

ХАРЬКОВСКИЙ СРЕДНЯ ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. АКАДЕМИКА М. К. ЯНГЕЛЯ

УДК 53.072:681.3

На правах рукописи

ПЕНКО Валерий Георгиевич

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
СЕТЕЙ ПЕТРИ

05.13.11 - математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов, систем и сетей

А в т о р е ф е р а т

- диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1992



00814395 (U)

Работа выполнена на кафедре экономической информатики и
технической техники Одесского института народного хозяйства.

Ученый руководитель : кандидат физико-математических
наук, доцент Ахламов А. Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Мурашко А. Г.

кандидат технических наук,
доцент Караски В. В.

Работавшая организация : Институт Кибернетики АН Украины
им. Б. М. Глушкова

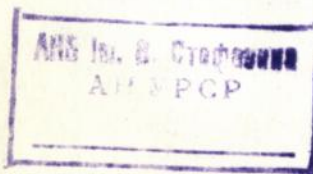
Защита диссертации состоится "22" декабря 1992 г. в
_____ часов на заседании специализированного совета К 068.37.03
в Харьковском Ордена Трудового Красного Знамени институте ра-
диоэлектроники им. акад. М. К. Янгеля по адресу: 310726, г. Харь-
ков, пр. Ленина, 14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "20" ноября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

Э. А. Сузесов Сузесов Э. А.



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Эффективное применение метода имитационного моделирования в значительной степени зависит от оперативности разработки и внедрения новых программ.

Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных систем имитационного моделирования приводит к выводу, что суммарное время имитационного исследования распределяется следующим образом: 25% времени - формулирование задачи, 25% - сбор и анализ статистических данных, 40% - разработка машинной модели и 10% - внедрение.

Таким образом, разработка машинной модели является самым узким местом в решении комплексной задачи системного имитационного моделирования и ее эффективное решение возможно на основе разработки новых приемов автоматизации процессов моделирования, которые позволяют переложить как можно больше функций конструирования моделей на ЭВМ.

К сожалению, процессы формализации и математического описания объектов материального мира в настоящее время в недостаточной степени автоматизированы. Это обстоятельство приводит к тому, что разработка каждой новой модели требует большой совместной работы пользователей, математиков и программистов.

Одной из основных причин возникающих трудностей является наличие определенного барьера между конечным пользователем и вычислительной техникой. Системы имитационного моделирования должны органически вплестаться в практическую деятельность специалиста и не требовать от него глубокого знания вопросов, не имеющих прямого отношения к его профессии.

В связи с этим задача разработки подхода к имитационному моделированию, дружественного пользователю, с одной стороны, и достаточно мощного для разработки сложных систем, с другой стороны, является особенно актуальной. Необходимость разработки таких средств представляется еще более очевидной в связи с массовым применением ПЭВМ в имитационном моделировании, что чрезвычайно расширило диапазон применения метода имитационного

моделирования и вызвало необходимость регулярного и оперативного решения задач имитационного моделирования пользователями-непрофессионалами.

Цель работы.

Анализ возможностей существующих систем имитационного моделирования, определение требований, предъявляемых к системам имитационного моделирования в современных условиях и разработка методики, технологических приемов и алгоритмов, предназначенных для интерактивного имитационного исследования сложных систем широкого спектра (дискретных, непрерывных, комбинированных).

Основные задачи исследования.

В соответствии с поставленной целью задачи диссертационной работы сформулированы следующим образом:

1. На основе анализа современных проблем имитационного моделирования выявить наиболее перспективные направления автоматизации отдельных этапов :

2. Разработать методику проектирования сложных моделей, для чего определить математический формализм описания таких моделей;

3. На базе указанного формализма разработать технологические приемы проектирования моделей, в частности технологию модульного моделирования;

4. Реализовать формализм описания и технологию проектирования в виде инструментального программного комплекса, позволяющего практически проводить направленные имитационные эксперименты с имитационными моделями сложных систем.

Общая методика исследований.

При анализе и разработке технологии композиционного имитационного моделирования были широко использованы методы теории сетей Петри и их модификаций, методы модульного и объектно-ориентированного программирования, а также различные другие методы формализации и представления сложных систем.

При разработке методологии имитационного моделирования применен синтетический подход, целью которого было совмещение положительных качеств существующих или проектируемых методологий применительно к данной предметной области.

Правильность применения этих методов подтверждена практической апробацией результатов исследования.

Научная новизна.

В ходе работы над диссертацией был получен и использован ряд результатов, имеющих самостоятельное значение:

- выработан подход к оценке систем имитационного моделирования с точки зрения формализма представления знаний о моделируемых системах и технологии разработки и экспериментирования с имитационной моделью;
- обосновано применение сетевого подхода к моделированию с регулярно модифицируемой структурой;
- разработан формализм Модифицированных сетей Петри как способ представления знаний о моделируемых системах, позволяющий описывать сложное поведение дискретной и комбинированной природы;
- разработана концепция подмоделей, позволяющая создавать проблемноориентированные окружения для пользователей-непрофессионалов;
- разработаны технологические приемы, позволяющие эффективно использовать концепцию подмоделей для создания систем имитационного моделирования с продвинутой проблемной ориентацией.

Практическая ценность работы.

Проведенные в работе исследования положены в основу реализации средств интерактивного имитационного моделирования. Разработанная методика позволяет оперативно строить модели сложных систем, не привлекая на большинстве стадий моделирования профессионала-модельера. Предложена программная реализация методики. В целом, разработанный комплекс позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на имитационное исследование сложных систем и может быть применен в широком спектре предметных областей.

Диссертационная работа Пенько В. Г. выполнена в период с 1985г. по 1991 г. в Одесском институте народного хозяйства в соответствии с Координационным планом важнейших НИР вузов СССР по экономике на 1987-1990 г. г. (Приказ Минвуза СССР N 97 от 5.02.87 г., шифр задания 6.4.4.) а также

- хоздоговорной темой: 35-Л "Проектирование внутризаводского хозрасчета и учета";
- хоздоговорной темой: 145-К (N гос. регистрации У2269) "Разработке имитационных моделей производственных процессов по

направлениям совершенствования организации труда, системы обслуживания оборудования и рабочих мест (ЦЕНТР НОТ "ТЕМП");

- хоздоговорной темой: 137 (N гос. регистрации 0186.0042301) "Совершенствование микроэлементного нормирования и стимулирования труда в ювелирном производстве". Результаты исследований внедрены в ряде организаций страны со значительным суммарным экономическим эффектом, подтвержденным соответствующими актами.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались автором на следующих научных семинарах, симпозиумах и конференциях: на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Качество программных средств", Калинин, 1990г.; на Всесоюзной школе-семинаре "Психологическая бионика", Харьков, 1988г.; на Республиканском семинаре "Применение математических методов в экономических исследованиях" Научного совета по проблеме "Кибернетика", ИК АН УССР, Киев, 1987г.; на Республиканском семинаре "Информатика и надежность" Научного совета по проблеме "Кибернетика", ИК АН УССР, Одесса, 1988, 1990, 1991 гг.; на Республиканской школе-семинаре "Проблемы качества и надежности промышленной продукции", Одесса, 1988г.; на Республиканской конференции "Информационная деятельность в новых условиях хозяйствования", Тбилиси, 1989 г.; на Республиканской школе-семинаре молодых ученых "Современная программная продукция", Одесса, 1989г.; на Республиканской школе-семинаре молодых ученых "Экспертные системы", Одесса, 1990г.; на научно-практическом семинаре "Диалоговая оптимизация планово-управленческих решений и проблемы внедрения ее в практику", Киев, 1989г.; на Республиканской конференции "Информатизация и автоматизация в агропроме", Львов, 1990г.; на итоговых конференциях сотрудников ОИHX 1986-1991 гг.; на итоговых конференциях аспирантов и молодых ученых ОИHX 1986-1991 гг.

Публикации. Результаты выполненных в диссертационной работе исследований отражены в 12 печатных работах.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 99 наименований и 5 приложений. Основной текст изложен на 173 страницах машинописного текста и содержит 35 рисунков и 2 таблицы.

11. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цели работы, научная новизна и практическая ценность полученных в диссертации результатов.

Первая глава диссертации посвящена обзору современных средств имитационного моделирования. В данной главе определены специфика современного состояния имитационного моделирования, основные назревшие проблемы имитационного моделирования на современном этапе и ключевые способы разрешения этих проблем.

Анализ эволюции применения метода имитационного моделирования показал, что требования к этому методу существенно ужесточились:

- 1) моделируются реальные системы, включающие в себя компоненты различной природы, что вызывает необходимость разработки универсальных парадигм моделирования.
- 2) повышенная ответственность за результаты моделирования приводит к требованию повышенной адекватности модели системе.
- 3) необходимы оперативные изменения модели в ответ на изменения в системе.
- 4) массовость и регулярность применения метода имитационного моделирования заставляют разрабатывать средства, доступные пользователю-непрофессионалу.

Анализ характера использования вычислительной техники в различных предметных областях и, в особенности, в имитационном моделировании позволил выделить три уровня предоставляемых конечному пользователю услуг.

1. Результаты исследования (расчеты).
2. Модели систем, пригодные для экспериментирования с ними.
3. Проблемноориентированные системы моделирования, позволяющие специалисту предметной области самостоятельно проводить весь цикл имитационного исследования.

Чем выше уровень системы имитационного моделирования, тем разнообразнее должны быть требования к знаниям, необходимым для создания и использования такой системы. В работе выделяются четыре следующих уровня компетентности:

1. Уровень специалиста предметной области, способного более

или менее формализованно изложить закономерности функционирования исследуемой системы и цели имитационного исследования.

2. Уровень модельера - специалиста, способного спроецировать спецификацию системы, данную специалистом предметной области в концептуальный базис некоторой системы моделирования.
3. Уровень специалиста по разработке систем имитационного моделирования - трансформирует спецификацию предметной области в спецификацию, определяющую "индивидуализированную проблемно-ориентированную систему имитационного моделирования".
4. Уровень программиста - реализует вышеупомянутую спецификацию в систему имитационного моделирования, пользуясь мета-системой генерации систем имитационного моделирования.

Эти четыре уровня компетентности могут распределяться в системе между создателями системы и ее потребителями различными способами.

Обзор ряда основных систем и подходов к имитационному моделированию показал, что эволюция средств имитационного моделирования шла по пути поэтапного предоставления указанных сервисных возможностей:

1. Использование для имитационного моделирования средств традиционных языков программирования.
2. Создание специализированных языков моделирования и систем имитационного моделирования на их базе.
3. Создание систем имитационного моделирования, в которых процесс разработки модели не связан с ее текстуальным представлением на каком-либо языке имитационного моделирования. В таких системах весь жизненный цикл модели обычно опирается на встроенный формализм представления знаний о системах и связанный с ним подход к моделированию (дискретный, непрерывный, комбинированный и т. д.). Для пользователя модели в таких системах строятся непосредственно из спецификации системы.

Выявлены сложности применения традиционных языков моделирования: трудность освоения языка, сложность валидации моделей и отладки программ имитационного моделирования, отсутствие мощных технологий, например, поддержки модульного моделирова-

ния.

Наиболее подробно рассмотрены системы имитационного моделирования третьего вида. Проанализированы причины появления этой разновидности систем имитационного моделирования. Важный вывод здесь заключается в том, что средства имитационного моделирования развиваются в направлении повышения их "обобщенной изоморфности", т. е. свойства сохранять в модели наибольшее число черт системы оригинала. Чем сильнее "изоморфность" представления системы и модели, тем лучше качественные характеристики модели. Такая "изоморфность" должна обеспечиваться принятым в системе имитационного моделирования формализмом представления знаний о системах. Среди рассмотренных систем более всего удовлетворяют свойству "изоморфности" те формализмы, в которых наиболее четко выделяется топология, в особенности пространственная, исходной системы.

С этой точки зрения обосновывается популярность применения подхода к имитационному моделированию на основе сетей Петри и их модификаций. Неоспоримыми достоинствами сетей Петри для имитационного моделирования являются:

1) минимальность и ортогональность концептуального базиса (понятия "условие", "постусловие" и отношение "Если ____ то выполняется ____").

2) высокая структурная репрезентативность графического представления сетей Петри - сохранение в графической форме сетей Петри структуры оригинальной системы, что делает сети Петри "прозрачным" для пользователя способом представления.

Однако, в качестве самостоятельного и исчерпывающего формализма представления знаний о системах сети Петри практически не применяются.

При рассмотрении существующих модификаций сетей Петри делается вывод о их недостаточной мощности для представления сложных систем с разнообразной логикой взаимодействия компонентов. Причем имеется в виду использование сетей Петри непосредственно в качестве языка для описания всех закономерностей функционирования системы. Понятно, что выступая в такой роли, сети Петри утрачивают свойства, позволяющие аналитически исследовать системы, представленные с их помощью.

В результате выполненного в первой главе анализа делается вывод о том, что ключевым моментом в разрешении многих проблем

развития систем имитационного моделирования и является разработкой формализма представления знаний о системах:

- 1) сохраняющего "обобщенную изоморфность" модели и системы;
- 2) допускающего применение мощных технологических приемов проектирования (в первую очередь модульного).

Перспективным направлением для разработки подобного формализма может быть целенаправленное расширение моделирующих возможностей сетей Петри.

Вторая глава посвящена разработке формализма для представления знаний о системах, на базе которого могут быть реализованы эффективные технологические приемы имитационного моделирования. Сформулированы требования к такому формализму:

1) дать пользователю возможность исчерпывающе описывать моделируемую систему непосредственно в терминах этого формализма: это означает, что термины такого формализма должны непосредственно соответствовать терминам предметной области.

2) поддерживать некоторую регулярную технологию использования, которая позволила бы интенсифицировать процесс построения (в частности, возможности модульного моделирования, автоматизации проверки адекватности модели и т. д.)

3) обеспечивать дружественный интерфейс пользователя-специалиста предметной области с системой имитационного моделирования, базирующейся на этом формализме, например, путем визуализации процессов на различных стадиях жизненного цикла имитационной модели.

Применение в системе имитационного моделирования такого формализма описания знаний позволяет уменьшить количество процессов, выполняемых в технологической схеме системного моделирования (рис.1), что повысит его эффективность и улучшает качественные характеристики полученного программного продукта. Так, например, уменьшается вероятность потери адекватности между моделью и моделируемой системой.

Как показано в первой главе, эти и другие полезные свойства формализма представления знаний о системах зависят от его способности сохранять "изоморфность" модели и системы.

Далее в качестве такого формализма вводятся Модифицированные сети Петри, которые являются расширением традиционных сетей Петри по следующим направлениям :

- 1) индивидуализация фишек;
- 2) предикатные входные и выходные дуги;
- 3) временные переходы;
- 4) прерываемые переходы;
- 5) процедурные переходы.

Каждое из этих расширений имеет свое графическое изображение (рис. 2):



Рис. 1. Технологическая схема системного моделирования с использованием Модифицированных сетей Петри.

1 - теоретические исследования, 2 - методы структурного и логического анализа моделей, 3 - аналитическое исследование моделей, 4 - построение машинной модели в терминах Модифицированных сетей Петри, 5 - имитационное исследование, 6 - отображение результатов.

Индивидуализация фишек является наиболее существенным шагом к тому, чтобы сделать Модифицированные сети Петри естественным формализмом представления систем. Индивидуализация заключается в том, что фишки сетей перестают быть просто индикаторами выполнения условий, которые представляют места. Индивидуализированные фишки (И-фишки) приобретают набор атрибутов, значения которых изменяются с течением времени в результате выполнения переходов. Атрибуты И-фишек участвуют:

- в выражениях, задающих длительность выполнения переходов;
- в предикатах входных и выходных дуг;
- в процедурах переходов.

Динамика Модифицированных сетей Петри теперь представляется в виде потоков И-фишек. Для сохранения целостности чекки

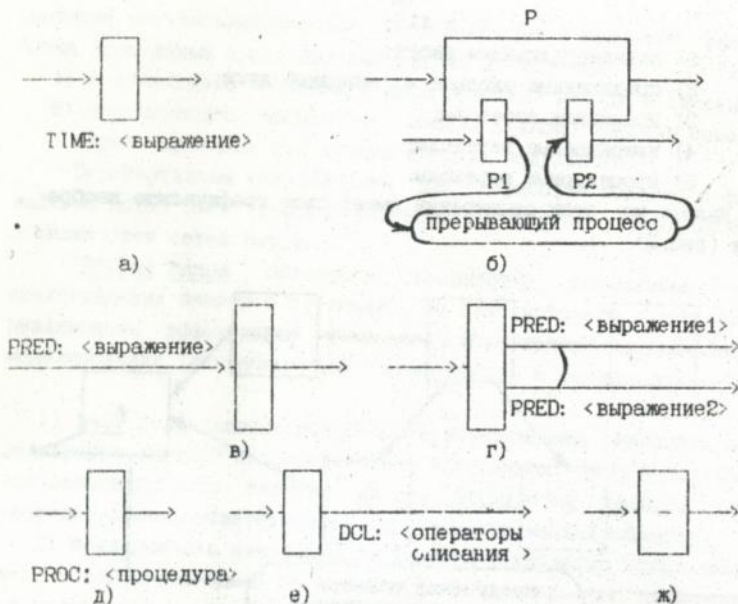


Рис. 2. Графическое изображение элементов Модифицированных сетей Петри: а) временной переход; б) P - прерываемый переход; P₁ - прерывающий переход; P₂ - освобождающий переход; в) переход с входным предикатом; г) переход с двумя выходными предикатами; д) выполняемый процедурный переход; е) описательный процедурный переход; ж) прямой перенос через переход фишки с атрибутами.

потоков в Модифицированных сетях Петри реализованы различные варианты переноса И-фишек через переход.

Одной из черт Модифицированных сетей Петри, делающих их доступным и мощным средством описания систем, является их погружение в среду упрощенной версии языка PASCAL. Это означает, что многие элементы Модифицированных сетей Петри (временные задержки, предикаты дуг, процедуры переходов) формулируются средствами простого подмножества языка PASCAL. Это позволяет пользователю эффективно сочетать встроенные моделирующие возможности Модифицированных сетей Петри с алгоритмическими возможностями языка программирования.

Временные переходы позволяют в терминах Модифицированных сетей Петри описывать понятие "длительность" события и связан-

ные с ним понятия "активный" и "пассивный" переход (процесс).

Для того, чтобы обеспечить взаимодействие активных переходов (например, приоритетное обслуживание), необходимо ввести в возможности Модифицированных сетей Петри механизм прерываний, для чего понадобятся еще два типа переходов: прерывающие и освобождающие. Переход, относительно которого выполняются действия по прерыванию и освобождению, называется прерываемым.

Предикатные входные дуги определяют условия выполнения переходов, более сложные, чем просто наличие достаточного числа фишек во входных местах.

Предикатные выходные дуги позволяют выбрать путь, по которому будут направлены фишки после выполнения перехода. Для того, чтобы предикаты выходных дуг не "заперли" фишки в переходе, вводится требование логической полноты предикатов выходных дуг. То есть $\bigvee_{i=1}^n p_i \vee \dots \vee p_n = \text{true}$, где p_i - предикаты выходных дуг.

Далее вводится формальное определение Модифицированных сетей Петри. Это определение базируется на определении традиционных сетей Петри.

Модифицированная сеть Петри S представляет из себя

$\{P, T, F, M, W, FL, DCL, P_IN_n, P_IN_n, P_OUT_n, P_OUT_n, ATTR\}$,

- где
- P - множество мест Модифицированной сети Петри;
 - T - множество переходов Модифицированной сети Петри;
 - F - отношение инцидентности: $F \subseteq P \times T \cup T \times P$
 - M - функция разметки Модифицированной сети Петри:
 $M: P \rightarrow \{f\}$, где $\{f\}$ - множество фишек;
 - W - кратность дуг: $W: F \rightarrow \mathbb{N} \setminus \{0\}$;
 - DCL - функция описания И-фишек;
 - $ATTR$ - множество общесистемных атрибутов (в том числе системное время - time).
 - P_IN_n - входные предикаты для мест, не содержащих И-фишки;
 - P_IN_n - входные предикаты для мест, содержащих И-фишки;
 - P_OUT_n - выходные предикаты для мест, не содержащих И-фишки;
 - P_OUT_n - выходные предикаты для мест, содержащих И-фишки;
 - FL - отношение потока для И-фишек, задает дерево мест, в которые могут быть направлены И-фишки в соот-

ветствии с предикатами из P_OUT

Перечисленные компоненты определяют статистику Модифицированных сетей Петри, т.е. их состояние в различные моменты времени. Кроме этого, определяется динамика Модифицированных сетей Петри - то есть правила изменения состояний Модифицированных сетей Петри при срабатывании переходов.

Для этого множество переходов T разбивается на подмножества: пассивные и активные переходы; прерванные и свободные переходы.

Для переходов Модифицированных сетей Петри определяются:

- условие активизации;
- условие пассивизации;
- условие срабатывания;

и на их основе формулируется правило срабатывания перехода.

Описание Модифицированных сетей Петри являются достаточно мощным формализмом представления знаний о системах, однако для их практического применения следует разработать технологические приемы их использования.

Третья глава посвящается разработке на базе Модифицированных сетей Петри концепции модульного моделирования. Исследуется вопрос о специфике понятия "подмодель" в имитационном моделировании, по сравнению с понятием "подпрограмма" в программировании. Анализируются причины трудностей введения подмоделей в имитационном моделировании. Делается вывод о том, что главным препятствием в этом направлении является отсутствие подходящего формализма для описания знаний о системах. Анализ понятия сложности системы приводит к выводу о том, что наибольшую пользу введение модульного моделирования может принести для задач моделирования "больших" систем. Для "сложных" систем модульное моделирование подходит в меньшей степени.

Приведятся различные классификации понятия "подмодель".

1. "Технологическая" классификация: а) Абстрактная подмодель; б) Типовая подмодель; в) Конкретная подмодель.
2. Классификация, основанная на синхронизации входа и выхода: а) подпрограмма; б) подмодель, синхронизированная по входу и выходу; в) подмодель, синхронизированная по входу; г) подмодель, синхронизированная по выходу; д) асинхронная подмодель.

Далее показано, как последняя абстрактная классификация

может быть конкретизирована на основе Модифицированных сетей Петри.

В результате, получаем определение МСП - подмодели (МСП ПМ) в виде пятерки:

$S = \langle I, M, O, ACT, PARM \rangle,$

где $I = \{ p \mid p \in P, \exists x \in T : x F p \}$ - множество входных мест МСП ПМ;

$M = \{ p \mid p \in P, \exists x \in T : x F p, \exists y \in T : p F y \}$ - множество внутренних видимых мест МСП ПМ;

$O = \{ p \mid p \in P, \exists y \in T : p F y \}$ - множество выходных мест МСП ПМ;

$ACT = \{ act \}$ - множество видимых процессов МСП ПМ;

$act = \langle name_{act}, t_{act}, I_{act}, O_{act} \rangle;$

$name_{act}$ - имя видимого процесса;

t_{act} - переход, соответствующий видимому процессу;

I_{act} - множество входных мест видимого процесса;

O_{act} - множество выходных мест видимого процесса.

$PARM$ - множество параметров МСП ПМ.

Кроме определения МСП ПМ, для эффективного введения модульного моделирования требуется определить ряд полезных операций комплексации МСП ПМ. В главе на основании примеров функционирования цеха неформально описываются, а затем и формально определяются следующие операции комплексации: 1) стыковка; подмоделей; 2) развилка подмоделей; 3) слияние подмоделей; 4) вставка подмоделей; 5) наложение подмоделей.

Первые три операции поддерживают технологию разработки моделей методом "снизу-вверх". Для реализации технологии "сверху-вниз" может использоваться операция "вставка". Операция "наложение" учитывает специфические ситуации, возникающие при разработке моделей.

Все операции комплексации реализуются на базе операции отождествления мест Модифицированных сетей Петри. Приводится формальное определение этой операции.

Реализован режим построения подмоделей с помощью меню-ориентированного диалога.

Таким образом, предложенный формализм Модифицированных сетей Петри оказывается базой для введения мощных технологических приемов, в первую очередь модульного моделирования.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практического применения разработанных методов и средств на ряде конкретных примеров, а также перспективные направления их развития.

В частности, был разработан набор МСП-подмоделей, позволяющий автоматизировать процесс проектирования моделей для управления планированием трудовых процессов.

В задачах микроэлементного нормирования представление исполнительской системы в виде набора взаимосвязанных ресурсов, реализованных МСП-подмоделями, позволило учесть большинство часто используемых регламентирующих ограничений. Это дало возможность эффективно решать задачи анализа методов труда, проектирования трудовых операций, расчета нормативов различной степени укрупнения.

Одно из перспективных направлений дальнейших исследований опирается на определение в виде набора МСП-подмоделей возможностей некоторого языка имитационного моделирования. Это позволило бы генерировать в процессе интерактивного взаимодействия с пользователем-непрофессионалом представление имитационной модели в виде программы на данном языке, либо, наоборот, исследовать имеющиеся программы на этом языке с целью их валидации, оптимизации и т.п. В работе в виде такого набора МСП-подмоделей описаны основные моделирующие возможности языка GPSS.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе проведенного анализа существующих систем имитационного моделирования показано, что в условиях ужесточившихся требований к методам и инструментарию имитационного моделирования ключевым направлением развития является разработка соответствующего способа представления знаний о системах.

2. Разработан подход к классификации систем имитационного моделирования по уровню предоставляемых ими услуг и по требуемой компетентности специалистов, участвующих в имитационном исследовании.

3. Разработан формализм представления знаний о системах - Модифицированные сети Петри, а также технологические приемы их применения, основывающиеся на понятиях МСП-подмодели и операциях комплексации.

4. Аprobация предложенных методов и средств при проектировании различных имитационных моделей подтвердила возможность их широкого применения в качестве подсистемы интегрированной системы имитационного моделирования, предназначенной для комплексного исследования крупномасштабных систем.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах :

1. Ахламов А. Г., Шурупова Ю. Г., Кондратенко А. А., Екетова Е. А., Пелько В. Г. Базовая имитационная модель автоматизированной системы планирования трудовых процессов // Препр./АН УССР, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова; 87-26, Киев, 1987. - 20 с.

2. Ахламов А. Г., Пигарев Ю. Б., Пенко В. Г. Об интеллектуализации процесса построения имитационных моделей на GPSS // Моделирование систем информатики (Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции). - Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1988, с. 4-5

3. Ахламов А. Г., Пенко В. Г., Пигарев Ю. Б. Представление знаний в экспертной системе имитационного моделирования // Проблемноориентированные диалоговые системы (Тезисы докладов Республиканской конференции). - Тбилиси: ИК АН ГССР, 1988, с. 154-158

4. Ахламов А. Г., Кондратенко А. А., Пенко В. Г. Встроенные средства моделирования сложных систем // Методы и средства проектирования дискретных систем (Сборник научных трудов). - Киев : ИК АН УССР, 1988, с. 90-94.

5. Ахламов А. Г., Пенко В. Г. Диалоговый программный комплекс имитационного моделирования на базе расширенных сетей Петри // Проектирование систем контроля и управления сложными объектами (Сборник научных трудов). - Харьков: ХИРЭ, 1986, - с. 35-40

6. Ахламов А. Г., Пенко В. Г. О представлении имитационных подмоделей средствами Модифицированных сетей Петри // Программные и аппаратные средства многопроцессорных вычислительных

АНБ им. В. Стефанюк
АН УРСР

комплексов: Сборник научных трудов. - Киев : ИК АН УССР, 1989, с. 118-123

7. Пигарев Ю. В., Векетова Е. А., Пенко В. Г. Метод определения цикломатической потоковой сложности программ имитационных моделей // Проблемы реализации АСНИ на базе перспективных средств ВТ: Сборник научных трудов. - Калинин: КПИ, 1989, с. 28-32

8. Ахламов А. Г., Пенко В. Г. Об одном способе представления знаний для систем планирования на базе имитационных моделей // Диалоговая оптимизация планово-управленческих решений и проблемы внедрения ее в практику (Тезисы докладов научно-практического семинара). - Киев: РДНТП общества "Знание" УССР, ИК АН УССР, 1989, - с. 2

9. Ахламов А. Г., Пенко В. Г. Восполнение информации о сложных системах с помощью имитационного моделирования // Информационная деятельность в новых условиях хозяйствования (Тезисы докладов конференции). - Тбилиси, МЕЦНИЕРАБА ИК ГССР, 1989, с. 28-31

10. Векетова Е. А., Дунаева Л. В., Пенко В. Г. "Методы усовершенствования управленческих решений на базе имитационных моделей" // Информатизация и автоматизация в агропроме (Тезисы докладов научной конференции), Львов, 1990, с. 19-20

11. Ахламов А. Г., Пенко В. Г. Метод повышения качества программ имитационных моделей // Качество программных средств (Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара). - Калинин: НИО "Центрпрограммсистем", 1990, - с. 27

12. Пенко В. Г. Методы автоматизации построения имитационных моделей в АСУ // Разработка и внедрение многоуровневых АСУ в народное хозяйство / Киев. ин-т нар. х-ва. - Киев, 1990, с. 61-64. - Деп. в УкрНИНТИ 13.11.90, N 1832 Ук-90.

Мисс

Подписано в печать 27.11.90. Формат 60x84 1/16 см. № 1111.
Заказ № 437. Тираж 100 экз.
СПИД, 270.00, ул. Советской Армии 8

Госиздат

468060

Ab 26.055

Ab 26.055