

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА УСРЕДНЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКА

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

¹НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0701,

E-mail: lys9@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: feygin-ai@mail.ru

В рамках проекта «Прорыв» госкорпорации «Росатом» сотрудниками ТПУ разрабатывается цифровой двойник модуля фабрикации топлива. Среди прочего он предназначен для моделирования процессов, происходящих на участке усреднения пресс-порошка. Настоящая работа посвящена созданию модели для соответствующего программного блока.

Разработанная в данной работе 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.

Входными данными для разрабатываемой модели являются гранулометрический состав гранулята, частота вращения и время усреднения. Выход – степень смешения порошка. Так как топливный порошок состоит из двух компонентов, о качестве смеси судят по степени распределения ключевого компонента в объеме второго компонента. В качестве основы критерия оценки качества смеси принято среднее квадратическое отклонение содержания ключевого компонента в пробах, взятых из смеси. Дисперсия распределения целевого компонента по объему загрузки контейнера определяется по формуле

$$\sigma = \left(\sum_{i=1}^N (C_i - C)^2 V_i \right) / \left(\sum_{i=1}^N V_i \right), \quad (1)$$

где $V_i = M_i/\rho_i$ – объем i -го слоя гранулята; $C_i = m_i/V_i$ – концентрация целевого компонента в i -м слое; $C = (\sum_{i=1}^N m_i) / (\sum_{i=1}^N V_i)$ – концентрация целевого компонента в контейнере, содержащем N слоев гранулята.

Начальная степень смешения определяется по формуле:

$$Z_0 = 1 - \sqrt{\sigma/\sigma_0}, \quad (2)$$

где σ_0 – дисперсия для случая полного разделения компонентов смеси.

Степень смешения в процессе усреднения:

$$Z = Z_0 + (1 - e^{-\Phi t}(1 - Z_0)), \quad (3)$$

где Φ – эмпирическая константа скорости смешения.

Скорость смешения, помимо прочего, зависит от частоты и коэффициента заполнения контейнера аппарата, т. к. при некоторой частоте порошок прижимается центробежной силой к стенкам, а также «оптимальная» частота, при которой скорость перемешивания максимальна. Эту зависимость можно приблизительно описать следующим образом:

$$\begin{cases} \Phi = C_{yc}(1 - k_3) \left(\frac{2n}{n_{opt}} - \frac{n^2}{n_{opt}^2} \right), & 0 \leq n \leq n_{opt} \\ \Phi = C_{yc}(1 - k_3) \left(1 + \frac{2nn_{opt} - n^2 - n_{opt}^2}{(n_{кр} - n_{opt})^2} \right), & n_{opt} < n \leq n_{кр}, \end{cases} \quad (4)$$

где C_{yc} – конструктивный коэффициент; k_3 – коэффициент заполнения контейнера гранулятом; n – частота вращения контейнера усреднителя; n_{opt} – «оптимальная» частота вращения контейнера; $n_{кр}$ – критическая частота вращения контейнера.

Программа, реализующая модель участка, была написана на языке программирования C++ с использованием фреймворка *Qt*. Для того, чтобы реализовать функции модели, была сформирована система классов, представляющих вышеуказанные объекты участка.

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 проверок, связанных с ходом времени, по итогу которых состояние системы обновляется. Разработанный алгоритм работы цифрового двойника участка усреднения представлен на рис. 1.

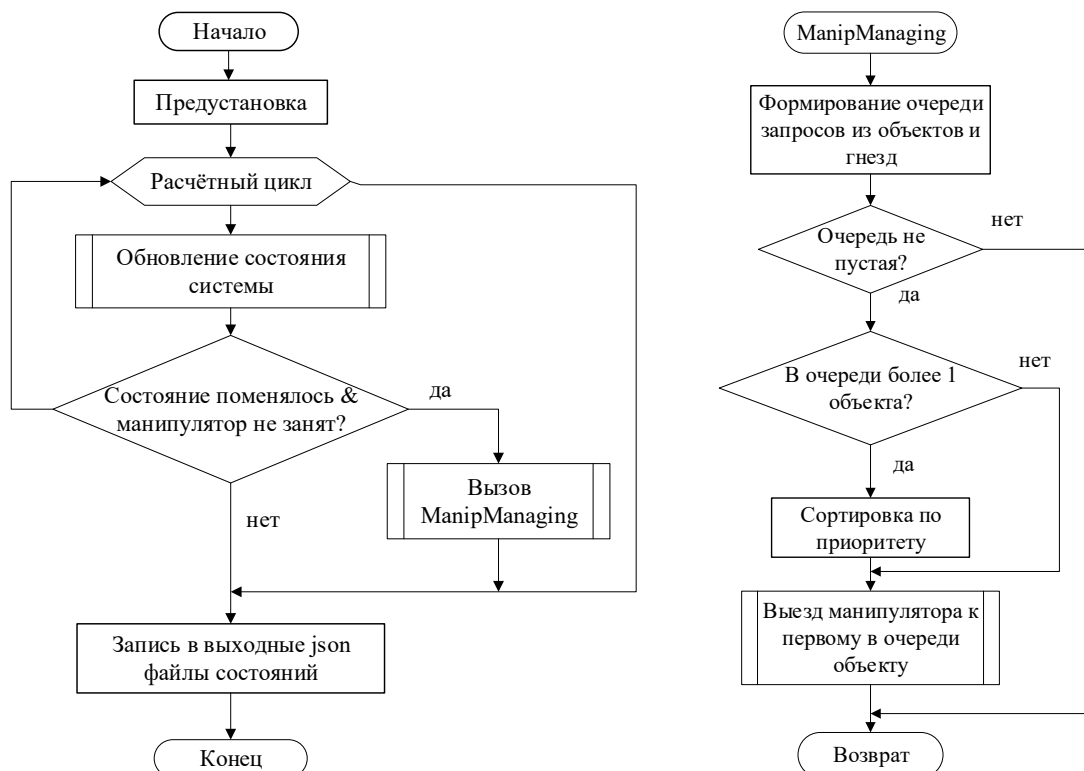


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы

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

Ниже приведены диаграммы, которые иллюстрируют результаты моделирования работы производственного участка за время моделирования, среди них: общая масса произведённого продукта в зависимости от количества партий продукта, график работы оборудования, диаграмма доли качественного продукта, график изменения степени смешения.

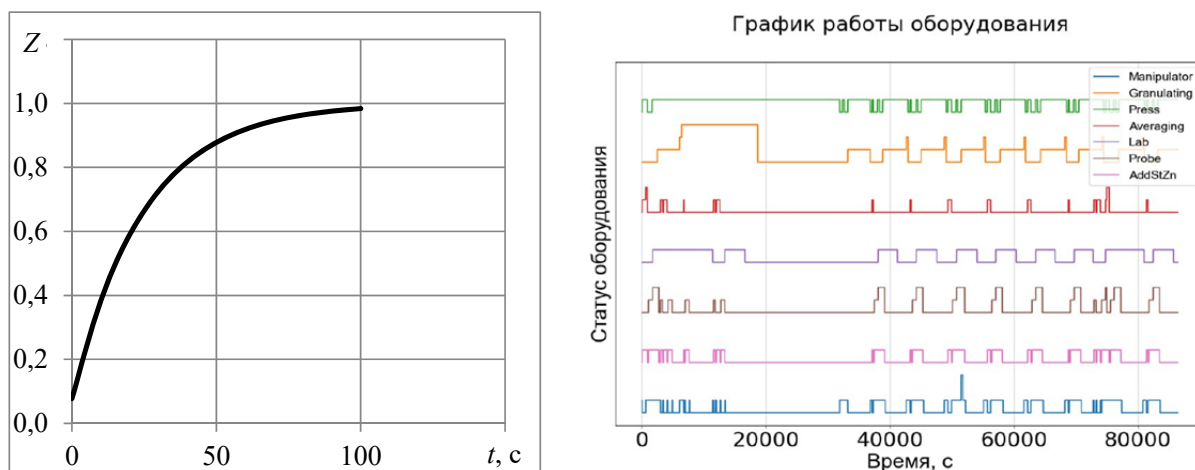


Рис. 2. Результаты моделирования работы участка усреднения

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 литературы

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
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., F. Renard, V. Reynaud Особенности проектирования, изготовления и внедрения лабораторного и промышленного оборудования для фабрикации таблеток МОКС и нитридного топлива в РФ. [Электронный ресурс] // URL: <https://sosny.ru/files/publications/Nitride%20Fuel%20Pellets.pdf>.