

## КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРАЦИИ МДС-СИСТЕМ И СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2023 П.И. Киселева<sup>1</sup>, А.А. Малютин<sup>2</sup>, А.И. Хаймович<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С.П. Королева, Россия

В программной среде AnyLogic методом дискретно-событийного моделирования разработана имитационная модель автоматизированного цеха механической обработки ответственных деталей, штучно-калькуляционное время для которых было получено из МДС-системы.

**Ключевые слова:** имитационная модель, технологический процесс, AVG тележки, агент, заготовка, диаграмма процесса, рабочий центр, деталь.

Рассмотрим базовые алгоритмы оперативного управления цехом с использованием интеграции МДС-систем и систем имитационного моделирования на основе дискретно-событийного моделирования производственно-технологической системы на примере имитации работы автоматизированного участка механической обработки деталей в программной среде AnyLogic.

Технологический процесс (ТП) в целом из-за большого количества операций, оборудования, оснастки, инструментов и их взаимодействий представляет собой сложную систему. От его построения в нашей имитационной модели будут зависеть такие параметры, как загрузка оборудования, время на производство деталей, себестоимость изготовления, факторы КПЭ (KPI).

Результаты предварительных расчетов при использовании эмпирических формул предоставляют точные показатели для планирования и оценки цеха, но не позволяют определить его «узкие места», насколько корректны производственные мощности с учетом поломок и других случаев. Моделируемые ТП часто нельзя описать только системами уравнений, поэтому для последующего анализа производственного участка применяют имитационное моделирование из-за невозможности проведения натурных экспериментов [2-4, 6, 7].

Имитационный подход применим для технологических процессов, так как в них большое количество параметров, множество зависимостей являются не линейными, а система имеет качественно различные состояния. Также имитационное моделирова-

ние необходимо в тех случаях, когда модель должна иметь симуляцию.

Имитационное моделирование используется для различных задач, поэтому внутри существует множество методов. В работе будем использовать метод дискретно-событийного моделирования как наиболее подходящего для технологических процессов. В данном виде моделирования выделяются объект-действие – сервис и объект моделирования, над которым совершается действие – заявка. В рассмотренном случае заявками служат заготовки. Сервисом являются технологические операции – обработка заготовок. В качестве ресурсов, которые сервисы используют для своей работы, представлено необходимое оборудование.

В рассмотренной задаче моделируем автоматизированный цех механической обработки ответственных деталей типа корпус, форсунка, завихритель, втулка. Имитационные модели разрабатываются с помощью специализированного программного обеспечения AnyLogic.

До начала моделирования была определена конфигурация оборудования [1]. Станки расположены так, что детали загружаются и выгружаются с помощью трех роботов-манипуляторов с заданными максимальными длинами перемещений. Тары с заготовками доставляются управляемыми тележками (AGV), также ими вывозятся пустые тары.

Средствами AnyLogic создается модель рассматриваемого автоматизированного цеха с сохранением масштаба всех его элементов (рис. 1).

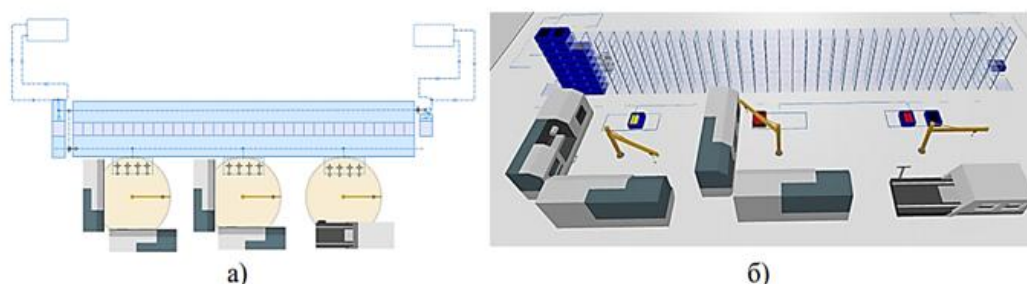


Рисунок 1 – Модель цеха в AnyLogic:

а) 2D-формат;

б) 3D-формат

Модель представлена в виде диаграммы процесса, каждый блок которой представляет отдельную операцию. Диаграмма модели начинается с генерации агентов блоком «Source». После этого агенты попадают в следующие части диаграммы, задающие технологический процесс. Завершающим блоком диаграммы является блок «Sink», уничтожающий агентов. Каждому агенту относится определенный набор свойств, в соответствии с которым они функционируют в среде. Агенты взаимодействуют как друг с другом, так и со средой размещения. К ресурсам относятся те объекты, которые используются агентами для выполнения необходимых задач. В рассматриваемой модели в роли ресурсов применяются станки, краны, AGV и склад в виде складского стеллажа. Основные параметры склада – один стеллаж, длина кото-

рого – 34 м, ширина – 1,5 м и высота – 3,9 м, включающий в себя 306 ячеек (по горизонтали – 34, по вертикали – 9), с производственной тарой объемом три заготовки либо детали. Часто в дискретно-событийном моделировании прибегают к использованию очередей, так как конкуренция агентов за обладание ресурсами приводит к образованию задержек. Детально разберем создание модели заданного цеха. Вся модель разделена на блоки в зависимости от процесса моделирования, метод группировки необходим по причине большого количества операций [2]. Элементы, которыми заданы операции, вызываются из библиотеки моделирования процессов. Рассмотрим первую группу элементов, определяющую перемещение AGV тележек с тарами заготовок и их выгрузкой на стеллаж, на рисунке 2.

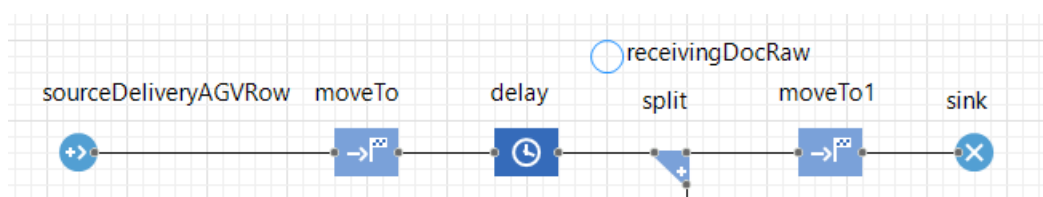


Рисунок 2 – Блок моделирования перемещения AVG с заготовками

SourceDeliveryAGVRow – источник, создающий одиночные агенты AGV, с установленными на них тарами. MoveTo описывает параметры перемещения агента AGV (время передвижения) и место прибытия (узел ReceivingDocRaw).

Delay задерживает агента AGV на определенное время, тем самым имитирует выгрузку тары с тележки на стеллаж. В данной модели принят упрощенный вариант имитирования, в то время как средствами

AnyLogic возможно создание моделей с высокой степенью детализации.

Split создает агенты-копии агента-оригинала в заданном количестве и отправляет их через порт outCopy (соответствует нижнему ответвлению Split). При этом правое ответвление создает агента AGV без тары. MoveTo1 определяет перемещение порожней AGV обратно к узлу ReceivingDocRaw. Sink уничтожает посту-

пившего в узел агента AGV, моделируя выезд AGV за пределы цеха.

Следующим идет блок операций, расположенный за нижним ответвлением Split, ответственный за передвижение тары, данное моделирование пока не проведено.

Рассмотрим моделирование технологических процессов обработки каждой заготовки отдельно.

Для изготовления детали «Корпус» была построена часть имитационной модели в соответствии с приведенной технологией. Обработка заготовок корпуса произво-

дится на пяти агрегированных операциях. Первая и вторая операции выполняются на РЦ3 и занимают 36 и 58,5 минут соответственно, третья операция выполняется на РЦ2 и занимает 23 минуты, четвертая операция на РЦ1 (55 минут), затем задействуется РЦ3 (31 минута). На основании предварительного расчета было решено, что будут задействованы эрозионный, фрезерный, токарный станки.

Обработка заготовки корпуса моделируется блоком, представленным на рисунке 3.

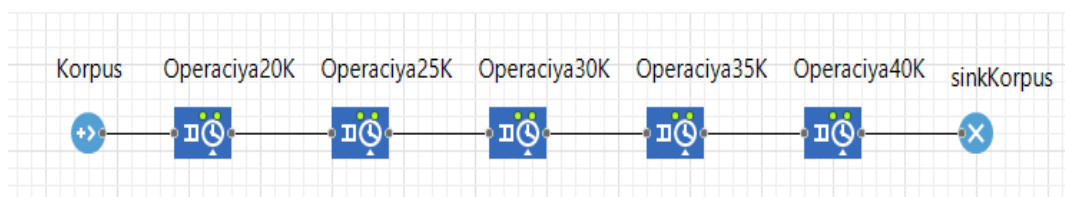


Рисунок 3 – Блок моделирования обработки заготовки детали «Корпус»

Для каждой операции задано штучно-калькуляционное время, полученное из MDC-системы. В качестве ресурсов указаны станки, на которых совершается обработка заготовки. Запрограммированные свойства

технологических операций изготовления корпуса приведены на рисунках 4–8.

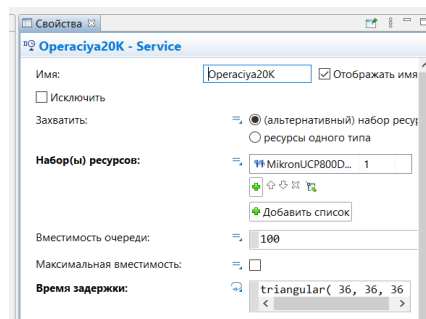


Рисунок 4 – Свойства операции 20 заготовки «Корпус» (первая операция)

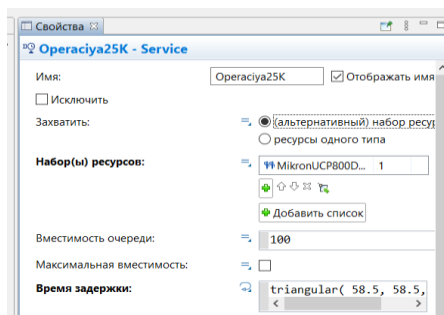


Рисунок 5 – Свойства операции 25 заготовки «Корпус» (вторая операция)

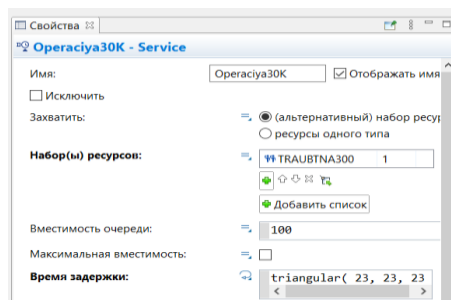


Рисунок 6 – Свойства операции 30 заготовки «Корпус» (третья операция)

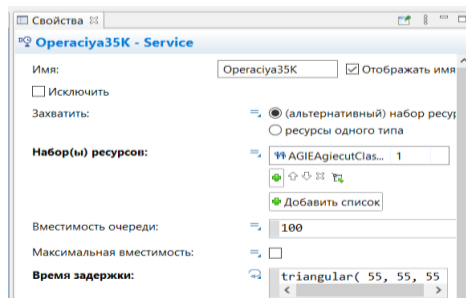


Рисунок 7 – Свойства операции 35 заготовки «Корпус» (четвертая операция)

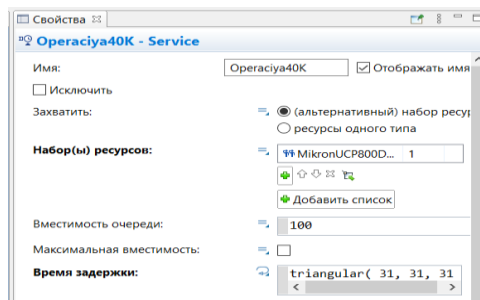


Рисунок 8 – Свойства операции 40 заготовки «Корпус» (пятая операция)

Далее моделируем часть имитационной модели, связанной с изготовлением детали «Завихритель». В соответствии с разработанной технологией обработка заготовок завихрителя производится на семи агрегированных операциях. Первая, вторая, третья операции выполняются на РЦ2, каждая занимает 15, 10 и 15 минут соответственно, четвертая и седьмая операции выполняются на РЦ3 и занимают 12 и 30 минут,

пятая операция на РЦ1 (30 минут), для шестой операции задействуется РЦ4 (105 минут). На основании предварительного расчета было решено, что будут задействованы эрозионный, фрезерный, токарный станки.

Обработка заготовки завихрителя моделируется блоком, представленным на рисунке 9.

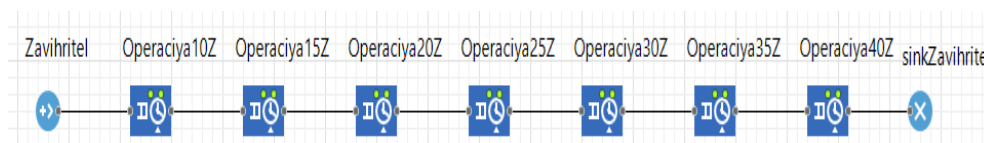


Рисунок 9 – Блок моделирования обработки заготовки «Завихритель»

Запрограммированные свойства операций по обработке заготовки «Завихритель»

в AnyLogic представлены на рисунках 10–16.

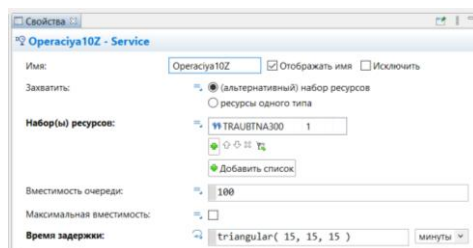


Рисунок 10 – Свойства операции 10 заготовки «Завихритель» (первая операция)

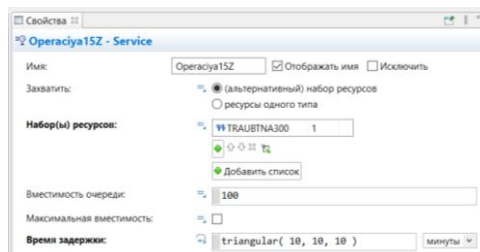


Рисунок 11 – Свойства операции 15 заготовки «Завихритель» (вторая операция)

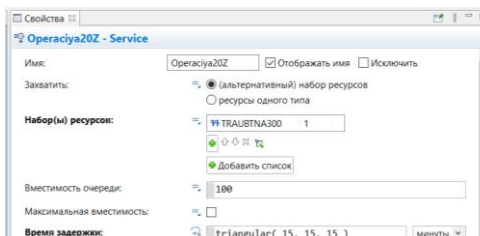


Рисунок 12 – Свойства операции 20 заготовки «Завихритель» (третья операция)

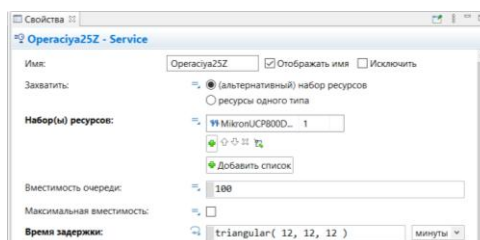


Рисунок 13 – Свойства операции 25 заготовки «Завихритель» (четвертая операция)

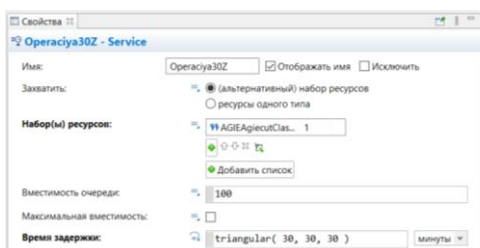


Рисунок 14 – Свойства операции 30 заготовки «Завихритель» (пятая операция)

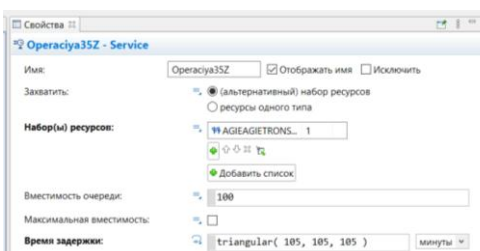


Рисунок 15 – Свойства операции 35 заготовки «Завихритель» (шестая операция)

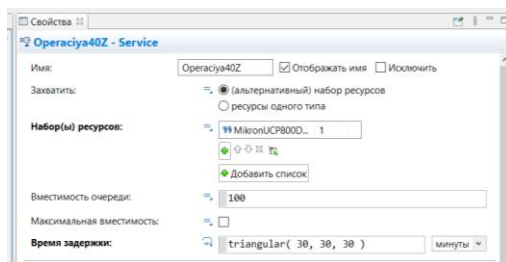


Рисунок 16 – Свойства операции 40 заготовки «Завихритель» (седьмая операция)

Далее необходимо моделировать систему управления цехом при изготовлении детали «Форсунка». В соответствии с разработанной технологией обработка заготовок форсунки производится на одной агрегированной операции. Эта операция выполняется на РЦ2 и занимает 70 минут. На

основании предварительного расчета было решено, что будет задействован токарный станок.

Обработка заготовки форсунки моделируется блоком, представленным на рисунке 17.

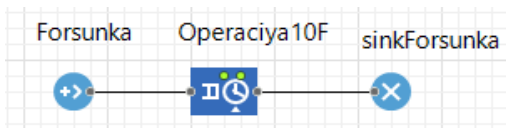


Рисунок 17 – Блок моделирования обработки заготовки «Втулка»

Элемент Operaciya10F программируется в ПО, как представлено на рисунке 18.

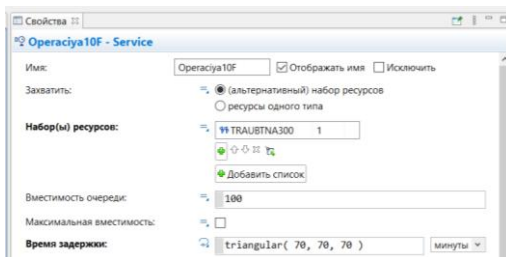


Рисунок 18 – Свойства операции 10 заготовки «Форсунка»

Последним элементом имитационной модели будем моделировать процесс изготовления детали «Втулка». В соответствии с разработанной технологией обработка заготовок втулки производится на четырех агрегированных операциях. Первая и вторая операция выполняются на РЦ2 и занимают 8 и 4 минуты. Третья операция выполняется на РЦ3 и занимает 3 минуты. Четвертая операция выполняется на РЦ4, она занимает 60 минут. На основании

предварительного расчета было решено, что будут задействованы токарный, фрезерный и эрозионный станок. Штучно-калькуляционное время выполнения ТО поступает из MDC-системы.

Обработка заготовки втулки моделируется блоком, представленным на рисунке 19. На рисунках 20–23 представлены свойства операции по обработке заготовки «Втулка».

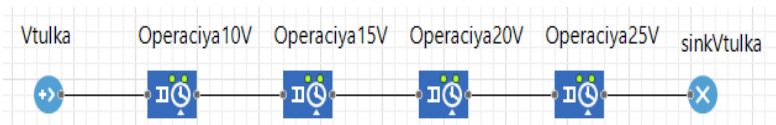


Рисунок 19 – Блок моделирования обработки заготовки «Втулка»

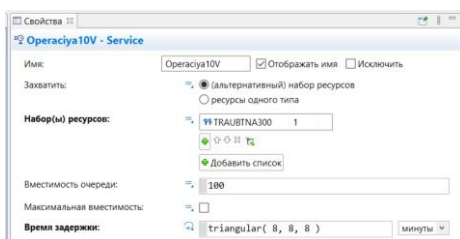


Рисунок 20 – Свойства операции 10 заготовки «Втулка» (первая операция)

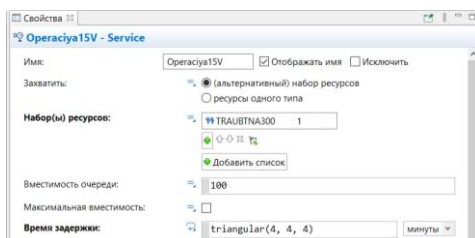


Рисунок 21 – Свойства операции 15 заготовки «Втулка» (вторая операция)

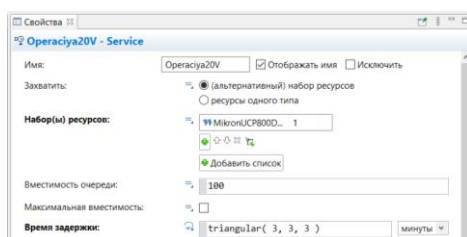


Рисунок 22 – Свойства операции 20 заготовки «Втулка» (третья операция)

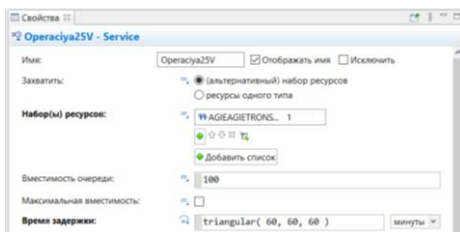


Рисунок 23 – Свойства операции 25 заготовки «Втулка» (четвертая операция)

Для получения адекватных результатов работы цеха модель должна быть стохастической, имеется в виду, что время некоторых событий задается случайными величинами, хотя в следующих разработках задержки и простои оборудования должны поступать из MDC-системы. Преимущество построенной модели в том, что она является удобным способом исследования различных частей цеха без натурных экспериментов.

В данной работе была описана концепция предиктивного анализа загрузки, мониторинга и оперативного управления производством на основе интеграции MDC-систем и систем имитационного моделирования на основе потока оперативной информации о загрузке оборудования в программе AnyLogic. Модель может быть использована для оптимизации производства без проведения натурных испытаний для повышения показателей КПЭ (KPI).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Басова М.В. Алгоритм моделирования производственно-технологической системы роботизированного участка механической обработки деталей типа тел вращения на платформе AnyLogic // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2020. № 4 (54). С.50-55.



2. Проничев Н.Д., Смело В.Г., Кокарева В.В., Малыхин А.Н., Проничев Н.Д. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6 (4). С.937-943.
3. Кокарева В.В., Смелов В.Г., Шитарев И.Л. Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «Бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. 2012. Т. 3. № 3 (34). С.131-136.
4. Махитько В.П., Хаймович И.Н., Клентак А.С. Имитационное моделирование в мелкосерийном производстве // Вестник Самарского муниципального института управления. 2019. № 3. С. 17-25.
5. Батищев В.И., Хаймович И.Н., Марков В.И., Макашов А.Н. Концепция информационной среды в организации производства на предприятии с применением оптимизации маршрутов обработки деталей // Вестник Самарского муниципального института управления. 2019. № 3. С.77-85.
6. Хаймович И.Н. Имитационное моделирование производственного цикла изготовления провода / И.Н. Хаймович, Д.Г. Скрипачёв, С.Ю. Колесникова // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. 2015. Т. 14. № 4. С. 151-155.
7. Колеганова Е.А., Хаймович А.И. Применение имитационного и нейросетевого моделирования для определения сроков выполнения новых заказов и снижения рисков производственной деятельности // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Самара: Самарский университет, 2021. С. 264-266.

## **CONCEPT OF INTEGRATION OF MDC - SYSTEMS AND SIMULATION SYSTEMS**

© 2022 Polina I. Kiseleva<sup>1</sup>, Artem A. Malyutin<sup>2</sup>, Aleksandr I. Khaimovich<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Samara National Research University named after  
academician S.P. Korolev, Russia

In the AnyLogic software environment, a simulation model of an automated workshop for the machining of critical parts was developed using the discrete-event modeling method, the piece-calculation time for which was obtained from the MDC system.

**Keywords:** simulation model, technological process, AVG carts, agent, AnyLogic, process diagram, work center, blank.