

УДК 681.324

Л.П. Луговская, ассистент

Н.А. Скаткова, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, Севастополь, Украина

В.И. Пономаренко, профессор, д-р физ.-мат. наук

Таврический национальный технический университет

МНОГОВЕРСИОННОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются особенности многоверсионного подхода к имитационному моделированию сложных систем. Предлагается комплекс структурно-модифицированных моделей с общей информационной базой. Рассматривается пример моделирования гибкой производственно-транспортной системы, выполнен анализ основных критериальных зависимостей.

Ключевые слова: многоверсионный подход, гибкая производственно-транспортная система, асинхронная модель.

В настоящее время имитационное моделирование сложных систем является весьма эффективным инструментальным средством их исследования. Этому способствовало широкое внедрение средств автоматизации проектирования имитационных моделей, таких как программные среды GPSS, AnyLogic и др. Основные сложности в этой области возникают при планировании, анализе и обработке результатов имитационных экспериментов. В каждом конкретном случае исследования сложных систем необходимо разрешение конфликтной ситуации, связанной с выбором момента оптимальной остановки имитационных экспериментов. Наиболее часто используемыми критериями выбора моментов прекращения имитации являются условие выхода на стационарный режим, достижение требуемой точности оценки математических ожиданий системных характеристик, получение статистически эффективных оценок. Указанные критерии сами по себе имеют сложную структуру, оценка их статистической устойчивости требует анализа степени выполнимости исходных предпосылок в отношении соответствующих функций распределений и проверки гипотез. В процессе имитационного моделирования происходит уточнение целей моделирования. Это приводит к необходимости внесения изменений в ранее построенные имитационные модели, что значительно увеличивает общее время исследований и ведет к дополнительным потерям ресурсов.

Целью данной работы является описание многоверсионного подхода [1] к имитационному моделированию сложных систем на основе комплекса структурно дифицируемых имитационных моделей. Предлагаемый подход идейно близок к методам структурного и объектно-ориентированного программирования и состоит в следующем. На первом этапе разрабатывается базовая имитационная модель сложной системы, которая при относительно простой структуре имеет развитый интерфейс. По мере проведения имитационных экспериментов возникает необходимость модификации базовой модели. Такая модификация выполняется путем сохранения структуры базовой модели и дополнения ее новыми функциональными модулями на основе предварительно разработанного расширенного интерфейса. Уровень качественной достаточности определяется по динамике возрастания объема апостериорной информации о системных характеристиках. В качестве примера сложной системы при моделировании была выбрана транспортно-производственная система участка механообработки [2].

Постановка задачи. Заданы структурные и параметрические характеристики сложной системы, т.е. автоматизированного участка механообработки как объекта имитационного моделирования. Структура участка показана на рисунке 1. В его состав входят 5 центров механообработки (ЦМ), одно транспортное средство, которое имеет возможность перемещаться по одному из возможных маршрутов по указанию соответствующей системы управления. Известно число технологических операций, маршруты обработки заготовок в каждой партии с указанием последовательности кодов ЦМ, необходимых на соответствующей операции; длительности наладки, обработки и доставки для каждой заготовки в соответствии с заданными маршрутами. Производственный процесс в моделируемой системе имеет последовательную структуру, т.е. для каждой единицы производственной программы процесс начинается с подачи заготовок со склада к ЦМ, а завершается передачей готовых изделий на склад готовой продукции. Обработка и продвижение заготовок по цепи технологических операций выполняется в соответствии со специальной технологией, которая определяет вид, число и последовательность технологических операций, продолжительность обработки каждого вида заготовок. Все заготовки одной партии имеют идентичные маршруты обработки и равные времена обработки и доставки.

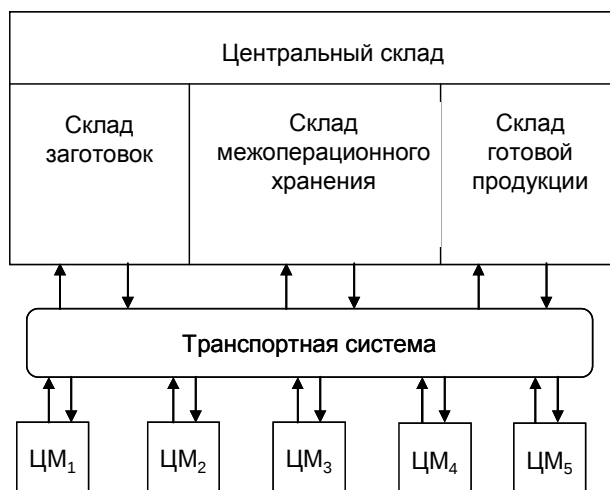


Рисунок 1 — Структура автоматизированной системы механообработки

Дисциплина обработки изделий на участке состоит в следующем. Связь между ЦМ осуществляется посредством использования центрального склада межоперационного хранения и транспортной системы. Производственная операция начинается с доставки заготовки со склада по соответствующему маршруту к ЦМ, затем осуществляется его наладка для обработки данной заготовки. После загрузки ЦМ транспортное средство, доставившее заготовку, возвращается на центральный склад. По окончании наладки начинается собственно операция обработки заготовки. В момент окончания операции обработки вызывается транспортное средство для доставки обработанной заготовки на склад. С этого момента времени соответствующий ЦМ считается свободным. Если транспортное средство свободно к моменту вызова, то оно начинает движение от склада к ЦМ и затем перевозит обработанную заготовку от ЦМ на склад, в противном случае возникает временная задержка, связанная с ожиданием освобождения транспортного средства. Таким образом, в каждом ЦМ могут находиться лишь две единицы производственного заказа: обрабатываемая заготовка и заготовка, обработка которой только что была завершена на этом ЦМ.

Необходимо разработать программный комплекс, состоящий из базовой модели и ее модификации на основе обобщенной блок-схемы имитационной модели гетерогенного транспортно-производственного комплекса (ГТПК) с соблюдением принципов диверсности. Существенной особенностью обобщенной блок-схемы является ее разработка на основе выполнения требования сохранения всех информационных каналов между объектами моделирования, образующих сложную систему. Обобщенная блок-схема модели приведена на рисунке 2.

Усложнение базовой модели осуществляется по нескольким направлениям. Если в исходном объекте имитационного моделирования имеется одно транспортное средство, то более сложная его модификация может содержать множество альтернативных транспортных магистралей. Тогда базовая имитационная модель дополняется функциональным модулем управления множеством транспортных средств, который обеспечивает распределение заказов на перемещение между свободными транспортными средствами, учитывает приоритеты обслуживания производственных заказов при наличии нескольких одновременных обращений к узлу транспортировки.

Базовая модель обеспечивает имитацию процесса доставки заказов по унифицированным траекториям перемещения. Усложнение объекта моделирования может потребовать вариаций путей доставки производственных заказов. В этом случае базовая модель расширяется за счет дополнительного управляющего модуля, в функции которого входит выбор и назначение траекторий движения транспортных средств.

Базовая имитационная модель. В качестве базовой модели для имитации процесса обработки производственных заказов используется асинхронная модель, изображенная на рисунке 3.

В число моделируемых версионных подпроцессов входят:

- установление порядка поступления заготовок на обработку;
- управление обработкой;
- обработка в ЦМ;
- транспортировка.

Базовая модель настроена на отображение временных событийных последовательностей технологических операций обработки заготовок. В базовой имитационной модели порядок поступления заготовок на обработку определяется случайным образом, т. е. номер партии заготовок, из которой выбирается текущий производственный заказ, является случайным числом.

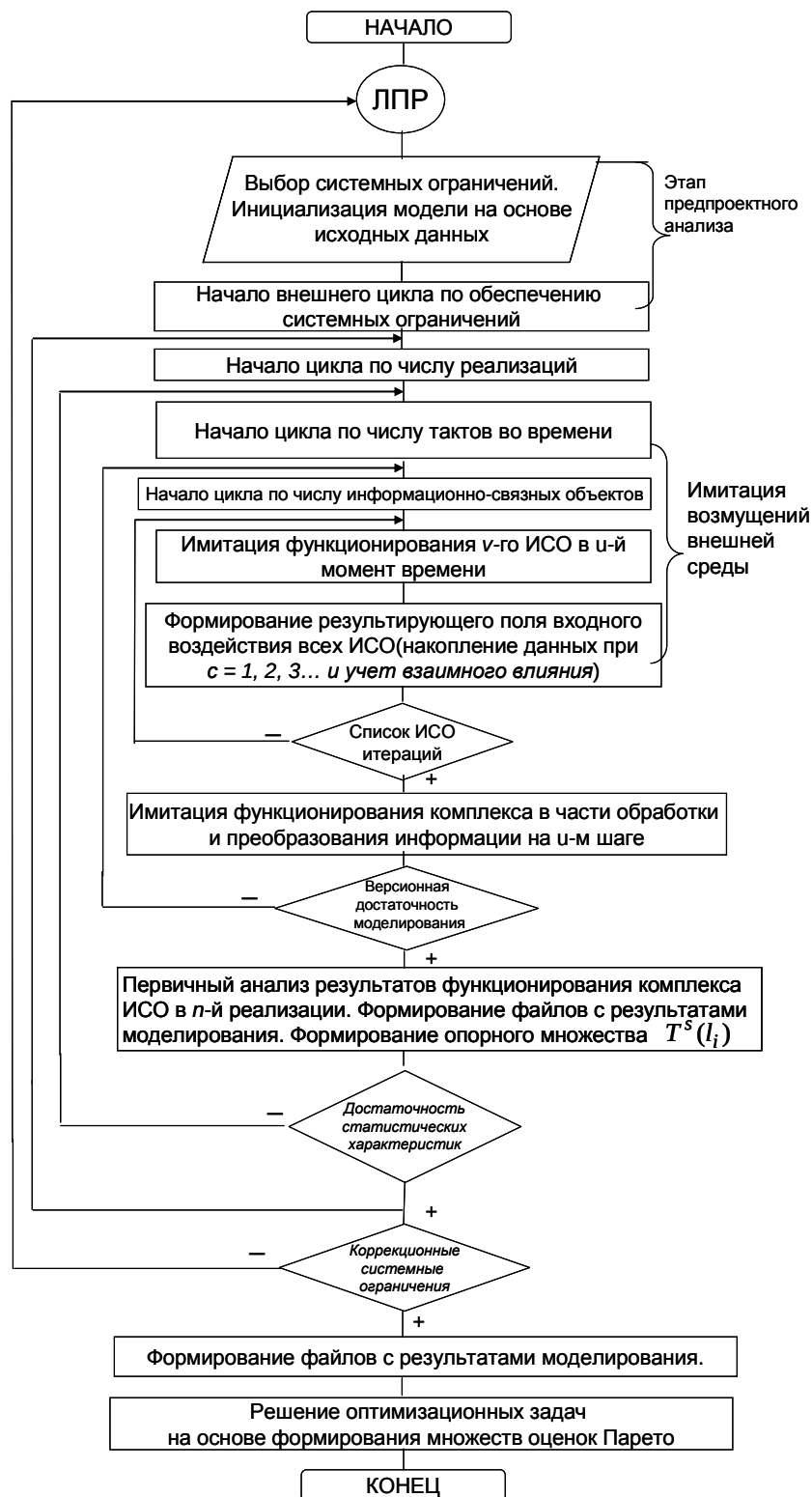


Рисунок 2 – Обобщенная блок-схема имитационной модели ГТПК на основе комплекса информационно связанных объектов

Управление обработкой всего массива производственных заказов представляет собой циклический процесс (внешний цикл), на каждом шаге которого осуществляется моделирование целостной последовательности технологических операций обработки текущего производственного заказа (внутренний цикл), выбранного в соответствии с действующим порядком поступления заготовок на обработку.



Рисунок 3 – Асинхронная модель процесса обработки производственных заказов

На каждом этапе внешнего цикла действует модельное время d , с помощью которого отображаются моменты завершения очередной технологической операции или операции транспортировки текущего производственного заказа. По окончании моделирования всей последовательности обработки текущего заказа и отправки его на склад готовых изделий модельное время заказа завершается и сбрасывается в ноль.

В указанном выше внутреннем цикле модели выполняется имитация операций транспортировки и обработки в ЦМ в соответствии с технологической программой. Доставка заготовки со склада к ЦМ и обратно на склад межоперационного хранения отображается увеличением модельного времени на длительность доставки. Текущая технологическая операция моделируется увеличением времени d на соответствующую длительность обработки.

Каждое асинхронное изменение значения модельного времени сопровождается выработкой запроса одного из трех видов:

- запрос на доставку к ЦМ (SO);
- запрос на обработку (O);
- запрос на транспортировку на склад после обработки (OS).

Если в момент d транспортное средство занято и запрос SO (или OS) не может быть удовлетворен, то модельное время d увеличивается на время ожидания освобождения транспортной магистрали.

Если выработан запрос O и соответствующий ЦМ занят обработкой другого производственного заказа, то модельное время – увеличивается на время ожидания завершения операции.

В модели предусмотрены списки следующих видов:

- списки характеристик каждого ЦМ участка в течение всего процесса обработки заданного количества заготовок. Список представляет собой последовательность записей, соответствующих каждому отрезку времени, в течение которого ЦМ был занят обработкой заготовки. Каждая запись списка содержит указания на момент начала наладки ЦМ перед предстоящей операцией обработки, момент завершения операции обработки, номер партии, номер заготовки, обработанной на данной операции и номер операции по порядку, определяемому заданным маршрутом обработки;

- список характеристик загрузки транспортного средства, в каждой записи которого указаны момент начала движения от центрального склада к ЦМ, от которого пришел вызов, момент завершения движения от ЦМ к центральному складу, номер доставляемой заготовки, номер партии, которой принадлежит заготовка, номер операции, выполняемой в ЦМ, к которому осуществлялось движение;

- список готовых изделий заказа;

- список системных характеристик процесса обработки, в котором указываются общее время обработки заданного количества заготовок, коэффициенты загрузки ЦМ, коэффициент загрузки транспортного средства.

Взаимодействие элементов имитационной модели осуществляется при помощи указанных выше запросов на доставку и обработку заготовок.

Вариантные модификации имитационной модели. В модифицированной имитационной модели реализованы следующие режимы функционирования участка обработки.

1) Высший приоритет в порядке поступления имеет партия заготовок с минимальной суммарной длительностью доставки и обработки заготовок по заданному маршруту. Приоритеты остальных партий

расположены в порядке убывания в соответствии с возрастанием суммарной загрузки участка по обработке заготовок. Заготовки в партиях поступают на обработку в соответствии с их порядковыми номерами.

2) Высший приоритет в порядке поступления имеет партия заготовок с максимальной суммарной длительностью доставки и обработки заготовок по заданному маршруту. Приоритеты остальных партий расположены в порядке убывания в соответствии с убыванием суммарной загрузки участка по обработке заготовок.

3) Порядок поступления заготовок на обработку определяется случайным образом. Длительности технологических операций обработки являются равномерно распределенными случайными величинами с заданными математическими ожиданиями и дисперсиями.

Оценка эффективности стратегий управления загрузкой технологического участка. Версионная модифицированная имитационная модель использовалась для определения наиболее эффективной стратегии загрузки технологических объектов участка обработки.

Критерием эффективности являлись следующие системные характеристики:

- минимальное общее время обработки всей совокупности производственных заказов;
- максимальные коэффициенты занятости ЦМ и транспортного средства, определяемые как отношение времени занятости соответствующего технологического средства к общему времени обработки.

Управление процессом имитации осуществлялось настройкой модели на определенный порядок поступления заготовок на обработку.

В рассматриваемом далее варианте моделирования производственная программа имела следующие характеристики:

- на обработку поступают две партии заготовок, число заготовок в каждой партии одинаково;
- маршруты обработки заготовок из разных партий одинаковы: каждая заготовка должна пройти последовательную обработку в каждом ЦМ участка;
- длительности доставки, наладки ЦМ и обработки на соответствующих операциях представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Пооперационные временные задержки при выполнении производственной программы

маршрут		партия 1			партия 2		
№ оп	№ ЦМ	t движ	t наладки	t обр	t движ	t наладки	t обр
1	1	2	3	10	2	3	50
2	2	2	3	20	2	3	10
3	3	2	3	15	2	3	15
4	4	2	3	5	2	3	65
5	5	2	3	17	2	3	7

Работа моделирующей программы была организована в трех режимах:

— выбор заготовки из всего массива заготовок, ожидающих обработки, осуществлялся случайным образом; получено 10 реализаций процесса обработки, среднее общее время работы участка составило 679 ед;

— высший приоритет получила первая партия, т.к. суммарное время доставки и обработки на всех операциях маршрута заготовок этой партии минимально; заготовки в первой партии обрабатывались в соответствии с их порядковыми номерами; во вторую очередь моделировалась обработка заготовок второй партии;

— в первую очередь проведено моделирование обработки заготовок из второй партии, так как суммарное время доставки и обработки на всех операциях маршрута заготовок этой партии максимально.

Системные характеристики участка обработки в различных режимах поступления заготовок представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что наилучшей стратегией загрузки участка обработки по критерию наибольшей занятости ЦМ и транспортного средства является обработка в первую очередь производственных заказов с максимальной суммарной длительностью технологических операций.

Влияние скорости перемещения транспортного средства и длительности операций обработки на степень занятости технологического оборудования участка показано на графиках рисунка 4.

Таблиця 2 – Системные характеристики участка обработки

Дисциплина поступления заготовок	общее время обработки	коэфф. занятости ЦМ 1	коэфф. занятости ЦМ 2	коэфф. занятости ЦМ 3	коэфф. занятости ЦМ 4	коэфф. занятости ЦМ 5	коэфф. занятости транспорта
Случайная	722	0,46	0,25	0,25	0,53	0,21	0,55
Случайная	664	0,50	0,27	0,27	0,57	0,23	0,60
Случайная (среднее)	679						
По условию минимума длительности маршрута	722	0,46	0,25	0,25	0,53	0,21	0,55
По условию максимума длительности маршрута	678	0,49	0,27	0,27	0,56	0,22	0,59

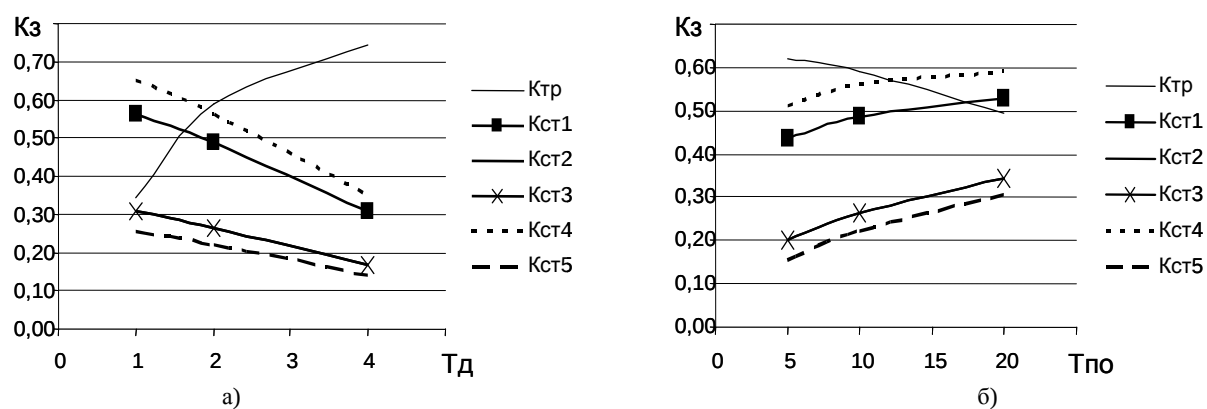


Рисунок 4 – Влияние скорости перемещения транспортного средства и длительности операций обработки на степень занятости технологического оборудования

На рисунке 4 приняты следующие обозначения: Кз – коэффициент занятости, Тд – время движения ТС между рабочими станциями, Тпо – время длительности производственных операций.

Выводы. Соблюдение предлагаемого принципа многоверсионности позволило выполнить комплекс системных исследований на базе модифицируемой имитационной модели без дополнительных трудоемких программных разработок, связанных с необходимостью учета модификации исследуемой системы.

Направлением дальнейших исследований является построение модели, использующей функции распределения общего вида.

Бibliографический список

1. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С. Харченко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — Харьков, 2008. — №5 (17). — С. 7–19.
2. Скаткова Н.А. Системообразующие факторы в имитационных моделях гетерогенных транспортно-производственных комплексов / Н.А. Скаткова // Вестник СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: сб. науч. тр.; Севастоп. нац. техн. ун-т. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — Вып. 93. — С. 57–62.
3. Емельянов С.В. Исследование сложных систем с помощью моделирования / С.В. Емельянов, В.В. Калашников // Итоги науки. Техн. кибернетика. — Винница: ВИНТИ. — 1981. — С. 158–209.

Поступила в редакцию 18.05.2009 г.