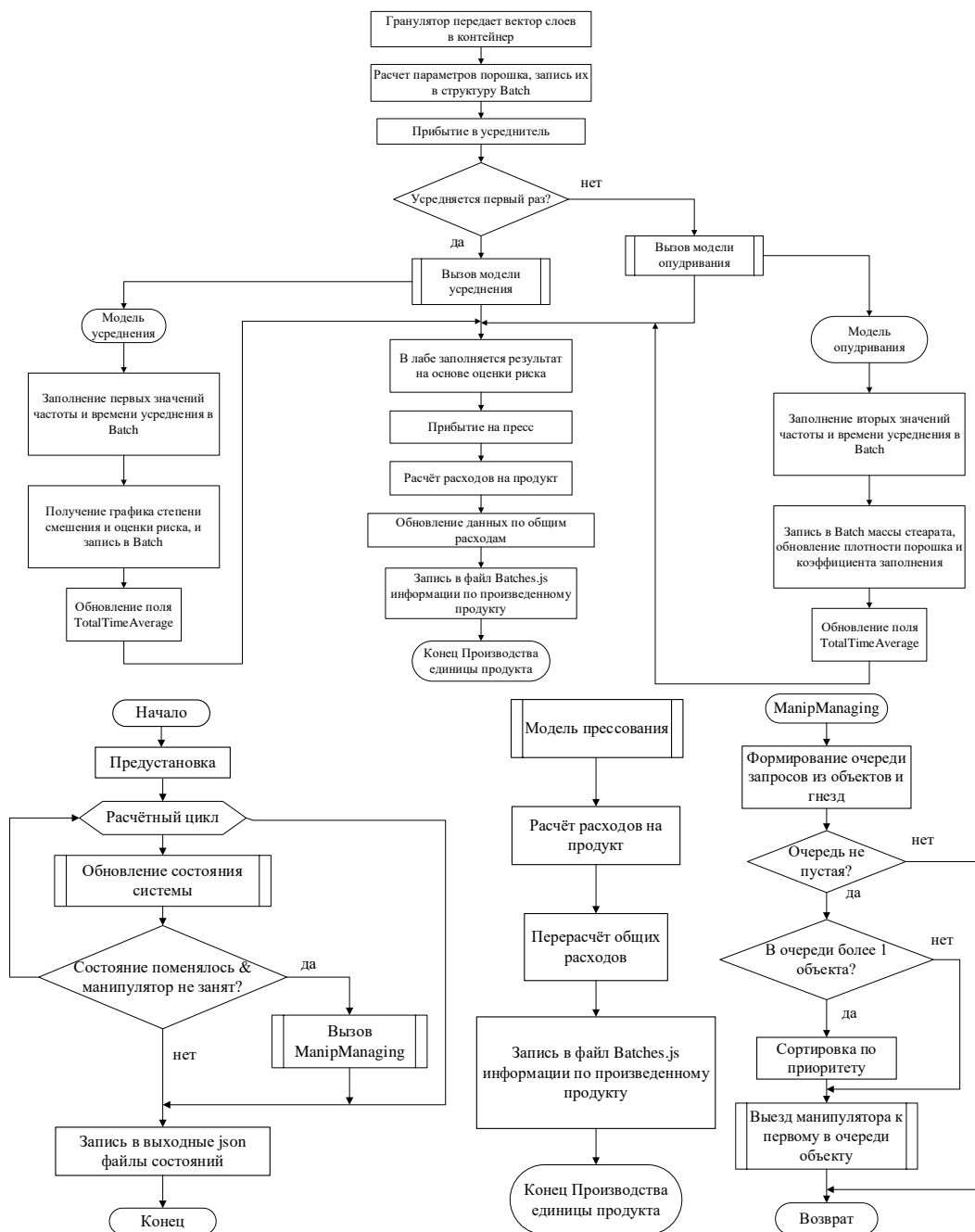


Рис. 2. Схема алгоритма программы

В результате работы программа генерирует файлы, содержащие состояния производственного участка и произведенные продукты с их характеристиками.

Ниже приведены диаграммы, иллюстрирующие результаты моделирования, среди них: общая масса произведённого продукта в зависимости от количества партий продукта, график работы оборудования, диаграмма доли качественного продукта, диаграмма потребленных ресурсов на произведенные партии продукта.

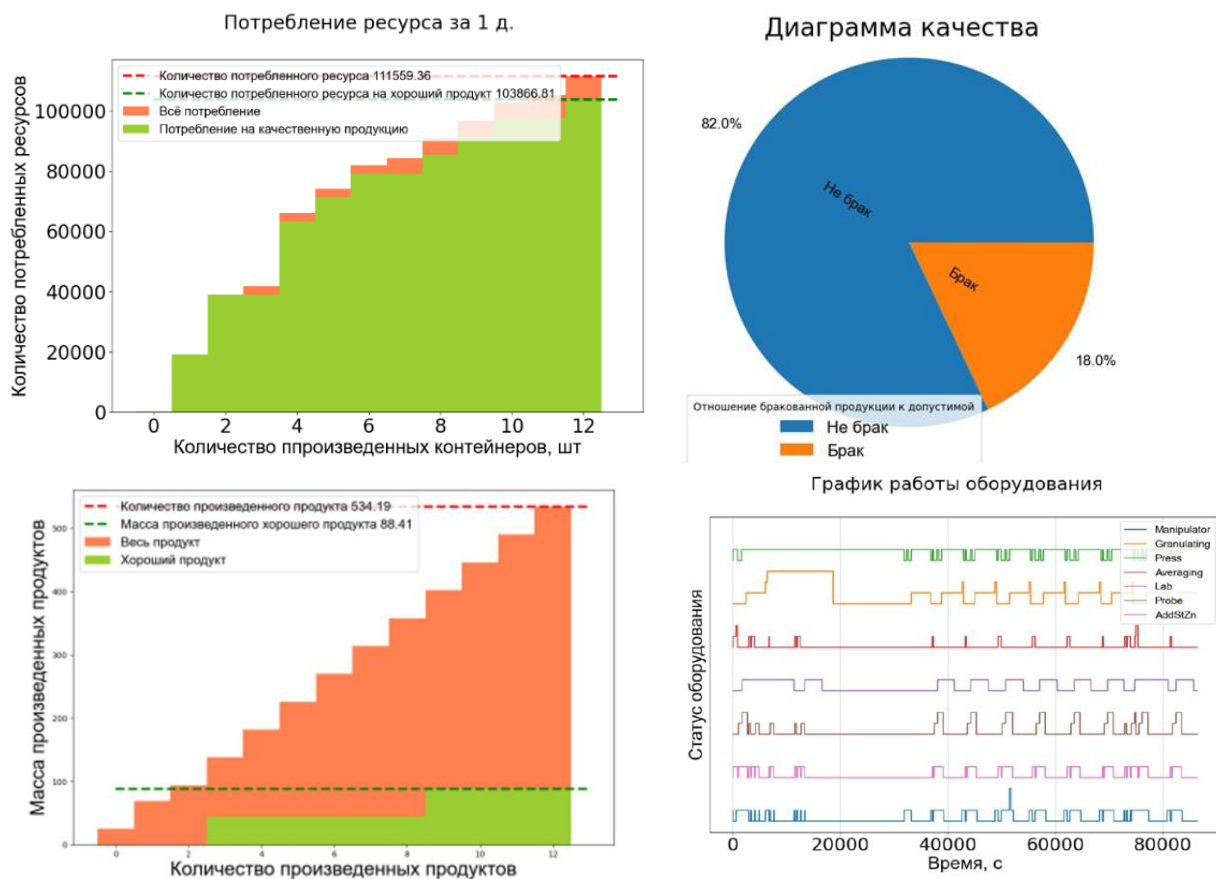


Рис. 3. Результаты моделирования работы участка усреднения

Так, из графика работы оборудования видно, что чаще всего ожидает манипулятора установка пробоотбора, это позволяет сформулировать предположение о том, что использование двух подобных установок позволит достигнуть режима работы с меньшим суммарным временем простоя.

Заключение

В результате работы была разработана модель имитации работы участка усреднения. 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 RU 2 772 886 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. – Текст : электронный. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2785819C1/ru>.
2. Глушенков А.Е., Давыдов А.В., Чамовских Ю.В., Шкурин П.А., Сергеев Н.Г. Смирнов В.П., Павлов С.В., Денисов А.Л., Renard F., Reunaud V. Особенности проектирования, изготовления и внедрения лабораторного и промышленного оборудования для фабрикации таблеток МОКС и нитридного топлива в РФ. – Текст : электронный. – URL: <https://sosny.ru/files/publications/Nitride%20Fuel%20Pellets.pdf>.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
4. Шамаев С.Ю., Черноусова А.М. Применение объектно-ориентированных технологий при моделировании высокоавтоматизированных производственных систем. – 2012.
5. 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. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2785819C1/ru> (дата обращения 25.09.2023).