

На правах рукописи



ШАМАЕВ Сергей Юрьевич

**СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (машиностроение)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Черноусова Антонина Михайловна,
профессор кафедры систем автоматизации производства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Логунова Оксана Сергеевна,
заведующий кафедрой вычислительной техники и прикладной математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

доктор технических наук, профессор
Чеканин Александр Васильевич,
заведующий кафедрой сопротивления материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технологический университет «Станкин»

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Защита состоится 16 ноября 2013 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.181.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 6205.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».

Автореферат разослан 14 октября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.Н. Шерстобитова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных условиях повышению конкурентоспособности предприятий способствует создание гибких производственных систем (ГПС), что позволяет обеспечить гибкий и экономичный выпуск продукции с позаказной формой организации производства. При проектировании образцов новой техники выделяются следующие этапы, регламентированные нормативной документацией: техническое задание, техническое предложение, эскизный, технический, рабочий проект, изготовление опытного образца, испытания и доводка, серийное производство. Особенность проектирования ГПС как сложной технической системы заключается в отсутствии последних трех этапов, которые заменяются компьютерным моделированием.

В связи с этим возрастает ответственность проектировщиков за качество принимаемых решений, и особенно, при формировании технических предложений по созданию ГПС. Исходными данными в этом случае являются сведения об изделиях, документация и дополнительные требования заказчика. Средством проверки проектных решений является компьютерное моделирование. В результате анализа сопоставляются результаты моделирования с предъявляемыми требованиями к производственной системе, и принимается решение о дальнейших действиях.

Известные инструменты для моделирования функционирования ГПС характеризуются либо универсальностью, что не позволяет учитывать специфику автоматизированного производственного процесса, либо узкой специализацией, что не позволяет рассматривать проектные решения, не предусмотренные разработчиками инструментов. Поэтому необходима разработка метода формализованного описания элементов ГПС на разных уровнях их иерархии, позволяющего наращивать возможности инструментальной среды предпроектных исследований ГПС путем добавления новых библиотечных процедур по типу алгоритмических языков программирования высокого уровня. Современным средством разработки программного кода служат объектно-ориентированные технологии, использование которых логично осуществить и при описании объектов в разрабатываемой среде моделирования ГПС.

Таким образом, актуальной научной задачей является разработка нового подхода к созданию компьютерных моделей ГПС как инструмента автоматизированного анализа и синтеза проектных решений.

Работа выполнена в рамках г/б НИР № 01990000120 «Интеллектуальные системы автоматизированного проектирования и управления» и № 012201155447 «Методология создания высокоавтоматизированных производственных систем нового поколения с заданными свойствами» на кафедре систем автоматизации производства Оренбургского государственного университета; при поддержке гранта № 613, 9289 «Исследование механизма и закономерностей перехода от технического задания к техническому предложению на создание гибких производственных ячеек» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2011)»; в рамках соглашения 14.В37.21.1863 «Разработка инструментов инженерного анализа для построения

высокоавтоматизированных станочных систем» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013.

Цель работы – совершенствование процессов проектирования ГПС на основе разработки современного метода формализованного описания объектов и инструментальных средств компьютерного моделирования.

Задачи исследования:

- анализ содержания процессов проектирования и средств моделирования гибких производственных систем;
- систематизация и формализованное описание элементов гибких производственных систем на основе объектно-ориентированных технологий;
- разработка алгоритмов моделирования функционирования ГПС и ее элементов;
- программная реализация проектных процедур, использующих компьютерное моделирование, верификация системы моделирования.

Объект исследования – процессы компьютерного моделирования гибких производственных систем при оценке проектных решений.

Предмет исследования – формализация процедур компьютерного моделирования на основе объектно-ориентированных технологий.

Методы исследования. Использованы основные положения теорий алгоритмов, расписаний, массового обслуживания, методы математического моделирования, математическая логика, технологии визуального и объектно-ориентированного программирования, метод циклограмм. Для подтверждения достоверности разработанных моделей и их программной реализации использованы методы оценки чувствительности модели; проверки на тестовых примерах; сравнения полученных результатов моделирования с результатами работы программ-аналогов. Обработка результатов моделирования проведена в соответствии с алгоритмами, разработанными на основе аппарата теории вероятности и математической статистики.

Научной новизной обладают:

- метод формализованного описания элементов ГПС на основе теории множеств и объектно-ориентированных технологий, позволяющий описать объекты системы в виде иерархического множества компонентов, их параметров, действий и состояний;
- модель производственной системы, отражающая элементы ГПС в виде классов, их параметры - в виде атрибутов, действия – как методы классов, взаимодействия между элементами – как отношения между классами;
- алгоритмическое описание динамики взаимодействия элементов ГПС, отражающее процесс функционирования системы как логическое взаимодействие технологических и сервисных модулей, их узлов и агрегатов;
- компьютерная модель процессов функционирования ГПС, как инструментальное средство оценки качества проектных решений.

Практическую значимость имеют:

- инженерная методика формализованного описания элементов ГПС с использованием разработанного метода, позволяющая создавать описание новых

объектов системы и инкапсулировать в модель при появлении новых конструкторских решений;

– программная среда компьютерного моделирования для автоматизированного анализа проектных решений гибких производственных систем, обладающая открытой архитектурой и возможностями расширения и развития;

– инструкции программиста по установке программной среды и компиляции дополнительных библиотечных модулей в соответствии с методом формализованного описания элементов ГПС и их взаимодействия.

Результаты, выносимые на защиту:

1) метод формализованного описания элементов ГПС и их взаимодействия на основе теории множеств и объектно-ориентированных технологий;

2) модель, описывающая ГПС на разных уровнях иерархии;

3) алгоритмы моделирования работы ГПС как процесса взаимодействия оборудования, узлов и агрегатов, организованного по различным правилам;

4) система компьютерного моделирования для автоматизированного анализа проектных решений гибких производственных систем.

Реализация работы. Результаты работы в виде метода формализованного представления ГПС и программного комплекса в качестве автоматизированной среды анализа проектных решений внедрены в учебный процесс кафедры систем автоматизации производства Оренбургского государственного университета, приняты к внедрению в ОАО «ПО «Стрела» (г. Оренбург) и ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург).

Апробация полученных результатов. Основные результаты диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на международных конференциях «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2009), «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития» (Ульяновск, 2012); всероссийских «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (Оренбург, 2009), «Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки» (Оренбург, 2009), «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (Иркутск, 2012), научной школе-семинаре молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства (Оренбург, 2012). Результаты работы докладывались на межкафедральном семинаре научной группы по информационной поддержке изделий машиностроения (Оренбург, 2011 – 2013).

Публикации. По материалам диссертационной работы и результатам исследований опубликованы 18 печатных работ, в том числе 5 статей в журналах из «Перечня...» ВАК, 1 монография, 7 публикаций в сборниках научных трудов и материалов конференций международного и всероссийского уровня, 4 зарегистрированных программных средства, 1 методические указания.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников из 142 наименований и 5 приложений. Работа выполнена на 214 страницах, включая 80 рисунков, 26 таблиц и 63 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемой научной задачи, указывается связь исследований с государственными научными программами, формулируются цель и задачи исследования, перечисляются методы решения задач, приводятся результаты, выносимые на защиту, отмечается научная новизна и практическая значимость.

В первом разделе «Анализ содержания процессов проектирования и средств моделирования гибких производственных систем» выполнен анализ научных публикаций в области создания гибких производственных систем и путей формализации проектных процедур.

Общим проблемам ГПС посвящены работы Азбея В. О., Беянина П. Н., Васильева В. Н., Давыдова В. М., Егорова В. А., Звоницкого А. Ю., Козырева Ю. Г., Колосова В. Г., Лезажа Ж.-Ж., Лещенко В. А., Лищинского Л. Ю., Митрофанова В. Г., Павлова В. В., Пуша В. Э., Пигерта Р., Соломенцева Ю. М., Туккеля И. Л., Фромана Б., Хартли Д., Черпакова Б. И., Waurzyniak P., других отечественных и зарубежных ученых.

Большинство исследователей выделяют следующую последовательность проектирования ГПС: постановка задач, целей, выработка стратегии; выбор деталей и оценка технологии их изготовления; проектирование основного технологического оборудования; проектирование склада заготовок и инструмента; проектирование транспортных средств; разработка планировки ГПС; оформление проектной документации. «Облик» будущей системы формируется в техническом предложении. Содержанием технического предложения на ГПС служит спецификация оборудования и его характеристики, на базе которой и выполняется дальнейшее проектирование.

В виду сложности выполняемых расчетов на многих стадиях проектирования применяется компьютерное моделирование. Вопросами моделирования занимались Бусленко Н. П., Гульятев А. К., Жданова Е. Г., Кобалев Н. Б., Максимей И. В., Матвеев В. Ф., Павловский Ю. И., Сирота А. А., Советов Б. Я., Яковлев С. А., Шеннон Р., Томашевский В. Н., Шрайбер Т. Дж., Ушаков В. Г. и другие. Моделированию производственных систем посвящены работы Козырева Ю. Г., Кульбы А. В., Лескина А. А., Назаретова В. М., Пантюшина С. В., Пономарева В. М., Ситникова В. И., Сердюка А. И., Сергеева А. И., Тягунова О. А., Хайдукова В. П., Ямпольского Л. С. и других исследователей. В них рассмотрены теоретические вопросы и разработаны специализированные программные средства, позволяющие моделировать работу производственных систем.

Как показал обзор систем компьютерного моделирования, при оценке проектных решений ГПС применяют универсальные (AnyLogis, Arena, GPSS World, PowerSim, ProModel, SimProcess, и др.) и проблемно-ориентированные системы (AutoMod, Каскад, ТОМАС, SIRE). Выявлено, что ни одна из рассмотренных систем моделирования в целом не позволяет оценить результаты предпроектных исследований устройств и комплексов ГПС и их взаимодействия на уровнях технологических процессов и операций, отсутствует возможность внедрения новых объектов и подсистем в алгоритм моделирования работы.

В связи с этим рассмотрены применяемые методы моделирования: агентное моделирование; дискретно-событийное моделирование; системная динамика

и другие. Поскольку планируется осуществлять моделирование на уровне технологических переходов (на самом низком уровне абстракции) при необходимости учета большого числа параметров оборудования и технологических процессов, то выбран дискретно-событийный метод, но с использованием системной динамики для выявления причинно-следственных связей.

Сделан вывод, что программная реализация среды моделирования возможна с применением объектно-ориентированного подхода, что позволяет: разработать модель ГПС с детализацией, необходимой разработчику; относительно легко модернизировать и расширить модель при необходимости; упростить и сократить время программной реализации. Исследованием и применением объектно-ориентированного моделирования и программирования занимались Вендров А. М., Грекул В. И., Ирингер М., Кирстен В., Леоненков А. В., Меллор С., Труб И. И., Шлеер С., Шульте П., Pereira C. E., Ruinbaugh P., Wagner F. R. и другие.

Во втором разделе «Систематизация и формализованное описание элементов гибких производственных систем на основе объектно-ориентированных технологий» разработан метод, позволяющий описать устройства и комплексы ГПС с учетом конкретных характеристик оборудования, и получены их модели.

Модель ГПС представлена, как динамическое взаимодействие следующих автоматизированных систем: системы основного технологического оборудования (СОТО), транспортно-складской системы (ТСС), системы инструментального обеспечения (СИО) (рис. 1). Модель ГПС описана множеством $G = \{TCC, O, ИС, П, A\}$, где TCC – множество объектов транспортно-складской системы; O – множество объектов основного технологического оборудования; $ИС$ – множество объектов системы инструментального обеспечения; $П = \{P_i; i = 1, \dots, m\}$ – множество параметров, входящих в описание ГПС, m – число параметров ГПС; $A = \{A_i; i = 1, \dots, k\}$ – описание алгоритмов управления и работы гибкой производственной системы, k – число возможных алгоритмов.

Выделение отдельных компонентов системы и определение набора реализуемых ими функций осуществлено в соответствии с рассматриваемым иерархическим уровнем описания. На уровне технологических переходов транспортно-складская система рассмотрена как совокупность склада заготовок и транспортных средств (ТС), осуществляющих функции хранения и транспортировки заготовок и деталей. Описание ТСС представлено как $TCC = \{T_3, C_3, A_3\}$, где $T_3 = \{T_t, T_p, T_d\}$ – описание ТС: T_t – тип ТС; $T_p = \{T_p^i; i = 1, \dots, n\}$ – параметры ТС, n – число параметров; $T_d = \{T_d^i; i = 1, \dots, n\}$ – набор действий, выполняемых ТС, n – число действий; $C_3 = \{C_t, C_p, C_d\}$ – описание склада, C_t – тип склада; $C_p = \{C_p^i; i = 1, \dots, n\}$ – параметры склада, n – число параметров; $C_d = \{C_d^i; i = 1, \dots, n\}$ – набор действий, выполняемых складом, n – число действий; $A_3 = \{A_i; i = 1, \dots, n\}$ – описание алгоритмов управления и работы ТСС, n – число возможных алгоритмов.

СОТО представляет собой станки с ЧПУ или станки типа «обрабатывающий центр» (ОЦ), в которых в качестве отдельных объектов рассматриваются пристаночный накопитель, магазин инструментов и рабочая зона. СОТО описана как $O = \{S, A_O\}$, где $S = \{S_i; i = 1, \dots, n\}$ – описание обрабатывающего оборудования: станки, ОЦ, n – число станков; $S_i = \{S_t, S_p^i, S_w^i, S_a^i, S_l^i, S_d^i\}$, S_t – тип станка; $S_p^i = \{S_p^{ij}; j = 1, \dots, n\}$ – параметры станка, n – число параметров; S_w^i – описание

рабочей зоны станка; S_a^i – описание пристаночного накопителя станка; S_I^i – описание магазина инструментов станка; $S_d^i = \{S_d^{ij}; j = 1, \dots, n\}$ – набор действий, выполняемых станком, n – число действий; $A_O = \{A_O^i; i = 1, \dots, n\}$ – описание алгоритмов управления и работы технологического оборудования, n – число возможных алгоритмов.

В СИО выделены склад инструментов и инструментальные роботы (ИР). Рассматриваемые функции СИО: хранение на складе режущих инструментов и их транспортировка. Описание СИО представлено как $ИС = \{T_{И}, C_{И}, A_{И}\}$, где $T_{И} = \{T_t, T_p, T_d\}$ – описание ИР: T_t – тип инструментального робота; $T_p = \{T_p^i; i = 1, \dots, n\}$ – параметры ИР, n – число параметров; $T_d = \{T_d^i; i = 1, \dots, n\}$ – набор действий, выполняемых ИР, n – число действий; $C_{И} = \{C_t, C_p, C_d\}$ – описание склада инструментов, C_t – тип склада; $C_p = \{C_p^i; i = 1, \dots, n\}$ – параметры склада, n – число параметров; $C_d = \{C_d^i; i = 1, \dots, n\}$ – набор действий, выполняемых складом, n – число действий; $A_{И} = \{A_i; i = 1, \dots, n\}$ – описание алгоритмов управления и работы системы инструментального обеспечения, n – число возможных алгоритмов.

Выявлены формальные зависимости между системами в виде материальных потоков: ТСС и СОТО взаимодействуют через потоки заготовок и деталей, СИО и СОТО взаимодействуют через поток инструментов.



Рисунок 1 – Диаграмма кооперации объектов ГПС

Для анализа и описания отдельных элементов ГПС применены теория множеств и объектно-ориентированные технологии. Каждый элемент ГПС описывается множеством $O_i = \{O_t, O_p, O_d\}$ где i – номер объекта; O_t – тип объекта (например, «Транспорт», «Хранилище», «Обработывающие средства», «Вспомогательные средства»); $O_p = \{O_p^i; i = 1, \dots, n\}$ – параметры, учитываемые в модели, n – число параметров; $O_d = \{O_d^i; i = 1, \dots, n\}$ – выполняемые объектом действия, влияющие на выполнение производственного процесса, n – число действий.

В соответствии с технологией выбранного дискретно-событийного моделирования функционирование объектов ГПС описано в виде кортежа $S = (S_0, C, T, R)$, где S_0 – начальное состояние; C – конечное множество состояний, в которых может находиться объект; T – время нахождения объекта в каком-либо состоянии; R – правила перехода из состояния в состояние.

В качестве примера на рис. 2 представлена смена состояний у транспортного средства и условия перехода из одного состояния в другое.

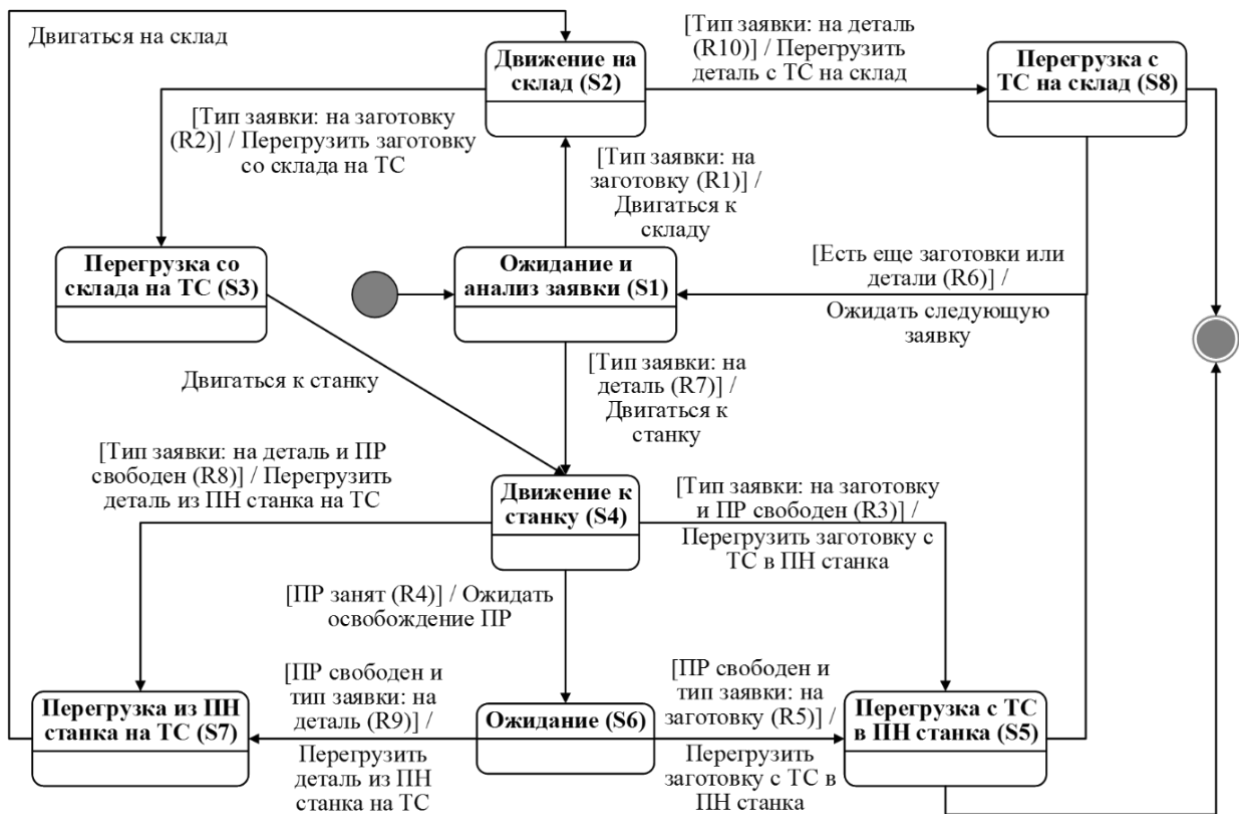


Рисунок 2 – Диаграмма состояний транспортного средства

Предлагаемая модель производственной системы в виде диаграммы классов, на которой показаны классы и отношения между ними (зависимость, обобщение, агрегация), приведена на рис. 3.

Таким образом, в разработанной модели ГПС отражены функционально значащие объекты, находящиеся в СОТО, ТСС и СИО; в описание работы каждого объекта включен набор состояний, в которых может находиться объект, время нахождения в них, правила перехода из одного состояния в другое, начальное и конечное состояния; для модели производственной системы применена диаграмма классов, позволяющая отразить классы объектов, их атрибуты и отношения между классами.

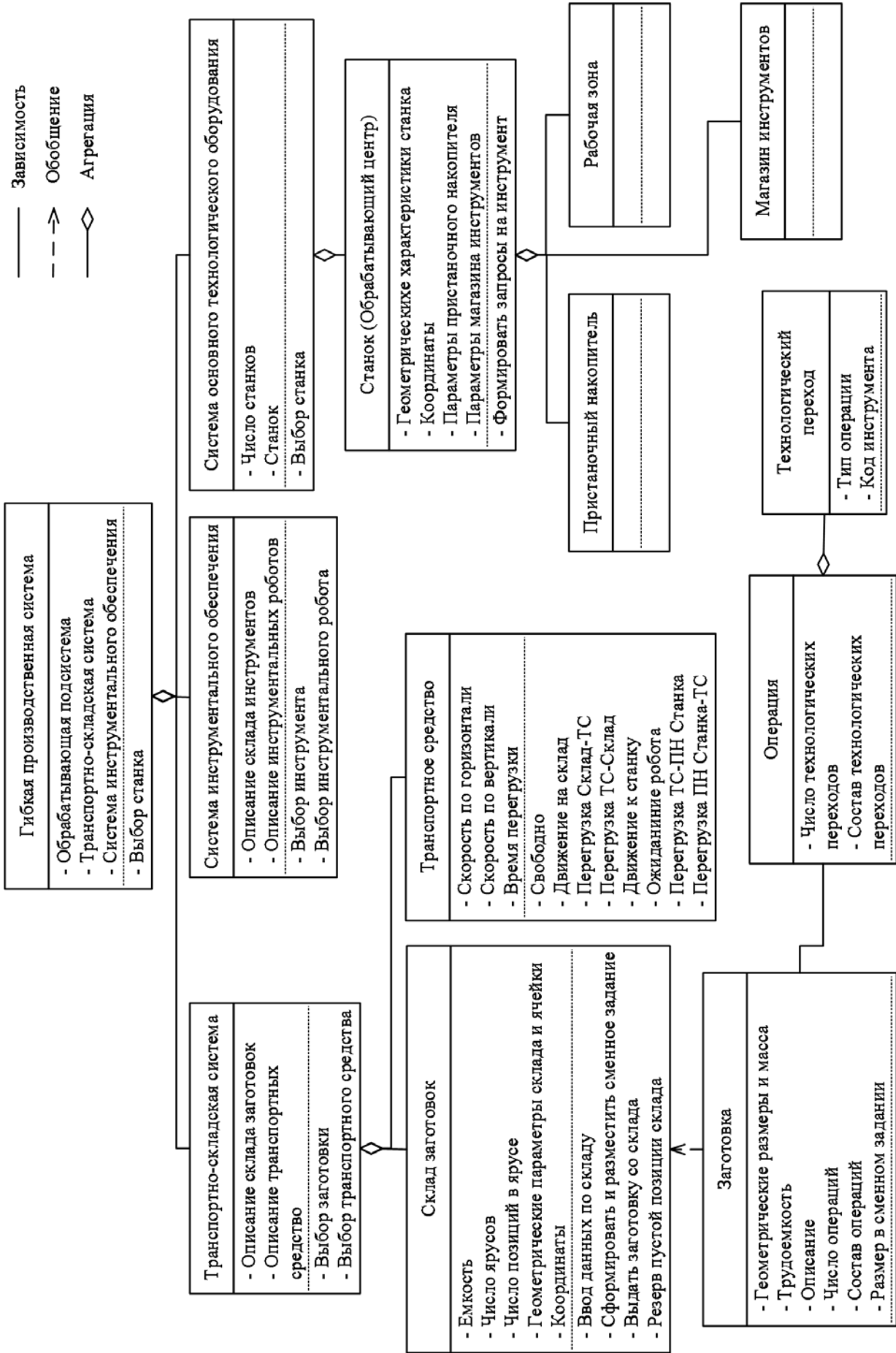


Рисунок 3 – Модель производственной системы в виде диаграммы классов (фрагмент)

В третьем разделе «Разработка алгоритмов функционирования ГПС и ее элементов» с использованием формализованного описания объектов ГПС разработаны алгоритмы функционирования системы в целом и ее подсистем.

Для размещения на складе заготовок из состава сменного задания (СЗ) используются следующие алгоритмы: «по очереди добавления в СЗ»; «минимальное время обработки»; «максимальное время обработки»; «предварительно распределив между станками». Кроме этих, в качестве критериев могут быть использованы: прелиминарное распределение заготовок между ОЦ с целью равномерного распределения коэффициентов загрузки ОЦ, определяемых выражением $k_{\text{ОЦ}} = T_{\text{сз}} / T_{\text{р}}^i$, где $T_{\text{сз}}$ – время выполнения сменного задания, $T_{\text{р}}^i$ – время работы i -го ОЦ; размещение распределенных заготовок в позициях склада, близких к соответствующим ОЦ.

Процесс моделирования начинается с инициализации модельного времени (рис. 4). С определенной дискретностью, по умолчанию принимаемой 1 сек., происходит опрос объектов системы, т. е. проверка и смена текущих статусов.

В процессе моделирования формируются заявки на заготовки.

Условием успешного формирования заявки на заготовку является:

$$tz: \exists z \in Znr; \exists s \in Sa; \exists tr \in Ts, \quad (1)$$

где tz – время формирования заявки; Z – множество заготовок, Znr – подмножество множества Z незарезервированных заготовок ($Znr \in Z$); S – множество станков, Sa – подмножество множества S станков с пристаночным накопителем, имеющим свободные позиции ($Sa \in S$); T – множество транспортных средств, Ts – свободные транспортные средства ($Ts \in T$).

Выбор станка происходит согласно условию:

$$tz: \exists s: s \in Sa \wedge s \in Sc \wedge s \in Sd, \quad (2)$$

где Sd – дополнительное условие, являющееся правилом поиска.

Условие выбора заготовки со склада для доставки к обслуживаемому станку запишем следующим образом:

$$tz: \exists z: z \in Znr \wedge z \in Zd \vee z \in Zr, \quad (3)$$

где Zd – дополнительное условие, являющееся правилом поиска; Zr – дополнительное необязательное условие, например, критерий близости к обслуживаемому станку.

Условие для выбора транспортного средства:

$$tz: \exists tr: tr \in Ts \wedge tr \in Td, \quad (4)$$

где Td – дополнительное условие, являющееся правилом поиска.

Далее происходит смена статуса у транспортного средства, которое переходит в состояние движения на склад за заготовкой, рассчитывается время нахождения в данном состоянии, равное времени движения с текущего положения до соответствующей позиции заготовки на складе. Если при опросе ТС в момент времени t происходит завершение какого-либо события у ТС, то анализируется текущий статус, и выбирается новый статус согласно правилам перехода из состояния в состояние; ТС переходит в следующее состояние, рассчитывается время нахождения в этом состоянии.

Параллельно исполнению заявки, станку передаются сведения о транспортируемой заготовке. Анализируется технологический процесс, проверяется наличие необходимых инструментов в магазине ОЦ. На отсутствующие инстру-

менты формируются запросы, из которых формируется очередь заявок на инструмент. Из этой очереди заявок выбирается заявка согласно правилам, выбирается свободный инструментальный робот, который ее исполняет.

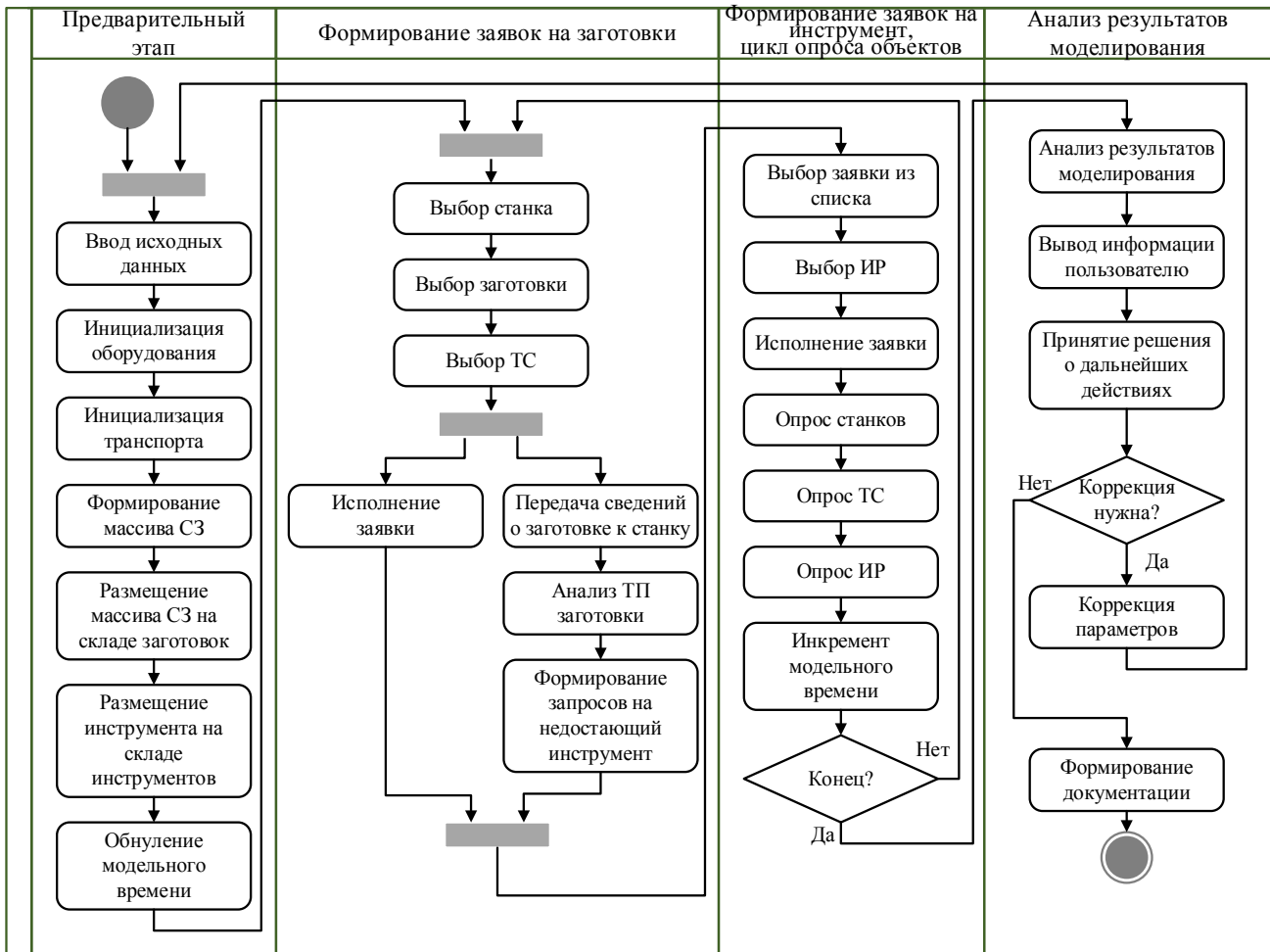


Рисунок 4 – Процесс моделирования работы ГПС в виде диаграммы деятельности

Затем начинается цикл опроса обрабатывающего оборудования (процесс опроса, смены статусов и времени нахождения в соответствующем состоянии выглядит аналогично опросу транспортных средств; после того, как закончится обработка заготовки на станке, значение заготовок уменьшается на единицу), транспортных средств и инструментальных роботов.

Условием окончания моделирования работы системы является обработка всех заготовок и размещение деталей на складе. Далее производится статистическая обработка и вывод результатов моделирования пользователю, анализ соответствия ожидаемым результатам и принятие решения о дальнейших действиях.

Разработанные алгоритмы моделирования работы функционально-необходимых компонентов ГПС представлены в работе.

Таким образом, в алгоритме моделирования учитывается размещение сменного задания на складе заготовок с учетом коэффициента загрузки оборудования; алгоритм позволяет найти теоретический максимальный коэффициент загрузки ОЦ. К достоинствам алгоритма относятся возможность рассмотрения всех событий и состояний объектов в модельном времени и отсутствие ограничений на число рассматриваемых объектов.

В четвертом разделе описывается программная реализация системы моделирования ГПС.

Система моделирования включает модули, представленные на рис. 5 в виде диаграммы компонентов, входящие в состав четырех зарегистрированных программных средств. Функциональные возможности разработанной системы – описание работы ГПС с учетом технических параметров технологического оборудования: обрабатывающих центров (цикл смены заготовки и инструмента, емкость магазина инструментов, пристаночного накопителя и т. д.), транспортных средств и инструментальных роботов (скорость, время перегрузки заготовки/инструмента); оценка показателей эффективности работы ГПС при изменении параметров оборудования, его агрегатов и правил взаимодействия; составление оптимального сменного задания; корректировка параметров оборудования и складской системы на основании статистического моделирования.

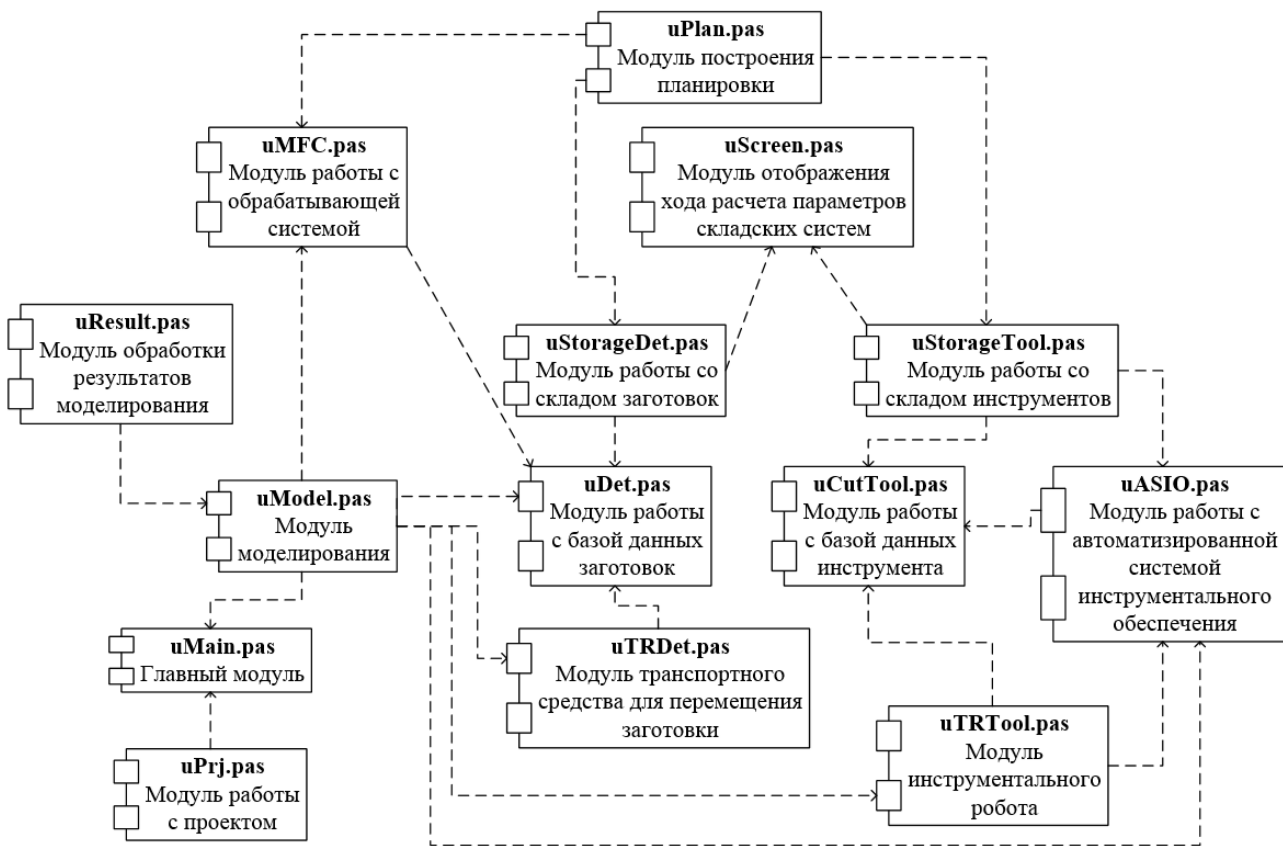


Рисунок 5 – Диаграмма компонентов системы

Программные модули построения циклограмм на уровне технологического перехода тестировались путем сопоставления получаемых результатов с хронометражем выполнения управляющей программы на станке 400V. Программные модули построения циклограмм на уровне технологической операции тестировались путем хронометража обработки заготовок на натурной малогабаритной модели ГПС, включающей фрезерный станок FPX-20EF4, токарный станок НТ-4Ф3, промышленный робот и накопитель заготовок. Для тестирования статистических закономерностей использованы программы-аналоги Каскад и PolyTrans, широко используемые для учебных и научных целей в Оренбургском государственном университете.

Примеры экранных форм результатов моделирования для одного из вариантов СЗ представлены на рис. 6.

В ходе вычислительных экспериментов с разработанной системой установлено, что повысить эффективность работы ГПС можно не только за счет выбора технических (проектных) параметров оборудования, но и за счет настройки правил взаимодействия оборудования. К примеру, применение правил для выбора станка – «по очереди», для транспортных средств – «по времени поступления заявки», распределение заготовок – «оптимально», позволило увеличить коэффициент загрузки ГПС на 1,9 %, производительность - на 2,9 %, сократить время выполнения сменного задания - на 2,8 % по сравнению с другими правилами.

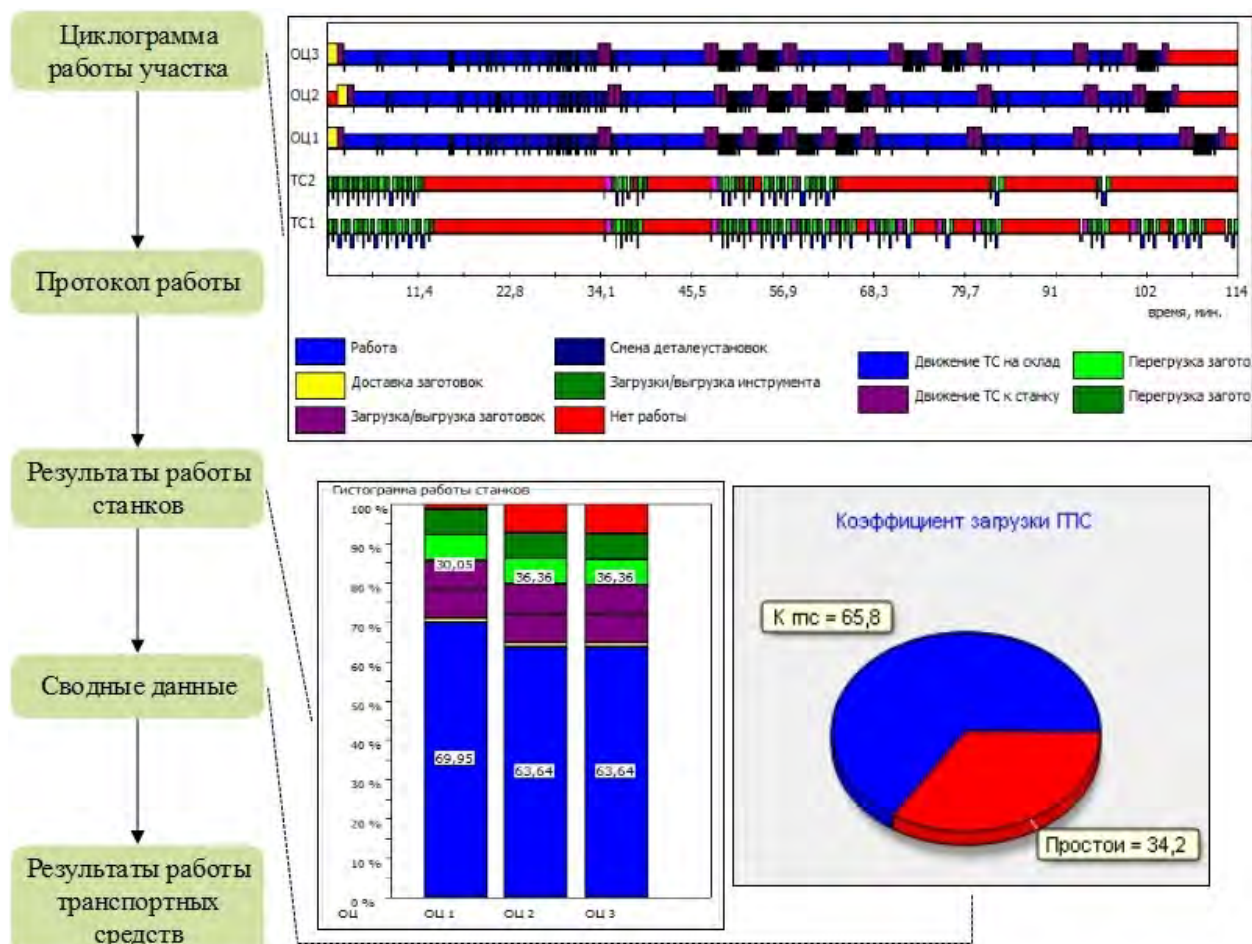


Рисунок 6 – Экранные формы результатов моделирования одного СЗ

Рекомендации по применению системы компьютерного моделирования при анализе ГПС включают инструкции программиста по инсталляции программной среды, работе с ней и компиляции дополнительных библиотечных модулей в соответствии с методом формализованного описания элементов ГПС и их взаимодействия.

В заключении приведены выводы и результаты, полученные автором в ходе исследования.

В приложениях к диссертации приведены алгоритмы проектных процедур, фрагменты программного кода, документы, подтверждающие внедрение результатов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показана специфика проектирования гибких производственных систем и нецелесообразность использования применяемых в настоящее время систем

компьютерного моделирования. Обоснована необходимость разработки собственного программного обеспечения на основе дискретно-событийного моделирования и объектно-ориентированных технологий.

2. Предложен метод формализованного описания процесса функционирования ГПС на уровне технологического перехода и разработано его математическое обеспечение на основе теоретико-множественного подхода, что позволило получить модели классов объектов гибкой производственной системы с требуемыми параметрами. Применение объектно-ориентированных технологий позволило масштабировать модели и включать в них дополнительные параметры по мере необходимости.

3. На основе объектно-ориентированной модели ГПС разработан алгоритм функционирования системы в целом и ее компонентов. Это позволило описать поведение объектов с требуемым уровнем детализации. В частности, для механической обработки заготовок реализовано моделирование на уровне технологической операции или технологического перехода.

4. Разработана система компьютерного моделирования, предназначенная для автоматизации оценки проектных решений по функционированию ГПС, включающая программные модули для моделирования основного оборудования производственной системы «Project PS», складской системы «StorageCalculation», работы производственной системы «Model PS», оценки технического предложения на создание гибкой производственной системы «FMS-PC».

5. Разработана программная библиотека классов оборудования и компонентов ГПС, обращение к которой позволяет пользователю сформировать требуемую конфигурацию компьютерной модели производственной системы, используя привычные для программиста компоненты в среде объектно-ориентированного программирования. Тем самым разработка компьютерной модели приобретает преимущества визуальной среды, повышается скорость, наглядность, свойственная объектно-ориентированным языкам.

Основные результаты диссертации представлены в работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Шамаев, С. Ю. Алгоритмы автоматизированного построения циклограмм работы оборудования / А. И. Сердюк, Р. Р. Рахматуллин, С. Ю. Шамаев, С. А. Назаров // Технология машиностроения. – 2010. – № 9 (99). – С. 51 – 56.

2. Шамаев, С. Ю. Практическое применение имитационного компьютерного моделирования в промышленности / С. Ю. Шамаев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 13.

3. Шамаев, С. Ю. Представление модели параметрического синтеза технического объекта в реляционной базе данных / В. Г. Мокрозуб, А. И. Сердюк, С. Ю. Шамаев, С. В. Каменев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – № 2. – С. 462 – 465.

4. Шамаев, С. Ю. Представление структуры технических объектов с взаимозаменяемыми элементами в виртуальных моделях / В. Г. Мокрозуб, А. И. Сердюк, С. В. Каменев, С. Ю. Шамаев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – № 2. – С. 467 – 470.

5. Шамаев, С. Ю. Применение объектно-ориентированных технологий при моделировании высокоавтоматизированных производственных систем / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 4 (2). – С. 777 – 782.

Монография:

6. Шамаев, С. Ю. Практические расчеты гибких производственных ячеек. Модели, алгоритмы, приложения: монография / Р. Р. Рахматуллин, А. И. Сердюк, А. М. Черноусова, С. Ю. Шамаев. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. – 237 С.

Публикации в других изданиях:

7. Шамаев, С. Ю. Алгоритм имитационного моделирования работы гибкой производственной ячейки: сборник материалов IV всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИИ-технологии» / С. Ю. Шамаев, С. А. Назаров. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 406 – 408.
8. Шамаев, С. Ю. Информационные технологии при изучении гибких производственных систем [Электронный ресурс]: материалы всероссийской научно-практической конференции «Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки» / С. Ю. Шамаев, С. А. Назаров. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – С. 796 – 799. Регистрационное свидетельство ФГУП НТЦ «Информрегистр» № 17020 от 14.09.2009 г., Номер гос. рег. 0320901657.
9. Шамаев, С. Ю. Метод создания компьютерных моделей для оптимизации производства: сборник материалов IX международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» / А. И. Сердюк, С. Ю. Шамаев, Е. В. Гаврюшина. – Оренбург: ОГУ, 2009. – С. 337 – 339.
10. Шамаев, С. Ю. Моделирование гибкой производственной системы при формировании технического предложения: сборник статей II всероссийской научно-практической конференции, приуроченной ко Дню космонавтики «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 119 – 125.
11. Шамаев, С. Ю. Применение объектно-ориентированных технологий при моделировании высокоавтоматизированных производственных систем: сборник статей III международной научно-практической конференции «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития» / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – С. 108 – 115.
12. Шамаев, С. Ю. Анализ применения программного средства FMS PC при проектировании гибкой производственной системы: сборник материалов научной школы-семинара молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. – С. 182 – 188.
13. Шамаев, С. Ю. Информационные модели гибкой производственной системы: международный сборник научных трудов «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах» / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова, 2012. – С. 120 – 125.
14. Свидетельство № 2010610231 Российская Федерация. Программа формирования технического предложения на создание гибкой производственной системы «FMS-PC»: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / А. И. Сердюк, С. Ю. Шамаев; заявитель и правообладатель государственное образовательное учреждение Оренбургский государственный университет. - № 2009616111; заявл. 03.11.2009; зарегистр. 11.01.2010. – 1 с.
15. Свидетельство № 2013612018 Российская Федерация. Программа для расчета числа станков и построения планировки производственной системы Project PS: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». – № 2012661217; заявл. 18.12.2012; зарегистр. 12.02.2013. – 1 с.
16. Свидетельство № 2013612019 Российская Федерация. Программа моделирования работы производственной системы Model PS: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». – № 2012661218; заявл. 18.12.2012; зарегистр. 12.02.2013. – 1 с.
17. Свидетельство № 2013612020 Российская Федерация. Программа проектирования складской системы StorageCalculation: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова, А. И. Сердюк; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». – № 2012661219; заявл. 18.12.2012; зарегистр. 12.02.2013. – 1 с.
18. Шамаев, С. Ю. Имитационное моделирование гибкой производственной системы: методические указания для лабораторной и самостоятельной работ студентов / С. Ю. Шамаев. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 29 с.

Подписано в печать 11.10.2013г.

Отпечатано в типографии «ОренПечать»

О.Г.Р.Н. 312565810300101

Формат 60x84 1/16. Бумага офисная. Усл. печ. л. 1.0

Тираж 100 экз. Заказ 106

г. Оренбург, ул. Советская, 27, офис 214