УДК 65.011.56

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. И. АНЦИФЕРОВ, Д. А. СЫЧЁВ, У. И. ЗАПАРА, И. В. СЕВАСТЬЯНОВ
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
Белгород, Россия

В настоящее время в различных отраслях промышленности находят широкое применение многономенклатурные гибридные производства, которые объединяют в себе субтрактивные и аддитивные технологии. Совмещение в технологическом цикле различных процессов работы с изделием является сложной задачей [1] и требует правильной организации и планирования, для чего основным инструментом становится имитационное моделирование сложных систем, которое позволяет оптимизировать реальные производственные системы как в комплексной мере, так и в локальных участках технологических линий [5].

Главными программными средствами, осуществляющими имитационное моделирование для производств, являются специализированные программы Plant Simulation от компании Siemens (рис. 1) и AnyLogic от компании The AnyLogic Company (рис. 2) [2]. Обе программы позволяют создавать электронно-цифровые двойники производственных сред для определения характеристик системы с целью последующего ее анализа и оптимизации параметров.

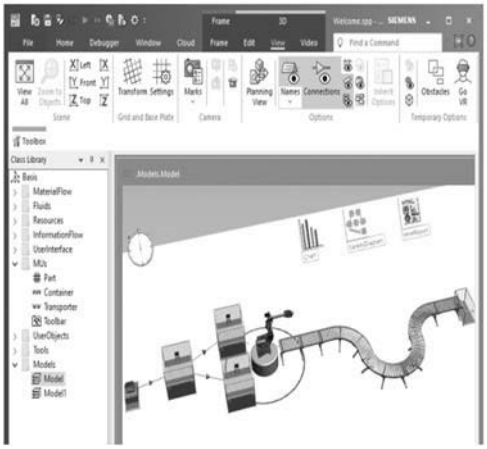

Рис. 1. Интерфейс программы Plant Simulation

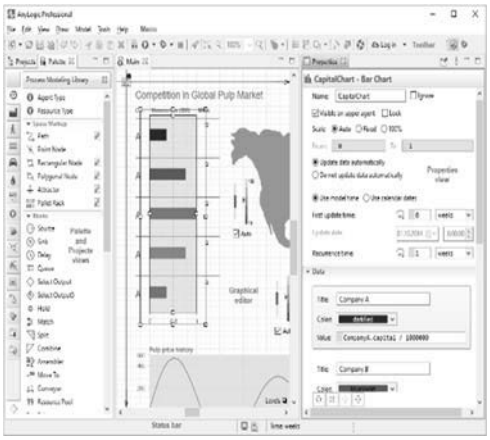

Рис. 2. Интерфейс программы AnyLogic

Plant Simulation позволяет собрать виртуальную производственную систему с помощью объектно-ориентированного языка для широкого класса систем. При построении цифрового двойника в данной программе следует проверить, насколько технически верно и корректно она отражает процессы, происходящие в реальной системе [3]. После чего с помощью встроенных инструментов каждый элемент копии производства собирает показатели, далее это визуали-

зируется в виде графиков и диаграмм, где могут указываться отдельные места и их производительность; также с помощью функции поиска узких мест можно обнаружить участки, которые замедляют работу системы.

AnyLogic также позволяет сформировать имитационную модель производства, включая при этом различные методы моделирования, например дискретно-событийное, агентное и системную динамику. Данная программа позволяет комбинировать методы, что помогает решать более широкий спектр задач, а также использовать их отдельно для разных процессов системы. Параметры могут задаваться на разных уровнях: как локально для отдельных агентов, так и глобально для всех моделей. В ходе анализа системы можно визуализировать информацию в виде графиков и диаграмм.

Таким образом, имитационное моделирование выступает как эффективный метод для организации и планирования многономенклатурных гибридных производств, позволяя оптимизировать сложные технологические процессы. Современные программы Plant Simulation и AnyLogic выступают главным инструментом, который может создать цифрового двойника производства, собрать статистику производительности и визуализировать ключевые показатели [4].

Имитационное моделирование позволяет тестировать внедрение изменений без остановки реальных процессов производства, производить анализ включения нового оборудования или добавления дополнительных производственных процессов, что обеспечивает гибкость в условиях переналадки или расширения производства. Кроме того, оно дает возможность увидеть узкие места еще до фактического использования технологической линии или сделать множество различных вариантов расположения оборудования и производить их анализ, за счет чего найти наиболее оптимальный вариант.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боев, В. Д.** Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7 / В. Д. Боев. – 2014. – С. 89–91.

2. Применение системы Plant Simulation для моделирования и оптимизации логистических процессов / Б. И. Клебанов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.

3. **Киселева, М. В.** Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic : учеб.-метод. пособие / М. В. Киселева. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с.

4. **Курненков, Д. Н.** Моделирование работы участка механического цеха на основе заданного рабочего плана в среде имитационного моделирования Plant Simulation / Д. Н. Курненков, А. Ю. Шурыгин // Техника и технологии машиностроения. – 2015. – С. 132–139.

5. Концепция многономенклатурного гибридного аддитивного производства / С. И. Анциферов [и др.] // СТИН. – 2024. – № 9. – С. 19–23.