

УДК 621.75:658.5

**Ю.Л. Дикова, А.И. Секирин**Донецкий национальный технический университет  
Кафедра автоматизированных систем управления**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ****Аннотация**

**Дикова Ю.Л., Секирин А.И. Моделирование работы автоматизированных технологических комплексов машиностроительных производств.** Определены основные задачи моделирования автоматизированных технологических комплексов. Рассмотрены существующие методы моделирования для повышения эффективности автоматизированных технологических комплексов. Рассмотрены инструментальные средства, используемые для реализации моделей автоматизированных технологических комплексов. Выявлены преимущества и недостатки существующих методов моделирования.

**Ключевые слова:** задачи моделирования автоматизированных технологических комплексов, методы моделирования, инструментальные средства моделирования.

**Общая постановка проблемы.** Технический прогресс в машиностроении привел к появлению и развитию автоматизированного технологического оборудования, что дало возможность эффективной автоматизации серийного производства путём организации автоматизированных технологических комплексов (АТК).

АТК представляет собой совокупность совместно функционирующих технологических объектов управления (ТОУ) и управляющих ими высокоэффективных средств управления – автоматизированных систем управления (АСУ ТП). Одной из основных составляющих АТК является гибкая производственная система (ГПС). ГПС – это система с комплексно-автоматизированным производственным процессом, работа всех компонентов которой координируется как единое целое с помощью АСУ. Для решения различных технологических задач ГПС может комплектоваться однотипными взаимозаменяемыми многоцелевыми станками с ЧПУ, разнотипными дополняющими друг друга специализированными станками с ЧПУ, а также универсальными или специальными станками. Машиностроительные технологические комплексы являются сложными производственными структурами. Создание таких производств, требует значительных материальных и временных затрат. Поэтому одной из главных задач при

эксплуатации автоматизированных технологических комплексов является обеспечение высокой эффективности их работы. Использование математического моделирования является одним из основных инструментов решения указанной задачи[3].

Моделирование АТК является сложной задачей, поскольку эффективной общепринятой его методики практически не существует. Задача моделирования формулируется следующим образом: при заданных исходных данных и технических ограничениях определить основные производственные показатели АТК в условиях действия возмущений. В качестве возмущений рассматриваются динамически изменяющиеся ситуации.

Модель АТК должна удовлетворять следующим требованиям:

- универсальность, возможность применения к различным типам и компоновочным схемам производства;
- учет разнообразных технологических и производственных ограничений;
- возможность исследования на стадии эксплуатации для достаточно полного учета влияний на эффективность работы АТК основных внешних и внутренних факторов;
- прогнозирование хода производственного процесса на основе учета реального выполнения заданий и его регулирование в случае возникновения отклонений;
- удобство и простота представления исходных данных и результатов решения.
- возможность анализа вариантов АТК, транспортно-складские системы которых различаются как количественно (числом модулей и их характеристиками), так и качественно (типом средств транспортирования и принципом накопления материальных потоков);
- возможность оценки влияния на производительность АТК любого из параметров системы.

**Цель статьи** – рассмотреть существующие методы моделирования работы АТК, определить особенности применения методов, выявить их преимущества и недостатки, рассмотреть существующие инструментальные средства, позволяющие реализовать модели работы АТК.

**Существующие методы моделирования работы АТК.** Для моделирования функционирования АТК, в зависимости от условий и области применения, используют математическое, статистическое, физическое, натурное моделирование и др.[1].

Математическое моделирование является наиболее широко применяемым. В его пределах рассматривают такие методы, как: аналитический метод, имитационное моделирование, сетевые задачи, вероятностные оптимизационные модели, динамические модели [1].

В аналитическом подходе система исследуется по аналитическим зависимостям. Однако, анализ характеристик процессов при таком подходе

связан со значительными трудностями: возникает необходимость существенного упрощения модели на этапе построения или в процессе работы с ней, что может привести к получению недостоверных результатов

Одним из самых применяемых методов математического моделирования является имитационное моделирование. Поскольку функционирование АТК относится к дискретному производству, то в качестве подхода для решения задач моделирования применяют дискретно-событийное моделирование, что позволяет рассматривать основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие.

Широкое применение в имитационном моделировании получил объектно-ориентированный подход. Для создания объектно-ориентированной модели, необходимо построить модели каждой из подсистем, входящих в состав АТК. В качестве объектов моделирования целесообразно выбрать следующие типовые элементы АТК: гибкий производственный модуль, транспортный модуль, автоматизированный склад и систему управления АТК[2,3].

Одной из современных тенденций в развитии имитационного моделирования является применение мультиагентного моделирования, суть которого заключается в том, что, помимо основных функций по повышению эффективности функционирования АТК за счет моделирования сложных ситуаций, присутствуют такие возможности как интеграция с информационными системами предприятия, наличие базы знаний агента и возможность создания новых знаний, а так же многих других функций [4].

Метод дискретно-стохастических динамических моделей АТК посвящен решению задачи разработки моделей АТК на основе математического аппарата теории массового обслуживания. Автоматизированное машиностроительное производство в данном методе рассматривается в виде системы массового обслуживания (СМО). Особенностью предлагаемого комплекса программ является то, что он разработан на основе теории систем массового обслуживания и имитационного моделирования, но при этом его использование не требует от проектировщика специальных знаний в этих областях[5].

Системы массового обслуживания применяются и в вероятностных и оптимизационных моделях. В данном случае применяются методы моделирования, использующие обобщенную структуру модели автоматизированного технологического комплекса, представленную в виде сети многофазных одноканальных и/или многоканальных систем массового обслуживания без отказов с простейшей дисциплиной обслуживания FIFO и ограниченным входным потоком заявок [5]. Модели СМО позволяют оценить возможные состояния системы, спрогнозировать отказ тех или иных элементов, определить оптимальные условия функционирования с заданным уровнем вероятности [1].

В качестве сетевых задач моделирования применяют сети Петри. Данный метод позволяет выявить «узкие места» в технологической цепи, определить емкости промежуточных накопителей, оценить уровень отказоустойчивости системы, определить влияние времени переналадки оборудования на производительность системы. На основе сетей Петри предложен вариант создания моделей для ГПС с различным составом многочисленного основного и вспомогательного оборудования, широким спектром номенклатуры деталей, большим количеством дискретных состояний ГПС, с большой сложностью и множественностью сетевых структур[6]. Данный метод синтеза сетей Петри строится на базе функциональных подсетей и поведения системы во времени как функции изменения состояния множества номенклатуры. Сеть Петри строится динамически, во времени, где в качестве объекта выступает не оборудование, а технологический процесс обработки детали.

Еще одним методом моделирования является использование графоаналитических моделей. Данный метод используется для графического описания оптимизационных задач. Такая модель состоит из множества узлов и ориентированных дуг, соединяющих узлы. При графовом представлении загрузки ГПМ узлы выступают как позиции обработки, а дуги показывают направление потока оборудования на выполнение заявок (обработку партий деталей) в системе [7]. Узел графовой модели - это условное обозначение выполняемой технологической операции на данном этапе определенным ГПМ, а ребро характеризуется вероятностью и временем перехода ГПМ от одной операции на другую.

В некоторых случаях использование рассмотренных моделей оказывается недостаточным, в связи с чем, всё большее значение приобретают новые альтернативные подходы моделирования производственных процессов с использованием эмпирических моделей (нейронные сети, генетические алгоритмы, эволюционные стратегии, эволюционное программирование, нечеткая логика), в частности, с использованием сетей из нейроподобных элементов[8]. Нейронная сеть обладает способностью к накоплению и последующей репрезентации опытного знания, и может быть использована для поиска решений, близких к оптимальным. Недостатком является тот факт, что «знания» нейронной сети ограничены интервалом, на котором она «обучалась».

Для имитации технологических систем, подверженных случайным воздействиям, с целью оптимизации обработки по производительности и другим параметрам применяют метод статистического моделирования (метод статистических испытаний или метод Монте-Карло) – многократное воспроизведение процесса путём "прогонов" имитационной модели с последующей статистической обработкой информации для нахождения характеристик исследуемого процесса, т.е. для выявления статистических закономерностей[1].

Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства. Так, математическое моделирование, имея довольно широкую область применения, позволяет создавать модели, максимально приближенные к реальности, в которых можно управлять как временными, так и любыми другими характеристиками. Кроме того, в сетевых методах математического моделирования при решении транспортных задач есть возможность учета, пропускной способности АТК. В вероятностных методах, вместо усложнения модели, посредством ввода вероятностей событий решаются задачи, не решаемые иными методами. Статистические методы при наличии качественных данных дают точные решения и, при использовании специализированного ПО, достаточно просты в применении.

Однако, наряду с достоинствами, существует и ряд недостатков. Например, в математическом моделировании при детальном описании АТК достаточно сложно построить модель, способную адекватно учитывать все факторы. Имитационное моделирование требует достаточно высокого уровня вычислительной мощности. Сетевые задачи в своем большинстве являются вариациями транспортной задачи. Статистическое моделирование предъявляет высокие требования к данным.

**Существующие инструментальные средства для реализации моделей АТК.** Рассмотренные варианты имитационного моделирования при подробном и формализованном описании поддаются программированию. Программная реализация имитационной модели может быть осуществлена на любом алгоритмическом языке. Например, широко известен язык имитационного моделирования СЛАМ, разработанный профессором Аленом Прицкером. В настоящее время имитационные модели чаще не программируют вручную, а используют универсальные программные пакеты и математические редакторы (например, MATCAD, MATLAB, STATISTICA, TAYLOR и пр.). Достоинства такого подхода заключаются в гибкости и универсальности описания моделей.

Непосредственно для разработки объектно-ориентированных моделей широко применяется UML – универсальный язык моделирования. В основе моделирования лежат диаграммы: диаграмма классов, которая описывает структуру системы, показывая её классы, их атрибуты и операторы, а также взаимосвязи этих классов; диаграмма компонентов, которая показывает разбиение программной системы на структурные компоненты и связи (зависимости) между компонентами; диаграмма состояний, аналогичная диаграмме состояний из теории автоматов[9].

Для моделирования дискретных систем применяется широко известный и распространенный язык — GPSS. Основная область применения GPSS — это моделирование систем массового обслуживания. Развитие языка GPSS, разработанное компанией Minuteman и названное GPSS World [10], может моделировать как дискретные, так и непрерывные процессы.

Математический редактор MathCad является одной из самых распространенных компьютерных программ, позволяющих практически

реализовать идеи имитационного моделирования. Математический пакет программ MATLAB, включает в свой состав специализированную подсистему Simulink, представляющую собой интерактивную среду для моделирования и анализа динамических систем. Среда программирования MATLAB, кроме одноименного специализированного языка, имеет средства интеграции с универсальными алгоритмическими языками C/C++, позволяет использовать современные ActiveX

Для моделирования производственно-технических систем используются различные программы — симуляторы, например, Simula, Arena, Extend, eM-Plant, Simul8, AnyLogic, BPsim.MAS и др. Также существует ряд коммерческих систем, таких как N-See американской фирмы Microcomopatibles, APM TAM (APM Technological Analysis of Manufacturing) и др.

Среда имитационного моделирования Arena считается одним из наиболее эффективных инструментов оптимизации процессов транспортной логистики. В среду встроены специализированный язык моделирования SIMAN, а для отображения результатов используется анимационная система Cinema. Разработчики позиционируют данное программное обеспечение как универсальную среду имитационного моделирования дискретных систем технологического назначения.

Среда имитационного моделирования ExtendSim основана на использовании визуального программирования с помощью библиотеки блоков. Пакет содержит внутренний язык ModL для настройки существующих блоков и создания новых программ. С системой поставляются готовые библиотеки элементов промышленного назначения. Например, библиотека Manufacturing содержит блоки, предназначенные для моделирования транспортных устройств, в том числе конвейеров, автоматизированных транспортных систем и складского оборудования. ExtendSim позволяет моделировать все типы систем, включая непрерывные и дискретные процессы, производить функционально-стоимостной анализ

Автоматизированная система имитационного моделирования Any Logic позволяет вести визуальное проектирование различных типов систем, включая непрерывные, дискретные модели.

**Выводы.** Рассмотрены методы моделирования и инструментальные средства для их реализации, применяемые для анализа и повышения эффективности функционирования автоматизированных технологических комплексов. Произведен их сравнительный анализ, выявлены их достоинства и недостатки. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что основными недостатками методов моделирования работы АТК являются невысокая точность и узкая специализация. Поэтому, дальнейшие исследования и разработка моделей функционирования АТК должны быть направлены на преодоления указанных недостатков.

### Список литературы

1. Методы моделирования производственных процессов предприятия машиностроения. - Режим доступа: [www/URL: http://simulation.su/uploads/files/default/method-m-tp-mm.pdf](http://simulation.su/uploads/files/default/method-m-tp-mm.pdf) - Загл. с экрана.
2. С.В. Лаздынь, А. И. Секирин Повышение эффективности работы автоматизированных технологических комплексов механообработки на основе объектно-ориентированного моделирования// Материалы II научно-практической конференции “ДОНБАСС-2020: наука и техника-производству”, - Донецк: ДонНТУ.- 2004. - С 6.25
3. Секирин А.И. Построение объектно-ориентированной модели автоматизированного технологического комплекса механообработки. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 64. – Донецк: ДонНТУ, 2003, стр.223-233.
4. Медведев С.Н., Аксенов К.А. Анализ применимости имитационного и мультиагентного моделирования в задачах планирования машиностроительного производства // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: [www.science-education.ru/105-6998](http://www.science-education.ru/105-6998)
5. Стародубов, А.Н. Моделирование автоматизированных производственных систем / Научные труды магистрантов, аспирантов и соискателей : Сборник № 2 / под ред. В.А. Полетаева. Кемерово: КузГТУ, 2008г.
6. Загидуллин Р.Р. Имитационная модель гибкой производственной системы. – Режим доступа: [www/URL: http://www.gpss.ru/immod%2703/056.html](http://www.gpss.ru/immod%2703/056.html).
7. Ченгарь О.В. Объектная модель производственного процесса для составления субоптимального расписания работы автоматизированного технологического участка/ О.В. Ченгарь // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» – Донецьк, 2012 – Випуск 22 (200) – С. 56-62.
8. Мишенин А. А. Применение нейронных сетей для решения задач в машиностроении. – Режим доступа: [www/URL: http://refdb.ru/look/1771298.html](http://refdb.ru/look/1771298.html)
9. С.Ю. Шамаев, А.М. Черноусова Применение объектно-ориентированных технологий при моделировании высокоавтоматизированных производственных систем //Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, No4(2), 2012/
10. Кудрявцев Е. М. K88GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004.– 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»)