

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы «Наука» (Проект № FSWW-2023-0003).

### Список использованной литературы

1. Spannagel S. et al. Allpix<sup>2</sup>: A modular simulation framework for silicon detectors // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2018. V. 901. – P. 164–172.
2. Agostinelli S. et al. Geant4 – a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. V. 506. № 3. – P. 250–303.
3. Brun R., Rademakers F. ROOT – An object oriented data analysis framework // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 1997. V. 389. № 1–2. – P. 81–86.

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ И ХРАНЕНИЯ ПРЕСС-ПОРОШКА

*Смирнов Л.Ю.<sup>1</sup>, Сизов С.И.<sup>1</sup>*

*Научные руководители: Ефремов Е.В.<sup>1</sup>, Фейгин А.И.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет (ТПУ),  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, <sup>2</sup>АО «Прорыв», г. Москва  
E-mail: lys9@tpu.ru*

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

Входными данными для разрабатываемой модели являются гранулометрический состав гранулята, частота вращения и время усреднения. Выход – степень смешения порошка.

Дисперсия распределения целевого компонента по объему загрузки контейнера определяется по формуле  $\sigma = (\sum_{i=1}^N (C_i - C)^2 V_i) / (\sum_{i=1}^N V_i)$ , 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.

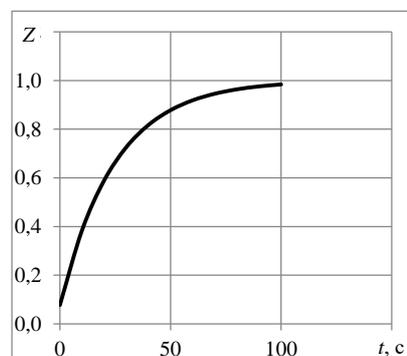
Начальная степень смешения определяется по формуле:  $Z_0 = 1 - \sqrt{\sigma/\sigma_0}$ , где  $\sigma_0$  – дисперсия для случая полного разделения компонентов смеси.

Степень смешения в процессе усреднения:  $Z = Z_0 + (1 - e^{-\Phi t})(1 - Z_0)$ , где  $\Phi$  – эмпирическая константа скорости смешения.

Программа, реализующая модель участка, была написана на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt. Была сформирована следующая система классов, представляющих каждый объект технологического участка: базовый класс для операций участка и классы-наследники, переопределяющие работу некоторых методов базового класса, а также классы для хранения данных о порошке.

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

В результате работы программа генерирует файлы, содержащие состояния производственного участка и произведенные продукты с их характеристиками. Например, на рисунке представлен график изменения степени смешения при следующих параметрах:  $\sigma_{нач} = 0,037$ ,  $\sigma_0 = 0,475$ ,  $n = 30$  об/мин,  $k_3 = 0,95$ .



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТОВ ВЫВОДА В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВНЕШНИХ ПУЧКОВ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У400Р

Басс В.И.<sup>1</sup>

*Научный руководитель: Мышкин В.Ф.<sup>2</sup>, д.ф.-м.н., профессор*

*<sup>1</sup>Объединённый институт ядерных исследований,*

*Лаборатория ядерных реакций*

*<sup>2</sup>Томский политехнический университет,*

*634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: vадim2@tpu.ru, vадim2@jinr.ru*

Лаборатория ядерных реакций им. Флерова Объединённого института ядерных исследований проводит работы по реконструкции циклотрона У400 в У400Р [1]. В проекте реконструкции ускорителя предусмотрено создание новой системы вывода пучков заряженных частиц. В новой конструкции, после коррекции по углам траектории ускорен-