

К ПРОБЛЕМЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ В ОБЛАСТИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

А.И. Сердюк



СЕРДЮК
Анатолий Иванович

Профессор кафедры систем автоматизации производства Оренбургского государственного университета, доктор технических наук. Направление научной деятельности – теория создания высокоэффективных производственных систем нового поколения с заданными свойствами. Автор более 100 научных трудов, в том числе одной монографии и несколько патентов на изобретения.

Введение

Любое изделие современного производства сопровождается сложным переплетением информационных потоков, поддерживаемых компьютерными системами автоматизации проектирования, подготовки производства, эксплуатации и утилизации. Появились вузовские специальности подготовки инженеров в области информационной поддержки изделий (ИПИ) – CALS-технологий [1]. Востребованность систем автоматизации разных этапов и уровней иерархии предполагает использование производственного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Передача управляющих программ (УП) от компьютера в системы ЧПУ станков становится выгодной для предприятий: можно экономить на работе отделов подготовки УП для многочисленных систем ЧПУ разных поколений. По сути, станки становятся таким же периферийным оборудованием компьютеров, как сканеры, принтеры, плоттеры.

Включение в состав компьютерно управляемых комплексов оборудования транспортных средств и складов означает создание гибких производственных систем (ГПС) [2]. Производство перестает быть серийным со всеми свойственными ему недостатками – «незавершенкой», замораживающей оборотные средства, неритмичной сборкой, мало способствующей

стабильности качества продукции, непроизводительными простоями оборудования. Сегодня нет технических проблем, препятствующих созданию подобных производств: даже отечественные производители предлагают создание ГПС «под ключ» [3].

Вместе с тем в последние 15 лет практически отсутствуют отечественные публикации о разработках в области гибкой автоматизации машиностроительного производства. С 1996 г. ГПС не представляются в списке приоритетных направлений научно-технического развития [4]. На машиностроительных выставках не выставляются даже макеты перспективных ГПС.

В чем причина? Действительно ли ГПС оказались, как писалось в советской прессе, не более, чем дорогостоящими игрушками? Можно предположить, что предприятия, получившие в 80-х годах прошлого века отрицательный опыт директивного внедрения ГПС, в условиях нынешней сложной экономической ситуации не спешат наступать на те же грабли. Однако современная ситуация значительно изменилась. Морально устаревшие электронно-вычислительные машины типов СМ и ЕС, использовавшиеся в автоматизированных системах управления (АСУ) ГПС, канули в Лету. Потребителям доступно мощное и надежное промышленное компьютерное оборудование.

Может быть, есть более эффективное направление развития средств производства, чем ГПС? Однако, например, в США к 2003 г. гибкие производственные ячейки используются на 73 % фирм с числом работающих от 100 человек [5], т.е. фирма, не эксплуатирующая ГПС – скорее, исключение, чем правило. Намечился новый уровень автоматизации – создание реконфигурируемых производственных систем (РПС) с регулируемой производственной мощностью [6].

В то же время практически на всех предприятиях страны производственное оборудование требует обновления. Все отчетливее проявляется необходимость коренной реконструкции машиностроительного производства, ибо выпуск конкурентоспособной продукции возмо-

жен только при использовании современных технологий и средств производства.

Уже сегодня нужно заниматься переподготовкой инженерно-технических специалистов среднего и высшего звена, определяющих направления и способы технического перевооружения предприятий и субъективно препятствующих внедрению ГПС. Предполагается, что растущий дефицит рабочих кадров снимет еще один тормоз промышленной автоматизации в России: привлечение высокой зарплатой квалифицированных станочников увеличивает стоимость рабочей силы в стоимости произведенной продукции, а, следовательно, увеличивает тягу предпринимателей к автоматизации производства.

Применение ГПС создает и новые проблемы. Одна из них – неритмичность функционирования систем, обусловленная широкой номенклатурой изготавливаемых изделий. Если автоматические линии в массовом производстве характеризуются определенным ритмом работы, то гибкие системы не имеют двух полностью одинаковых циклов безлюдной работы.

Слагаемые успешной подготовки специалистов – учебно-лабораторная база, учебно-методическое обеспечение дисциплин, преподавательские кадры.

В свое время при ведущих вузах страны стали создаваться полномасштабные ГПС. Сегодня вряд ли найдется вуз, способный поддерживать подобную систему в работоспособном состоянии.

Многие разделы курса основ ГПС принято изучать с использованием компьютерного моделирования. Это наглядные анимационные ролики, дающие общее представление о взаимодействии оборудования системы, универсальные средства моделирования GPSS World [7], AnyLogic [8], Arena Enterprise Suite [9], язык моделирования UML [10].

При всем уважении к качеству, универсальности и высокому профессиональному уровню подобных систем, нельзя не отметить следующее: *использование универсальных систем и средств моделирования при подготовке специалистов в области ГПС не дает полного пред-*

ставления об изучаемом объекте, подменяет изучение ГПС изучением не вполне адекватного аппарата имитационного моделирования.

Структура ГПС

Подход, реализуемый в универсальных средствах моделирования, описывает ГПС как сложную стохастическую систему, процессы функционирования которой характеризуются случайными величинами – временем поступления и интенсивности потоков заявок на обслуживание, временем обработки заготовок, использования накопителей, простоев оборудования и т.д. В качестве примера на рис. 1 представлен набор исходных данных и результатов работы с моделью, построенной в GPSS World.

Используемые входные данные весьма условно и поверхностно интерпретируют функционирование ГПС, не давая ответы на многие вопросы технических специалистов.

Никому не приходит в голову применять имитационное моделирование, например, при обучении разработке технологических процессов механической обработки – хотя здесь также решаются задачи структурно-параметрического синтеза, имеются трудно формализуемые этапы выбора, учитываются многие случайные факторы технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь». Дело в

том, что при всем многообразии вариантов перед началом разработки, при ее завершении технологический процесс должен однозначно интерпретироваться в виде кадров управляющей программы, гарантирующей требуемое качество изделия.

ГПС – это технологическая среда, состоящая из множества элементов с однозначно определенными параметрами. Значения параметров определяются специалистами различных профилей, работающих на разных этапах создания и эксплуатации ГПС (рис. 2). Для единой оценки решений различных специалистов нужен и единый инструмент.

Проектировщик связан с решением задач оптимизации выбора оборудования, его параметров и совместной компоновки, с проектированием оригинальных устройств, обеспечивающих объединение элементов системы, с проектированием материальных и информационных потоков. Моделирование в GPSS не позволяет оценить, например, выбор ярусов и число ячеек в одном ярусе автоматизированного склада заданной вместимости, скорости крана-штабелера при одновременном перемещении по координатным осям и его динамику при разгоне и торможении, параметры инструментального робота и его приоритеты в обслуживании станков, емкость инструментальных магазинов станков и т.д.

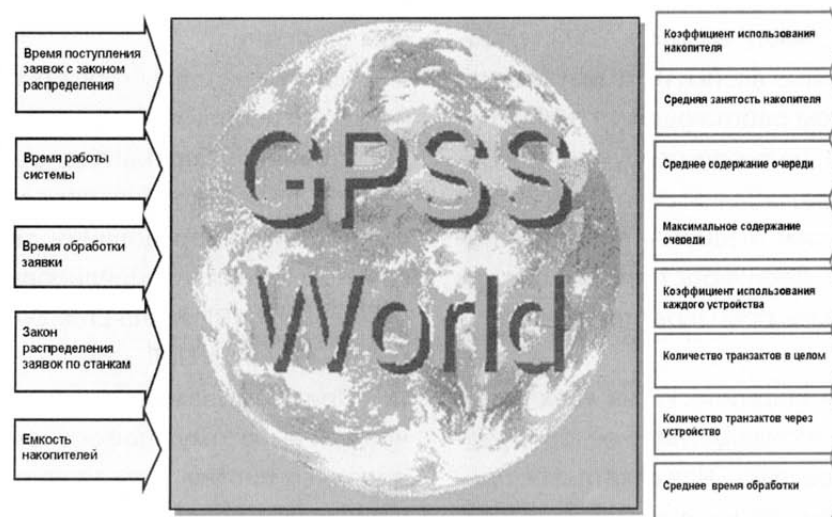


Рис. 1. Схема исходных данных и получаемых результатов о ГПС в GPSS World (транзакт-технологическая или транспортная операция)



Рис. 2. Схема взаимной увязки решений на разных этапах создания и эксплуатации ГПС

Технолога интересуют вопросы оптимизации содержания технологических операций на станках типа «обрабатывающий центр» (ОЦ). ОЦ – основные «кирпичики» ГПС для корпусных деталей, составляющих примерно 80 % ГПС. Вся обработка детали может быть выполнена за одну-две установки. Технологическая операция может состоять из нескольких десятков переходов, выполняемых различными режущими инструментами. Средствами имитационного моделирования невозможно выявить, как на эффективности ГПС отразятся: распределение переходов между операциями; выбор тех или иных инструментов, режимов резания, способов идентификации инструментов; различная последовательность и содержание циклов смены инструментов в рабочей зоне и замены в магазине станка.

Специалист по стратегическому планированию предприятия оценивает целесообразность распределения номенклатуры изделий за несколькими ГПС, рациональность внедрения в ГПС с устоявшейся номенклатурой технологии изготовления новой детали.

Диспетчер занят вопросами оптимизации загрузки ГПС при выполнении сменного задания, устанавливая очередность и моменты за-

пуска заготовок в обработку, исходное размещение заготовок и инструментов в ячейках накопителей. Имитация не позволяет, например, оценить исходную последовательность размещения инструментов в гнездах инструментальных магазинов.

Таким образом, универсальные средства имитационного моделирования не способствуют качественной подготовке специалистов различных профилей, связанных с проектированием и эксплуатацией ГПС. Возможно, что это одна из причин, почему 75-80 % ГПС при эксплуатации «не дотягивают» до проектных показателей.

Ошибки при проектировании ГПС ведут к экономическим потерям при их эксплуатации, а создание малоэффективных систем дискредитирует саму идею гибкой автоматизации.

Ошибочна сама концепция представления ГПС как стохастических систем – автоматический процесс функционирования ГПС имеет не стохастический, а детерминированный, упорядоченный характер.

Случайность есть непознанная закономерность. В работе [11] описан механизм формирования временных связей автоматизированного производственного процесса, объясняю-

щий причины несоответствия проектных и эксплуатационных характеристик ГПС. Дело в том, что в процессе «безлюдной» работы ГПС возникают простои производственного оборудования, особенности которых в том, что они проявляются лишь в процессе функционирования ГПС и имеют место при гарантированной надежности всех элементов системы.

Внешне указанные простои проявляются как результат взаимообусловленной работы модулей и их агрегатов, время выполнения которыми технологических и транспортных операций рассеивается в широких пределах.

Основной причиной рассеивания времени технологических операций является неритмичный характер производственных процессов ГПС, в условиях которых номенклатура, размеры и последовательность партий запуска заготовок в обработку варьируются от смены к смене. Меняющийся состав сменных заданий ведет к варьированию содержания, времени, а, следовательно, и количества выполняемых в смену технологических операций.

Меняющееся количество выполняемых технологических операций ведет к колебаниям загрузки транспортно-накопительной системы, а меняющееся их содержание (разный состав технологических переходов и используемых режущих инструментов) – к колебаниям загрузки системы инструментаобеспечения.

Рассеивается время выполнения и однотипных технологических операций, что связано с появлением неплановых простоев станков в ожидании смены режущих инструментов (РИ). Указанные простои зависят от соотношения времени резания, стойкости и частоты смен РИ, а также времени их подготовки и смены. В свою очередь, время подготовки РИ рассеивается в зависимости от способа их идентификации, емкости ИМ станков, структурно-компоновочных решений и параметров системы инструментаобеспечения.

Рассеивание длительности транспортных операций обусловлено:

- неодинаковыми расстояниями, которые проходит транспортное средство за каж-

дый цикл обслуживания, что, в свою очередь, зависит от расположения оборудования на участке, компоновки накопителей, размещения палет с заготовками (и режущих инструментов) и способа их распределения между станками;

- различными типами и техническими характеристиками применяемых транспортных средств, составом и последовательностью отработки цикловых перемещений;
- реализованным в системе управления принципом очередности выполнения транспортных операций.

Совокупное влияние перечисленных факторов и предопределяет величину простоев оборудования, не поддающихся учету традиционными методами расчетов и лишь приближенно описываемых общесистемными средствами моделирования.

Традиционный язык технических специалистов и средство визуализации взаимодействия оборудования – циклограммы, или временные диаграммы.

Цикл безлюдной работы системы представляет собой цепочки взаимосвязанных циклов работы отдельных устройств, агрегатов, производственных модулей и системы в целом. Взаимосвязи циклов работы устройств предопределяются алгоритмами и правилами их взаимодействия, а также логикой эволюции процесса функционирования системы.

Продолжительность циклов зависит от технических параметров устройств (например, от скорости робота) и проходимых расстояний (например, от пути резания, угла поворота, высоты подъема), которые предопределяются текущим состоянием системы.

Работа ГПС с любой требуемой точностью может быть расписана в виде циклограмм. Возможные погрешности срабатывания устройств можно учитывать вероятностными методами подобно тому, как учитывается рассеивание размеров деталей относительно номинальных значений.

Циклограммы позволяют показать причины снижения эффективности ГПС, связанные с

взаимодействием ее элементов, и внешние потери, обусловленные варьированием номенклатуры выпускаемой продукции. Сокращение или полное устранение внутренних потерь позволяют оптимизировать проектные параметры ГПС, а сокращение внешних потерь – минимизировать эксплуатационные издержки.

По сути, циклограммы работы оборудования – это и есть модели функционирования технических систем. Понятно, что вручную заниматься построением циклограмм работы оборудования – занятие неблагодарное.

Программный комплекс «Каскад»

В Оренбургском государственном университете (ОГУ) разработан и несколько лет успешно эксплуатируется программный комплекс «Каскад» (рис. 3), основанный на автоматизированном построении и анализе циклограмм работы оборудования.

Исходными данными служит программа выпуска изделий заданной номенклатуры, технология изготовления которых корректируется в процессе проектирования. В процессе моделирования пользователь оперирует конкретными параметрами технологических процессов, расстояниями со схем планировки ГПС, параметрами оборудования и алгоритмами его взаимодействия, способами организации выполнения сменных заданий. Результатом работы с комплексом «Каскад» является список техни-

ческих и организационно-технологических параметров, представляющий собой техническое предложение по созданию ГПС.

Разработка алгоритма программы потребовала создания аналитических моделей, описывающих переменные составляющие циклов доставки палет, подготовки, замены и доставки режущих инструментов. При создании аналитических моделей была разработана классификация транспортных устройств и маршрутов их движения. Наличие конфликтных ситуаций при взаимодействии устройств потребовало систематизировать выбор правил приоритетов. В результате проделанной работы получен алгоритм моделирования, учитывающий в совокупности все основные параметры ГПС – от координатной привязки оборудования на схемах планировки и параметров транспортного средства до алгоритмов работы отдельных агрегатов, ресурса каждого режущего инструмента и гнезда с его местонахождением в магазине или в автоматическом складе.

Интерфейс пользователя позволяет настраивать алгоритм моделирования на широкий диапазон исследуемых объектов – от отдельного ОЦ до ГПС из десяти ОЦ с различными схемами расстановки оборудования и с индивидуальной централизованной подачей инструментов

Программная реализация алгоритма моделирования позволяет с точностью до технологического перехода построить циклограмму



Рис. 3. Схема исходных данных и получаемых результатов в системе «Каскад»

функционирования ГПС на протяжении цикла ее безлюдной работы. Сводная циклограмма работы системы выводится на экран компьютера, подробная циклограмма в цифровом формате записывается в файл для последующей интерпретации. Циклограмма позволяет: убедиться в корректности работы составленной модели; визуально оценить величину и причины простоев оборудования; рассчитать сводные показатели эффективности ГПС и представить их в табличной или графической форме.

Статистическая обработка результатов моделирования для различных вариантов сменных заданий на цикл безлюдной работы позволяет оценить эффективность ГПС при заданном комплекте проектных и эксплуатационных решений. В качестве локальных критериев используются производительность и загрузка оборудования. Комплексным критерием эффективности моделируемой ГПС служит рассчитываемый срок окупаемости капитальных затрат на ее создание [12].

Данный подход приводит к минимизации срока окупаемости системы путем формирования комплекса проектных параметров оборудования и обеспечивает требуемый срок окупаемости ГПС за счет согласованного множества проектных и эксплуатационных решений (рис. 4).

Таким образом, разработан инструмент поддержки решений по созданию ГПС с заданным свойством – сроком окупаемости затрат.

Другое назначение программного комплекса «Каскад» – роль инструментального средства, позволяющего на основе технического задания сформировать техническое предложение на ГПС (рис. 5). Возможно решение и обратной задачи, заключающейся в выборе рациональной номенклатуры выпускаемой продукции для приобретенной ГПС.

Ближних аналогов система не имеет ни в стране, ни за рубежом, занимая нишу проблемно-ориентированного инструмента специалистов-практиков разных профилей: технологов, проектировщиков, конструкторов, диспетчеров, исследователей. Для них система позволяет выполнять различного рода работу.

Технологу

1. Сформировать рациональную номенклатуру деталей для изготовления в проектируемой или эксплуатируемой ГПС.
2. Оценить целесообразность внедрения в ГПС с устоявшейся номенклатурой изделий технологии изготовления новой детали.
3. Рационально распределить технологические переходы между технологическими операциями для многоцелевых станков.
4. Осуществить выбор номенклатуры режущих инструментов и режимов резания исходя из условий наиболее эффективной работы ГПС.
5. Оценить качество работы ГПС при заданной производственной программе.

Проектировщику, конструктору

1. Сравнить по целому ряду показателей и выбрать наиболее рациональный вариант схемы планировки проектируемой или модернизируемой ГПС.
2. При заданной планировке выявить требуемые технические характеристики модулей системы (станков, транспортных средств, накопителей) и их агрегатов (например, устройств автоматической смены инструментов).
3. Выбрать наиболее рациональные варианты взаимодействия модулей и их агрегатов.
4. Оценить рядом количественных показателей качество работы производственной системы.

Диспетчеру (мастеру, начальнику участка)

1. Оперативно определить по задаваемым ограничениям (например, исходя из номенклатуры и количества имеющейся в наличии инструментальной оснастки) состав рекомендуемых вариантов сменно-суточного задания.
2. Выявить наиболее рациональный состав сменного задания, размеры партий запуска и очередность их обработки
3. Выбрать оптимальный вариант исходного размещения заготовок и режущих инструментов в ячейках накопителей.

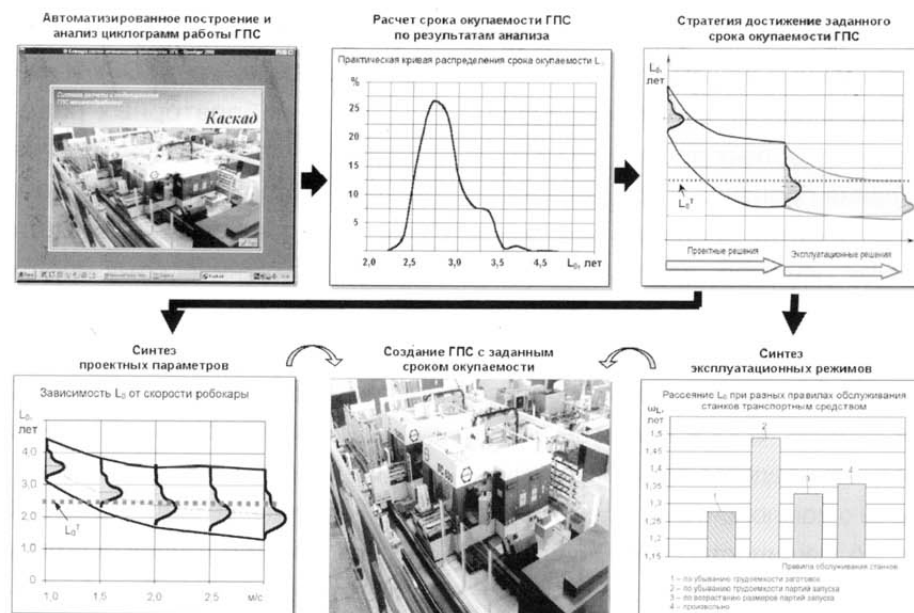


Рис. 4. Схема процесса достижения заданного срока окупаемости ГПС

Режим работы – 3 смены по 8 ч Длительность цикла безлюдной работы ГПС – 16 ч Планируемый срок окупаемости – 2 года					
№ п/п	Наименование детали	Габаритные размеры (LxBxH), мм	№ опера-ции	Трудоем-ность, мин	Программа выпуска, шт
1	Плита нижняя Д1524А-35-422	420x350x340	010	10,95	6000
2	Крышка торцового барабана	340x320x280	005	32,25	2400
3	Корпус кулисного механизма 3340.12	470x420x350	005	29,87	3500
4	Крышка шпиндара гидросистемы 135-34.0505	420x400x300	005	1,75	5200
5	Корпус БД 8.020.98	450x360x300	010	4,52	2700
6	Корпус подшипника ШВА. 01.03.01	240x230x180	005	34,86	1800
7	Корпус ПН43-1-32-403	490x350x270	005	9,36	2600
8	Кронштейн 396521	490x450x380	010	1,41	5000
9	Корпус БД 8.003.216	360x480x340	005	3,07	3000
10	Палец кулисы ГБ35.40.37	450x420x400	010	2,72	3800

Наименование параметра	Паспортные значения	Проектные значения
Система основного технологического оборудования		
1. Число станков, модели, шт	5 станков типа ИР500ПМФ4	
2. Схема расстановки станков	линейная однорядная	
3. Координаты точек перегрузки палет, м	2,0; 9,0; 16,0; 23,0; 30,0	
4. Координаты точек перегрузки инструментов, м	3,2; 10,2; 17,2; 24,2; 31,2	
5. Число позиций в пристаночном накопителе палет	6	8
6. Число позиций в пристаночном накопителе инструментов	60	30
7. Время смены инструмента на столе, с	15	5
8. Число гнезд в магазине станка, шт	30	45
9. Число гнезд в магазине инструмента, шт	-	0,4
10. Время замены инструмента в магазине, с	-	6
11. Положение гнезда замены, номер	-	20
Автоматизированная транспортно-складская система		
12. Тип склада палет	стеллаж СТ4.5	
13. Число ярусов склада палет, шт	5	8
14. Число позиций склада в одном ярусе, шт	80	50
15. Координата склада палет, м:		
по вертикали	0,6	0,6
по горизонтали	1,5	6,0
16. Шаг ячеек склада, м:		
по вертикали	0,7	0,7
по горизонтали	0,7	0,7
17. Тип транспортного средства, модель	кран-штабелер СА.ТСС-0,5	
18. Число транспортных средств, шт	0,3	0,8
19. Скорость перемещения, м/с:		
по вертикали	1,5	2,0
по горизонтали	1,5	2,0
20. Обработка перемещений по координатам	последовательно	одновременно
21. Цикл смены палеты, с	-	40
22. Ускорение торможения, м/с ²	-	20,0
Автоматизированная система инструментального обеспечения		
23. Тип склада инструментов	однорядный однорядный	
24. Число ячеек склада, шт	-	200
25. Шаг ячеек склада, м	-	0,15
26. Координата склада, м:		
по вертикали	-	0,6
по горизонтали	-	2,0
27. Скорость перемещения инструментального средства, м/с	-	25,0
28. Ускорение торможения, м/с ²	-	5
29. Цикл смены инструмента, с	-	5
Автоматизированная система управления		
30. Распределение заготовок между станками	по общей очереди	
31. Приоритеты обслуживания станков заготовками	по приоритетам станков	
32. Способ идентификации режущего инструмента	кодированный	
33. Причина удаления инструмента из магазина	исчерпан ресурс	
34. Момент загрузки инструмента в магазин	адаптивно	
35. Приоритет загрузки станков инструментами	по приоритетам инструментов	
Сводные показатели эффективности работы ГПС		
36. Производительность системы, изделий/шт	2,1 – 6,3	1,7 – 4,8
37. Коэффициент загрузки оборудования, %	56 – 63	86 – 91
38. Расчетный срок окупаемости (при заданном нормативе 2), лет	2,9 – 3,6	2,2 – 2,5

Рис. 5. Содержание технического задания и технического предложения проекта по созданию ГПС.

4. Определить требуемое количество палет с различными ложементными, динамику (моменты времени) их потребления, номенклатуру и количество режущих инструментов и инструментальной оснастки, необходимой для выполнения сменного задания.

5. Оценить качество работы системы при выполнении сменного задания.

Ученому-исследователю

1. Проанализировать связи между различными входными и выходными характеристиками производственной системы.

2. Вывести и исследовать зависимости между входными и выходными параметрами ГПС (на основе вычислительных экспериментов с применением программного комплекса

«Каскад»), обуславливающие качество проектных и эксплуатационных решений.

3. Провести апробирование оптимизационных и логико-вероятностных процедур организации и управления производством и т.д.

Разработанный метод синтеза проектных и эксплуатационных решений, обеспечивающих высокую эффективность ГПС, программное обеспечение системы «Каскад» и методика его применения используются в учебном процессе ОГУ и МГТУ «Станкин». В ОГУ подготовка студентов в области ГПС ведется в рамках дисциплин регионального компонента по специальностям «Технология машиностроения», «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Системы автоматизированного проектирования». Методическое обеспечение включает курс лекций, циклы лабораторных работ и практических занятий, курсовой проект.

Курс лекций в полном объеме рассчитан на 85 ч. В теоретическом цикле излагаются основные понятия в области ГПС, поэтапно рассматривается состав технологического и сервисного оборудования ГПС механообработки (станки, транспортно-складские системы, инструментальное обеспечение, системы автоматического контроля, удаления стружки, управления). Рассматриваются технические и организационно-технологические решения, обеспечивающие высокую эффективность ГПС, излагается подход к построению компьютерных моделей автоматизированного производственного процесса. На лекциях используется презентационное оборудование, иллюстративные и видеоматериалы: серия плакатов издательства «Высшая школа» и учебные фильмы 80-х годов XX в., переписанные в цифровом формате, видеоматериалы станкостроительных фирм из Интернета, презентационные слайды современного оборудования и ГПС, компьютерная анимация работы автоматизированных производств. Конспект лекций издан в виде учебного пособия с грифом УМО [13], а также в виде электронного гипертекстового учебного пособия с цветными иллюстрациями. Электронная версия учебного пособия содержит около 90

вопросов для самопроверки и доступна студентам в локальной сети ОГУ и на CD-дисках.

Темы лабораторных работ выстроены в виде последовательности шагов, предусматривающих в соответствии с теоретическим циклом последовательный переход от технического задания к техническому предложению на создание ГПС – от разработки операционного технологического процесса на одну из деталей до расчета срока окупаемости ГПС с выбранными техническими и организационно-технологическими параметрами.

Техническое задание на ГПС индивидуальное для каждого студента содержит список изготавливаемых деталей и объем их годового выпуска, режим работы будущей системы (двух-, трехсменный) и планируемую длительность цикла безлюдной работы.

Техническое предложение представляет собой список из более чем 30 параметров станков, накопителей, транспортных средств и алгоритмов АСУ, заканчивающийся расчетными показателями эффективности ГПС – коэффициента загрузки, производительности и срока окупаемости затрат.

В качестве виртуальной лаборатории используется система «Каскад», инсталляция которой, инструкции по эксплуатации и лабораторный практикум имеются на CD-диске.

Практические занятия отводятся освоению метода циклограмм при построении компьютерных моделей ГПС. Рассматриваются программные процедуры, формализующие закономерности выбора заявок на обслуживание, поиск нужных заготовок на складе, расчет времени выполнения транспортных операций и пр. Изучаются особенности построения циклограмм, получение сводных результатов и оценки эффективности ГПС по результатам моделирования.

Завершается практическая подготовка студентов курсовым проектом ГПС, который включает необходимые графические иллюстрации (схемы планировки и компоновки оборудования, структурную схему АСУ и алгоритм управления работой оборудования, результаты струк-

турного и параметрического синтеза технического предложения проекта), разработанную студентом программу моделирования и пояснительную записку. Методические указания к курсовому проекту, варианты заданий и примеры оформления отдельных разделов также представлены на CD-диске, завершая полный комплект электронного учебного курса.

Подробное описание электронного учебного курса «Основы создания ГПС механообработки» представлено на специально созданном сайте [14].

Применение и углубление полученных знаний осуществляется в рамках дипломного проектирования и в аспирантуре.

Разработанный учебный курс может быть использован при переподготовке инженерно-технических работников промышленных предприятий, а после соответствующей адаптации – и в системе среднего профессионального образования.

Заключение

Таким образом, назревшая необходимость технического перевооружения отечественного производства требует подготовки специалистов в первую очередь в области создания и эксплуатации гибких производственных систем.

Высокая чувствительность ГПС к малым изменениям входных параметров предполагает использование методов компьютерного моделирования. Разработанная компьютерная система «Каскад» занимает нишу проблемно-ориентированного инструмента в области ГПС для специалистов-практиков разных профилей: технологов, проектировщиков, конструкторов, диспетчеров, исследователей.

Кроме того, реализованы конкретные шаги по внедрению системы «Каскад» в учебный про-

цесс подготовки и переподготовки специалистов по гибкой автоматизации.

Список литературы

1. Итоги заседания совета по CALS Росавиакосмоса. – <http://www.mati.ru/magazine/archive/102003/main.php>.
2. ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения. Номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.
3. ОАО НИТИ «Прогресс». – <http://www.niti-progress.ru/development.htm>.
4. Критические технологии федерального уровня. – http://www.extech.ru/s_e/min_s/niookr/krittech/annot/2-05.htm.
5. Станки, современные технологии и инструмент для металлообработки. – <http://www.stankoinform.ru/Stanki6.htm>.
6. Чеплаков Б.И. Тенденции развития мирового станкостроения в начале века. – <http://www.stankoimport.com/presscentre/forum/cherpakov.html>.
7. GPSS World. – <http://www.gpss.ru/systems/gpssw.html>.
8. AnyLogic. – <http://www.xjtek.ru/anylogic>.
9. Arena Enterprise Suite. – <http://www.itshop.ru/Level4.asp?ItemId=4670>.
10. Язык UML. – <http://uml.shl.com>.
11. Сердюк А.И. Моделирование производственного процесса ГПС // «СТИН». 1994. № 11. С.11-13.
12. Сердюк А.И., Баховский Л.Ф. Оценка влияния решений на качество функционирования ГПС // «АСТ». 1998. № 7. С. 29-32.
13. Бондаренко В.А., Сердюк А.И. Основы создания ГПС механообработки. Учебное пособие для вузов. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2001. – 215 с.
14. Сайт курса «Основы создания ГПС механообработки». – <http://fms-cim.narod.ru/>.