

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Здор Г.Н., Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь, novichihin_rv@mail.ru

Математическое моделирование является неотъемлемой частью обоснования проектных и управленческих решений для современных технологических систем (ТС) изготовления и обработки материалов.

В качестве объекта моделирования, рассматриваются ТС типа участков и линий с дискретным характером производства. Задачей моделирования таких ТС является прогнозирование следующих показателей функционирования: выработка; производительность; освоенная номенклатура; срок или вероятность выполнения к сроку планового задания; длительность производственного цикла и доля продуктивной составляющей в нем; коэффициент использования оборудования; загрузка персонала; заполнение накопителей; очереди заказов, операционных и транспортных партий.

ТС являются типичными представителями систем, относящихся к категории «сложные», поэтому для их анализа и проектирования необходимо привлекать методологию системного подхода. Системный подход предусматривает всестороннее рассмотрение объектов с учетом их целостности. Это предопределяет необходимость представления ТС несколькими моделями, взаимодействующими в рамках единого моделирующего комплекса (МК).

Целью исследования является разработка компьютерного МК для анализа всего возможного разнообразия ТС указанного класса без перепрограммирования. Для достижения поставленной цели решаются вопросы определения состава компьютерных моделей в МК, разграничения функций между ними и выбора целесообразных математических методов для каждой модели.

В работах [1, 2] сделан вывод, что для решения упомянутой задачи моделирования ТС, минимально достаточный состав моделей в МК должен соответствовать таблице 1. Здесь же приведены функции (специализация) моделей и анализируемые ими аспекты.

Выбор для каждой модели подходящего математического метода осуществляется по методике экспертных оценок. Сравняются девять наиболее распространенных для ТС методов моделирования (рисунок 1) по степени соответствия следующим важнейшим для любой модели критериям:

1. *Возможности* – широта принципиально возможного диапазона моделируемых объектов и решаемых задач. Границы применимости. Наличие решений.
2. *Универсальность* (общность) – легкость перехода от одного объекта или задачи к другим в пределах возможностей. Минимальные затраты времени и средств на настройку или модификацию.
3. *Информативность* – принципиально возможное количество учитываемых факторов и определяемых показателей. Степень детализации и идентификации результатов.
4. *Адекватность* – отсутствие, малое количество или незначительность влияния используемых допущений и ограничений. Точность оценки того, что метод способен определить.

Базовый состав моделей для анализа ТС

Имя и уровень модели	Учитываемые аспекты	Основная функция (специализация)
«Метамодель», –	Напрямую ТС не отражает. Косвенный учет всех аспектов вместе через аспектные модели	Организация взаимодействия аспектных моделей и обобщение результатов
«Работы/Ресурсы», 1	Детали, техпроцессы, заказы, временные ресурсы основного оборудования	Определение простоев ОТО, связанных с особенностями плановых работ
«Потоки», 2	Структура, маршруты, организация производства, оперативное планирование, диспетчирование, ресурсы вспомогательного оборудования	Определение простоев ОТО, связанных с логикой функционирования ТС и с обслуживанием транспортно-накопительной системой
«Персонал», 2	Обслуживание рабочих позиций персоналом	Определение простоев ОТО, связанных с работой оперативного и обслуживающего персонала
«Состояния», 3	Управление в рабочих позициях	Определение простоев ОТО, связанных с внутренней логикой их функционирования и с внешними воздействиями



Рис. 1. Методы моделирования процесса функционирования ТС

5. *Готовность* – отсутствие препятствий к немедленному применению или малое время на подготовку. Наличие четкой методики, специализированных программных сред, наработок с готовыми моделями. Доступность требующихся для метода исходных данных, например, отсутствие данных, не предусмотренных норма-

тивной, плановой или отчетной документацией. Отсутствие надобности в предварительных статистических исследованиях.

6. *Малая трудоемкость* – время на разработку модели (чел/час). В некоторой степени критерий отражает и экономичность.

7. *Простота использования* (дружественность) – насколько легко пользователь осваивает метод или применяет готовую модель. Отсутствие высоких требований к теоретической подготовке в области моделирования. Естественность идентификации и интерпретации.

8. *Полезность* – уникальность и нетривиальность результатов.

Осуществлено ранжирование методов по каждому критерию в отдельности. По обобщенному критерию номера методов в порядке убывания предпочтительности и их оценки в % выстраиваются следующим образом: 1 (100) – 8 (98) – 9 (82) – 5 (74) – 2 (70) – 3 (69) – 7 (63) – 4 (54) – 6 (53). Далее методы оцениваются по степени приспособленности к отражению специфичных особенностей ТС: номенклатура изделий; технологические процессы маршрутные; заказы (производственная программа); планирование долгосрочное и оперативное; структура технологической системы; основное технологическое оборудование; вспомогательное оборудование (складское, накопительное, транспортное, подающе-ориентирующее, загрузочное); организация производства; диспетчирование; управление прямое; техническое обеспечение (инструментальное и пр.); обслуживание персоналом. Из равнозначных методов предпочтение отдавалось менее трудоемкому в программной реализации. В итоге сделан вывод, что для моделей МК из таблицы 1 должны быть приняты следующие методы моделирования: «Метамодель» – статистическое моделирование методом Монте-Карло; «Раборы/Ресурсы» – аналитическое моделирование прямого счета методом объемного временного баланса; «Потоки» – имитационное моделирование дискретно-событийного типа; «Персонал» – аналитическое моделирование методами теории массового обслуживания; «Состояния» – аналитическое моделирование с помощью уравнений Колмогорова для марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем.

МК с указанным составом моделей и методов программно реализован на кафедре «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета в предметно-ориентированном пакете PIMMS [2]. Пакет обеспечивает для пользователя работу по принципу «без программирования, без знания методов моделирования, без предварительного изучения». От него требуется только квалификация и знания в предметной области. Приводится обоснование принятых методических, математических и интерфейсных решений для каждой модели пакета. Показано, как решается вопрос обеспечения универсальности моделей, путем полной параметризации задания исходных данных. Над всеми специализированными моделями пакета стоит метамодель. Она не отражает какой-то определенный уровень или аспект ТС, а является внутренним средством самого МК и служит для организации совместной работы и взаимного уточнения других моделей.

1. Здор Г.Н., Новичихина Е.Р. Полимодельный анализ производственных систем механообработки. Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2011. – № 1. – С. 51 – 57.

2. Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р. Моделирование производственных систем обработки деталей в машино- и приборостроении. – Минск: БНТУ, 2010. – 309 с.