

На правах рукописи

Смирнов Дмитрий Петрович



РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ Е-СЕТЕЙ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в приборостроении)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре информатики и программного обеспечения вычислительных систем Национального исследовательского университета «МИЭТ».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Колдаев Виктор Дмитриевич,
профессор кафедры ИПОВС
Национального исследовательского
университета «МИЭТ»

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Беляев Андрей Александрович,
начальник лаборатории научно-
технического отдела ОАО НПЦ
«ЭЛВИС»

кандидат технических наук, доцент
Теплова Яна Олеговна
инженер ООО «АСпромт»

Ведущая организация: ООО ФИРМА «АНКАД»

Защита состоится 27 апреля года в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д212.134.04 при Национальном исследовательском университете «МИЭТ» по адресу: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского университета «МИЭТ» и на сайте www.miet.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



А.А. Шерченков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время одним из условий успешного функционирования современного предприятия является использование автоматизированных производственных логистических процессов (АПЛП). Основная их задача заключается в максимальном снижении временных задержек на различных этапах производства и в способности подстроиться под изменяющиеся внутренние и внешние условия, влияющие на предприятие. Для проектирования, анализа и исследования АПЛП используется виртуальное моделирование. Связано это с тем, что проведение экспериментов на реальных объектах требует больших финансовых и трудовых затрат.

Имитационное моделирование дает возможность описывать поведение АПЛП с помощью динамических моделей. Однако увеличение размера исследуемой системы повышает сложность ее моделирования, общее понимание внутренних взаимодействий различных процессов ухудшается, внесение изменений требует больших временных затрат. При этом повторное использование модели или ее части (в случае модернизации производства или анализа его текущего состояния) является трудоемкой задачей. Решением данных проблем является возможность представления сложных систем с применением декомпозиции, разделяя систему на отдельные процессы в виде набора библиотечных компонентов, и автоматизированная поддержка актуальных данных о моделируемых объектах. На данный момент существуют различные исследования по применению объектно-ориентированного подхода в имитационном моделировании. Существенный вклад в развитие данного направления внесли отечественные ученые: Ю.Б. Сениченков, Ю.Б. Колесов, А.В. Борщев, А.В. Приступа, О.А. Змеев, И.В. Стеценко, А.А. Мицель, Е.Б. Грибанова, В.И. Гурьянов, К.Ю. Войтиков, А.Н. Моисеев, а также зарубежные исследователи: Джеф Ротенберг, Джеффри А. Джонс, Стивен Д. Робертс, М.Д. Rossetti, В. Aylor, R. Jacoby, A. Prorock, A. White и др. Работы И.В. Стеценко, С. Lakos, Н. Ху, посвящены объединению математического аппарата моделирования сетей Петри и объектно-ориентированного подхода, в которых предлагаются различные варианты в представлении частей сети или отдельных ее компонентов в виде объектов. Данному направлению необходимо развитие, поскольку специфика производственных логистических процессов требует использования формального аппарата, состоящего из

простого набора базовых элементов, с возможностью подробно описывать производственные операции небольшим их количеством, что пока невозможно сделать существующими объектно-ориентированными представлениями сетей Петри.

Помимо эффективного построения модели, необходима организация ее взаимодействия с реальными объектами для оперативного получения информации об изменениях различных параметров, что позволит заранее спрогнозировать возможные последствия применения тех или иных действий.

В связи с вышесказанным актуальной является проблема сложности анализа и управления АПЛП.

Объектом исследования в данной работе являются АПЛП.

Предмет исследования – методики и алгоритмы имитационного моделирования автоматизированных логистических процессов и производств.

Исходя из анализа существующих в данной области проблем, были сформулированы следующие цели и задачи работы.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности анализа и управления АПЛП на основе разработки методик и алгоритмов имитационного моделирования с применением объектно-ориентированного подхода.

В соответствии с указанной целью в работе решаются следующие задачи:

- аналитический обзор существующих современных автоматизированных систем управления логистическими процессами;
- формализация проблемы, анализ современных методик и алгоритмов моделирования АПЛП;
- разработка методики имитационного объектно-ориентированного моделирования (ОМ) на основе модифицированных E-сетей;
- расширение математического аппарата для описания структуры моделируемых систем;
- разработка предметно-ориентированного языка описания для моделирования распределенных АПЛП;
- реализация программного комплекса имитационного моделирования с поддержкой объектно-ориентированного языка описания;
- методика сопровождения АПЛП;

- верификация разработанных методик и алгоритмов.

Методы исследования. Поставленные задачи в диссертационной работе решались с использованием методов системного анализа, теории графов, теории массового обслуживания, а также методов разработки предметно-ориентированного языка и программирования сложных систем.

Научная новизна. Диссертационные исследования позволили получить следующие новые научные результаты.

1. Разработана новая методика имитационного ООМ на базе модифицированных Е-сетей, позволяющая сократить описание модели по сравнению с временными цветными сетями Петри в среднем на 20%, увеличивая возможность повторного использования отдельных частей модели.

2. Предложена методика сопровождения АПЛП, позволяющая ускорить процесс анализа и повысить точность оценки сложившейся ситуации, с возможностью получения актуальных данных с погрешностью расчета временных показателей равной 4%.

3. Выявлены преимущества разработанного алгоритма сетевого ООМ распределенных процессов для программного комплекса имитационного моделирования в сравнении с современным алгоритмом Петри-объектного моделирования.

4. Разработан предметно-ориентированный язык OOMDL, представляющий собой средство для применения методики ООМ и имеющий Си-подобный синтаксис.

5. Разработан программный комплекс «Antsim» на основе методики имитационного ООМ с поддержкой языка OOMDL, решающий задачи моделирования АПЛП и описывающий работу программного обеспечения и различных систем массового обслуживания.

6. Обоснована возможность применения методики имитационного ООМ на типовых моделях АПЛП и выявлено повышение эффективности в сравнении с временными цветными сетями по числу основных узлов на 28%; по количеству связей между компонентами на 35%; снижение времени на разработку модели на 20%.

Практическая значимость работы. Получены следующие практические результаты.

1. Методика сопровождения АПЛП применима для внедрения в различные виды предприятий и позволяет предсказывать результаты при изменении рабочего процесса.

2. Алгоритм сетевого ООМ распределенных процессов для программного комплекса имитационного моделирования, позволяющий проводить эксперименты с объектно-ориентированной моделью реальной системы на основе модифицированных E-сетей.

3. Предложенные алгоритмы и методики, реализующие модели производственных логистических систем любой сложности и позволяющие создавать библиотеки моделей отдельных процессов для возможности повторного их использования.

4. Разработанный программный комплекс имитационного моделирования эффективно используется для исследования и поддержки различных производственных логистических систем, что подтверждено её успешным внедрением в логистические отделы склада компаний ООО «КОСМОС», ООО «Сокол-Т».

5. На основе разработанной методики ООМ создана, программно реализована и верифицирована имитационная модель АПЛП.

6. Результаты работы применимы для использования их в других средствах имитационного моделирования (таких, как Anylogic), эффективно используя проработанный формальный аппарат, упрощая процесс моделирования автоматизированных распределенных систем.

7. Разработаны и исследованы модели АПЛП в распределенной складской сети предприятия, позволившие выявить узкие места функционирования автоматизированных процессов, тем самым повысив производительность на 15% и снизив влияние негативных факторов на 40%.

Достоверность научных результатов. Достоверность полученных научных результатов подтверждается созданием программного комплекса имитационного моделирования и внедрением его в работу автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами для проведения исследования и анализа работы производственных логистических складских процессов.

Личный вклад автора. Все положения, выносимые на защиту, и программное обеспечение разработаны автором лично.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту.

1. Формализация процесса управления производственными логистическими потоками современными автоматизированными системами.

2. Методика имитационного ООМ, разработанная на базе модифицированных E-сетей, которая позволяет сократить описание

моделей в среднем на 20% по сравнению с временными цветными сетями Петри.

3. Разработанный предметно-ориентированный язык OOMDL для описания АПЛП и алгоритм сетевого OOM распределенных процессов для программного комплекса имитационного моделирования.

4. Разработанная методика сопровождения АПЛП, которая позволяет получать актуальные данные с погрешностью расчета временных показателей равной 4%.

5. Программный комплекс на основе предложенной методики имитационного OOM для проектирования и исследований АПЛП.

6. Результаты верификации предложенных решений.

Апробация и внедрение результатов работы. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России – Соглашение номер 14.578.21.0085, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0085. Основные результаты работы были апробированы на всероссийских, международных научно-технических конференциях, описание которых представлено в списке литературы. Имеются 2 свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения, а также 1 патент на полезную модель, в которых использовались разработанные автором алгоритмы. Разработанный программный комплекс внедрен в логистические отделы склада компаний ООО «КОСМОС», ООО «Сокол-Т», а также включен в учебный процесс НИУ «МИЭТ».

По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, среди которых 6 статей напечатаны в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 100 наименований и 6 приложений. Помимо этого, имеются акты о внедрении программного комплекса «Antsim». Основная часть диссертации представлена на 144 страницах, включая 42 рисунка и 6 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы и решаемых в ней проблем; определяется цель работы и задачи исследования; представлена научная новизна и практическое

применение результатов; приводятся основные положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации работы и публикациях; представлено краткое содержание диссертации.

В первой главе проводится анализ современных технологий моделирования, рассматриваются методы и средства исследования и анализа АПЛП. Формулируются основные проблемы использования имитационного моделирования на предприятиях.

На данный момент существует множество технологий и методов моделирования, направленных на исследование и осуществление предварительного анализа АПЛП. На рис.1 представлены основные технологии и методы моделирования, используемые при проектировании автоматизированных производственных систем (АПС).



Рис. 1. Технологии и методы моделирования АПС

Среди существующих на данный момент технологий моделирования наиболее используемой для исследования и анализа АПЛП является технология имитационного моделирования, поскольку она позволяет создавать схожие по свойствам и структуре модели различных объектов. Изменение параметров и условий в построенных моделях не требует больших временных и финансовых затрат, процесс проведения имитационного эксперимента является простым и наглядным.

Имитационное моделирование имеет несколько основных методов представления модели: агентное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование. Из них для описания АПЛП наиболее подходит дискретно-событийное моделирование. Оно предлагает рассматривать процессы в моделируемом объекте как набор

связанных между собой событий, где каждое событие наступает в определенный момент времени, изменяя состояние объекта.

Анализ средств имитационного моделирования, таких как AnyLogic, Arena, ARIS, CPN Tools, показал, что наиболее эффективным для описания АПЛП является использование дискретно-событийного подхода с применением объектно-ориентированного подхода для представления модели и небольшого, но описательного для данной предметной области набора компонентов. При этом использование определенного математического аппарата в качестве средства описания модели позволяет в дальнейшем развивать его, исследовать и использовать различные его свойства.

Основные математические аппараты, применяемые для формального описания различных процессов: конечные автоматы, стохастические сети (сети систем массового обслуживания), сети Петри, расширенные сети Петри. Среди них наибольшими возможностями обладают расширенные сети Петри, учитывающие время выполнения действий, описывающие параллельные процессы, задающие свойства динамическим объектам и т.п.

Их недостатки, заключаются в повторном описании схожих процессов, множественных связях между элементами и их избыточности, и как следствие из всего этого – сложное для понимания представление больших распределенных систем (рис.2).

В результате проведенного исследования предметной области выявлены следующие проблемы использования моделирования на предприятиях: громоздкие модели, содержащие множественные связи, повторяющиеся блоки; большие финансовые и временные затраты при использовании имитационного моделирования для решения задач на предприятии; невозможность использования имитационного моделирования для постоянной поддержки производственных процессов предприятия.

Современные тенденции в имитационном моделировании показывают актуальность создания различных методик и алгоритмов, способных описывать и поддерживать сложные АПЛП.

Вторая глава посвящена разработке формального аппарата для ООМ АПЛП, который должен соответствовать современным требованиям. В данном случае под формальным аппаратом понимается набор из следующих составляющих: математический аппарат, набор компонентов моделирования, методика моделирования, язык описания модели.

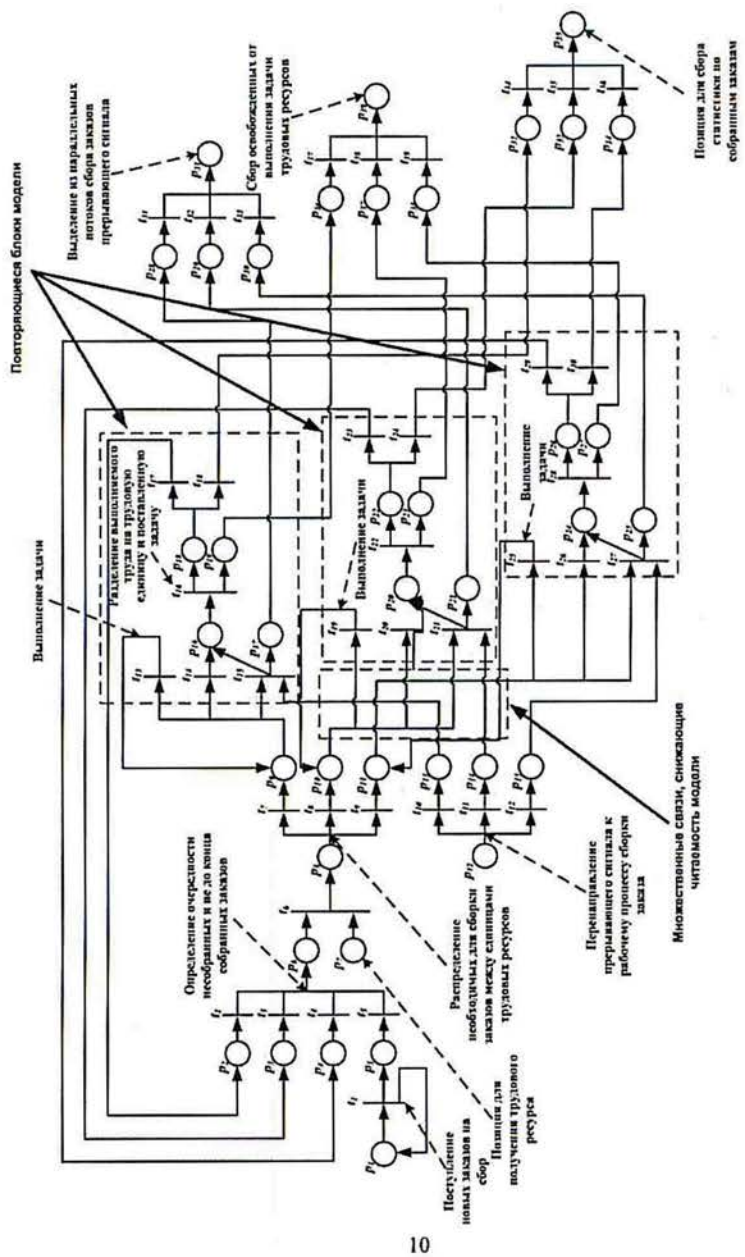


Рис.2. Модель процесса формирования заказов на основе временных цветных сетей Петри

За основу для ООМ взят математический аппарат, представляющий собой разновидность расширенных сетей Петри – модифицированные Е-сети. Данный математический аппарат обладает небольшим, но описательным базовым набором компонентов, который состоит из пяти элементарных сетей. Каждая элементарная сеть имеет один переход и несколько связанных с ним входных и выходных позиций.

Модифицированные Е-сети могут использоваться для описания различных алгоритмов, моделирования информационных и производственных систем. Для возможности применения данного математического аппарата в ООМ, он был дополнен в диссертации введением понятий класса и объекта, а также определением взаимодействия между сетями, входящими в объекты.

Разработанный в диссертационной работе класс ООМ представляется в виде структуры:

$$C = (T, P, E, L, V, S, M, U),$$

где T – множество переходов; P – множество позиций; E – объекты (множество входящих экземпляров других классов); L – список связей; V – переменные и доступные параметры экземпляра данного класса; S – порты (входные, выходные, задания начальных значений); M – методы преобразования данных; U – условия перехода. $I, O \in L$, где I – входная функция, O – выходная функция. Механизм взаимодействия между объектами можно представить на примере двух классов:

$$C_1 = (T_1, P_1, E_1, L_1, V_1, S_1, M_1, U_1), \text{ где } I_1, O_1 \in L_1;$$

$$C_2 = (T_2, P_2, E_2, L_2, V_2, S_2, M_2, U_2), \text{ где } I_2, O_2 \in L_2.$$

Экземпляры классов могут либо быть последовательно связаны между собой, либо один из них может входить в состав другого. На рис.3 изображен пример взаимодействия объектов, при котором они соединены последовательно.

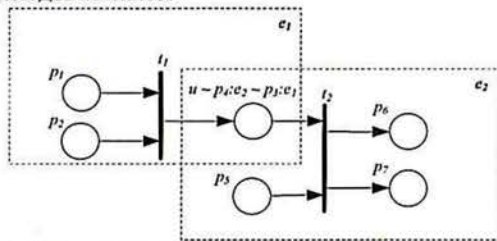


Рис. 3. Последовательное соединение объектов в ООМ

Используемые объекты в данном примере принадлежат соответствующим классам e_1 – объект класса C_1 , e_2 – объект класса C_2 , которые описываются следующими составляющими:

$$T_1 = \{t_1\}, P_1 = \{p_1, p_2, p_3\}, I_1(t_1) = \{p_1, p_2\}, O_1(t_1) = \{p_3\}, E_1 = \{\};$$

$$T_2 = \{t_2\}, P_2 = \{p_4, p_5, p_6, p_7\}, I_2(t_2) = \{p_4, p_5\}, O_2(t_2) = \{p_6, p_7\}, E_2 = \{\}.$$

У первого класса определен выходной порт $S_1(Out) = \{p_3\}$, а у второго класса входной порт $S_2(In) = \{p_4\}$. Связь их экземпляров будет определена с помощью общей позиции $u \sim p_4:e_2 \sim p_3:e_1$. Внутри общего класса входные и выходные функции данных объектов можно переопределить следующим образом: $O_1(t_1) = \{u\}$, $I_2(t_2) = \{u, p_5\}$.

На рис.4 рассмотрена ситуация, когда e , объект класса C_2 , входит в состав класса C_1 . Классы описываются следующими составляющими: $T_1 = \{t_1, t_2\}, P_1 = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}, I_1(t_1) = \{p_1, p_2\}, O_1(t_1) = \{p_3\}, I_1(t_2) = \{p_4\}, O_1(t_2) = \{p_5\}, E_1 = \{e\}; T_2 = \{t_3\}, P_2 = \{p_6, p_7, p_8, p_9\}, I_2(t_3) = \{p_6, p_7\}, O_2(t_3) = \{p_8, p_9\}, E_2 = \{\}$. В классе C_2 определены входные и выходные порты: $S_2(In) = \{p_6\}$ и $S_2(Out) = \{p_8\}$. Связь между объектом e и классом C_1 организована с помощью следующих общих позиций $u_1 \sim p_6:e \sim p_3:C_1$ и $u_2 \sim p_8:e \sim p_4:C_1$. Входные и выходные функции данных сущностей можно переопределить: $O_1(t_1) = \{u_1\}$, $I_1(t_2) = \{u_2\}$, $I_2(t_3) = \{u_1, p_6\}$, $O_2(t_3) = \{u_1, p_9\}$.

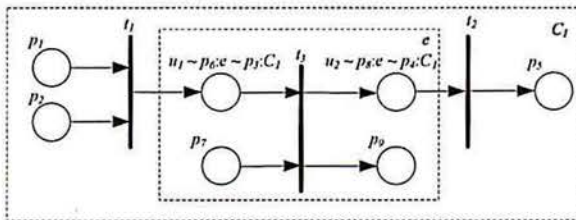


Рис. 4. Вхождение объекта в состав класса в ООМ

В разработанном наборе компонентов базовым компонентом является класс. Он включает в себя описание некоторого обособленного процесса с помощью элементарных сетей, связанных между собой общими позициями, и представляет собой структуру, состоящую из набора компонентов, взаимодействующих между собой. Класс является абстрактным компонентом, представляя собой шаблон для создаваемых от него объектов.

Все основные компоненты ООМ представлены в табл.1. Они позволяют описывать АПЛП с применением объектно-ориентированного подхода.

Таблица 1. Основные типы компонентов ООМ

Компонент	Разновидности	Описание
<i>Глобальные компоненты</i>		
Класс	—	Абстрактный компонент, включающий набор вспомогательных компонентов и описывающий некий реальный процесс
Глобальная переменная	Целочисленная, вещественная, текстовая и логическая	Изменяемый параметр, применяемый для получения общих данных о моделируемой системе или для взаимодействия процессов между собой
Метка	—	Динамический компонент, перемещаемый по расширенной сети Петри
<i>Структурные компоненты класса</i>		
Позиция	Простая, множественная	Компонент математического аппарата E-сети, представляющий место хранения меток, определяющее некоторое фиксированное состояние процесса в моделируемой системе
Переход	T, X, Y, G и I	Компонент математического аппарата E-сети, определяющий условие срабатывания перехода
Объект	—	Экземпляр класса, представляющий собой самостоятельный процесс
<i>Коммутационные компоненты класса</i>		
Список связей	—	Список связи позиций и переходов, а также элементарных сетей с объектами других классов
Порт	Входной, выходной, установки начального значения	Позиция, используемая для представления экземпляра класса в качестве структурного компонента или задания начального набора меток
Условия перехода	Для входных позиций, для выходных позиций	Набор условий по выбору позиций, используемых для перехода в элементарной сети
<i>Программные компоненты класса</i>		
Локальная переменная	Целочисленная, вещественная, текстовая и логическая	Изменяемый параметр, применяемый для взаимодействия напрямую не связанных между собой процессов
Метод преобразования данных	—	Назначаемый элементарной сети набор команд, изменяющий атрибуты меток и переменные доступные объекту
Параметр экземпляра	Целочисленный, вещественный, текстовый и логический	Представляет собой локальную переменную с возможностью задать начальное значение при определении экземпляра класса

Разработанная методика имитационного ООМ АПЛП включает в себя семь основных этапов.

Этап 1. Определение задачи исследования и проведение анализа исследуемого объекта, представляющего собой предприятие или отдельную его часть, включающую АПЛП.

Этап 2. Создание формального описания исследуемого объекта с помощью разработанного алгоритма построения объектно-ориентированных моделей АПЛП.

Этап 3. Описание модели с помощью предметно-ориентированного языка OOMDL.

Этап 4. Определение и отдельное от модели задание начальных значений исследуемого объекта в определенном формате и с разработанной структурой хранения данных.

Этап 5. Отладка модели с помощью проведения предварительных экспериментов на программном комплексе имитационного моделирования.

Этап 6. Проведение имитационных экспериментов с помощью программно-алгоритмического средства имитационного моделирования.

Этап 7. Формирование отчета по полученным во время экспериментов результатам.

Предложенная методика ООМ позволяет проводить исследование и анализ как существующих, так и проектируемых АПЛП предприятий.

Для возможности программного описания модели был разработан предметно-ориентированный язык OOMDL. Он представляет расширенные сети Петри в виде последовательного набора операторов. Ниже приведен фрагмент описания модели обработки запросов с прерываниями, изображенной на рис.5. Описание конструкций языка OOMDL содержится в приложении 2.

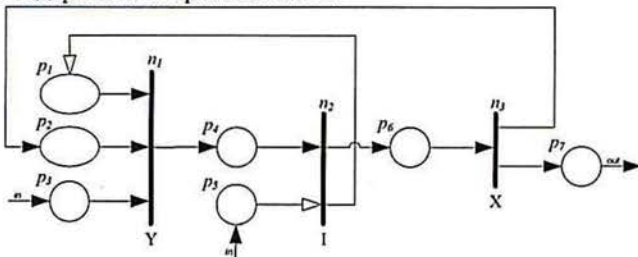


Рис. 5. Модель обработки запросов с прерываниями

```

CLASS interruption {
  POSITIONS { MULTI p1, p2; SINGLE p3, p4, p5, p6, p7; }
  TRANSITIONS { Y n1; I n2; X n3; }
  PORTS { IN p3, p5; OUT p7; }
  NET n1 { LINK { IN p1, p2, p3; OUT p4; } }
  NET n2 { LINK { IN p4; ~IN p5; OUT p6; ~OUT p1; }
    ATTRIBUTES { INT work; }
    DELAY { _delay = point.work; }
    ACTION { point.work = 0; }
    ~ACTION { IF (point) { point.work = _delay - _time; } }
  }
  NET n3 {
    LINK { IN p6; OUT p7, p2; }
  }
}

```

```

ATTRIBUTES { INT work; }
ACTIVE_OUT {
  IF ( point.work != 0 ) { _out = p7; } ELSE { _out = p2; }
}
)
)

```

В качестве способа задания параметров модели был выбран формат XML и разработан способ хранения в нем значений. Таким образом, появляется возможность автоматизировать процесс задания начальных состояний моделируемого процесса.

Разработанный формальный аппарат и способ задания начальных значений позволяют представлять АПЛП в виде модели, состоящей из набора связанных между собой объектов.

Третья глава посвящена исследованию и разработке средств ООМ АПЛП. Выделяются основные типовые модели элементарных процессов производственных логистических систем. Определяются необходимые функциональные возможности программного комплекса ООМ. Предложен алгоритм сетевого ООМ и методика сопровождения АПЛП.

В логистической системе каждый процесс можно представить как конечный набор связанных между собой элементарных процессов различного типа: создание и уничтожение материальных и нематериальных объектов; обработка и передача объекта; копирование объекта и т.п. Предлагаемое формальное описание функциональных возможностей средства ООМ АПЛП включает в себя схему, представленную на рис.6. Функциональные возможности разделены по группам, каждая из которых отвечает за решение определенной задачи.



Рис. 6. Основные функциональные возможности программного комплекса имитационного моделирования

Для возможности проведения имитационных экспериментов был разработан алгоритм сетевого OOM, представленный на рис.7. Описанные на языке OOMDL компоненты OOM интерпретируются в набор связанных программных объектов.

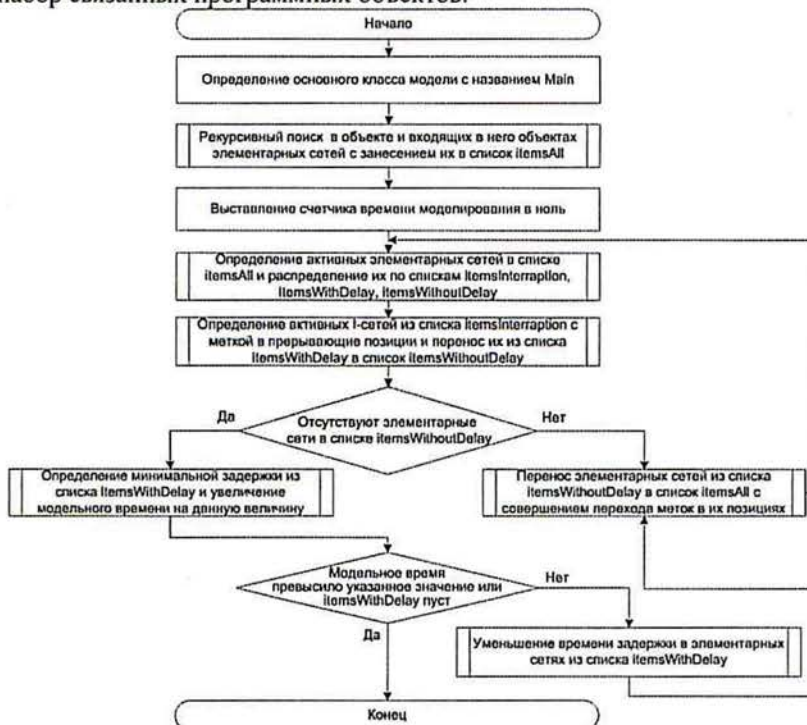


Рис. 7. Алгоритм функционирования сетевого OOM

В данном алгоритме элементарные сети разделяются на активные и неактивные. Пусть активной элементарной сетью является сеть, у которой в текущий момент модельного времени выполняются все условия для возможности перехода меток из входных позиций в выходные. Алгоритм включает использование списков с хранимыми в них элементарными сетями: itemsAll хранит все неактивные элементарные сети; itemsWithDelay содержит активные элементарные сети не с нулевой задержкой; itemsWithoutDelay содержит активные элементарные сети без задержки; itemsInterraption хранит активные элементарные I-сети, которые могут получить прерывающий сигнал.

Методика сопровождения АПЛП в реальном времени включает в себя семь этапов и требует разработки программного обеспечения.

1. Составление модели реальной системы по разработанному алгоритму из методики ООМ и описание полученной модели на языке OOMDL.

2. Создание и внедрение программных агентов в текущую автоматизированную систему предприятия для организованного сбора и записи необходимой информации о процессах.

3. Развертывание и настройка программного обеспечения по обработке данных, собранных агентами.

4. Настройка экспортирования обработанных данных, собранных агентами.

5. Настройка получения начальных значений моделируемой системы средством имитационного ООМ.

6. Выделение процессов, требующих анализа и исследования в моделируемой системе.

7. Проведение имитационных экспериментов с моделью и анализ полученных результатов.

Разработанная методика позволяет проводить регулярный анализ АПЛП с помощью имитационного ООМ, предоставляя необходимую информацию для управления предприятием с достаточно высокой точностью прогнозируемых результатов, поскольку модель постоянно поддерживается в актуальном состоянии.

Четвертая глава посвящена практической реализации программного комплекса имитационного моделирования «Antsim», апробации предложенных методик и представлению экспериментальных результатов.

Реализация необходимых функциональных возможностей для имитационного ООМ представлена в виде программного комплекса «Antsim», состоящего из отдельных модулей с графическим интерфейсом для возможности взаимодействия с пользователем.

Сложность моделируемого объекта определяется количеством происходящих в нем событий. Чем сложнее объект, тем больше количество узлов (переходов) используется в модели. Было проведено исследование применения различных способов построения типовых моделей АПЛП. На рис.8 и рис.9 представлены модели, описывающие процесс формирования заказа.

Блоки w2, w3, w4 представляют собой объекты класса, моделирующего рабочий процесс с возможностью его прерывания.

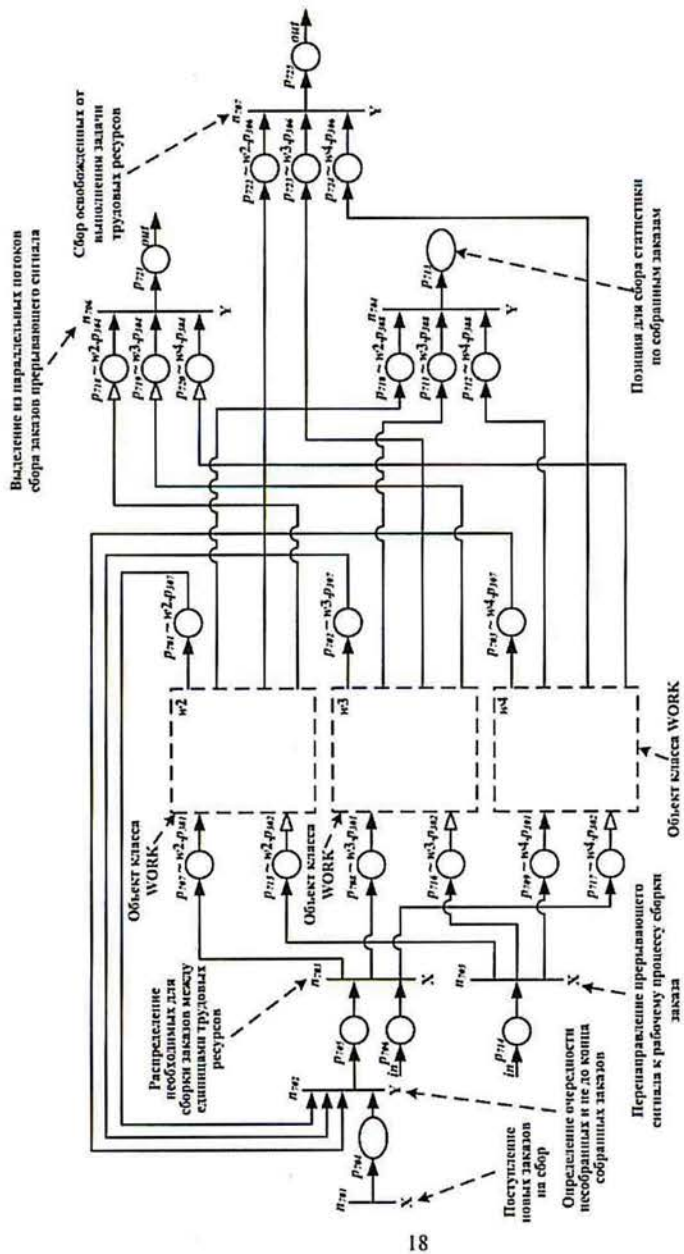


Рис. 8. Модель процесса формирования заказа

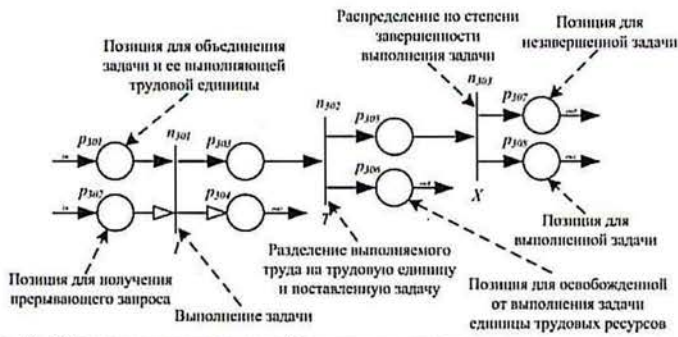


Рис. 9. Модель имитации рабочего процесса с возможностью его прерывания

В среднем модели на базе модифицированных E-сетей с использованием объектного представления на 28% содержат меньше узлов (переходов) и на 35% меньше используют связи, чем модели на базе временных цветных сетей Петри. График эффективности способов построения типовых моделей АПЛП представлен на рис.10.

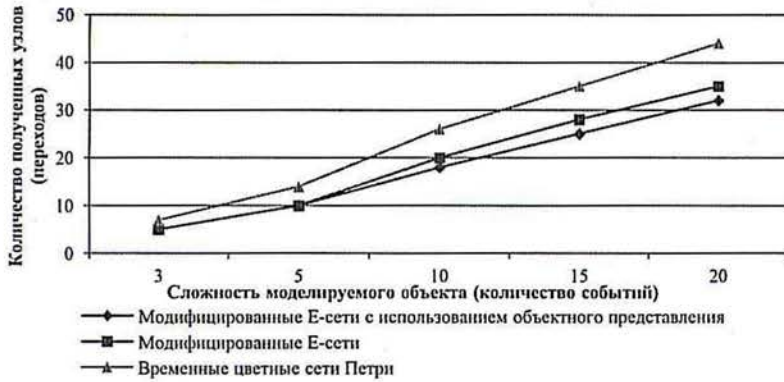


Рис. 10. Зависимость эффективности способов построения типовых моделей АПЛП при различной сложности объекта (по количеству полученных узлов)

Исследование и анализ распределенной складской сети АПС предприятия возможно как с помощью имитационных моделей, так и с помощью различных формул. Формулы, позволяющие рассчитать примерное время, затрачиваемое на решение всех задач, а также необходимое количество трудовых единиц для каждого процесса, имеют следующий вид:

$$\frac{n_U \times t_U}{w_U} = t; \frac{n_S \times t_S}{w_S} = t; \frac{n_T \times t_T}{w_T} = t; \frac{n_C \times t_C}{w_C} = t; \frac{n_R \times t_R}{w_R} = t;$$

$$w_U + w_S + w_T + w_C + w_R = W,$$

где n_U, n_S, \dots, n_R – необходимое количество повторений (задач) различных складских процессов; t_U, t_S, \dots, t_R – среднее время выполнения различных складских процессов; t – время, затрачиваемое на выполнение всех процессов; w_U, w_S, \dots, w_R – трудовые единицы, распределенные по различным складским процессам; W – все трудовые единицы, работающие на складе.

Поскольку аналитически не всегда удается учесть особенности перераспределения трудовых ресурсов между задачами и время прибытия товара и отправки заказов, то определение времени выполнения задач отличается невысокой точностью. Сравнение полученных результатов при расчете времени по формулам и получение его с помощью имитационной модели представлено на графике рис. 11.



Рис. 11. Зависимость времени выполнения производственных логистических процессов от количества их выполнений

Имитационная модель АПЛП (см. приложение 4), позволила с погрешностью 4% показывать затрачиваемое время на решение складских задач исследуемого предприятия.

По результатам экспериментальных исследований АПЛП в распределенной складской сети предприятия были выявлены узкие места, связанные с неэффективным использованием трудовых ресурсов и упрощением некоторых процессов, что позволило повысить производительность на 15%. Использование методики сопровождения

процессов позволило снизить негативные факторы на 40%, которые возникали в результате внезапного сокращения трудовых ресурсов, резкого роста задач и т.п.

В заключении приведены основные выводы и результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

В приложениях представлено описание языка моделирования, правила определения начальных параметров модели, модель АПЛП складской сети предприятия, копии документов о внедрении и использовании результатов проведенной работы.

Основные выводы и результаты диссертации.

В диссертационной работе представлена совокупность новых научно обоснованных технических решений и разработок, направленных на повышение эффективности моделирования и поддержку АПЛП, имеющее существенное значение для распределенных предприятий.

1. Разработана методика имитационного ООМ на базе модифицированных E-сетей, которая позволяет сократить описание модели по сравнению с временными цветными сетями Петри в среднем на 20%, увеличивая возможность повторного использования отдельных частей модели.

2. Разработана методика сопровождения АПЛП, позволяющая ускорить процесс анализа и повысить точность оценки сложившейся ситуации, с возможностью получения актуальных данных с погрешностью расчета временных показателей равной 4%.

3. Предложен алгоритм сетевого ООМ распределенных процессов для программного комплекса имитационного моделирования, представляющий работу реальных систем в виде набора объектов.

4. Разработан предметно-ориентированный язык OOMDL, представляющий собой средство для применения методики ООМ и имеющий Си-подобный синтаксис.

5. Создан программный комплекс «Antsim» на основе разработанной методики имитационного ООМ с поддержкой языка OOMDL, решающий задачи моделирования АПЛП и описывающий работу программного обеспечения и различных систем массового обслуживания.

6. Внедрение методики сопровождения АПЛП с использованием созданного программного комплекса в АПЛП компаний ООО «КОСМОС», ООО «Сокол-Т», позволило повысить производительность на 15% и снизить влияние негативных факторов на 40%.

7. Проведено исследование с использованием типовых моделей АПЛП и выявлено повышение эффективности в сравнении с временными цветными сетями Петри по числу основных узлов на 28%; по количеству связей между компонентами на 35%; снижение времени на разработку модели на 20%.

Основные публикации по теме диссертации

1. Гагарина Л.Г., Смирнов Д.П., Шаньгин В.Ф. Разработка методического комплекса защиты информации в интернет-магазинах // Вопросы защиты информации. – М.: ВИМИ, 2012. №4. – С. 27-30.

2. Смирнов Д.П. Автоматизация логистических процессов склада в электронной торговле // «Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике» 5-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2012. – С. 120.

3. Смирнов Д.П. Программный комплекс для управления логистическим процессом // Проблемы разработки информационных технологий и подготовки ИТ-кадров. – М.: МИЭТ, 2012. – С. 122-125.

4. Смирнов Д.П. Разработка программного обеспечения для управления логистическим процессом на складе // «Микроэлектроника и Информатика-2012». 19-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2012. – С. 149.

5. Смирнов Д.П. Исследование и разработка комплекса средств для автоматизации процессов сбора и обработки информации в сети Интернет // Проблемы науки, техники и образования в современном мире. – М.: «Спутник +», 2012. – С. 137.

6. Смирнов Д.П. Исследование и разработка комплекса программной автоматизации бизнес-процессов интернет-пространства // Техника и технология. – М.: «Спутник +», 2012. №6. – С. 24-26.

7. Смирнов Д.П. Исследование и разработка моделей и алгоритмов для повышения эффективности управления складскими процессами в электронной торговле // Актуальные проблемы современной науки. – М.: «Спутник +», 2012. №6. – С. 369-371.

8. Смирнов Д.П. Разработка программно-аппаратного комплекса для организации складской логистики в интернет-магазинах // «Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике» 6-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2013. – С. 143.

9. Смирнов Д.П. Разработка формального аппарата для имитационного моделирования автоматизированных производственных процессов на базе расширенных сетей Петри // «Микроэлектроника и Информатика-2016». 23-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2016. – С. 174.

10. Смирнов Д.П. Способ моделирования распределенных автоматизированных процессов и производств // Фундаментальные исследования. – М.: Академия Естествознания, 2016. №2. – С. 94-98.

11. Смирнов Д.П. Программно-алгоритмическое обеспечение объектно-ориентированного имитационного моделирования Antsim // Естественные и технические науки. – М.: «Спутник +», 2016. №4(94). – С. 185-187.

12. Смирнов Д.П. Алгоритм проведения имитационных экспериментов для оперативного управления распределенными процессами и производствами // Естественные и технические науки. – М.: «Спутник +», 2016. №4(94). – С. 182-184.

13. Гагарина Л.Г., Смирнов Д.П. Объектно-ориентированное моделирование производственных процессов сетями Петри // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.:ВИМИ, 2016. №2. – С. 34-39.

14. Смирнов Д.П., Янакова Е.С. Методика имитационного объектно-ориентированного моделирования автоматизированных производственных процессов на базе модифицированных E-сетей // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ВИМИ, 2016. №1. – С. 15-21.

15. Колдаев В.Д., Смирнов Д.П. Особенности методики сопровождения автоматизированных производственных логистических процессов // Актуальные проблемы современной науки. – М.: «Спутник +», 2017. №1. – С. 369-371.

Подписано в печать:

Формат 60×84 1/16. Уч.-изд.л. 1,0

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии ИПК МИЭТ.

124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, дом 1.