

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0135-1710

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

Выпуск 146

Харьков
2009

В сборнике представлены результаты исследований, касающихся компьютерной инженерии, управления, технической диагностики, автоматизации проектирования, оптимизированного использования компьютерных сетей и создания интеллектуальных экспертных систем. Предложены новые подходы, алгоритмы и их программная реализация в области автоматического управления сложными системами, оригинальные информационные технологии в науке, образовании, медицине.

Для преподавателей университетов, научных работников, специалистов, аспирантов.

У збірнику наведено результати досліджень, що стосуються комп'ютерної інженерії, управління, технічної діагностики, автоматизації проектування, оптимізованого використання комп'ютерних мереж і створення інтелектуальних експертних систем. Запропоновано нові підходи, алгоритми та їх програмна реалізація в області автоматичного управління складними системами, оригінальні інформаційні технології в науці, освіті, медицині.

Для викладачів університетів, науковців, фахівців, аспірантів.

Редакционная коллегия:

В.В. Семенец, д-р техн. наук, проф. (гл. ред.), *М.Ф. Бондаренко*, д-р техн. наук, проф., *И.Д. Горбенко*, д-р техн. наук, проф., *Е.П. Пуятин*, д-р техн. наук, проф., *В.П. Тарасенко*, д-р техн. наук, проф., *Г.И. Загарий*, д-р техн. наук, проф., *А.Штефан*, доктор-инженер, *Г.Ф. Кривуля*, д-р техн. наук, проф., *О.Г. Руденко*, д-р техн. наук, проф., *Н.В. Алипов*, д-р техн. наук, проф., *Е.В. Бодянский*, д-р техн. наук, проф., *Э.Г. Петров*, д-р техн. наук, проф., *В.Ф. Шостак*, д-р техн. наук, проф., *В.М. Левыкин*, д-р техн. наук, проф., *В.И. Хаханов*, д-р техн. наук, проф. (отв. ред.).

Свидетельство о государственной регистрации
печатного средства массовой информации

КВ № 12073-944ПР от 07.12.2006 г.

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, комн. 321, тел. 70-21-326

© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ЛИТВИНОВА Е.И. ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ SYSTEM-IN-PACKAGE.....	4
ДЗЮНДЗЮК Б.В., МАМОНТОВ А.В., РОСЬ В.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ПОМЕЩЕНИЙ В СРЕДЕ MATHCAD.....	21
МАМОНТОВ А.В., ПРОНЮК А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	27
КАКУРИН Н.Я., ЛОПУХИН Ю.В., МАКАРЕНКО А.Н., ЗАМАЛЕЕВ Ю.С. СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОДОВ ДРОБНЫХ ЧИСЕЛ ПО МЕТОДУ НАКОПЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТОВ.....	33
КУЧЕРЕНКО Е.И., СМУЛЬСКАЯ Т.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ЗНАНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ.....	39
ДАНЧЕНКО О.Б., ДОНЕЦЬ О.М., ЖІВОТОВА Т.П., ОЛЕЙНИКОВА Т.Ю. МЕТОД БЮДЖЕТУВАННЯ ПРОЄКТІВ З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ.....	44
КУЗЁМИН А.Я., ГОЛОВИЙ (ГУСАРЬ) Н.В., ДАЮБ А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМАТОВ ФИНАНСОВОГО САМООБСЛУЖИВАНИЯ.....	49
ТИМОФЕЕВ В.А., ДЕНИСОВА И.Г., САВЧЕНКО Н.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	54
ОКСАНИЧ И.Г., КАШУБА С.В. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА.....	58
ЗЕМЛЯК А.М., МАРКИНА Т.М. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ КАК УПРАВЛЯЕМЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.....	62
ВЫСОЧИНА О.С., ШМАТКОВ С.И. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ.....	70
ПОНОМАРЕНКО В.П., ЧАЛЫЙ С.Ф. ПРИНЯТИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	76
РЕФЕРАТИ	81
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СБОРНИКА.....	85

ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ SYSTEM-IN-PACKAGE

Рассматривается проблема адаптации технологий тестирования цифровых систем на кристаллах (System on Chip – SoC) для нового конструктивного поколения цифровых систем – System-in-Package (SiP), позволяющего эффективно и компактно имплементировать в кристаллы сверхсложные специализированные вычислительные и радиочастотные устройства для рынка электронных технологий. Вместе с тем пакет кристаллов формирует спектр новых задач сервисного обслуживания SiP-функциональностей в реальном масштабе времени, которое существенно отличается от процессов встроенного диагностирования SoC [1-3]. В связи с этим предлагается алгебрологический метод диагностирования и восстановления работоспособности функциональных логических блоков FPGA, основанный на использовании таблиц неисправностей и их анализе в реальном масштабе времени.

1. Введение

Технологическая конструкция SiP, как наслоение или «пирог» из силиконовых кристаллов, закономерно и ожидаемо эволюционирует в течение последних 10 лет на рынке электронных технологий и предоставляет разработчикам аппаратуры новые возможности, связанные с повышением производительности цифровых систем, миниатюризацией объема, снижением веса изделия, уменьшением задержек распространения сигналов, энергопотребления и стоимости устройства.

Указанные преимущества достигаются за счет следующих наиболее существенных и не совсем позитивных свойств. 1) Аппаратное усложнение цифровой системы в пакете, насчитывающей уже миллиарды вентиляей, до 700 миллионов транзисторов на одном кристалле. 2) Высокая стоимость проектирования и производства (Design and Manufacturing Cost). 3) Низкая технологическая привлекательность существующих моделей (Unavailable Simulation Models) и методов анализа и принятия решений (Decision Making Process). 4) Отсутствие гарантии качества (Bare Die Quality) используемых силиконовых пластин. 5) Низкий уровень выхода годных изделий SiP (Low Assembly Yields). 6) Технологическая сложность процессов восстановления работоспособности (Complex Repair Process). 7) Весьма ограниченные средства проектирования (Limited CAD Tools). 8) Наличие проблем в управлении отводом тепла (Thermal Management).

Новое конструктивное исполнение цифровой системы добавляет разработчикам аппаратуры технологические проблемы тестирования цифровых систем в пакетах (SiP Test Challenges), пластин и силиконовых кристаллов (Wafer/Die Test), подложки (Substrate Test) и функциональных модулей (Module Test). Кроме того, существует много проблемных вопросов, связанных с соединением силиконовых кристаллов (silicon die) в цифровую электронную систему. В первую очередь здесь актуальными представляются: 1) механическая защита внутренностей силиконовых кристаллов; 2) удобства и преимущества использования, сборки и тестирования (handling, assembly, test); 3) рассеивание тепла путем его отвода от горячих компонентов (removal of wasted heat).

Одной из наиболее актуальных на рынке электронных технологий проблем в области тестирования, диагностирования и ремонта цифровых систем, оформленных в виде SoC, SiP, является восстановление работоспособности логики пользователя, которая в 2014 году будет составлять 6% от проекта, размещенного на кристалле. На рис.1 представлена тенденция снижения процентного соотношения логической части в сторону наращивания памяти. Тем не менее, проблема оперативного ремонта отказавших логических элементов в реальном масштабе времени остается нерешенной.

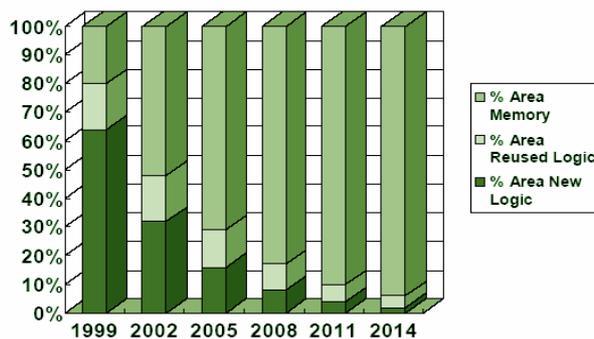


Рис. 1. Тенденция использования памяти и логики в цифровых проектах

Цель исследования – разработка технологии восстановления работоспособности логических компонентов (Reused and New Logic) цифровой системы на кристаллах SoC & SiP в реальном масштабе времени на основе использования избыточных площадей программируемой логики.

Задачи: 1) Анализ конструктивно-технологических особенностей SiP. 2) Анализ методов тестирования, диагностирования и ремонта компонентов SiP. 3) Технологии диагностирования логических блоков цифровых систем в пакетах на основе FPGA (Field Programmable Gate Array). 4) Алгебологический метод восстановления работоспособности логических блоков цифровой системы на основе FPGA. 5) Практические результаты и будущие направления исследования.

За последние годы появились десятки работ, которые рассматривают вопросы, связанные с проблемой тестирования, диагностирования и ремонта цифровых систем на кристаллах и в пакетах (SoC, SiP). Особое место здесь занимает задача тестирования и ремонта логических компонентов цифровых систем ввиду технологической сложности восстановления работоспособности логических элементов при возникновении в них дефектов. Существующие решения, предлагаемые в публикациях, сводятся к следующей классификации:

1. Дублирование логических элементов или областей кристалла, приводящее к удвоению аппаратной реализации функциональности. При фиксации неисправного элемента или области осуществляется переключение на исправный компонент с помощью мультиплексора [4]. Предложенные Xilinx модели FPGA (Field Programmable Gate Array) применимы также при ремонте компонентов FPGA от компании Altera. Основная единица измерения при ремонте – столбец или строка.

2. Использование генетических алгоритмов для диагностирования и восстановления работоспособности на основе автономной реконфигурации кристалла FPGA без использования внешних устройств управления [5]. Надежность диагностирования дефектов равна 99%, время ремонта – 36 миллисекунд вместо 660 секунд, необходимых для стандартного конфигурирования проекта.

3. Восстановление работоспособности кристаллов FPGA, не критичное ко времени, путем замены локальных CLB на избыточные запасные компоненты предложено в [6,7]. Доступный уровень объединения CLB, подлежащий замене, для критически важных приложений составляет порядка тысячи логических элементов.

Технологии восстановления работоспособности логической части цифровых систем, имплементированных в кристаллы программируемой логики, основаны на существовании или внесении избыточности LUT-компонентов FPGA после выполнения процедур Place and Route. Физические дефекты кристалла, возникающие в процессе его изготовления или эксплуатации, проявляются как логические или временные и приводят к неправильному функционированию цифрового изделия. Дефекты привязываются не только к вентилям или LUT-компонентам, но и к конкретному месту на кристалле. Идея ремонта цифровой структуры сводится к исключению дефектного места при повторном выполнении процедур Place and Route после установления диагноза. При этом возможны две технологии ремонта:

1) Запрет дефектной области путем написания управляющих скриптов для достаточно

длительной процедуры Place and Route, что не всегда приемлемо для цифровых систем, работающих в реальном масштабе времени. Однако такой подход приемлем и ориентирован на исключение дефектных областей любой кратности, имеющих место на кристалле. Запрет таких областей при повторном выполнении процедуры Place and Route приводит к восстановлению работоспособности. 2) Для цифровых систем реального времени выполнение процедуры Place and Route, направленной на восстановление работоспособности, может привести к катастрофическим последствиям. Необходим технологический подход, способный восстановить функциональность цифровой системы за миллисекунды, необходимые для перепрограммирования FPGA путем подачи нового битстрима, исключающего дефектные области из формирования функциональности. Такой подход основан на предварительной подготовке всех возможных битстримов, изолирующих будущие дефектные области путем их попадания в избыточную нефункциональную область кристалла. Чем больше резервная область, тем меньше число битстримов – проектных вариантов, привязанных к топологии, которое необходимо сгенерировать априори. Что касается кратных дефектов, не покрываемых одной резервной областью, здесь следует сегментировать цифровой проект, разбив его предварительно на непересекающиеся части, которые имеют собственные карты Place and Route. В данном случае можно ремонтировать цифровую систему, которая имеет для n распределенных на пластине дефектов n резервных сегментов. В этом случае общая площадь кристалла представляет собой $n+m$ одинаковых частей.

2. Технологии восстановления работоспособности SiP

Кристаллы FPGA широко используются для быстрого прототипирования в целях уменьшения стоимости проектирования сложных цифровых систем [7]. Модульная структура FPGA позволяет выполнять дистанционное перепрограммирование для замены дефектных логических ресурсов (блоков) исправными резервными элементами. Указанное свойство дает возможность существенно повысить отказоустойчивость аппаратных приложений. Особенно это важно для систем, эксплуатируемых в критических условиях (космическое пространство, экологически опасная для человека среда). Естественно, что промышленно выпускаемые FPGA могут быть подвергнуты полному тестированию еще до реализации этапа их программирования. После имплементации в кристалл заданной функциональности выполняется оперативный контроль FPGA и автономное тестирование компонентов, благодаря наличию специальных встроенных средств.

Систематические (константные) и перемежающиеся (неустойчивые) неисправности могут быть обнаружены и локализованы путем использования встроенных методов тестирования. Использование определенной части ресурсов FPGA в качестве резервных позволяет заменить дефектную область, в которой обнаружена систематическая неисправность. Замена происходит путем перепрограммирования кристалла при сохранении его функциональности. Схема, по которой резервные ресурсы распределяются внутри FPGA и, следовательно, алгоритм реконфигурирования зависят от типа кристалла. Использование процесса частичного конфигурирования позволяет существенно уменьшить среднее время восстановления работоспособности и длину битового потока (bitstream), который используется для реконфигурирования FPGA. Для выбора эффективной стратегии распределения резервных ресурсов большое значение имеет структура межсоединений кристалла.

В опубликованных работах [4, 8-13] описаны различные технологии восстановления работоспособности FPGA, однако сравнительный анализ представленных методов и метрики оценки их эффективности здесь практически отсутствуют. Поэтому далее рассматривается объект исследования, представленный в виде FPGA, его структура и особенности применения, а также существующие методы диагностирования и ремонта, использующие специфику перепрограммирования для устранения дефектов.

Кристалл FPGA есть массив комплексных логических блоков (CLB – Complex Logic Block), каждый из них представляет собой аппаратную реализацию от двух до восьми таблиц истинности на 4 входа, каждая из которых соединена с триггером с помощью ресурсов трассировки, представляющих собой программируемые матрицы переключателей (PSM). В целях обеспечения отказоустойчивости и надежности FPGA выполняется резервирование функциональной части CLB путем априорного формирования подмножества запасных блоков (spares), мощность которого зависит от структуры межсоединений кристалла, влияющих на процедуры ремонта блоков FPGA.

Первый тип межсоединений ориентирован на матричную топологию CLB, когда оптимальная структура функциональности представлена соединением соседних по вертикали и горизонтали логических блоков. Если дефектный и резервный блоки не являются соседними в «манхэттенской» системе координат, то для восстановления работоспособности первого CLB необходимо выполнить достаточно сложную процедуру трассировки, используя матрицы переключателей. Данная структура идеально подходит для обеспечения гибкости при выборе CLB при распределении резервных ресурсов. Недостатки: 1) Большое количество блоков, через которые проходит сигнал, приводит к снижению производительности системы путем увеличения длины логического пути, который зависит от числа используемых промежуточных переключательных матриц. 2) Процесс перепрограммирования межсоединений или трассировки является достаточно сложной задачей, когда замена дефектного логического блока требует значительного количества времени (десятки минут) для поиска квазиоптимального пути.

Второй тип межсоединений представлен на рис. 2. Здесь нижний уровень иерархии связей позволяет соединить соседние блоки CLB. Группы блоков используют межсоединения высшего уровня иерархии, что позволяет уменьшить количество промежуточных переключательных матриц. Данная структура дает возможность эффективно использовать мозаичную (tile) и иерархическую стратегии распределения резервных ресурсов [7].

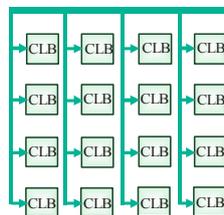


Рис. 2. Иерархическая структура FPGA

Третий тип межсоединений основан на сегментации блоков CLB с помощью программируемых матриц переключателей, разбивающих логические компоненты на подмножества, как показано на рис. 3. Здесь имеются 4 сегмента по 9 логических блоков в каждом. Такая структура не требует выполнения процедуры перетрассировки, если резервный и дефектный блоки расположены на одной линии, вертикальной или горизонтальной, в пределах одного сегмента. В этом случае может быть использован «мозаичный» подход [7], позволяющий использовать резервный CLB для восстановления работоспособности соседнего по горизонтали или вертикали дефектного блока в пределах одного сегмента.

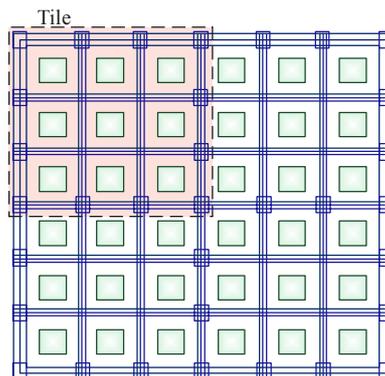


Рис. 3. Частичная сегментация связей в структуре FPGA

Интересным представляется также решение задачи, связанной с выбором стратегии восстановления, которая сводится к созданию протокола перепрограммирования FPGA. Здесь следует рассмотреть два метода частичного реконфигурирования. Первый позволяет определить ресурсы Atmel AT40K FPGA, которые должны быть перепрограммированы, используя пару управляющих регистров для выбора координаты конкретного блока в виде номера строки и столбца реконфигурируемого ресурса. После программирования новая

конфигурация ресурсов может быть загружена в управляющие регистры. Данная стратегия характеризуется незначительным временем исправления ошибки и высокой степенью детализации в процессе реконфигурирования кристалла. Второй метод, используемый компанией Xilinx, заключается в разделении на столбцы перепрограммируемых ресурсов, что может обеспечивать степень детализации (ячеистость – granularity) не хуже, чем в предыдущем случае.

Для устранения постоянной во времени неисправности в кристалле FPGA используется модель процесса восстановления работоспособности, которая представлена на рис. 4.

Шаг 1. Обнаружение неисправностей в FPGA. До начала реконфигурирования выполняется процесс их диагностирования. Тестирование неисправностей происходит с использованием самопроверяемых схем (self-checking circuits). Приложение, имплементируемое в FPGA, разделяется на части, к каждой из них добавляется избыточность, в результате чего функциональный модуль становится самопроверяемой схемой относительно дефектов, которые могут возникнуть внутри модуля. Степень детализации, или глубина диагностирования неисправностей, определяется количеством CLB, подозреваемых в наличии дефектов. Их поиск осуществляется в процессе непрерывного и последовательного циклического тестирования структурных компонентов FPGA, каждый из которых представляет собой совокупность блоков, объединенных в область самотестирования (self-testing areas – STARs). В каждый конкретный момент выполняется проверка только одной области, которая выводится из штатного режима путем ее замены резервом, в то время как оставшаяся часть FPGA продолжает функционировать в нормальном режиме. После завершения процедуры тестирования одной области осуществляется реконфигурирование FPGA в целях функционального отключения следующей области, подлежащей тестированию, и возврата проверенного структурного компонента в штатный режим. Описанная процедура позволяет автоматически устранять перемежающиеся (transient) неисправности с помощью конфигурационной памяти FPGA, которая сохраняет информацию о тестируемой области. Поскольку кристалл постоянно реконфигурируется для тестирования очередного компонента функциональности FPGA, процедура диагностирования имеет высокую степень детализации или глубину поиска дефектов, определяемую не более чем 10 CLB. Недостатком метода является зависимость времени диагностирования дефекта от длительности цикла тестирования функциональных компонентов FPGA, которая задается множеством самопроверяемых областей FPGA, полученным на стадии тестопригодного проектирования. Кроме того, наличие задержки между двумя событиями – возникновением и обнаружением дефекта – может приводить к неверному диагнозу о работоспособности системы в определенный момент времени, что приводит к нежелательным последствиям для критических систем реального времени.

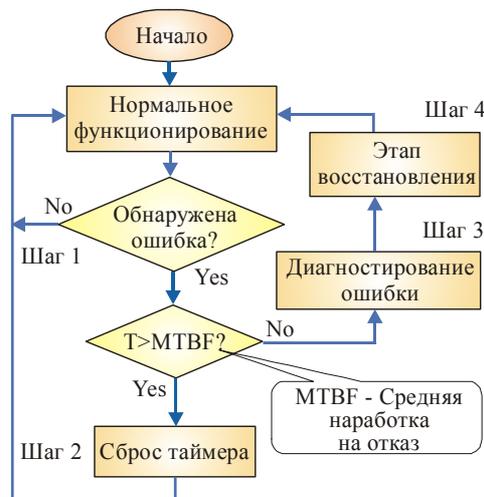


Рис. 4. Процедура восстановления работоспособности FPGA

Шаг 2. Позволяет различить перемежающиеся и систематические (константные) неисправности. Когда устройство диагностирования фиксирует факт наличия дефекта, выполняется обновление конфигурационной памяти FPGA. Затем выполняется инициализация таймера, контролирующего MTBF (Mean Time Between Failures – средняя наработка на отказ), для различения перемежающихся и систематических неисправностей. Если две ошибки обнаружены в одном месте в течение интервала времени меньшего, чем MTBF, фиксируется факт наличия систематической неисправности с последующим выполнением шагов 3 и 4.

Шаг 3. В случае обнаружения систематической неисправности выполняется ее диагностирование со степенью детализации лучшей, чем при разделении схемы на самотестируемые модули. Для поиска дефектного CLB может быть использован метод, предложенный в [14].

Шаг 4. Ремонт дефектного модуля CLB. Механизм восстановления работоспособности непосредственно зависит от архитектуры FPGA. При этом используются различные технологии в зависимости от возможностей частичной или динамической реконфигурации FPGA, а также от структуры битового потока для перепрограммирования кристалла и межсоединений: 1) Иерархическая модель предполагает формирование двух уровней избыточности. На нижнем уровне выполняется разделение FPGA на клетки (tile) – подматрицы блоков CLB, в каждой из них создаются резервные блоки. На верхнем уровне дефектные клетки могут быть заменены резервными клетками, как показано на рис. 5,а. 2) Оптимальная модель предполагает, что резервные CLB могут быть использованы для восстановления работоспособности любого дефектного модуля цифровой системы на кристалле FPGA. При этом нет необходимости выполнять времязатратные процедуры перетрассировки (рис. 5, б). Данный подход инвариантен к структуре FPGA, но требует существенного времени восстановления работоспособности и дополнительного объема памяти для хранения предварительно скомпилированного битового потока (bitstream), перепрограммирующего кристалл.

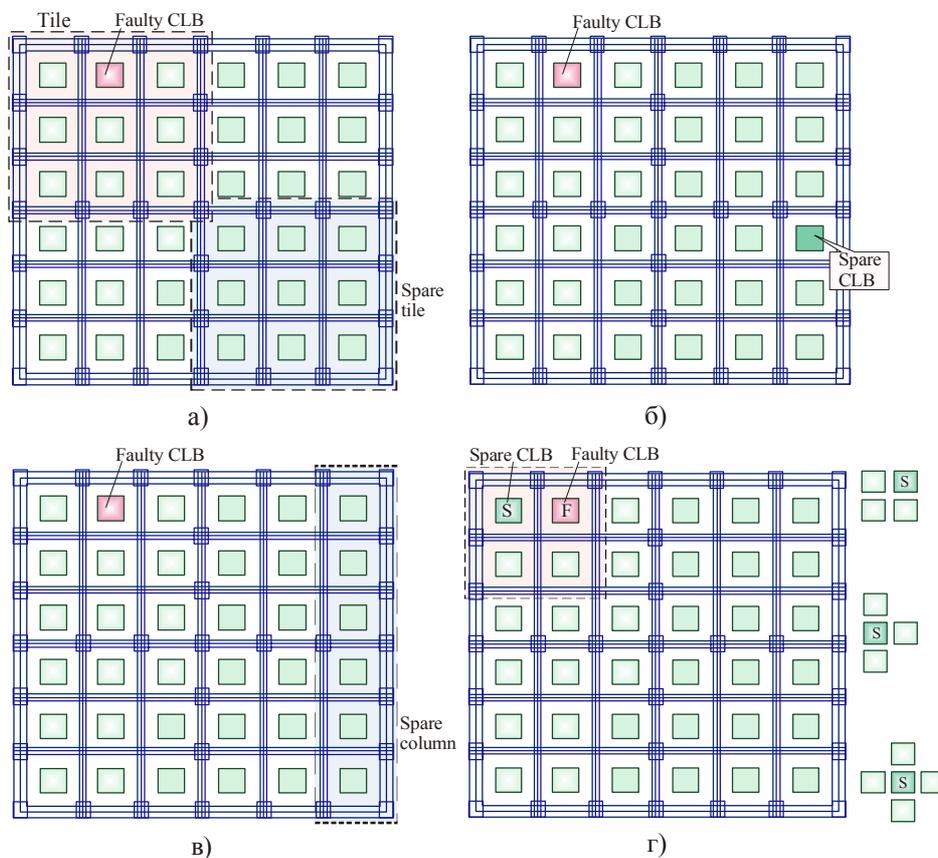


Рис. 5. Модели FPGA для восстановления работоспособности

Использование bitstream является обязательным, поскольку процедура перепрограммирования может затрагивать все ресурсы FPGA. Следовательно, должен быть реализован полный алгоритм place-and-route. Данная процедура является времязатратной и не может быть выполнена в режиме on-line. Она реализуется во время компиляции проекта с использованием методов уменьшения размерности предварительно скомпилированного битового потока. 3) Модель с избыточностью оперирует матрицей блоков CLB, разделенной на столбцы, среди которых имеется один или несколько избыточных, используемых для восстановления работоспособности цифровой системы (рис. 5, в). Если неисправность обнаружена в функциональном столбце, он маркируется как дефектный и заменяется резервным. Модель процесса позволяет выполнять частичное реконfigurирование структуры FPGA путем разделения bitstream, как это используется в кристаллах компании Xilinx. Процедура реконfigurирования выполняется в реальном масштабе времени. Также имеется возможность упростить, а значит – ускорить ее реализацию с помощью укрупнения детализации функциональных модулей. Недостаток: при обнаружении дефектного CLB другие исправные блоки, принадлежащие столбцу, также маркируются как дефектные и выводятся из функционирования. 4) Мозаичная модель. Здесь структура FPGA делится на клетки, содержащие резервные CLB, каждый из которых может восстановить один дефектный блок в рассматриваемой клетке (рис. 5, г).

В процессе диагностирования определяется местоположение дефектной области с глубиной детализации выше, чем размер клетки (ячейки). Это дает возможность заменить дефектный блок CLB резервным элементом клетки. Реконfigurация клетки обеспечивает исходную функциональность на новой карте. Межсоединения по периметру клетки с остальной частью FPGA должны быть неизменными в процессе реконfigurации. Такой подход позволяет уменьшить время восстановления работоспособности цифровой системы после обнаружения дефекта. Запасные конфигурации генерируются на стадии проектирования и хранятся в памяти. Каждая клетка формируется как набор блоков CLB и межсоединений FPGA с помощью описания интерфейса, который определяет и обеспечивает связи с другими клетками кристалла. Применение интерфейса клеток позволяет не вовлекать другие компоненты в процесс реконfigurирования, уменьшая используемую память. Модель позволяет восстанавливать не только CLB, но и локальные дефектные межсоединения. Ошибки глобальных межсоединений требуют других подходов, поскольку они пересекают периметр клеток, делая их зависимыми друг от друга. Структура клетки зависит от межсоединений FPGA. Как правило, один из нескольких CLB, принадлежащих клетке, является резервным элементом. Остальные блоки используются в штатном режиме. При обнаружении неисправности клетка реконfigurруется путем исключения из функционирования дефектного блока. На рис. 5,г показаны структуры клетки, форма которых отличается от квадрата. В кристаллах Atmel FPGA используются диагональные межсоединения блоков, для которых модель, представленная на рис. 5,г, является более предпочтительной [15].

Иерархическая модель представляет собой наиболее общий случай восстановления работоспособности. Все остальные, описанные выше, могут рассматриваться как ее частные случаи. Оптимальная структура применима только на нижнем уровне иерархии, в то время как модель с избыточностью имеет резервные ресурсы только на верхнем уровне для замены дефектного столбца блоков. Мозаичная модель имеет избыточность на нижнем уровне иерархии, поэтому один из двух дефектных блоков, расположенных в одной клетке, является невозстанавливаемым. Для устранения данного недостатка следует использовать дополнительные резервные клетки.

При использовании двухуровневой архитектуры цифровой системы в кристалле FPGA вероятность ее исправного функционирования при наличии не более чем q дефектов, равного количеству резервных элементов, определяется выражением [7]:

$$P_{nf}(t) = \sum_{i=0}^q \binom{m}{i} P_{tile}(t)^{m-i} (1 - P_{tile}(t))^i,$$

где m – общее число клеток в FPGA или блоков CLB в клетке; q – количество резервных клеток или блоков в каждой из них.

Для сравнения четырех моделей восстановления работоспособности SiP в [7] использовались матричная (квадратная) структура FPGA (число строк и столбцов равно 100) с резервом CLB, равным 25%. 1) Оптимальная модель: количество CLB, используемых в процессе функционирования системы, равно 7500, резервных элементов – 2500. 2) Мозаичное восстановление: каждая клетка (tile) включает 4 CLB, 3 из которых используются в процессе функционирования и один является резервным, количество клеток равно 2500. 3) Модель с избыточностью: количество столбцов равно 100, каждый столбец состоит из 100 CLB, 75 из которых используется в работе и 25 – резервные. 4) Иерархическая модель: количество клеток равно 2000, каждая из них содержит 5 CLB, 4 из которых – функциональные и один – резервный. Используется 1875 рабочих клеток и 125 резервных. Общее число резервных блоков CLB равно 2500.

Для малых значений интенсивности отказов надежность восстановления с избыточностью превосходит надежность ремонта на основе мозаичной модели. При увеличении интенсивности отказов надежность первого подхода резко падает ввиду ограниченного количества резервных элементов, а надежность второго – плавно уменьшается благодаря меньшей избыточности блоков CLB для восстановления работоспособности. Таким образом, существующие структуры восстановления работоспособности можно разделить на две группы: 1) Модели, ориентированные на замену единичного элемента (оптимальная и мозаичная). 2) Модели, ориентированные на замену группы дефектных элементов (иерархическая и модель с избыточностью).

Реализация рассмотренных в работе моделей восстановления работоспособности цифровых систем основана на выполнении времязатратной процедуры Place and Route или использовании управляющих регистров для оперативного реконфигурирования структуры FPGA в реальном масштабе времени в целях исключения из процесса функционирования дефектных блоков.

3. Технологии диагностирования блоков FPGA

Основная роль в процессе диагностирования неисправных блоков FPGA отводится встроенной в кристалл инфраструктуре граничного сканирования [18], которая ориентирована на решение практически всех задач сервисного обслуживания SiP-функциональностей. Контроллер доступа обеспечивает мониторинг всех проблемных внутренних линий проекта с помощью регистра граничного сканирования, число разрядов которого должно соответствовать наперед заданной глубине диагностирования, а следовательно – количеству блоков LUT, клеток или кристаллов в SiP. Модель процесса сервисного обслуживания SiP-функциональности для диагностирования дефектов в компонентах кристаллов представлена на рис. 6.

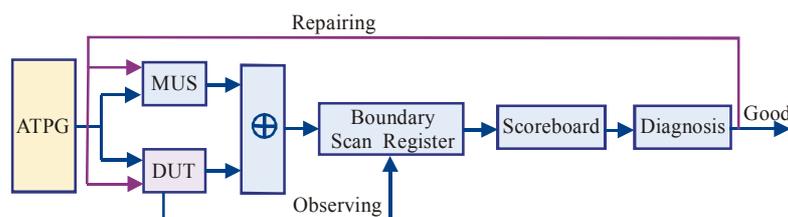


Рис. 6. Модель процесса диагностирования F-IP

Здесь модуль функции Хог анализирует выходные реакции модели MUS и реального устройства DUT на тестовые векторы, поступающие от встроенного генератора входных последовательностей. Блок Boundary Scan Register является мультизондом, предназначенным для мониторинга состояния всех блоков или клеток, далее компонентов кристалла. Модуль Scoreboard выполняет функцию анализа результатов мониторинга для диагностирования и последующего ремонта компонентов SoC. Результат диагностирования SiP представляет собой множество неисправных блоков, подлежащих исключению из функционального режима путем их замены на резервные компоненты.

Интересное решение задачи диагностирования может быть получено путем применения булевой алгебры для анализа таблицы неисправностей (ТН) М, представляющей собой декартово произведение теста Т на множество наперед заданных дефектов F. Вектор

экспериментальной проверки V , равный по длине различным тестовым сегментам, позволяет привести процедуру поиска дефектов к задаче покрытия, что дает максимально точный результат в виде ДНФ, где каждый терм есть возможный вариант наличия в устройстве подмножества или сочетания дефектов SiP. Модель процесса диагностирования представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 A &= \langle T, F, M, V \rangle, \\
 T &= (T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n); F = (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m); \\
 M &= |M_{ij}|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; V = (V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n); \\
 V_i &= R(T_i) \oplus R^*(T_i); \{V_i, T_i, M_{ij}, F_j\} \in \{0, 1\}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Значение координаты вектора V есть результат выполнения операции Хог над обобщенной модельной и фактической реакцией выходов устройства. Если хотя бы на одном выходе устройства зафиксировано единичное значение вектора V на i -м тестовом сегменте, то обобщенное состояние выхода равно 1. В противном случае значение координаты вектора V равно 0.

3.1. Алгебро-логический метод диагностирования неисправностей

Решение задачи диагностирования сводится к анализу таблицы неисправностей, полученной в результате моделирования дефектов компонентов SiP, путем записи логического произведения дизъюнкций строк таблицы неисправностей, записанных по единичным значениям вектора экспериментальной проверки:

$$F = \bigwedge_{\forall V_i=1}^{i=\overline{1, n}} \left(\bigvee_{\forall M_{ij}=1}^{j=\overline{1, m}} F_j \right). \tag{2}$$

Конъюнктивная нормальная форма (КНФ), полученная из ТН, трансформируется к дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) с помощью эквивалентных преобразований (логическое умножение, минимизация и поглощение) [17]. В результате получается булева функция, где термы – логические произведения представляют полное множество решений в виде сочетания дефектов (дающих по выходам SiP или ее компонентам двоичные координаты вектора экспериментальной проверки V):

$$F = \bigwedge_{\forall V_i=1}^{i=\overline{1, n}} \left(\bigvee_{\forall M_{ij}=1}^{j=\overline{1, m}} F_j \right) = \left[\begin{matrix} a \vee ab = b \\ a \vee a = a \end{matrix} \right] = \bigvee_{i=1}^{2^m} \left(\bigwedge_{j=1}^m k_j F_j \right), k_j = \{0, 1\}. \tag{3}$$

Функция (3) в общем случае формирует диагноз в виде некоторого подмножества сочетаний (кратных) дефектов, которые далее нуждаются в уточнении путем применения дополнительного зондирования внутренних точек с помощью регистра граничного сканирования. Количество единиц в векторе экспериментальной проверки V формирует число дизъюнктивных термов КНФ (3). Каждый терм – построчная запись дефектов (через логическую операцию ИЛИ), оказывающих влияние на выходы функциональности. Представление таблицы в виде аналитической записи – конъюнктивной нормальной формы дает потенциальную возможность существенно сократить объем диагностической информации для поиска дефектов. Последующее преобразование КНФ к ДНФ на основе тождеств алгебры логики позволяет существенно уменьшить булеву функцию.

Алгебро-логический метод рассматривается на примере таблицы неисправностей M_1 и представлен в виде следующих пунктов алгоритма [21].

$$M_1 = \begin{array}{c|cccccc|c}
 T_i \backslash F_j & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & V \\
 \hline
 T_1 & 1 & & & 1 & & & 1 \\
 T_2 & & 1 & & & 1 & & 1 \\
 T_3 & & & 1 & 1 & & 1 & 1 \\
 T_4 & 1 & & 1 & & & & 1 \\
 T_5 & & 1 & & & 1 & 1 & 0
 \end{array}$$

1. Определение строк таблицы неисправностей, соответствующих нулевым значениям вектора экспериментальной проверки в целях обнуления единичных координат найденных строк. В данном случае – это одна строка T5.

2. Нахождение всех столбцов, которые имеют нулевые значения координат строк с нулевым состоянием ВЭП. Обнуление единичных значений найденных столбцов. В данном случае: F2, F5, F6.

3. Удаление из таблицы неисправностей строк и столбцов, имеющих только нулевые значения координат (найденные в пунктах 1 и 2).

$$M_1 = \begin{array}{c|cccccc|c} T_i / F_j & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & V \\ \hline T_1 & 1 & & & 1 & & & 1 \\ T_2 & & 0 & & & 0 & & 1 \\ T_3 & & & 1 & 1 & & 0 & 1 \\ T_4 & 1 & & 1 & & & & 1 \\ T_5 & & 0 & & & 0 & 0 & 0 \end{array} = \begin{array}{c|ccc|c} T_i / F_j & F_1 & F_3 & F_4 & V \\ \hline T_1 & 1 & & 1 & 1 \\ T_3 & & 1 & 1 & 1 \\ T_4 & 1 & 1 & & 1 \end{array}$$

4. Построение КНФ по единичным значениям ВЭП. Преобразование КНФ к ДНФ с последующей минимизацией функции:

$$\begin{aligned} F &= (F_1 \vee F_4) \wedge (F_3 \vee F_4) \wedge (F_1 \vee F_3) = \\ &= (F_1 F_3 \vee F_3 F_4 \vee F_1 F_4 \vee F_4 F_4) \wedge (F_1 \vee F_3) = \\ &= F_1 F_1 F_3 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_1 F_1 F_4 \vee F_1 F_4 F_4 \vee F_1 F_3 F_3 \vee \\ &\vee F_3 F_3 F_4 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_3 F_4 F_4 = \\ &= F_1 F_3 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_1 F_4 \vee F_3 F_4 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_3 F_4 = \\ &= F_1 F_3 \vee F_1 F_4 \vee F_3 F_4. \end{aligned}$$

Предложенный алгоритм ориентирован на анализ таблицы неисправностей в целях уменьшения объема ТН и последующих вычислений, связанных с построением ДНФ, которая формирует все решения по установлению диагноза функциональностей SoC. Дальнейшее уточнение диагноза возможно только с применением мультисонда на основе регистра граничного сканирования данных [18].

3.2. Векторно-логический метод диагностирования неисправностей

Обработка ТН для получения диагноза выполняется по сценарию, основанному на использовании векторных операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания над стоками таблицы неисправностей. Аналитическая векторно-логическая модель диагностирования кратных дефектов определяется конъюнкцией двух компонентов, где первый есть дизъюнкция векторов, соответствующих единичным координатам ВЭП, а второй – инверсия дизъюнкций векторов, соответствующих нулевым координатам ВЭП:

$$F = M^1 \wedge \overline{M}^0 = \left(\bigvee_{v_i=1} M_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{v_i=0} M_i} \right). \quad (4)$$

Модель диагностирования одиночных дефектов отличается выполнением на первом шаге сценария операции конъюнкции (вместо дизъюнкции) всех векторов, соответствующих единичным координатам ВЭП:

$$F = M^1 \wedge \overline{M}^0 = \left(\bigwedge_{v_i=1} M_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{v_i=0} M_i} \right). \quad (5)$$

Пример 1. Выполнить диагностирование кратных дефектов в структуре SiP векторно-логическим методом, для которой заданы таблица неисправностей и вектор экспериментальной проверки:

T_i / F_j	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	V
T_1				1						1	1
T_2		1					1				0
T_3			1			1			1		0
T_4	1										0
T_5					1			1			1
T_6	1	1									0
T_7			1								0
T_8				1							1
T_9					1	1					0
T_{10}							1				0
T_{11}								1	1	1	1
M^1				1	1			1	1	1	1
M^0	1	1	1		1	1	1		1		0
\overline{M}^0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
F	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1

(6)

Обработка таблицы неисправностей в соответствии с формулой (4) дает результат, представленный в четырех нижних строках (6). Последняя строка таблицы неисправностей фиксирует факт наличия в схеме дефектов, представленных в векторной или теоретико-множественной форме $F = (0001000101) = \{F_4, F_8, F_{10}\}$.

Для преобразования полученного решения к ДНФ кратных дефектов используется структура ТН, маскируемая вектором F , представленным последней строкой таблицы:

$$F = M^1 \wedge F = \bigwedge_{V_i=1} (M_i \wedge F). \quad (7)$$

Полученные векторы, число которых в пределе равно количеству единиц ВЭП, логически перемножаются. При этом каждый вектор может быть компактно записан в виде дизъюнкции значений единичных координат. Для представленной выше ТН применение формулы (7) дает следующий результат:

$$\begin{aligned} F &= (F_4 \vee F_{10})(F_8)(F_4)(F_4 \vee F_{10}) = \\ &= F_4 F_8 F_4 F_4 \vee F_{10} F_8 F_4 F_4 \vee F_4 F_8 F_4 F_{10} \vee F_{10} F_8 F_4 F_{10} = \\ &= F_4 F_8 \vee F_{10} F_8 F_4 \vee F_4 F_8 F_{10} \vee F_{10} F_8 F_4 = F_4 F_8. \end{aligned}$$

Он интересен тем, что благодаря записи дефектов в виде термов ДНФ, покрывающих все единичные координаты ВЭП, появилась возможность исключить дефект $F_{10} \in F$ из списка неисправностей.

Преимущество векторно-логического метода заключается в технологичности анализа таблицы неисправностей, вычислительная сложность которого имеет мультипликативную зависимость от числа дефектов и мощности теста: $Q = n \times m$. Метод следует использовать при преобладании в таблице неисправностей единичных координат, когда алгебро-логический метод дает высокую оценку по Квайну сложности ДНФ и КНФ. Недостаток заключается в невозможности представления всех сочетаний дефектов, формирующих термы для покрытия единичных координат вектора экспериментальной проверки.

Предложенные методы диагностирования: алгебро-логический и векторно-логический предлагают специалисту в области проектирования и тестирования цифровых систем на кристаллах математический аппарат, который способен осуществить диагноз дефектных компонентов, если имеется предварительно построенная таблица неисправностей. При этом векторные решения, эффективно полученные во втором методе, можно представлять всеми возможными сочетаниями дефектов в виде термов ДНФ, что характерно для первого метода. Второй метод эффективен при числе единиц в матрице неисправностей, превышающем 10-20%.

4. Алгебро-логический метод ремонта блоков FPGA

Представлен точный метод восстановления работоспособности логических блоков FPGA с помощью резервных компонентов путем квазиоптимального решения задачи покрытия множества дефектных ячеек минимально возможным количеством избыточных компонентов. Метод ориентирован на имплементацию в инфраструктуру сервисного обслуживания функциональностей цифровой системы в пакете. Функция цели определяется как минимизация числа резервных компонентов S^t матрицы блоков FPGA, необходимых для ремонта дефектных блоков в процессе функционирования SiP путем синтеза дизъюнктивной нормальной формы покрытия неисправностей с последующим выбором минимального конъюнктивного терма $(S_1^t, S_2^t, \dots, S_i^t, \dots, S_{m_t}^t) \in S^t$, удовлетворяющего ограничениям по числу резервных компонентов $m_t \leq p$, которые входят в состав логического произведения:

$$Z = \min_{t=1, n} (|S^t|) \Big|_{m_t \leq p}, S = (S^1 \vee S^2 \vee \dots \vee S^t \vee \dots \vee S^n); S^* = \{S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_p\}.$$

Модель функциональности FPGA представляется в виде матрицы логических блоков, оперирующей строками и столбцами структуры $M = |M_{ij}|$. В процессе проектирования матрице придается некоторый резерв, составленный из запасных строк и столбцов, которые можно переадресовывать в процессе реконfigurирования структуры устройства в случае обнаружения дефектов.

Модель процесса определения минимального числа резервных компонентов (строк и столбцов), покрывающих все обнаруженные дефекты в матрице логических блоков FPGA, сводится к следующим пунктам:

1. Построение таблицы покрытия обнаруженных дефектных блоков FPGA резервными строками и столбцами матрицы. Для достижения поставленной цели рассматривается топологическая модель результатов тестирования функциональности FPGA в виде матрицы, координаты которой идентифицируют обнаруженные дефекты (исправные и неисправные блоки):

$$M = |M_{ij}|, M_{ij} = \begin{cases} 1 \leftarrow T \oplus f = 1; \\ 0 \leftarrow T \oplus f = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь координата матрицы равна 1, если сумма по модулю 2 функции исправного поведения f блока и фактической тестовой реакции дают единичное значение, что соответствует наличию в блоке дефекта. После тестирования FPGA – фиксации всех неисправных блоков выполняется построение таблицы покрытия дефектов $Y = |Y_{ij}|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$, где столбцы соответствуют множеству неисправностей (единичных координат), зафиксированных в матрице M ($|M| = m$), а строки есть номера столбцов и строк матрицы блоков FPGA, покрывающих неисправности, указанные в столбцах:

$$Y = |Y_{ij}|, Y_{ij} = \begin{cases} 1 \leftarrow C_i(R_j) \cap F_j \neq \emptyset; \\ 0 \leftarrow C_i(R_j) \cap F_j = \emptyset. \end{cases} \quad (9)$$

Оперируя далее строками и столбцами, в которых содержатся дефекты, можно найти оптимальное решение в виде покрытия обнаруженных дефектов в метрике неисправных строк и столбцов. Далее выполняется тривиальная процедура переназначения дефектным строкам и столбцам аналогичных исправных компонентов из резерва кристалла FPGA.

Из соображения технологичности решения задачи покрытия вместо компонентов двумерной метрики, обозначенной строками и столбцами (C, R) , используется одномерный вектор, сконкатенированный из двух последовательностей C и R , мощность которого равна $n = p + q$:

$$\begin{aligned} X &= C * R = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_p) * (R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_q) = \\ &= X^c * X^r = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_p, X_{p+1}, X_{p+2}, \dots, X_{p+j}, \dots, X_{p+q}). \end{aligned} \quad (10)$$

При этом между элементами исходных наборов (C, R) и результирующим вектором X существует взаимно-однозначное соответствие, установленное в первом столбце матрицы Y . Следует заметить, что преобразование $X = C * R$ выполняется лишь для удобства рассмотрения и последующего построения дизъюнктивной нормальной формы в рамках единообразия переменных, формирующих булеву функцию. Если данную процедуру не выполнять, то функция будет определена на двух типах переменных, содержащих столбцы и строки матрицы памяти.

2. Построение КНФ путем аналитического, полного и точного решения задачи покрытия. После формирования матрицы покрытия, содержащей нулевые и единичные координаты, выполняется синтез аналитической формы покрытия путем записи КНФ по единичным координатам столбцов матрицы. Здесь число конъюнктивных термов равно количеству столбцов таблицы, а размерность дизъюнктивного терма равна числу единиц в рассматриваемом столбце:

$$Y = \bigwedge_{j=1}^m (Y_{pj} \vee Y_{qj})_{\{Y_{pj}, Y_{qj}\}=1} = \bigwedge_{j=1}^m (X_{pj} \vee X_{qj}). \quad (11)$$

Из последнего выражения видно, что каждый столбец идентифицирует два варианта покрытия неисправности – строкой и столбцом. Поэтому столбец имеет только две координаты, имеющие единичное значение, а число логических произведений равно общему количеству дефектов m , обнаруженных в матрице блоков FPGA.

3. Преобразование КНФ к ДНФ дает возможность увидеть все решения задачи покрытия. Для этого к конъюнктивной нормальной форме необходимо применить операцию логического умножения и правила минимизации (поглощения) для получения дизъюнктивной нормальной формы:

$$Y = \bigvee_{j=1}^w (k_1^j X_1 \wedge k_2^j X_2 \wedge \dots \wedge k_i^j X_i \wedge \dots \wedge k_n^j X_n), k_i^j = \{0,1\}. \quad (12)$$

Здесь представлена обобщенная запись ДНФ, где число термов в пределе равно $w = 2^n$, n – число строк в множестве (C, R) или количество переменных X в матрице Y . Все возможные решения – покрытия дефектов резервными компонентами – записываются на множестве идентификаторов строк таблицы покрытия. Если k_i^j при X_i принимает значение нуля, то X_i превращается в несущественную переменную.

4. Выбор минимальных и точных решений задачи покрытия. Процедура связана с определением конъюнктивных термов минимальной длины по Квайну в полученной ДНФ. Последующее преобразование к строкам и столбцам матрицы памяти на основе использования ранее введенного соответствия дает возможность записать минимальное покрытие или их совокупность в двумерной метрике строк и столбцов, отвечающей условиям (ограничениям) функции цели на количество резервных компонентов.

5. Реализация процедуры переназначения дефектным строкам и столбцам аналогичных исправных компонентов из резерва кристалла FPGA.

Пример 2. Выполнить процесс восстановления работоспособности матрицы блоков FPGA в части определения минимального числа резервных компонентов, покрывающих все дефекты. Матрица кристалла с дефектами и резервом, закрашенным темным цветом [19,20], представлена на рис. 7.

Матрица имеет резерв диагностирования и восстановления работоспособности дефектных ячеек, который определяется двумя строками и пятью столбцами. В соответствии с пунктом 1 модели процесса определения минимального числа резервных компонентов, покрывающих все обнаруженные дефекты в матрице памяти, строится таблица покрытия десяти дефектов $F = (F_{2,2}, F_{2,5}, F_{2,8}, F_{4,3}, F_{5,5}, F_{5,8}, F_{7,2}, F_{8,5}, F_{9,3}, F_{9,7})$ одиннадцатью строками следующей таблицы:

$X_i / F_{i,j}$	$F_{2,2}$	$F_{2,5}$	$F_{2,8}$	$F_{4,3}$	$F_{5,5}$	$F_{5,8}$	$F_{7,2}$	$F_{8,5}$	$F_{9,3}$	$F_{9,7}$
$C_2 \rightarrow X_1$	1						1			
$C_3 \rightarrow X_2$				1					1	
$C_5 \rightarrow X_3$		1			1			1		
$C_7 \rightarrow X_4$										1
$C_8 \rightarrow X_5$			1			1				
$R_2 \rightarrow X_6$	1	1	1							
$R_4 \rightarrow X_7$				1						
$R_5 \rightarrow X_8$					1	1				
$R_7 \rightarrow X_9$							1			
$R_8 \rightarrow X_{10}$								1		
$R_9 \rightarrow X_{11}$									1	1

(13)

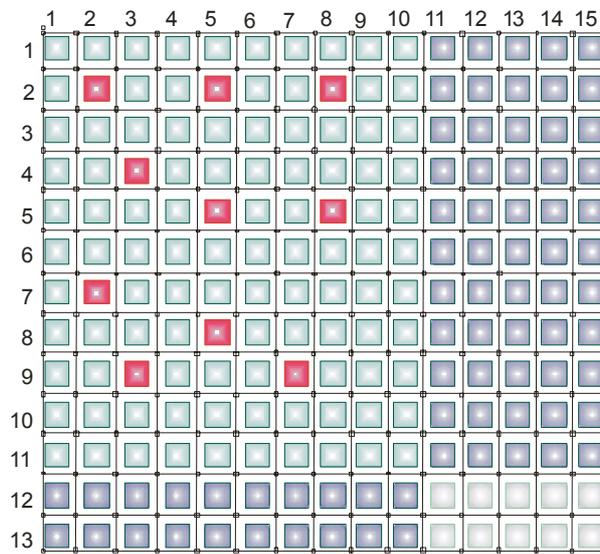


Рис. 7. Матрица блоков FPGA с дефектами и резервом

Мощность или число строк в таблице определяется конкатенацией столбцов C и строк R , находящихся во взаимно-однозначном соответствии с вектором переменных X :

$$\begin{aligned}
 C * R &= (C_2, C_3, C_5, C_7, C_8) * (R_2, R_4, R_5, R_7, R_8, R_9) \approx \\
 &\approx X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}).
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

По таблице покрытия выполняется построение КНФ путем записи термов по единичным значениям столбцов:

$$\begin{aligned}
 Y &= (X_1 \vee X_6)(X_3 \vee X_6)(X_5 \vee X_6)(X_2 \vee X_7)(X_3 \vee X_8) \& \\
 &\& (X_5 \vee X_8)(X_1 \vee X_9)(X_3 \vee X_{10})(X_2 \vee X_{11})(X_4 \vee X_{11}).
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Получение дизъюнктивной нормальной формы основывается на применении тождеств булевой алгебры, которые позволяют выполнить логическое перемножение всех десяти сомножителей и последующую минимизацию термов ДНФ путем применения оператора сограней ($ab \vee a\bar{b} = a$), аксиом поглощения и исключения одинаковых термов. Опустив промежуточные вычисления, окончательный результат приводится к следующему виду:

$$\begin{aligned}
Y = & X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_2X_3X_4X_5X_6X_9 \vee X_1X_2X_3X_4X_6X_8 \vee \\
& \vee X_2X_3X_4X_6X_8X_9 \vee X_1X_2X_4X_6X_8X_{10} \vee X_2X_4X_6X_8X_9X_{10} \vee \\
& \vee X_1X_4X_6X_7X_8X_{10}X_{11} \vee X_1X_2X_3X_5X_{11} \vee X_2X_3X_5X_6X_9X_{11} \vee \\
& \vee X_1X_2X_3X_6X_8X_{11} \vee X_2X_3X_6X_8X_9X_{11} \vee X_1X_2X_6X_8X_{10}X_{11} \vee \\
& \vee X_2X_6X_8X_9X_{10}X_{11} \vee X_1X_3X_5X_7X_{11} \vee X_3X_5X_6X_7X_9X_{11} \vee \\
& \vee X_1X_3X_6X_7X_8X_{11} \vee X_3X_6X_7X_8X_9X_{11} \vee X_1X_6X_7X_8X_{10}X_{11} \vee \\
& \vee X_6X_7X_8X_9X_{10}X_{11}.
\end{aligned} \tag{16}$$

Выбор термов минимальной длины, в данном случае содержащих 5 переменных, формирует множество минимальных решений:

$$Y = X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_5X_{11} \vee X_1X_3X_5X_7X_{11}. \tag{17}$$

Трансформирование полученной функции к покрытию, содержащему обозначения переменных в виде строк и столбцов матрицы блоков FPGA, позволяет представить упомянутые термы в форме:

$$Y = C_2C_3C_5C_7C_8 \vee C_2C_3C_5C_8R_9 \vee C_2C_5C_8R_4R_9. \tag{18}$$

Все полученные минимальные решения удовлетворяют требованиям по ограничениям на число резервных компонентов, определенных числами:

$$(|C^r| \leq 5) \& (|R^r| \leq 2).$$

Последующая технология встроенного ремонта дефектных блоков FPGA заключается в электрическом перепрограммировании дешифратора адреса столбца или строки матрицы блоков FPGA. Применительно к FPGA, изображенной на рис. 7, переадресация столбцов с неисправными логическими блоками на резервные столбцы будет происходить, например, в соответствии с первым термом из (18), который определяет отношение:

Faulty column	2	3	5	7	8
Spare column	11	12	13	14	15

Вычислительная сложность алгебро-логического метода восстановления работоспособности в части решения задачи покрытия [17,20] определяется следующим выражением:

$$Q = 2^{|F|} + |C + R| \times 2^{|F|}, \tag{19}$$

где $2^{|F|}$ – затраты, связанные с синтезом ДНФ путем логического перемножения исключительно двухкомпонентных дизъюнкций (координата дефекта определяется номером строки и столбца), число которых равно количеству дефектных блоков; $|C + R| \times 2^{|F|}$ – верхняя граница вычислительных затрат, необходимых для минимизации полученной ДНФ на предельном множестве переменных, равном суммарному числу строк и столбцов $|C + R|$.

В худшем случае, когда координаты всех дефектных блоков по строкам и столбцам не коррелированы, – уникальны, например, диагональные дефекты, вычислительная сложность матричного метода становится зависимой только от числа дефектных ячеек, а ее аналитическая запись трансформируется к следующему виду:

$$Q = 2^{|F|} + |C + R| \times 2^{|F|} \Big|_{|C+R| \leq 2 \times |F|} = 2^{|F|} + 2 \times |F| \times 2^{|F|} = 2^{|F|} \times (1 + 2 \times |F|). \tag{20}$$

Если вместо мощности множества дефектов записать их число, равное m , тогда предыдущее выражение представляется в более простой форме:

$$Q = 2^m \times (1 + 2 \times m) = 2^m (2m + 1). \tag{21}$$

Согласно технологии встроенного сервисного обслуживания функциональных логических блоков FPGA, алгебро-логический метод восстановления работоспособности логических блоков на основе решения задачи покрытия имплементируется в кристалл, в качестве одного из компонентов инфраструктуры сервисного обслуживания (I-IP), нацеленного на поддержание работоспособности блоков FPGA и SoC в целом.

5. Заключение. Научная новизна и практическая значимость

На основе конструктивного анализа опубликованных работ существующие технологии восстановления работоспособности можно разделить на две группы. Первая ориентирована на замену единичного элемента (оптимальная и мозаичная модели). Вторая – на замену группы дефектных элементов (иерархическая структура и модель с избыточностью). С другой стороны, известные из публикаций методы можно классифицировать в три группы: 1) Дублирование логических элементов или областей кристалла, приводящее к удвоению аппаратной реализации функциональности. При фиксации неисправного элемента или области осуществляется переключение на исправный компонент с помощью мультиплексора [4]. Предложенные Xilinx модели FPGA (Field Programmable Gate Array) применимы также при ремонте компонентов FPGA от компании Altera. Основная единица измерения при ремонте – столбец или строка. 2) Использование генетических алгоритмов для диагностирования и восстановления работоспособности на основе автономной реконфигурации кристалла FPGA без использования внешних устройств управления [5]. Надежность диагностирования дефектов равна 99%, время ремонта – 36 миллисекунд вместо 660 секунд, необходимых для стандартного конфигурирования проекта. 3) Восстановление работоспособности кристаллов FPGA, не критичное ко времени, путем замены локальных CLB на избыточные запасные компоненты предложено в [6,7]. Доступный уровень объединения CLB, подлежащий замене, для критически важных приложений составляет порядка тысячи логических элементов.

Предложенные методы диагностирования: алгебро-логический и векторно-логический предлагают специалисту в области проектирования и тестирования цифровых систем на кристаллах математический аппарат, который способен осуществить диагноз дефектных компонентов на основе использования предварительно построенной таблицы неисправностей. При этом векторные решения, эффективно полученные векторно-логическим методом, можно представлять всеми возможными сочетаниями дефектов в виде термов ДНФ, что характерно для алгебро-логического метода. Второй метод эффективен при числе единиц в матрице неисправностей, превышающем 10-20%.

Алгебро-логический метод восстановления работоспособности функциональных логических блоков FPGA на основе решения задачи покрытия ориентирован на имплементацию в кристалл, в качестве одного из компонентов инфраструктуры сервисного обслуживания (I-IP), нацеленного на поддержание работоспособности блоков FPGA и SiP в целом. Метод позволяет найти точное и оптимальное решение, связанное с минимальным числом резервных блоков, необходимых для восстановления работоспособности логических блоков кристалла FPGA, при наличии дефектов любой кратности.

Технологические решения, представленные в обзорной части, а также предложенные методы диагностирования и восстановления работоспособности цифровых изделий в пакетах и на кристаллах, в части их актуальности и перспективности для рынка электронных технологий подтверждаются аналитическими исследованиями рынка электроники на 2009 год и формулируются в виде «Горячей ИТ-десятки» от Gartner Research Group: 1) Виртуализация. 2) «Облачные вычисления» (cloud computing). 3) Серверы будущего, идущие на смену blade-серверам. 4) Веб-ориентированные архитектуры. 5) Смешанные корпоративные приложения (mashups). 6) Специализированные системы. 7) Социальные сети и программное обеспечение для них. 8) Объединенные коммуникации (unified communications). 9) Бизнес-аналитика. 10) «Зеленые» ИТ. Источник: <http://www.gartner.com>.

Упомянутая выше топ-десятка достаточно хорошо коррелируется с аналитическим исследованием от компании Computer Sciences Corporation (CSC), которая оформлена в семь тенденций: 1) Новые СМИ. Internet стал полноценной структурой для создания и использования аудио-, видео- и текстового контента в масштабе планеты. 2) Социальное ПО. Социальные сети привлекают миллионы пользователей, используя общность интересов. 3) Расширенная реальность. Постепенно, но настойчиво проникает в нашу жизнь. Виртуальная реальность, в которой образы пользователей путешествуют по виртуальным мирам, становится практически целесообразной при поиске подходящих товаров, услуг, изделий без их предварительного приобретения. 4) Прозрачность информации. Позволяет видеть себя и окружающий мир с заданной степенью детализации с помощью сенсоров и

internet-камер, размещенных как в офисе, так и по всей планете. Обратная сторона медали – как спрятаться и сохранить личное пространство. 5) Инновации в беспроводной связи. Позволяют запускать любое приложение на любом устройстве в любой точке планеты. Здесь следует ожидать появления конфликтов при разделении частот между телекоммуникационными операторами, радио- и телевидением, кабельными и спутниковыми компаниями, провайдерами Internet услуг. Следует ожидать интегрированного решения данного вопроса под приоритетом беспроводных технологий с мобильными Internet-сервисами. 6) Новые платформы. Повышается уровень виртуализации. Число приложений, работающих на одной машине под управлением разных операционных систем, растет экспоненциально. «Облачные вычисления», когда пользователь платит за применение компьютерной инфраструктуры и приложений провайдерам, хранящим данные клиентов на своих серверах, существенно изменяют всю структуру вычислений. Становятся более реальными перспективы нанотехнологий, молекулярных, квантовых и оптических вычислений. Вместо кремниевых чипов будут работать более легкие и мелкие элементы: атомы, ДНК, спины электронов и свет. 7) Умный мир. Семантические и сетевые технологии позволят вычислительным устройствам интерпретировать информацию по алгоритмам естественного интеллекта, будь то текст, речь, изображения или жизненные ситуации. Компьютеры будут учить, давать рекомендации, делать предсказания на основе информации, полученной от окружающей среды и конкретного человека. Развиваются средства семантического поиска в Internet с самообучением. Создается действительно умный мир, где люди и машины будут уметь рассуждать и общаться друг с другом на основе сочетания семантических и сетевых технологий. Это приведет к появлению искусственного интеллекта, а возможно сверхинтеллекта, читающего мысли человека. Источник: <http://www.pcweek.ru>.

Упомянутые выше тенденции в развитии IT-индустрии предоставляют конструктивно мыслящим ученым пути эффективного применения творческого потенциала, который может быть востребован на рынке электронных технологий в виде новых математических, технологических и программно-аппаратных приложений. Другое применение упомянутых тенденций – верифицировать относительно них практически ориентированные научные разработки в части их валидности и рыночной привлекательности для мировой IT-индустрии.

Список литературы: 1. *Kwang-Ting (Tim) Cheng*. The Need for a SiP Design and Test Infrastructure // IEEE Design and Test of Computers. May–June, 2006. P. 181. 2. *Fontanelli A.* System-in-Package Technology: Opportunities and Challenges // Quality Electronic Design, 2008. ISQED 2008, 9th International Symposium. March, 2008. P. 589–593. 3. *Appello D., Bernardi P., Grosso M., Reorda M.S.* System-in-package testing: problems and solutions // IEEE Design & Test of Computers. Vol. 23, Issue 3. May–June, 2006. P. 203 – 211. 4. *Subhasish M.; Huang W.-J., Saxena N.R., Yu S.-Y., McCluskey E.J.* Reconfigurable architecture for autonomous self-repair // IEEE Design & Test of Computers. Volume 21, Issue 3. May–June, 2004. P. 228–240. 5. *Ross R., Hall R.* A FPGA Simulation Using Asexual Genetic Algorithms for Integrated Self-Repair // Adaptive Hardware and Systems, 2006. AHS 2006. First NASA/ESA Conference on Volume. Issue 15–18 June 2006. P. 301 – 304. 6. *Habermann S., Kothe R., Vierhaus H.T.* Built-in self repair by reconfiguration of FPGAs // Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on On-Line Testing, 2006. P. 187–188. 7. *S. Pontarelli, M. Ottavi, V. Vankamamidi, A. Salsano, F. Lombardi.* Reliability Evaluation of Repairable/Reconfigurable FPGAs // 21st IEEE International Symposium on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems (DFT'06). October, 2006. P. 227–235. 8. *Koal T., Vierhaus H. T.* Basic Architecture for Logic Self Repair // 14th IEEE International On-Line Testing Symposium. 2008. P. 177–178. 9. *Kothe R., Vierhaus H.T., Coym T., Vermeiren W., Straube B.* Embedded Self Repair by Transistor and Gate Level Reconfiguration // IEEE Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems. 2006. P. 208–213. 10. *Mange D., Sipper M., Stauffer A., Tempesti G.* Toward self-repairing and self-replicating hardware: the Embryonics approach // Evolvable Hardware, Proceedings of the Second NASA/DoD Workshop. 2000. P. 205–214. 11. *Miclea L., Szilard E., Benso A.* Intelligent agents and BIST/BISR – working together in distributed systems // Proceedings of the Test Conference. 2002. P. 940–946. 12. *Rashad S. Oreifej, Carthik A. Sharma, Ronald F. DeMara.* Expediting GA-Based Evolution Using Group Testing Techniques for Reconfigurable Hardware // Reconfigurable Computing and FPGA's, 2006. ReConFig 2006. IEEE International Conference. Sept., 2006. P. 1–8. 13. *Anand D., Cowan B., Farnsworth O., Jakobsen P., Oakland S., Ouellette M.R., Wheeler D.L.* An on-chip self-repair calculation and fusing methodology // IEEE Design & Test of Computers. Volume 20, Issue 5. Sept.–Oct., 2003. P. 67–75. 14. *Wang S.-J., Tsai T.-M.* Test and diagnosis of faulty logic blocks in FPGAs // IEEE Proceedings Computers and Digital Techniques. Vol. 146, Issue 2. March, 1999. P. 100 – 106. 15. *Pontarelli S.,*

Cardarilli G.C., Malvoni A., Ottavi M., Re M., Salsano A. System-on-chip oriented faulttolerant sequential systems implementation methodology // IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems. Oct., 2001. P. 455 – 460. **16.** Peter Rickert, William Krenik. Cell Phone Integration: SiP, SoC, and PoP // IEEE Design and Test of Computers. May–June, 2006. P. 188-195. **17.** Rossen K. Discrete Mathematics and its Applications, McGraw Hill, 2003. 824p. **18.** IEEE 1500 Web Site. <http://grouper.ieee.org/groups/1500/>. **19.** Парфентий А.Н., Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Модели инфраструктуры сервисного обслуживания цифровых систем на кристаллах // АСУ и приборы автоматики. 2007. Вып. 138. С.83-99. **20.** Hahanov V., Hahanova A., Chumachenko S., Galagan S. Diagnosis and repair method of SoC memory / WSEAS transactions on circuits and systems. 2008. Vol.7. P. 698-707. **21.** Hahanov V., Obrizan V., Litvinova E., Ka Lok Man. Algebra-logical diagnosis model for SoC F-IP // WSEAS transactions on circuits and systems. Vol. 7. 2008. P. 708-717.

Поступила в редколлегию 05.02.2009

Литвинова Евгения Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и автоматизации производства РЭС и ЭВС ХНУРЭ. Научные интересы: алгоритмизация задач автоматизированного проектирования электронных вычислительных средств, автоматизация диагностирования и встроенный ремонт компонентов цифровых систем в пакете (SiP). Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421.

УДК 620.26

Б.В. ДЗЮНДЗЮК, А.В. МАМОНТОВ, В.А. РОСЬ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ПОМЕЩЕНИЙ В СРЕДЕ MATHCAD

Предлагается рассчитывать мощность дозы гамма-излучения внутри помещения путем суммирования дискретных значений мощности от отдельных строительных блоков с одновременным учетом их геометрического расположения в строительной конструкции и ослабления, вносимого материалом. Приводится универсальная математическая модель, компьютерная программа в среде Mathcad, трехмерные графики расчетных значений мощности дозы вблизи отдельных стен (перегородок), перекрытий и внутри помещения, выполненных из материалов с различной активностью.

1. Введение

Радиация является одной из форм физического загрязнения среды обитания человека, роль которой трудно переоценить. В течение долгих лет промышленность строительных материалов была ориентирована на выпуск материалов и изделий, отвечающих требованиям массового автоматизированного производства, индустриального применения, минимальной себестоимости и необходимого качества готовой продукции. При этом из поля зрения выпадали вопросы безопасности строительных материалов.

Радиационное воздействие строительных материалов на людей заставило по-новому оценить их с экологической точки зрения. Современные нормативные требования, предъявляемые к материалу, учитывают биологическое воздействие радионуклидов на организм человека и ограничивают их удельную активность [1]. Однако, как показала практика, уровни радиации, вызванные активностью строительных материалов и измеренные с высокой точностью в различных точках одного помещения, могут отличаться в несколько раз. Например, на поверхности стены уровень радиации выше, чем в середине помещения. В зависимости от расположения рабочего места внутри производственного помещения человек за время длительного стажа может получить различные дозы облучения. Существующие методики расчета, основанные на эмпирических данных, позволяют получить лишь усредненное значение уровня радиации внутри помещения [2;3] и тем самым не дают возможности учитывать и оценивать дозы в различных местах дифференцированно. Этим объясняется актуальность проблемы. Не менее актуальна она для бытовых помещений, где люди проводят большую часть времени. Особую важность она представляет для здоровья матери и ребенка, особенно на стадии внутриутробного развития. Актуальность подтверждается еще тем, что, согласно [1], допустимая поглощенная доза для беременных женщин из числа персонала занижена в двадцать раз.

Цель исследования состоит в разработке математической модели радиационного фона помещений, вызванного активностью его строительных материалов. Эта модель позволит оценивать поглощенную дозу еще на стадии проектирования зданий и сооружений, а также определять места с минимальным уровнем радиации для оптимального размещения рабочих мест, мест отдыха и т.д.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Составить математическую модель радиационного фона, создаваемого материалом плиты с заданными размерами, в определенной точке пространства с учетом затухания.
2. Составить математическую модель и компьютерную программу расчета радиационного фона в среде Mathcad, создаваемого одиночной плитой, в заданной плоскости. При этом заданная плоскость, в которой рассчитывается мощность дозы, может быть параллельна или перпендикулярна к плите.
3. Составить универсальную математическую модель и компьютерную программу расчета радиационного фона в среде Mathcad, создаваемого всеми плитами помещения (перекрытиями, стенами и перегородками), в заданной плоскости. При этом помещение имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Плиты могут быть выполнены из материалов с различной активностью.

2. Математическая модель радиационного фона плиты в заданной точке

Рассмотрим в прямоугольной системе координат XYZ плиту из однородного изотропного материала, в котором равномерно распределено радиоактивное вещество (рис 1). Выделим в ней элементарный объем dV . Будем учитывать только гамма-излучение. Не будем учитывать время радиоактивного распада, радиационный фон от других источников, интерференцию полей от разных элементарных объемов плиты, а также эксхалляцию радона и других продуктов распада.

Мощность дозы гамма-излучения (плотность потока энергии), создаваемого точечным источником (элементарным объемом dV) в пространстве, обратно пропорциональна квадрату расстояния до него (рис. 2). На поверхности сферы радиусом R_1 она равна:

$$P_{R1} = \frac{W}{4\pi R_1^2}, \quad (1)$$

где W – мощность излучения (поток энергии).

Аналогично, мощность дозы гамма-излучения на поверхности сферы радиусом R_2 равна:

$$P_{R2} = \frac{W}{4\pi R_2^2}. \quad (2)$$

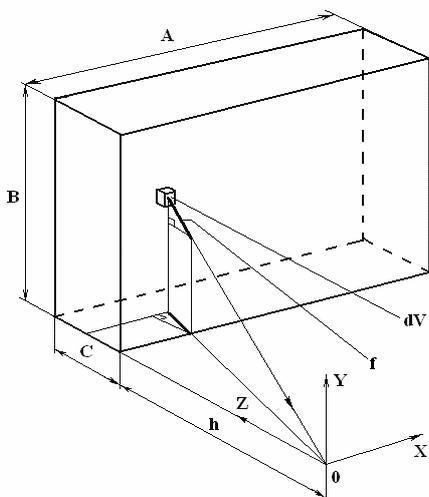


Рис. 1. Плита в системе

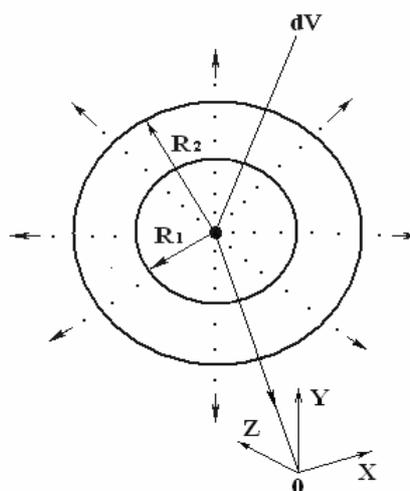


Рис. 2. Распределение энергии излучения координат XYZ точечного источника в пространстве

Решая уравнения (1) и (2) совместно, получаем:

$$P_{R2} = \frac{P_{R1} R_1^2}{R_2^2}. \quad (3)$$

Таким образом, если известно значение мощности дозы гамма-излучения на определенном расстоянии от точечного источника, можно рассчитать ее значение на любом большом расстоянии. В начале прямоугольной системы координат 0 оно будет равно:

$$P_0 = \frac{P_{R1} R_1^2}{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (4)$$

где P_{R1} – измеренное значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии R_1 от источника dV ; X ; Y ; Z – координаты источника ($X \neq 0$; $Y \neq 0$; $Z \neq 0$).

Мощность дозы гамма-излучения, с учетом ослабления в толщине материала, равна:

$$P_{dV} = P_{R1} R_1^2 \frac{1}{(X^2 + Y^2 + Z^2) 2^{f/d_{\text{пол}}}}, \quad (5)$$

здесь f – толщина материала плиты, которую преодолевает луч от точечного источника dV до начала координат 0:

$$f = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \left(\frac{Z-h}{Z} \right), \quad (6)$$

h – расстояние между началом координат 0 и плитой; $d_{\text{пол}}$ – толщина половинного ослабления материала плиты.

Для решения поставленной задачи предлагается условно разделить плиту на конечное число единичных элементов (дискретных источников). Все линейные размеры далее приведены в относительных единицах (отношение размера плиты к соответствующему размеру элемента). Мощность дозы будет равна сумме соответствующих значений от отдельных элементов:

$$P_{0\Sigma} \approx PR^2 \sum_{x=1}^k \sum_{y=1}^m \sum_{z=1}^{l+n} \frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2) 2^{g/d}}, \quad (7)$$

где P – значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии R от одиночного элемента; k , m , n – размеры плиты в относительных единицах вдоль соответствующих координат x , y , z ($k \neq 0$, $m \neq 0$, $n \neq 0$); l – расстояние между началом координат 0 и плитой ($l \neq 0$); g – толщина материала плиты, которую преодолевает луч от единичного элемента до начала координат 0; d – толщина половинного ослабления:

$$g = \left(\frac{z-l}{z} \right) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (8)$$

Точность результата может повышаться путем увеличения количества единичных элементов, размер которых при этом будет уменьшаться.

Для решения данной задачи должны быть известны значения P , R и d . С практической точки зрения их измерение сложности не вызывает.

Деление плиты на единичные элементы может быть не только условным, но и реальным. Реальными единичными элементами можно считать кирпичи, блоки и кафельную плитку.

3. Математическая модель и компьютерная программа расчета радиационного фона одиночной плиты в заданной плоскости

Решение данной задачи сводится к вычислению мощности дозы в точках заданной плоскости с координатами x_0 ; y_0 ; z_0 . Выражение для вычисления мощности дозы гамма-излучения в плоскости, перпендикулярной к плите, приобретает следующий вид:

$$N_{\text{пл}} \approx PR^2 \sum_{x=k}^{k+n} \sum_{y=l}^m \sum_{z=1}^1 \frac{1}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2) 2^{c/d}}, \quad (9)$$

$$c = \left(\frac{x-k}{x-x_0} \right) \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \quad (10)$$

На рис. 3 показана компьютерная программа в среде Mathcad для расчета мощности дозы. Операторы «for x ∈ 1..k-1» и «for z ∈ 1..l-1» [4] задают циклы для изменения координат точек плоскости в заданных пределах.

```

k := ■    l := ■    m := ■    y0 := ■    d := ■    P := ■    R := ■    n := ■
N :=
  for x0 ∈ 1..k-1
  for z0 ∈ 1..l-1
    Lx0,z0 ← ∑y=1m ∑z=1l ∑x=kk+n  $\frac{P \cdot R^2}{\left[ \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \right] \cdot (x-k) \cdot \left[ (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \right] \cdot 2}$ 
  L

```

Рис. 3. Компьютерная программа для расчета радиационного фона в плоскости, перпендикулярной к плите

Графики, полученные в результате расчета и соответствующие данной программе, приведены на рис. 4. На графиках видно, что при удалении от плиты мощность дозы постепенно снижается. Во втором случае ее значения выше, чем в первом, при тех же координатах. Это объясняется большей массой (толщиной) плиты.

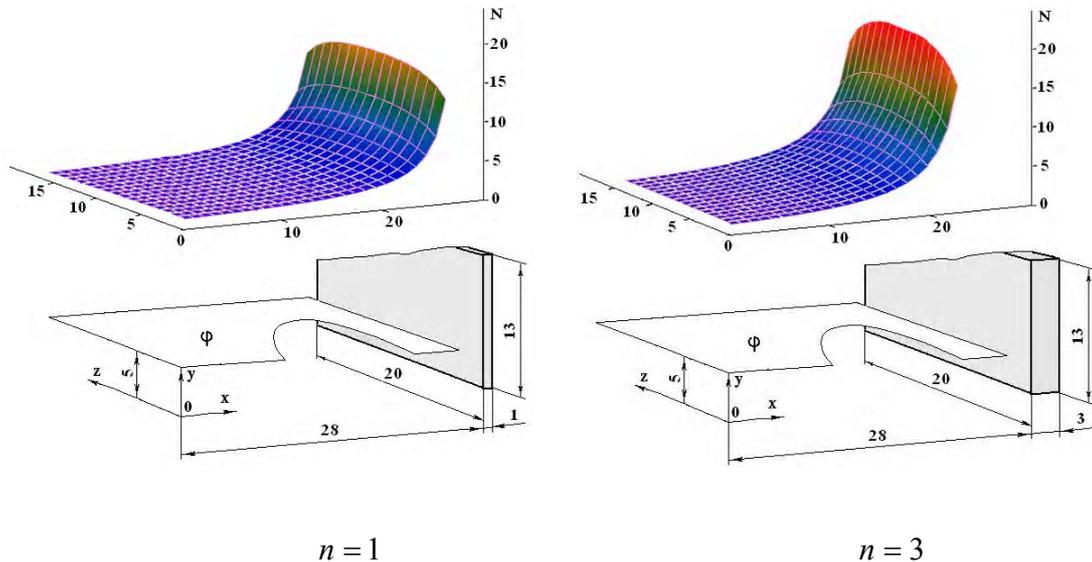


Рис. 4. Радиационный фон в плоскости, перпендикулярной к плите (P = 1; R = 1; d = 6)

На рис. 5 приведены графики мощности дозы в плоскости, параллельной плите. Математическая модель и компьютерная программа аналогичны (в данной статье не приведены). Отличие заключается в пределах суммирования, которые определяются размерами плиты и ее расположением в данной системе координат. Из графика видно, что во втором случае значения мощности дозы выше. Это объясняется большей активностью материала плиты.

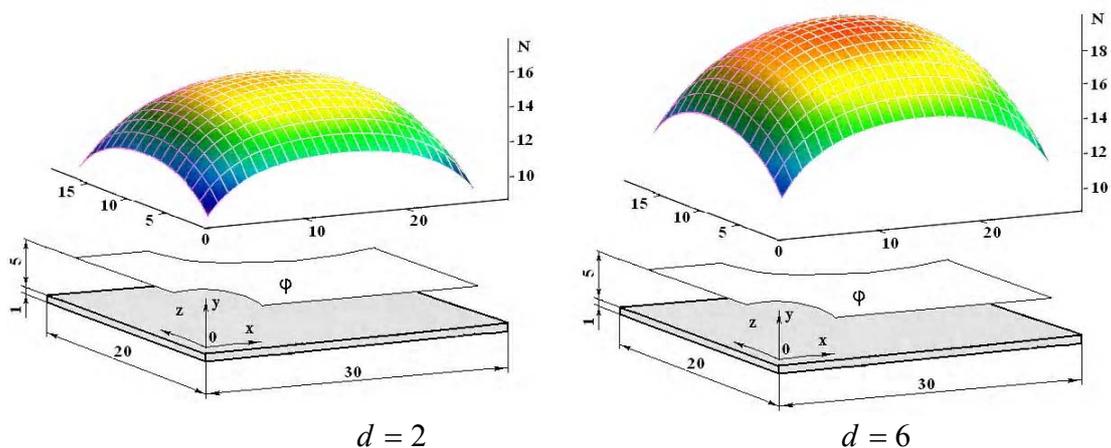


Рис. 5. Радиационный фон в плоскости, параллельной плите (P = 1; R = 1)

4. Математическая модель и компьютерная программа расчета радиационного фона помещения в заданной плоскости

Математическая модель аналогична модели (9) с той лишь разницей, что одновременно учитывает наличие шести плит.

Расположение начала координат в данной задаче принципиального значения не имеет. Оно может находиться как внутри помещения, так и за его пределами. В последнем случае появятся дополнительные величины - расстояния от начала координат до базовых поверхностей, в качестве которых целесообразно выбирать поверхности плит.

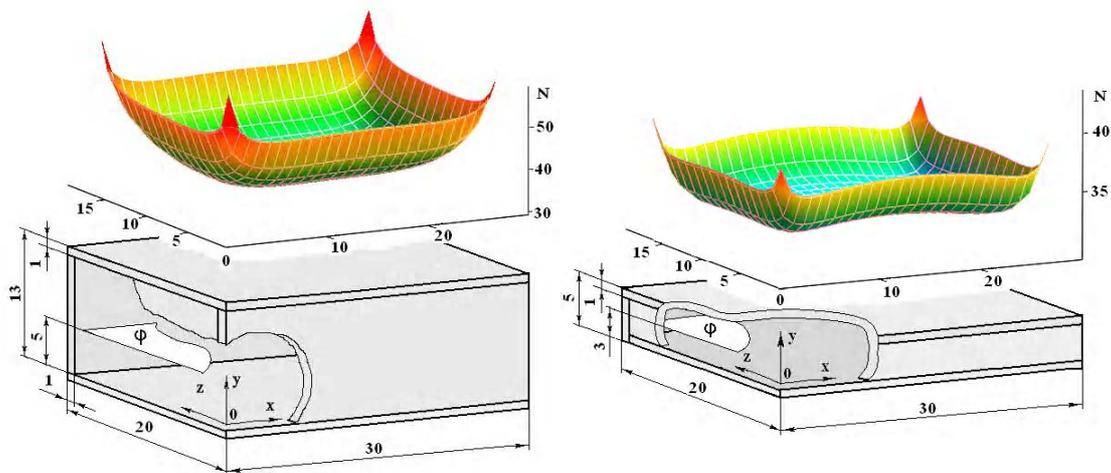
Применение среды Mathcad в данной работе вызвано ее широким распространением и доступностью для различных специалистов, не имеющих профессиональной подготовки в области программирования. Это дает возможность проверить и при необходимости внедрить в своей работе компьютерные программы, приведенные в данной статье.

Компьютерная программа приведена на рис. 6.

$$\begin{aligned}
 & d := \quad k := \quad l := \quad m := \quad n := \quad y0 := \quad P := \quad R := \\
 N := & \left[\begin{array}{l} \text{for } x0 \in 1..k-2n-1 \\ \text{for } z0 \in 1..1-2n-1 \\ L_{x0,z0} \leftarrow \sum_{x=-n}^{k-n} \sum_{z=-n}^{1-n} \left[\sum_{y=m}^{m+n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (y-m) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{y=-h}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (y) \cdot d} \right] + \\ + \sum_{y=1}^m \sum_{z=1}^{1-2n} \left[\sum_{x=k-2n}^{k-n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (x-k+2n) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{x=-n}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (x-x0) \cdot d} \right] + \\ + \sum_{x=-n}^{k-n} \sum_{y=1}^m \left[\sum_{z=-n}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (z-z0) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{z=1-2n}^{1-n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (z-1+2n) \cdot d} \right] \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Компьютерная программа для расчета радиационного фона внутри помещения

На рис. 7 приведены графики мощности дозы гамма-излучения внутри помещения. Материалы всех плит имеют одинаковую активность (одинаковый материал). Во втором случае вертикальные плиты имеют меньшую высоту, что обычно наблюдается в помещениях подвалов и технических этажей.



$$m=13m=5$$

Рис. 7. Радиационный фон внутри помещения (одинаковый материал; $P=1$, $R=1$)

На рис. 8 приведены графики мощности дозы гамма-излучения внутри помещения для плит, выполненных из материалов с различной активностью.

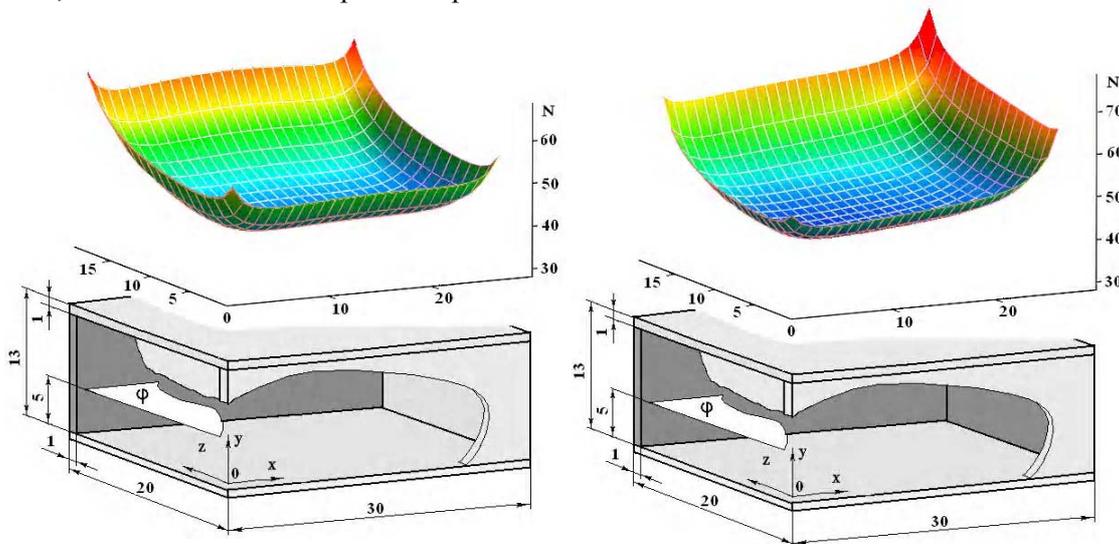


Рис. 8. Радиационный фон внутри помещения (для затемненных плит: $P = 2$; $R = 1$; для остальных: $P = 1$; $R = 1$)

Выводы

Наряду с существующей моделью расчета мощности дозы гамма-излучения внутри помещения стала очевидной необходимость разработки более точной модели, которая позволяет рассчитывать значения в отдельных местах. В результате проделанной работы поставленные задачи решены.

Научная новизна заключается в получении более точной математической модели, которая позволяет рассчитывать значения мощности дозы гамма-излучения в заданных точках одного помещения. Модель основана на суммировании дискретных значений мощности от отдельных строительных блоков с одновременным учетом их геометрического расположения в строительной конструкции и ослабления, вносимого материалом. Впервые

получены трехмерные графики радиационного фона в заданной плоскости возле отдельной плиты и внутри помещения.

Практическая значимость состоит в возможности более точной оценки доз облучения человека на этапе проектирования зданий промышленного и бытового назначения, что даст возможность оптимального размещения рабочих мест и мест отдыха.

Список литературы: 1. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)*. 2. *Крисяк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с. 3. *Анисимова Н.П., Бондарева Н.С., Будаговский С.С. и др.* Радиационное качество строительных материалов, производимых в районах Брянской области, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Реабилитация застроенных территорий с повышенной радиоактивностью: Тезисы докладов научно-технической конференции. Брянск. 1994. С. 11–13. 4. *Гурский Д., Турбина Е.* Вычисления в MATHCAD 12. М.: Питер, 2006. 544 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2009

Дзюндзюк Борис Васильевич, д-р техн. наук., зав. кафедрой «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: безопасность эргатических систем. Увлечения: музыка, садоводство, охота. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

Мамонтов Александр Викторович, ст. пр. кафедры «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация защиты от радиации, вибрации и шума. Увлечения: музыка, садоводство, фото- и видеосъемка. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

Рось Валентин Анатольевич, ассистент кафедры «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация прогнозирования ЧС. Увлечения: музыка, садоводство, фото- и видеосъемка. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

УДК 504.3.05

А.В. МАМОНТОВ, А.В. ПРОНЮК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Для прогнозирования выживаемости популяций в заданных условиях применяется математическое моделирование, в основе которого лежит модель Лотки-Вольтерра «хищник-жертва». Предлагаются модели, которые учитывают различные формы взаимоотношений между живыми организмами и воздействие антропогенных факторов на экосистему.

Актуальность темы

В последнее время в связи с ухудшающейся экологической обстановкой все большее внимание уделяется экологическому мониторингу и прогнозированию, а главное, методам, которые могли бы прогнозировать результат различных антропогенных воздействий на различные экосистемы. В первую очередь любые антропогенные воздействия сказываются на численности популяций.

Динамика численности и плотности определяется в основном рождаемостью, смертностью и процессами миграции. Это показатели, характеризующие изменение популяции в течение определенного периода: месяца, сезона, года и т.д. Изучение этих процессов и причин, их обуславливающих, важно для прогнозов состояния популяций.

Составной частью мониторинга является прогнозирование состояния окружающей природной среды. Если в экосистеме имеются выбросы химических или радиоактивных веществ, прогнозирование как правило сводится к определению временной зависимости концентрации веществ или уровня радиации (соответственно) на местности. Имеются также статистические данные о выживаемости различных видов живых организмов при известных концентрациях химических веществ в воздухе, воде, почве, пище и их радиоактивной зараженности, полученные в лабораторных условиях. На основании этого можно рассчитать процент выживаемости живых организмов в заданных условиях.

Размеры популяции могут возрастать в результате размножения особей и их иммиграции из других популяций. Размеры популяции могут уменьшаться в результате эмиграции и смертности.

Динамику смертности популяции в зависимости от возраста отображают на кривых выживания. Существуют три основных типа этих кривых: когда главным фактором смертности является естественное старение особей (на рис. 1 эта кривая обозначена буквой А), когда в популяции высока ранняя смертность (Б) и, наконец, когда смертность постоянна в течение всей жизни организмов (В). Кривые выживания конкретных видов могут занимать промежуточные положения между этими крайними формами.

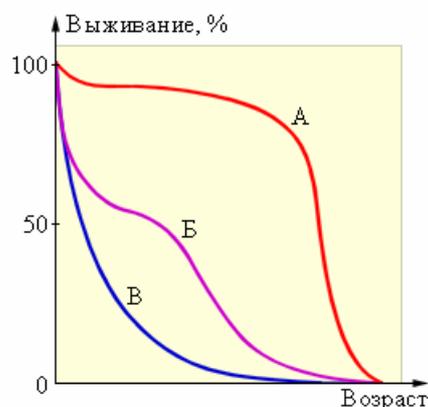


Рис. 1. Кривые выживаемости

Если рождаемость в изолированной популяции превышает смертность, то популяция растёт. В начале кривая роста популяции — это экспонента. Однако рано или поздно питательные запасы в окружающей среде исчерпываются. В одних популяциях уменьшение количества питательных веществ начинает воздействовать на динамику роста загодя, и кривая роста приобретает S-образную форму. В других популяциях бесконтрольный рост численности заходит слишком далеко, после чего происходит катастрофический «обвал» численности, связанный с истощением ресурсов.

Численность популяции может изменяться также в результате изменения внешних условий среды, например, из-за появления большого количества хищников или нехватки пищи. Существуют также внутренние факторы, «сдерживающие» рождаемость; наиболее хорошо изученными из них являются территориальное поведение (защита гнездовой территории от вторжения особей того же вида) и действие перенаселённости, заключающееся в резком уменьшении плодовитости и степени заботы о потомстве.

Причиной массовых вспышек рождаемости в популяциях являются, как правило, погодные факторы. В последнее время к числу причин добавилась деятельность человека. Часто популяции при помощи механизма обратных связей способны регулировать свою численность с тем, чтобы она не превысила предел, за которым наступит катастрофа. Так, гусеницы некоторых бабочек массово гибнут, если выходят из яиц до окончания холодов (когда они погибают от переохлаждения) либо через длительное время после распускания листьев (тогда они погибают от голода). Если гусеницы появляются вовремя, то популяции грозит перенаселение; в это время в действие вступает второй лимитирующий фактор — например, хищники или паразиты. В данном случае действие регулирующего фактора зависит от плотности популяции.

В реальных условиях отдельные пищевые цепи переплетаются, складываясь в пищевые сети. На численность, например, и волков, и кроликов оказывают влияние эпидемии, погодные условия, взаимодействия с другими популяциями, деятельность человека.

Популяции, находящиеся на разных трофических уровнях, могут вступать во взаимоотношения хищник–жертва. Во многих случаях циклические колебания численности популяции хищника сдвинуты по фазе по отношению к колебаниям численности популяции жертвы. Это можно объяснить тем, что возрастание численности хищника приводит к резкому снижению численности жертвы, вслед за чем в результате голода уменьшается количество хищников. Это позволяет снова вырасти числу жертв, после чего начинает расти количество хищников. Характерный период таких циклов обычно составляет несколько поколений.

Для исследования динамики популяций достаточно интенсивно используется математическое моделирование. В данной работе *в целях* повышения точности прогнозирования предлагается использовать математические модели, позволяющие одновременно учитывать различные экологические факторы и формы взаимоотношений между живыми организмами.

В ходе работы моделируется динамика популяций экологической системы в зависимости от времени и антропогенных воздействий, отражается гомеостаз экологической системы в изменяющихся условия окружающей среды.

Разработка математических моделей

Среди количественных показателей популяций выделяют две группы – статические и динамические. Статические показатели характеризуют состояние популяции на данный момент времени. К статическим показателям популяций относятся их численность, плотность и показатели структуры. Динамические показатели характеризуют процессы, протекающие в популяции за определенный промежуток времени. К ним относятся: рождаемость, смертность и скорость роста популяций [1-3].

Важную роль в процессе выживания играют экологические факторы, которыми называют любые элементы среды, влияющие на существование и развитие организмов и на которые организмы реагируют реакциями приспособления. Экологические факторы подразделяются на абиотические (физические, химические и эдафогенные), биотические (зоогенные, микробиогенные и фитогенные) и антропогенные (загрязнение окружающей среды, чрезмерный промысел, опустынивание и т. д.). Выделяют различные формы биотических отношений между видами: травоядность, хищничество, паразитизм, конкуренция, комменсализм, аменсализм, протокооперация, нейтрализм, мутуализм.

Рассмотрим схему системы «травя-зайцы-лисы», которая отражает травоядность и хищничество (рис. 2).

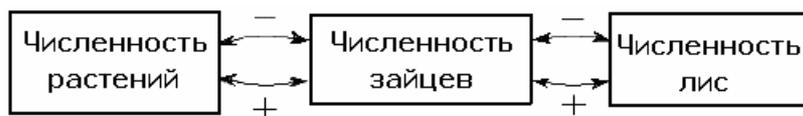


Рис. 2. Упрощенная кибернетическая схема системы «травя-зайцы-лисы»

Математическая модель данной системы представлена в виде системы дифференциальных уравнений (1). В ее основу положена классическая модель Лотки-Вольтерра «хищник-жертва» [4, 5]:

$$\begin{cases} \frac{dy_0}{dt} = Ay_0 - By_0y_1 - Cy_0 \\ \frac{dy_1}{dt} = Dy_0y_1 - Ey_1y_2 - Fy_1 \\ \frac{dy_2}{dt} = Gy_1y_2 - Hy_2 - Iy_2 \end{cases} \quad (1)$$

где y_0, y_1, y_2 – численность популяций, соответственно, травы (одного условного вида), зайцев и лис, у. е. (например, тыс.); t – безразмерное время; A – коэффициент, характеризующий размножение растений под воздействием абиотических факторов (температура, количество влаги; состав почв; B – коэффициент, характеризующий поедание травы и зависящий от физиологической потребности зайцев в данном корме; C – коэффициент, характеризующий гибель (смертность) растений из-за антропогенных факторов (загрязнение, выкашивание, вспашка и т. д.); D – коэффициент, характеризующий рождаемость зайцев; E – коэффициент, характеризующий скорость поедания зайцев лисами и зависящий от физиологической потребности лис в данном корме; F – коэффициент, характеризующий смертность зайцев из-за антропогенных факторов (охота, загрязнения ОС); G – коэффициент, характеризующий размножение лис; H – коэффициент, характеризующий смертность лис по естественным причинам (болезни, старость и т. п.); I – коэффициент, характеризующий смертность лис из-за антропогенных факторов.

Коэффициенты А, D и G еще называют репродуктивными потенциалами соответствующих видов.

В данной модели трава (растения одного вида) считается основной пищей зайцев, без которой они не смогут существовать длительно. Аналогично, зайцы считаются основной пищей лис. Естественной причиной смертности зайцев считаются лисы, у которых нет естественных врагов. Скорость поедания травы зайцами пропорциональна произведению их количеств (Bu_0u_1). Аналогично, скорость поедания зайцев лисами пропорциональна произведению их количества на количество растений (Dy_0u_1), а скорость размножения лис пропорциональна произведению их количества на количество зайцев (Gy_1u_2).

Размножение растений приводит к росту популяции зайцев, который приводит к снижению первого. Аналогично, рост популяции зайцев приводит к росту популяции лис, который приводит к уменьшению численности зайцев. В этом проявляется саморегуляция экосистемы.

Интересным является вопрос об отыскании точек покоя (равновесия) всей системы, ее бифуркационных параметров, которые показывают критические соотношения коэффициентов рождаемости и смертности особей и, соответственно, пороговые значения между вымиранием популяции и демографическим взрывом.

На рис. 3 приведена кибернетическая схема, отражающая внутривидовую конкуренцию растений (борьба за воду, свет, жизненный простор), травоядность и хищничество.

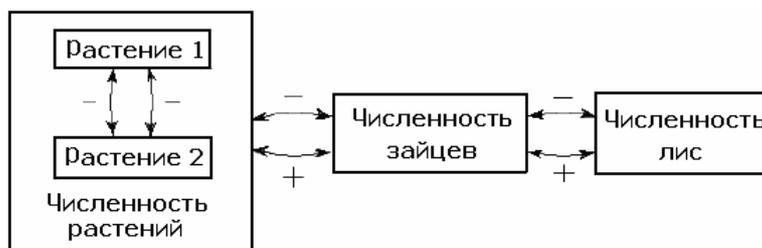


Рис. 3. Кибернетическая схема системы «трава-зайцы-лисы»

Математическая модель этой системы представлена уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{dy_0}{dt} = Ay_0 - By_0u_1 - Cy_0 - Ky_0^2, \\ \frac{dy_1}{dt} = Dy_0u_1 - Ey_1u_2 - Fu_1, \\ \frac{dy_2}{dt} = Gy_1u_2 - Hu_2 - Iu_2 \end{cases}, \quad (2)$$

где K – коэффициент, определяющий внутривидовую конкуренцию растений.

Как видно из системы уравнений (2), внутривидовая конкуренция растений отражена здесь отрицательным квадратичным членом (растения ограничивают сами себя) [4].

Рассмотренные естественные процессы могут быть нарушены антропогенными факторами, которые в данной работе представлены функциями времени $V(t)$. На рис. 4 показаны два вида этих функций.

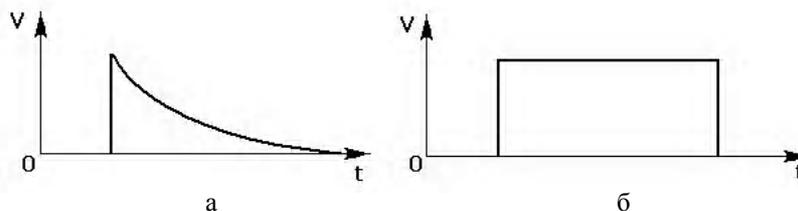


Рис. 4. Функции антропогенных воздействий

На рис. 4,а изображена функция антропогенного воздействия, которое начинает оказывать влияние на экосистему или отдельную популяцию в определенный момент времени, а потом постепенно затухает. К таким воздействиям можно отнести химическое или радиоактивное загрязнение окружающей среды, которое распадается с течением времени. Так, воздействие на экосистему при радиоактивном заражении местности следует представить экспоненциальным законом (основным законом радиоактивного распада). Аналогично можно поступить в случае химических загрязнений окружающей среды.

Одноразовое радиоактивное или химическое загрязнение, снижающее размножение растений, в работе нужно представить слагаемым $CV(t)y_0$ (третье слагаемое первого уравнения систем (1),(2)). Одноразовое химическое или радиоактивное загрязнение растений, снижающее рождаемость травоядных, следует представить слагаемым $D(1 - V(t))y_0y_1$ (первое слагаемое второго уравнения систем (1),(2)). Одноразовое химическое или радиоактивное загрязнение, вызывающее одновременно снижение рождаемости и смертность животных, нужно представить, соответственно, слагаемыми $D(1 - V(t))y_0y_1$, $FV(t)y_1$, $G(1 - V(t))y_1y_2$, $IV(t)y_2$.

На рис. 4,б изображена функция антропогенного воздействия, которое начинает оказывать влияние в определенный момент времени, остается постоянным на протяжении определенного периода времени, а затем прекращается. Такую функцию можно применить при выкашивании трав, выпасе скота ($CV(t)y_0$) или охоте ($FV(t)y_1$, $IV(t)y_2$), когда в течение определенного периода времени истребляется постоянное количество живых организмов.

Полное уничтожение (истребление) растений или животных можно представить нулевым значением их численности в начальный момент времени ($y_0 = 0$; $y_1 = 0$; $y_2 = 0$).

Решение представленных систем уравнений можно реализовать в системе Mathcad, пример такого решения показан на рис. 5.

Полученные графики и фазовый портрет системы (рис. 6) полностью совпада-

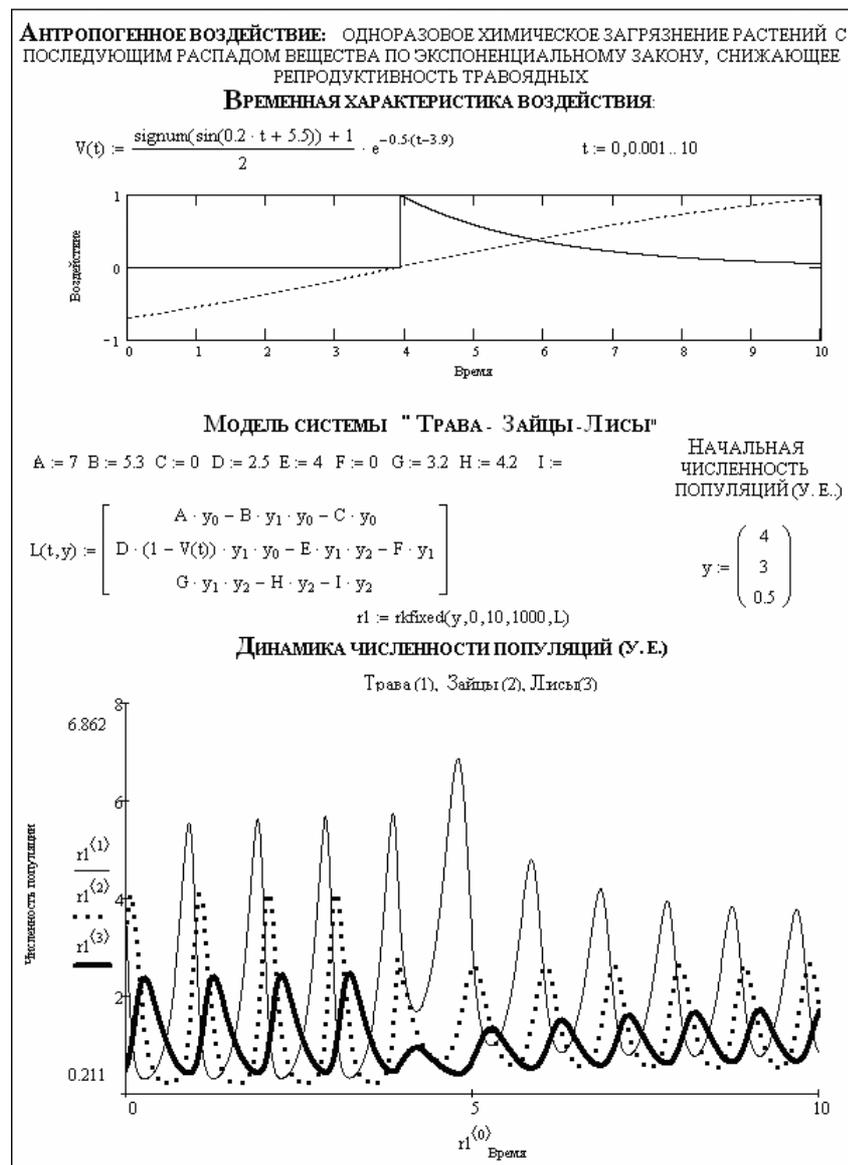


Рис. 5. Динамика популяций экосистемы (среда Mathcad)

ют с теоретическими данными [1, 5].

Следует отметить, что математические модели (1,2), применяемые в данной работе, являются весьма упрощенными и отражают самые общие закономерности динамики популяций. В целях наглядности и упрощения анализа результатов здесь не учтены: другие биологические виды, продолжительность жизни организмов, смена времен года, паразитизм и некоторые другие особенности.

Рассмотренные модели могут быть применимы к социальной экологии и описывать поведение конкурирующих фирм, рост народонаселения, численность воюющих армий, изменение экологической обстановки, развитие науки и пр.

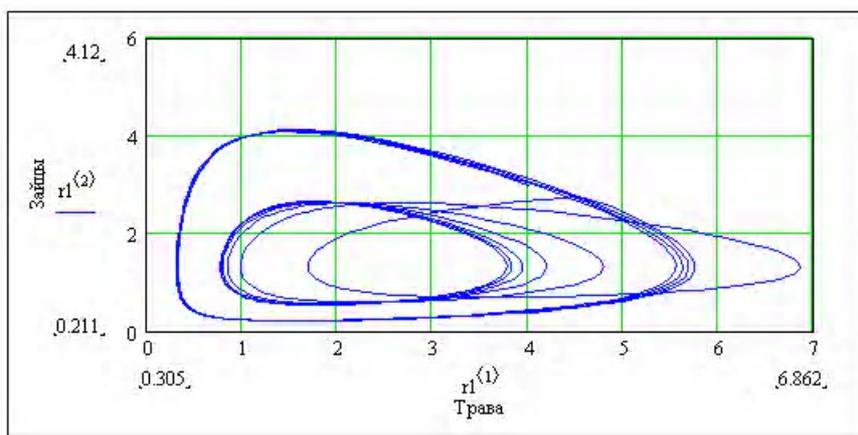


Рис. 6. Фазовый портрет подсистемы «трава-зайцы» (Mathcad)

Выводы

В результате моделирования можно делать выводы о гомеостазе экосистемы, действующих экологических факторах и законах, а также о допустимости антропогенных факторов с точки зрения выживаемости популяций. Составлены модели, учитывающие различные формы взаимоотношений между живыми организмами и экологическими факторами комплексно, в результате чего возможен более точный прогноз состояния популяций.

С помощью разработанных моделей можно делать заключение о допустимости антропогенного воздействия на экосистему, при котором численности популяций не достигнут критических значений, ниже которых они обречены на вымирание.

Список литературы: 1. *Николайкин Н. И.* и др. Экология. Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2006. 622 с. 2. *Коробкин В.И.* и др. Экология. Ростов н/Д: «Феникс», 2001. 575 с. 3. *Стадницкий Г.В.* и др. Основы экологии. М.: Высш. Шк., 1988. 271с. 4. *Білявський Г.* та ін. Основи екологічних знань. К.: Либідь, 2000. 334 с. 5. *Шилов И.А.* Экология. М.: Высшая школа, 2003. 512 с.

Поступила в редколлегию 16.03.2009

Мамонтов Александр Викторович, ст. преподаватель кафедры охраны труда ХНУРЭ. Научные интересы: экологический мониторинг, разработка и оптимизация средств защиты от воздействия антропогенных факторов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

Пронюк Анна Валериевна, канд. техн. наук, доцент кафедры охраны труда ХНУРЭ. Научные интересы: анализ экологической обстановки производственной и окружающей среды. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОДОВ ДРОБНЫХ ЧИСЕЛ ПО МЕТОДУ НАКОПЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТОВ

Рассматривается метод системного проектирования многоблочных преобразователей кодов, позволяющий совместно с методом локальной оптимизации основного узла формирователя эквивалентов (ФЭ) найти структуру преобразователя кодов (ПК) минимальными аппаратурными затратами.

1. Постановка задачи

Преобразователи кодов по методу накопления эквивалентов образуют прямым табличным методом преобразования, методом досчета и другими, что имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами преобразования. Они имеют высокое быстродействие и возможность регулирования (изменения) соотношения между аппаратурными затратами и быстродействием за счет выбора числа шагов преобразования (1,2,3 или 4), их значений, а также за счет выбора наиболее выходного варианта декомпозиции ПК на блоки.

Увеличение числа шагов преобразования, как правило, приводит к увеличению быстродействия, но требует повышенных аппаратурных затрат из-за усложнения основного нестандартного узла ПК ФЭ.

По этой причине более выгодным является применение двухшагового ПК, имеющего меньшие аппаратурные затраты. Кроме того, дальнейшее сокращение аппаратурных затрат на реализацию ФЭ можно достичь совместным применением системного проектирования ПК с методом локальной оптимизации ФЭ путем выбора наиболее выгодной структуры ФЭ с меньшими аппаратурными затратами.

Цель данной работы — автоматизация системного проектирования преобразователей кодов дробных чисел в широком диапазоне входных разрядностей и оснований систем счисления.

Основными задачами работы являются:

- анализ двух вариантов структурной реализации основного нестандартного узла ПК ФЭ;
- получение структурных моделей многоблочных ФЭ дробных чисел;
- построение алгоритма проектирования ПК дробного числа, включающего в себя системное проектирование ПК и локальную оптимизацию ФЭ.

2. Первая структурная реализация ФЭ

Первая структурная реализация ФЭ для двухшагового ФЭ состоит из двух последовательно включенных декодеров DC₁ и DC₂ и кодера (шифратора CD). Последовательное соединение декодеров позволяет исключить одновременное наличие двух и более нулей на входах CD (рис.1).

Инверсные выходы декодеров совместно с многоходовыми элементами Шеффера (1*8 И-НЕ, 2*4 И-НЕ, 3*3 И-НЕ) упрощают реализацию многоместных дизъюнкций и сокращают число ступеней при реализации схемы.

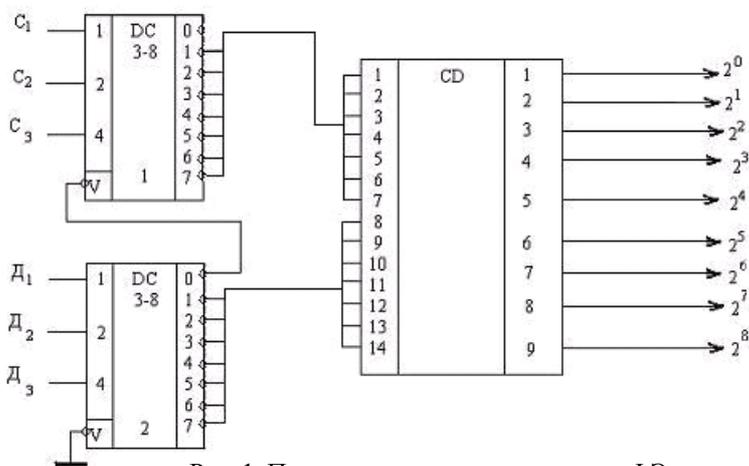


Рис. 1. Первая структурная реализация ФЭ

Например, схема для реализации функции:

$$f(x_8 \dots x_1) = x_8 \vee x_7 \vee x_6 \vee x_5 \vee x_4 \vee x_3 \vee x_2 \vee x_1 \quad (1)$$

в базисе Буля на двухвходовых элементах 2ИЛИ требует пирамидальной схемы из 7 элементов и 3 ступеней, а в базисе Шеффера 1 элемента 1*8И-НЕ и 1 ступени (рис 2,б)

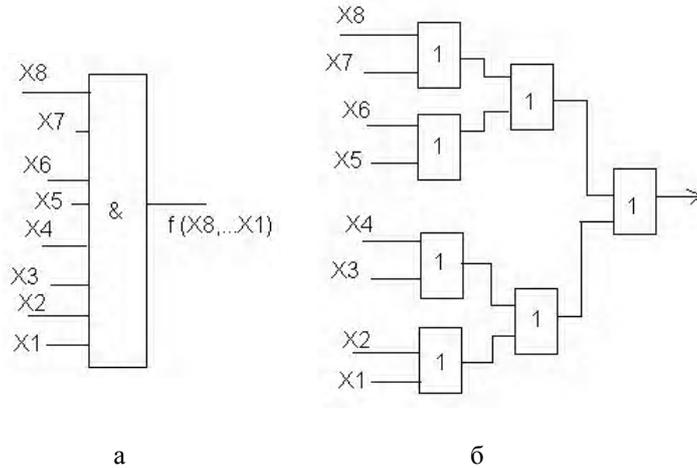


Рис. 2. Схема для реализации $f(x_8, \dots, x_1)$

Доказательством этого служит следующая формула:

$$\begin{aligned} f(x_8 \dots x_1) &= [(x_8 \vee x_7) \vee (x_6 \vee x_5)] \vee [(x_4 \vee x_3) \vee (x_2 \vee x_1)] = \\ &= \overline{\overline{x_8 \vee x_7 \vee x_6 \vee x_5 \vee x_4 \vee x_3 \vee x_2 \vee x_1}} = \\ &= \overline{\overline{x_8 \vee x_7 \vee x_6 \vee x_5 \vee x_4 \vee x_3 \vee x_2 \vee x_1}} = \\ &= \overline{x_8 | x_7 | x_6 | x_5 | x_4 | x_3 | x_2 | x_1} . \end{aligned} \quad (2)$$

3. Вторая структурная реализация ФЭ

Вторая структурная реализация ФЭ (рис. 3) состоит из одного декодера, шифратора, комбинационного сдвигателя SDV, коммутатора кодов старшего и младшего регистров состояний ПК на базе счетверенного мультиплексора селектора 4*MS 2 в 1 и схемы управления (СА) коммутатором и сдвигателем, выполняемой на базе элементов ИЛИ.

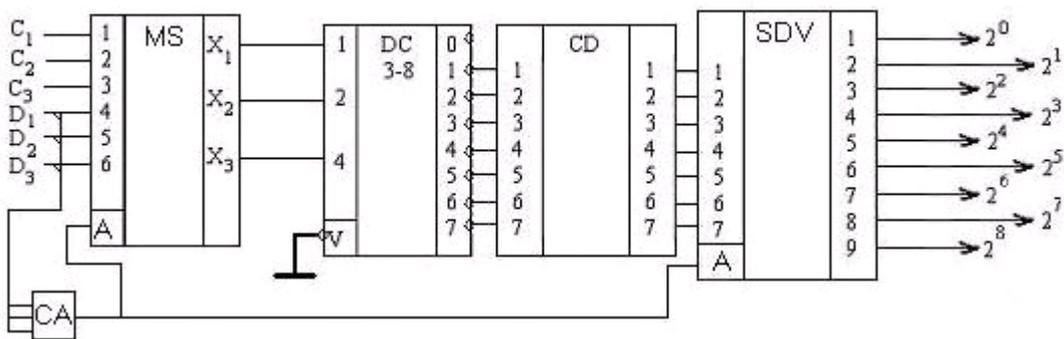


Рис. 3. Вторая структурная реализация ФЭ

Логика управления MS и SDV реализуется в соответствии с функцией:

$$Y_{MS} = \begin{cases} 1, D_i \neq 0; \\ 0, D_i = 0 \quad (i = \overline{1, p}). \end{cases} \quad (3)$$

Если $Y_{MS} = 1$, то на входы DC поступают сигналы D_1, D_2, \dots, D_p , если $Y_{MS} = 0$, то поступают сигналы C_1, C_2, \dots, C_p . Число MS на реализацию комбинационного сдвигателя SDV (выполняемого также на базе 4*MS 2 в 1) зависит от числа выходов $n_{\text{вых}}^{\text{CD}}$ кодера CD и значения второго шага:

$$n_{MS}(SDV) = \left[(n_{\text{ВЫХ}}^{\text{CD}} + \log_2 a) / 4 \right], \quad (4)$$

где $[\]$ – означают округление до большого целого. Число MS на реализацию коммутатора входов C_1, C_2, \dots, C_p ; D_1, D_2, \dots, D_p определяется аналогично формулой:

$$n_{MS}(K) = \lceil p/4 \rceil. \quad (5)$$

Отличительной особенностью 2-й структуры ФЭ является подача на входы декодера и, следовательно, на входы кодера одинаковых кодов для одинаковых комбинаций значений D_1, D_2, \dots, D_p и C_1, C_2, \dots, C_p . При этом необходимый пространственный сдвиг кодов эквивалентов с выхода ФЭ для ненулевых значений D_1, D_2, \dots, D_p обеспечивается с помощью MS (при $a=2$ на один разряд влево; при $a=4$ на два разряда влево).

Так как число входов CD 2-й структуры ФЭ вдвое меньше по сравнению с 1-й, то и затраты на кодер CD будут меньше, но при этом появляются дополнительные аппаратные затраты на реализацию сдвигателя SDV.

Конечное значение общих затрат 2-й структуры на ФЭ зависит от вида функций выходных разрядов CD.

Вторая структура ФЭ будет иметь меньшие затраты, чем первая, если экономия затрат на построение кодера CD будет превышать дополнительные затраты на SDV.

4. Математические модели законов функционирования многоблочных ФЭ дробных чисел

Так как рассматриваемые ПК являются преобразователями дробных чисел с фиксированной запятой, то по аналогии с ПК целых чисел общую формулу закона функционирования ФЭ можно представить в виде:

$$S_{m,}^M = \begin{cases} \sum_{i=(m-1)p+1}^{i=mp} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=(m-1)p+1}^{i=mp} ak^{-1} \cdot D_i, D \neq 0, \end{cases} \quad (6)$$

где p – число разрядов в блоке с номером m ($p = \frac{n}{M}$); M – число блоков разбиения; C_i и D_i

соответственно состояния i -го триггера младшего и старшего регистров. Число различных разбиений входных разрядов n ПК на блоки определяется числом различных делителей n .

Так, для $n=6$ имеем 4 делителя $m=1,2,3,6$. Для числа блоков в разбиении $M=1$ закон ФЭ описывается формулой:

$$S_1^1 = \begin{cases} \sum_{i=1}^{i=6} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=1}^{i=6} ak^{-1} D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (7)$$

При двухблочном разбиении $M=2$; $m=1,2$ $P=3$ имеем формулы:

$$S_1^2 = \begin{cases} \sum_{i=1}^{i=3} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=4}^{i=6} ak^{-1} D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

$$S_2^2 = \begin{cases} \sum_{i=4}^{i=6} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=4}^{i=6} ak^{-1} D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Для трехблочного разбиения $M=3$, $m=1,2,3$; $p=2$ модели $\Phi\mathcal{E}_1$, $\Phi\mathcal{E}_2$ и $\Phi\mathcal{E}_3$ описываются формулами:

$$S_{1,}^3 = \begin{cases} \sum_{i=1}^{i=2} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=1}^{i=2} ak^{-1}D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (10)$$

$$S_{2,}^3 = \begin{cases} \sum_{i=3}^{i=4} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=3}^{i=4} ak^{-1}D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (11)$$

$$S_{3,}^3 = \begin{cases} \sum_{i=5}^{i=6} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ \sum_{i=5}^{i=6} ak^{-1}D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (12)$$

В случае шестиблочного разбиения на вход каждого $\Phi\mathcal{E}$ поступает один разряд и законы функционирования $\Phi\mathcal{E}$ $S_1^6; S_2^6; S_3^6; S_4^6; S_5^6; S_6^6$ определяются формулами:

$$S_{1,}^6 = \begin{cases} k^{-1} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-1}D_i, D \neq 0; \end{cases} \quad (13)$$

$$S_{2,}^6 = \begin{cases} k^{-2} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-2}D_i, D \neq 0; \end{cases} \quad (14)$$

$$S_{3,}^6 = \begin{cases} k^{-3} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-3}D_i, D \neq 0; \end{cases} \quad (15)$$

$$S_{4,}^6 = \begin{cases} k^{-4} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-4}D_i, D \neq 0; \end{cases} \quad (16)$$

$$S_{5,}^6 = \begin{cases} k^{-5} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-5}D_i, D \neq 0; \end{cases} \quad (17)$$

$$S_{6,}^6 = \begin{cases} k^{-6} \cdot C_i, D = 0; \\ ak^{-6}D_i, D \neq 0. \end{cases} \quad (18)$$

5. Системное проектирование многоблочного $\Phi\mathcal{E}$ ПК дробных чисел

На этапе системного проектирования многоразрядного ПК нужно исследовать все варианты декомпозиции ПК на блоки. Следует иметь в виду, что затраты на операционный автомат ПК с числом разрядных счетчиков для хранения цифр X_1, \dots, X_n преобразуемого кода, число регистров состояний, затраты на кодовые шифраторы, дешифраторы нуля и дешифраторы превышения, накапливающий сумматор не зависят от варианта декомпозиции ПК на блоки, а определяются в основном числом входных разрядов n и основанием системы счисления K на входе.

Затраты же на построение $\Phi\mathcal{E}$ $A_{\Phi\mathcal{E}}$ пропорциональны числу входных разрядов, подаваемых на $\Phi\mathcal{E}$. Поэтому при $M=1$ и $A_{\Phi\mathcal{E}} = \alpha * 2^n$ и даже коэффициент $\alpha = k \cdot n$, где k – коэффициент пропорциональности.

При большом числе входных разрядов $n \geq 4 - 24$ $A_{ФЭ}$ будет слишком велико при $M=1$.

При $M > 1$ существенно уменьшается число входных разрядов каждого блока $p = \frac{n}{M}$ и

снижаются общие затраты всех блоков $A_{ФЭ}(M) = M \cdot \alpha \cdot 2^P$.

Но при разделении ФЭ на 2 или более блоков составляющие эквивалентов с каждого блока ФЭ необходимо предварительно суммировать с помощью дополнительных комбинационных сумматоров. При этом с увеличением M возрастают затраты на комбинационные сумматоры КСМ.

Поэтому для каждого варианта декомпозиции необходимо определить как затраты на внешние КСМ, так и затраты на построение ФЭ. При этом системное проектирование ПК необходимо объединить с локальной оптимизацией ФЭ для каждого разбиения, исследовав затраты ФЭ как для 1-й структуры, так и для 2-й структуры ФЭ.

Такое системное проектирование ПК дробных чисел, включающее в себя метод локальной оптимизации ФЭ, удобно выполнять с помощью программного средства FE DROB_m позволяющего проводить анализ аппаратурных затрат каждого блока исследуемого разбиения. При этом программа выдает информацию о числе корпусов определенного типа на реализацию каждого блока ФЭ и суммарного числа корпусов на реализацию ФЭ всех M блоков (рис. 4).

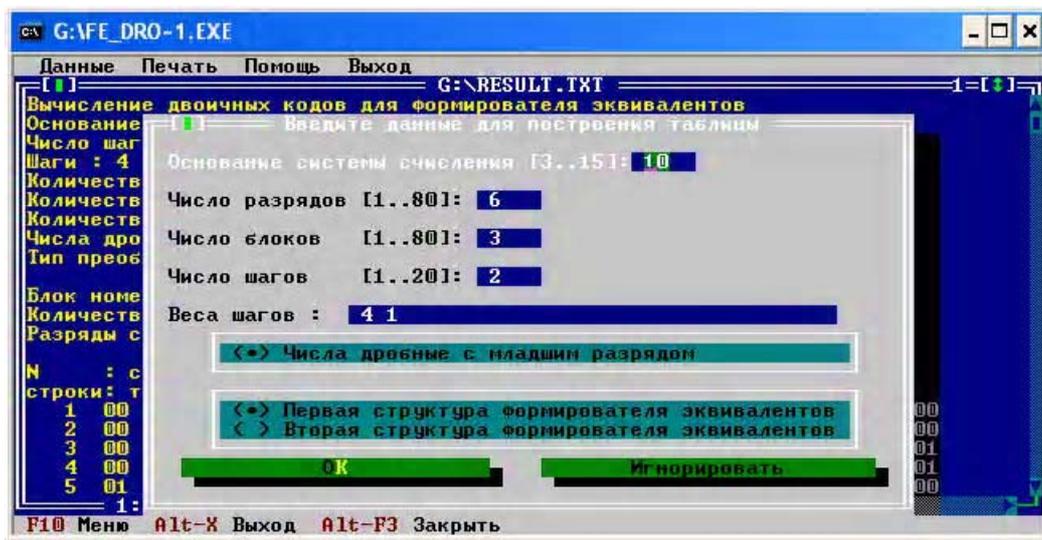


Рис. 4. Интерфейс программного средства FE DROB_m

После таблицы числа корпусов последнего блока (в данном случае блока 3) FE DROB_m выводит информацию об общем числе корпусов затрат на все блоки (в данном случае 22 корпуса).

Результаты исследований по числу ИМС для $K=12$, $n=6$, $a=4$ приведены в таблице.

Тип ФЭ	Число блоков разбиения			
	1	2	3	6
1	212	37	21	12
2	106	35	34	54
КСМ	0	6	12	30
$A_{ФЭ-1}$	212	43	33	42
$A_{ФЭ-2}$	106	41	46	84

Для наглядности поведения аппаратурных затрат графики их зависимости $A_{ФЭ1}$, $A_{ФЭ2}$ представлены на рис. 5.

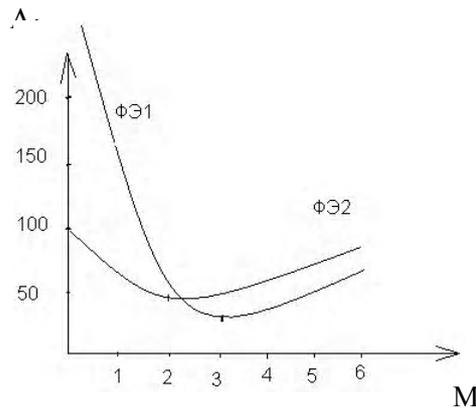


Рис. 5. Графики зависимости числа корпусов от типа разбиения

Из таблицы следует, что применение ФЭ первой структуры дает наиболее простую реализацию (33 корпуса) при разбиении его на три блока по два разряда в каждом $(x_6, x_5); (x_4, x_3); (x_2, x_1)$. Для второй структуры ФЭ результаты будут хуже.

На основании рассмотренного выше можно сформулировать алгоритм системного проектирования ПК дробных чисел.

6. Алгоритм системного проектирования ПК дробных чисел

1. Задать в программе FE DROBm значения исходных данных: основание системы счисления К на входе, число входных разрядов n, число блоков m ($m=1, \overline{M}$); число шагов преобразования (1,2,3 или 4); значения шагов (через пробел); тип ФЭ – первая или вторая структура.

2. Запустить программу и выполнить генерацию таблиц ФЭ всех блоков, таблиц затрат корпусов каждого блока и суммарного числа всех блоков.

3. Выполнить вручную расчет числа корпусов на реализацию внешних КСМ по формуле (). Дополнить строку затрат КСМ в п.2.

4. Перейти к п.1, изменив число блоков разбиения М в исходных данных, не меняя значений остальных параметров, и далее выполнить последовательно п.2 и п.3 алгоритма.

5. Найти суммарное число корпусов ИМС на реализацию как всех блоков ФЭ разбиения, так и внешних КСМ для первой структуры ФЭ.

6. Перейти к п.1 алгоритма, выбрав 2-ю структуру ФЭ (не меняя значений остальных параметров).

7. Выполнить последовательно п.2-п.5 алгоритма и ввести в таблицу затраты на реализацию всех разбиений ФЭ блоки для 2-й структуры ФЭ.

8. Путем анализа и сравнения затрат для 1-й и 2-й структуры ФЭ выбрать вариант декомпозиции по минимуму числа корпусов.

Выводы

1. Рассмотрены две структурные реализации ФЭ и выполнена их сравнительная характеристика.

2. Предложены структурные модели многоблочных многоразрядных формирователей эквивалентов дробных чисел, на основе которых возможно получение таблиц законов функционирования ФЭ.

3. Предложен алгоритм системного проектирования ПК дробных чисел на основе комбинированного алгоритма метода декомпозиции и метода локальной оптимизации структуры ФЭ (1-й и 2-й).

4. Предложено новое программное средство FE DROBm, позволяющее автоматизировать процесс системного проектирования ПК.

Научная новизна результатов состоит в получении обобщенной модели многоблочного ФЭ для ПК дробных чисел и в разработанном алгоритме системного проектирования, позволяющим вести как глобальную, так и локальную оптимизацию ФЭ.

Практическая значимость результатов заключается в возможности проведения (выполнения) автоматизированного проектирования ПК дробных многоразрядных многоблочных

ПК в автоматизированном режиме с помощью программы FE DROBm, что дает возможность после выбора оптимального варианта реализовать его на кристалле.

Список литературы: 1. А. с. 1647908 НОЗМ 7/12. Преобразователь двоично-К-ичного кода в двоичный код / Н. Я. Какурин, Ю. К. Кирьяков, А. Н. Макаренко // Открытия, изобретения. 1991. №17. С. 262-263. 2. Какурин Н. Я., Лопухин Ю. В. Сравнительная оценка стратегий, используемых в преобразовании кодов по методу накопления эквивалентов // Сб. науч. тр. 6-й международной конф. "Теории и техники передачи, приема и обработки информации" (2002). Харьков- ХНУРЭ 2002. С. 369-370. 3. Голян В. В., Какурин Н. Я. Программные способы автоматизированного проектирования многоблочных ПК целых чисел // АСУ и ПА. 2002. Вып. 118. С. 41-48. 4. Голян В. В., Какурин Н. Я., Макаренко Л. Н. Программный способ построения таблиц функционирования формирователей эквивалентов для многоблочных ПК дробных чисел // АСУ и ПА. 2002. Вып. 119. С. 32-40.

Поступила в редколлегию 13.02.2009

Какурин Николай Яковлевич, канд. техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: прикладная теория цифровых автоматов, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Лопухин Юрий Владимирович, ст. преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование программного обеспечения, автоматизации проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Макаренко Анна Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Харьковского института банковского дела. Научные интересы: дискретная математика, анализ и синтез преобразователей код-код. Адрес: Украина, 61074, Харьков, пр. Победы, 55, тел. 336-05-64.

Замалеев Юрий Салихович, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Харьковской национальной академии городского хозяйства. Научные интересы: проектирование устройств вычислительной техники, программирование. Адрес: Украина, 61204, Харьков, пр. Победы, 68-А, кв. 17, тел. 336-77-84.

УДК 519.71

Е.И. КУЧЕРЕНКО, Т.В. СМУЛЬСКАЯ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ЗНАНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Рассматривается задача оптимизации процессов принятия решений на примере транспортной задачи с использованием ограничений, ориентированных на знания. Формулируется методология решения поставленной задачи, предлагаются рекомендации по снижению рисков грузоперевозок на множестве ограничений.

Введение

Существующие подходы к оптимизации процессов в сложных системах [1, 2] ориентированы преимущественно на детерминированные и стохастические постановки. Такие подходы являются достаточно эффективными, но они не учитывают уникальных процессов в системах и объектах, которые в силу ограниченных знаний, временных, материальных ресурсов, других объективных причин не могут быть определены как детерминированные или стохастические. Одной из наиболее важных проблем в решении задач оптимизации процессов принятия решений в настоящее время является использование в качестве функционалов и ограничений слабо формализованных знаний на основе лингвистических переменных, представленных в нечетком пространстве состояний [3, 4].

Ориентированные на знания модели имеют важное практическое значение, как основа принятия решений в экспертных системах и системах поддержки принятия решений [5]. Знания могут носить детерминированный, вероятностный (стохастический) или нечеткий характер. Известно, что одним из наиболее поразительных свойств человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной, неточ-

ной и нечеткой информации. Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Построение и реализация моделей, приближенных к рассуждениям человека, использование их в современных поколениях компьютерных систем представляет сегодня одну из важнейших проблем науки, как в теоретическом, так и в практическом аспекте.

Смещение центра исследований нечетких систем в сторону практических приложений привело к постановке и решению целого ряда проблем, таких как новые архитектуры компьютеров для нечетких вычислений, элементная база нечетких компьютеров и контроллеров, инструментальные средства разработки, инженерные методы расчета и разработки нечетких систем управления и многое другое. Математическая теория нечетких множеств [6, 7] позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями на основе нечеткого логического вывода Мамдани (Mamdani) или TSK (Takagi, Sugeno, Kang) [7].

Существующие решения по оптимизации процессов принятия решений с использованием нечетких функционалов и ограничений [8] во многом ограничены постановками или узкими специализированными результатами, что не позволяет их использовать или адаптировать к другим приложениям.

Целью данных исследований является повышение достоверности принимаемых решений в прикладных областях систем и средств искусственного интеллекта на основе расширений частных задач линейного программирования. Таким образом, предлагаемые решения являются важными и актуальными.

1. Постановка задачи исследований

Рассмотрим классическую транспортную задачу [2], в которой в качестве критерия оптимальности принята минимальная стоимость перевозок всего груза:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где c_{ij} – затраты на перевозку единицы груза из пункта отправления i в пункт назначения j ; a_i – запасы груза в пункте отправления i ; b_j – потребность груза в пункте назначения j ; x_{ij} – количество груза, перевозимого из пункта отправления i в пункт назначения j .

Как решение задачи (1) – (2), необходимо найти план перевозок с минимальной стоимости для транспортировки некоторого однородного груза из m пунктов отправления ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$) в n пунктов потребления ($B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$). Пусть a_i – запасы груза в пункте отправления i , соответственно b_j – потребности в грузе в пункте назначения j . Обозначим также цены перевозок единицы груза из пункта отправления i в пункт назначения j – c_{ij} , $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$, а через x_{ij} , ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) – количество единиц груза, перевозимого из пункта отправления i в пункт назначения j .

Решением этой задачи являются транспортные потоки x_{ij} между пунктами отправления и назначения. Если все параметры a_i , b_j и c_{ij} ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) заданы детерминировано, то модель линейного программирования будет хорошо определенной и может быть решена хорошо исследованными методами: симплекс-методом или методом потенциалов [2].

Пусть нам, как ограничение на (1), задана степень риска $\{RS_{ij}\}$, которая влияет на эффективность и качество решения исходной задачи (1) – (2) при транспортировке грузов x_{ij} , $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ в виде нечетких знаний [7]. Необходимо предложить стратегию решения поставленной задачи (1) – (2) с учетом ограничений на степень риска $\{RS_{ij}\}$.

2. Решение задачи оптимизации процессов принятия решений с нечеткими ограничениями

Известно, что при представлении неопределенности в вероятностном пространстве состояний, т.е. если некоторые из параметров транспортной задачи представляют собой случайные величины, то модель перестает быть хорошо определенной в математическом плане [1, 9], поскольку теперь требуется минимизировать целевые функции, выраженные через неопределенные количества, а ограничения не задают детерминированную допустимую область решений.

Для решения различных управленческих задач, в которых необходимо учитывать случайность, были разработаны модели стохастического программирования [9]. Наиболее исследованными из них можно считать модели среднего ожидаемого значения и модели стохастического программирования с вероятностными ограничениями. На практике, в сложных стохастических системах принятия решений, обычно приходится иметь дело с множеством событий, тогда у лица, принимающего решение, возникает потребность максимизировать вероятностные функции наступления этих событий. Чтобы обеспечить возможность создания моделей для такого типа задач, в работе [9] предложена теоретическая база для третьего класса задач стохастического программирования, названного стохастическим событийным программированием.

Нечеткое (fuzzy) программирование предлагает мощные средства решения оптимизационных задач с нечеткими переменными. Следуя идее стохастического программирования с вероятностными ограничениями, для нечетких систем принятия решений предполагается, что нечеткие ограничения будут удовлетворяться с некоторым уровнем возможности. Это приводит к теории нечеткого программирования с возможностными ограничениями. Однако такие подходы еще мало исследованы [4, 8].

Предлагаемые в работе подходы, математические модели и методы, лежащие в основе функционирования систем и функционирующие в нечетком пространстве состояний, опираются на операции над нечеткими множествами и отношениями, алгоритмы прямого GMP и обратного GMT нечетких логических выводов [4, 6, 7]. Выбор вида операции и реализуемых алгоритмов зависит от конкретной постановки задачи и предметной области.

Стратегия решения задачи включает такие основные этапы:

– исходя из особенностей и требований предметной области, формируем исходную задачу в виде (1) – (2);

– определяем множество факторов $\{FK\}$, формирующее множество рисков $\{RS_{ij}\}$;

– формируем нечеткую базу знаний для всех факторов риска на основе нечетких продукционных правил вида *if / then*, которые накладывают дополнительные ограничения на переменные исходной задачи;

– для всех переменных *if / then* – правил формируем функции принадлежности значений лингвистических переменных вида «*малый*», «*средний*», «*большой*» и их производных;

– расширяем исходную задачу (1) – (2) путем ввода нечетких ограничений;

– реализуем задачу оптимизации при нечетких ограничениях;

– при необходимости уточняются значения переменных.

Уточним некоторые положения предложенной выше стратегии.

Исходя из предметной области определено, что существенное влияние на уровень рисков при грузоперевозках оказывают *факторы*, порождаемые: влиянием преимущественно объективных обстоятельств (качество полос дороги; наличие станций технического обслуживания и автозаправочных станций; время, необходимое для прохождения маршрута; количество водителей в экипаже; интенсивность движения; техническое состояние транспортного средства); влиянием преимущественно субъективных обстоятельств; влиянием техногенной обстановки; административным влиянием; политическим влиянием, а также факторы, определяемые конечной надежностью технических средств, и другие.

Примером фрагмента нечеткой базы может быть следующее правило:

$$\underline{\text{if}} \text{ (Качество «низкое») \& (Сервис «отсутствует») \& (Техсостояние «неудовлетворительное») } \underline{\text{then}} \text{ (Риск «высокий»).} \quad (3)$$

Тогда искомая постановка задачи с учетом нечетких ограничений (3) имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

$$\text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B}, \quad \mu(x_{i0}) \geq \mu(x_{i0})^{(ad)}, \quad RS < RS^{(ad)}, \quad (6)$$

где $\mu(x_{i0})$, $\mu(x_{i0})^{(ad)}$ – соответственно значение и минимально допустимое значение функции принадлежности; $RS^{(ad)}$ – верхняя оценка риска.

Представив if/then условия [4] с известным отношением $\tilde{R}(x, y)$ и нечетким значением антецедента \tilde{A}' в алгоритме прямого логического вывода GMP, определяем следствие \tilde{B}' , как решение:

$$\begin{array}{l} \text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B}, \\ \frac{x \text{ is } \tilde{A}'}{y \text{ is } \tilde{B}'} \end{array} \quad (7)$$

Таким образом:

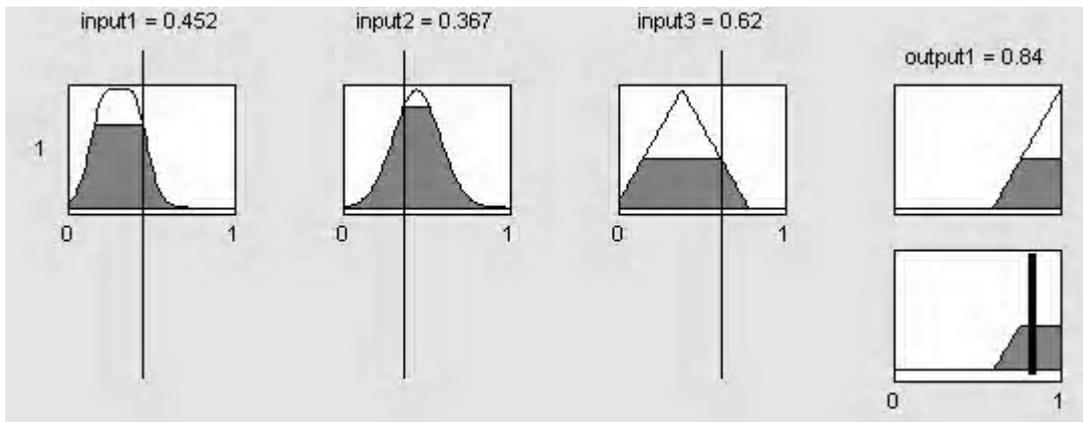
$$\tilde{B}' = \tilde{A}' \circ \tilde{R}(x, y). \quad (8)$$

Решение (7) с учетом (8) определяем, как нахождение

$$\mu_{B'}(y) = \bigvee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu(x, y)] \quad (9)$$

с последующей дефаззификацией (9) [4] и нахождением искомого решения относительно RS.

Реализация алгоритма нечеткого логического вывода Мамдани в среде Matlab [10] предложена на рисунке. В случае, если некоторое из ограничений (6) не выполняется, то реализуется обратный GMT нечеткий логический вывод Мамдани [4] и уточняются начальные условия задачи.



Нечеткий логический вывод Мамдани

3. Рекомендации по практическому использованию полученных результатов

Предлагаемые в работе решения являются во многом перспективными и могут быть использованы в интеллектуальных системах принятия решений, когда некоторые переменные или ограничения являются нечеткими.

Некоторым ограничением на применение предлагаемых подходов является требование полноты и непротиворечивости правил нечеткой базы знаний при решении оптимизационных задач. Эта трудность может быть устранена с корректным использованием знаний экспертов, положений работы [4] по исследованиям полноты и непротиворечивости нечет-

ких процессов, их динамики и взаимодействия, адекватной настройкой параметров и вида функций принадлежности.

Предлагаемый подход, стратегии, алгоритмы, соответствующее программное обеспечение было использовано в работах одного из автотранспортных предприятий. Опытная эксплуатация подтвердила эффективность теоретических и практических результатов данных исследований.

Выводы

В результате исследования на основе содержательного анализа предметной области и существующих решений на примере транспортной задачи сформулирована постановка задачи оптимизации процессов принятия решений с нечеткими знаниеориентированными ограничениями.

Научная новизна. Определено, что минимизация рисков в грузоперевозках, когда некоторые процессы представлены в нечетком пространстве состояний, может быть достигнута посредством модификации классической задачи с использованием расширений области ограничений, применения нечеткой базы знаний и алгоритмов нечеткого логического вывода GMP, GMT. Предложена стратегия решения поставленной задачи с учетом ограничений на степень рисков, сформулированы рекомендации по снижению рисков грузоперевозок на множестве ограничений.

Практической значимостью полученных результатов является подтверждение эффективности подхода при практическом применении результатов исследования на реальном объекте.

Список литературы: 1. Мусеев Н.Н., Иванов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978. 352 с. 2. Линейное и нелинейное программирование / Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З. Київ: Вища школа, 1975. 372 с. 3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с. 4. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем. Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. 311 с. 5. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 388 с. 6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с. 7. Tsoukalas L.H., Uhrig R.E. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997. 587 p. 8. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: ТГУ, 2000. 352 с. 9. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 416 с. 10. Gajic Z., Lelija M. Modern Control Systems Engineering: With MATLAB Laboratory Experiments. University of Michigan, 2007. 495 p.

Поступила в редколлегию 14.03.2009

Кучеренко Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 80577021337.

Смутьская Татьяна Владимировна, студентка магистратуры специальности Интеллектуальные системы принятия решений, факультет КН, ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, e-mail: kh_stv@mail.ru, тел. 80577021337.

МЕТОД БЮДЖЕТУВАННЯ ПРОЕКТІВ З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ

Наведено короткий аналіз проблем бюджетування в Україні, які характеризуються великою кількістю ризиків. Проведено аналіз досліджень, присвячених моделям та методам бюджетування проектів, який показав, що основним недоліком таких робіт є неповнота висвітлення проблем бюджетування складних проектів в Україні в умовах нестабільності та ризиків. Наведено алгоритм реалізації методу управління бюджетом проекту, який вирішує проблеми управління бюджетом з врахуванням ризиків.

1. Постановка проблеми

На сучасному етапі в нестабільних економічних умовах України перед проектними менеджерами виникає ряд проблем при бюджетуванні проектів. Під бюджетуванням розуміють процес формування, обліку і контролю виконання бюджету [1].

Бюджетування, як і будь-яка управлінська задача, може вирішуватись за допомогою різних технологій і методик. У кожній системі бюджетування реалізована методика, спрямована на підтримку діяльності підприємства на всіх етапах управління бюджетами проектів [2].

Сучасні проекти супроводжуються великою кількістю ризиків, які важко прогнозуються і частіше всього мають стохастичну природу [3]. Найбільш істотними джерелами появи ризиків є складність цих проектів, велика кількість робіт, наявність різних варіантів технології виконання робіт.

Вплив ризиків призводить до перевищення бюджету проектів. Таким чином, збільшується потреба та необхідність в методах і засобах бюджетування проектів в умовах ризиків, що спричиняються невизначеністю економічного, політичного, правового середовища та негативно впливають на процес виконання бюджету.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз досліджень, присвячених моделям та методам бюджетування проектів, показав, що основним недоліком таких робіт є неповнота висвітлення проблем бюджетування складних проектів в Україні. Існуючі методи та алгоритми бюджетування не враховують ризиків, що своїм впливом ускладнюють процес реалізації будь-якого проекту [4].

Був проаналізований метод побудови протиризикових технологій реалізації робіт проекту, який враховує багатоваріантність технологічних рішень, а також ризики будівельних проектів [5]. Даний метод враховує основні види ризиків, які мають найбільший вплив на реалізацію проекту і призводять до додаткових витрат і затримок проекту, а саме ризик проектно-кошторисної документації, виконання роботи, поставок матеріально-технічних ресурсів, ризик погоди, бригад, ризик механізмів. Але цей метод не враховує всіх ризиків, що призводять до перевищення бюджету.

3. Невирішені раніше частини загальної проблеми

Після проведеної роботи по аналізу та виявленню найбільш важливих ризиків, що приводять до змін у бюджеті проекту, були виявлені основні види та фактори ризиків, при настанні яких мають місце додаткові фінансові витрати при реалізації проекту.

В результаті появи бюджетних ризиків виникають численні, непередбачені і незаплановані зміни в реалізації проекту, які значно впливають на загальну вартість всього проекту.

До найбільш ефективних підходів до управління бюджетними ризиками можна віднести метод усунення невизначеності та підвищення інформативності розробників проекту [6]. Однак дуже важко переглянути всі можливі ситуації, тому що складний проект є процесом, що слабо формалізується.

Метод аналогій неефективний для застосування в українських умовах при оцінці ризиків бюджетування, тому що дані про вплив ризикованих подій на виконання складних проектів є внутрішньою інформацією компанії.

Дані, отримані в процесі виконання проекту, особливо важливі, тому що після їх статистичної обробки можна отримати поточні оцінки ризику. Крім цього, вони використовуються

для аналізу результатів проекту після його завершення, а також для створення архіву даних в проектній організації.

Отже, побудова нового методу бюджетування проектів з врахуванням бюджетних ризиків є невирішеною задачею.

Метою даного дослідження є розробка методу бюджетування проектів, який дозволяє реалізовувати процеси планування, контролю та коригування бюджету проекту з врахуванням проектних ризиків.

Найважливішою функцією бюджетування проектів є аналіз відхилень фактичних значень від планових. Отже, одна із задач методу бюджетування – вчасно проаналізувати відхилення, зрозуміти тенденцію і прийняти адекватні дії, спрямовані на коригування бюджету, використовуючи інформацію про бюджетні ризики.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

В розробленому методі бюджетування проектів з врахуванням ризиків для їх запобігання пропонується використовувати резерви чотирьох видів: фінансові, матеріальні, інформаційні та резерви часу [7].

1. Фінансові резерви на покриття витрат, пов'язаних з негативним впливом бюджетних ризиків, використовуються при нестачі коштів при реалізації складних проектів у вигляді запланованих додаткових резервів коштів.

2. Матеріальні резерви в зв'язку із значною довготривалістю складних проектів вимагають великих затрат на зберігання, тому їх створювати неефективно. Але при розподілі матеріально-технічних ресурсів на роботи проекту доцільно враховувати таку властивість як взаємозамінність ресурсів.

3. Інформаційні резерви використовуються для прийняття рішень в ході реалізації проекту та коригування бюджету складного проекту з врахуванням ризиків.

4. Резерви часу передбачають додавання деякого періоду часу для подолання збоїв, які виникають через появу бюджетних ризиків при реалізації складних проектів.

Визначення структури резерву на покриття додаткових витрат в зв'язку з настанням ризикованих подій будемо робити на базі підходу, що припускає визначення додаткових витрат по видах затрат: на заробітну плату, МТР, накладні витрати. Резерв на покриття додаткових витрат у зв'язку з настанням ризикованих подій при управлінні бюджетом проекту з врахуванням ризиків визначається тільки по тих видах витрат, які ввійшли у вартість роботи.

Отже, бюджет проекту на етапі планування являє собою загальну суму капітальних вкладень з резервами, що враховують бюджетні ризики. Формування бюджету складного проекту наведемо на рис. 1.



Рис. 1. Формування бюджету проекту

Процес формування бюджету проекту можна розділити на три основні етапи, які показані на рис. 2.

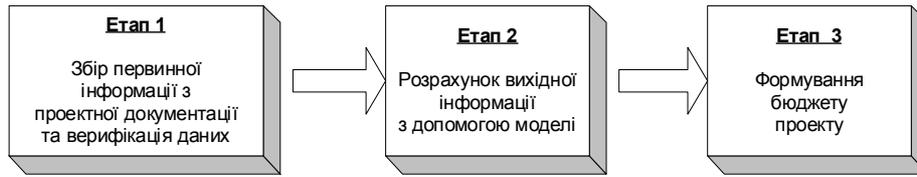


Рис. 2. Загальна схема формування бюджету проекту

Найважливішою функцією управління бюджетом є план/фактний аналіз (аналіз відхилень фактичних значень від планових) [8]. Зуміти вчасно проаналізувати відхилення, зрозуміти тенденцію і прийняти адекватні дії, спрямовані на коригування бюджету, одна із задач, яку розв'язує автоматизована система управління бюджетом.

Постійне порівняння фактичних результатів із запланованими дозволяє керівникові проекту оцінити результативність його виконання і встановити ступінь відповідності початковому плану. Якщо з'ясується, що бюджет не має відхилень, то виконання робіт здійснюється відповідно до плану. В разі ж виявлення розбіжностей між фактичними показниками бюджету і плановими необхідно виявити причину і джерело відхилень. Для цього спочатку розглядають, чи реальний у даній ситуації запланований бюджет. Якщо виявиться, що він реальний, то за ймовірну причину його невиконання приймають недостатність контролю.

Отже, необхідно відкоригувати виконання робіт відповідно до календарного плану і бюджету. Якщо ж внаслідок зміни загальної ситуації (наприклад, зміни цін) або через допущені помилки при плануванні чи виконанні робіт дотримання запланованого бюджету стає неможливим, його необхідно переглянути відповідно до поточних обставин. Переглянуті (відкориговані) цифри називають прогнозами, кількість яких обумовлена багатьма ситуаціями, створеними в процесі виконання проекту.

Процес бюджетного контролю – це порівняння фактичних витрат з прогнозованими показниками, останнього прогнозу – з початковим. На підставі такого порівняння визначають параметри, до яких має бути зведений початковий бюджет, аби відповідати мінливим обставинам.

Схематично систему бюджетного контролю зображено на рис. 3.

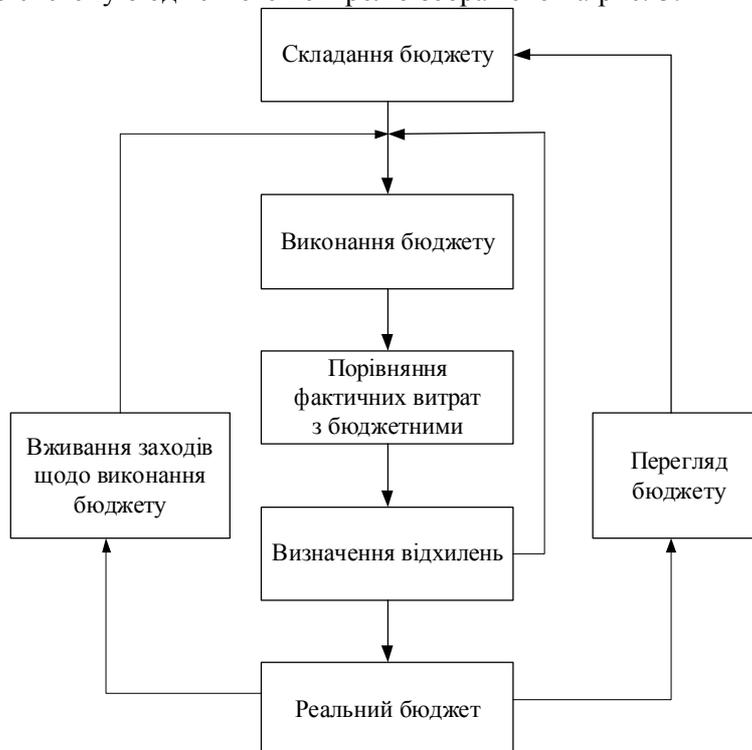


Рис. 3. Система бюджетного контролю

Пропонується метод управління бюджетом проекту (рис. 4), який вирішує проблеми фінансового планування, управління бюджетом з врахуванням ризиків [9].

Метод бюджетування проектів з врахуванням ризиків характеризується такими можливостями:

- розраховує фінансові змінні: бюджет матеріалів (B_1), оплати праці (B_2), накладних витрат (B_3), загальний бюджет проекту;
- передбачає в бюджеті статті на покриття додаткових витрат у зв'язку з ризикованими подіями;
- дозволяє управляти значенням фінансової змінної бюджету та коригувати його з врахуванням ризиків.

Ризики, що викликають відхилення запланованого бюджету від фактичного і спричиняють ситуацію дефіциту коштів, будемо називати бюджетними ризиками.

Метод бюджетування проектів з врахуванням ризиків полягає у виконанні послідовності таких дій:

1. Для кожної i -ї роботи розрахувати вартість роботи V_i за формулою:

$$V_i = V_{1i} + V_{2i} + V_{3i},$$

де V_{1i} – витрати на придбання матеріально-технічних ресурсів (МТР) та обладнання i -ї роботи; V_{2i} – витрати на оплату праці працівникам i -ї роботи; V_{3i} – накладні виробничі витрати i -ї роботи.

2. Розрахувати ризик збільшення вартості роботи за формулою:

$$R_i = R_i^K + R_i^P + R_i^Z + R_i^M + R_{ig}^O,$$

де R_i – значення ризику збільшення вартості i -ї роботи, який складається із таких бюджетних ризиків: R_i^K – значення ризику замовника; R_i^P – значення планового ризику; R_i^Z – значення ризику оплати праці; R_i^M – значення цінового ризику; R_{ig}^O – значення накладного ризику (g – номер виду накладних витрат).

3. Врахувати у вартості кожної роботи проекту резерв на покриття бюджетних ризиків за формулою: $V_i = V_i + R_i$.

4. Розрахувати планове значення загального бюджету проекту: $V = \sum_{i=1}^k V_i$.

5. Роздрукувати планове значення бюджету для візуальної оцінки.

6. Відслідковувати фактичні витрати коштів на проект, тобто визначити $V_{\text{факт}}$, який змінюється в часі від 0 до $t_{\text{кр}}$ із періодом $t_{\text{кр}}$ (тиждень, місяць).

7. Роздрукувати фактичні параметри по відібраному варіанту для візуальної оцінки і контролю.

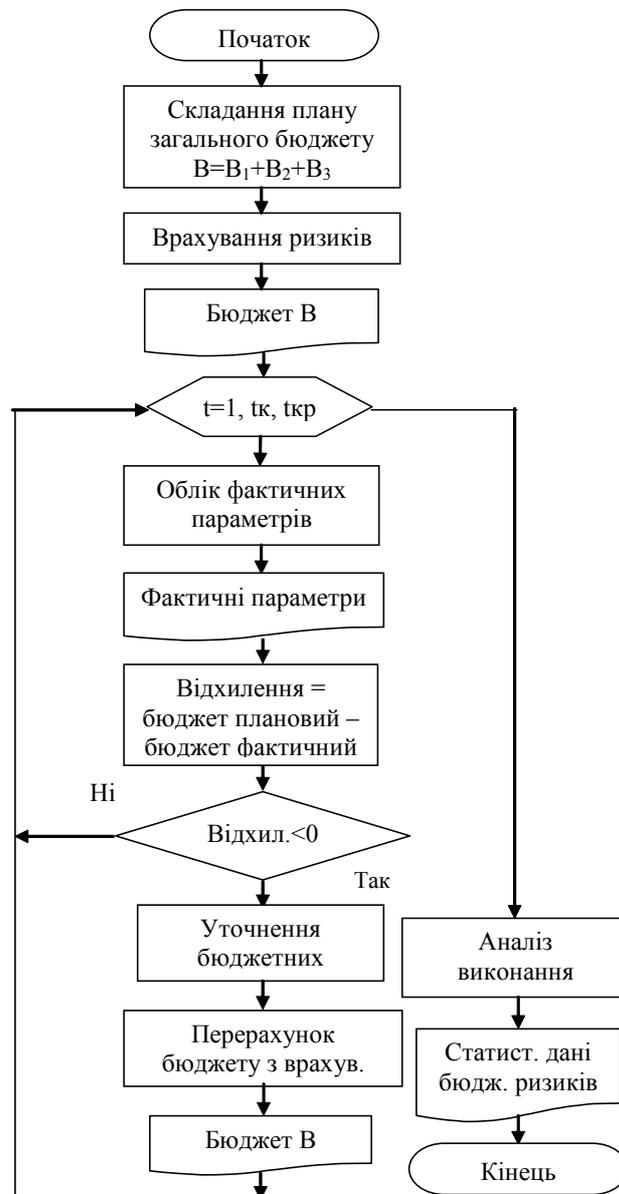


Рис. 4. Алгоритм реалізації методу управління бюджетом проектів з врахуванням ризиків: V_1 – бюджет матеріалів, V_2 – бюджет оплати праці, V_3 – бюджет накладних витрат

8. На кожному кроці визначити величину відхилення бюджету: $\Delta B = B - B_{\text{факт}}$.

9. Якщо $\Delta B < 0$, провести оцінку на основі останніх фактичних даних про проект п'яти бюджетних ризиків.

10. На основі інформації про фактичне виконання проекту та виявлені ризики виконати перерахунок планового бюджету проекту з врахуванням ризиків, тобто повторити п. 2, 3, 4.

11. Після завершення проекту здійснити аналіз виконання бюджету та аналіз поведінки бюджетних ризиків під час виконання проекту і відкоригувати інформаційну базу робіт та ризиків проекту.

Таким чином, планове значення бюджету проекту буде коригуватись на кожному часовому кроці, що дасть можливість скласти реальний бюджет та приймати оперативні рішення по знаходженню додаткових джерел фінансування проекту при необхідності. При цьому планове значення бюджету буде враховувати резерви оптимального розміру на покриття майбутніх ризиків.

Одноразове складання бюджету проекту до початку його виконання не гарантує успішного його виконання. Тому застосування запропонованого методу бюджетування забезпечить проведення аналізу "план-факт" на протязі всього періоду проекту з певним інтервалом, визначення відхилення планових від фактичних фінансових показників, виявлення причин їх виникнення та переформування бюджету проекту з врахуванням резервів на покриття додаткових витрат, що виникають через ризиковані події.

Запропонований метод бюджетування є універсальним, може бути використаний в процесі управління проектами будь-якого типу, причому кількість та види бюджетних ризиків можуть також варіюватись залежно від предметної області.

При створенні автоматизованої системи бюджетування проектів доцільно застосовувати запропонований метод бюджетування, що дозволить враховувати та зменшувати бюджетні ризики на всіх етапах життєвого циклу проекту та підвищити ефективність управління проектом в цілому.

Висновки

Великий обсяг робіт сучасних проектів, нестабільна економічна ситуація в Україні, поява бюджетних ризиків з високою імовірністю призводять до того, що необхідна розробка нових методів та засобів бюджетування проектів з врахуванням бюджетних ризиків.

Використання запропонованого методу бюджетування дозволить управляти ризиками при бюджетуванні та використовувати метод гнучкого бюджетування проектів з врахуванням ризиків в будь-якій предметній області.

Список літератури: 1. *Гречуха Е.И.* К вопросу о разработке бюджетов проектов и программ // Управління проектами та розвиток виробництва // Зб. наук. пр. Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля. 2003. № 1(6). С. 69–75. 2. *Савчук В.П.* Финансовый менеджмент предприятий: прикладные вопросы с анализом деловых ситуаций. Киев: Издательский дом «Максимум», 2001. 600 с. 3. *Тесля Ю.М., Донец О.М., Аль-Шукри Фатхи Мохаммед Ахмед.* Проблемы информационного обеспечения инструментальных программных средств управления проектами при строительстве сложных энергетических объектов // Управління проектами та розвиток виробництва. 2002. № 2(5). С. 24 – 30. 4. *Данченко О.Б.* Метод планування проектів в умовах ризику та нестабільності // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. Київ, УкрІНТЕІ. 1997. №19-20. С.40-41. 5. *Данченко О.Б.* Протиризовий метод складання розкладу робіт в проектах будівництва енергетичних об'єктів // Придніпровський науковий вісник. Дніпропетровськ: "Наука і освіта". 1998. №34(101). С.40-44. 6. *Дукарський О.М., Илларионов Г.А., Мандритта Н.И.* Некоторые проблемы совершенствования планирования энергетического строительства // Энергетическое строительство. М.: Энергоатомиздат. 1986. №6. С. 60-63. 7. *Кальніченко О.В.* Вплив чинників ризику на вартість виконання проектів // Управління проектами та розвиток виробництва // Зб. наук. пр. Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля. 2002. № 2(5). С. 50–54. 8. *Тян Р.Б.* Управління проектами: підручник. Київ: Центр навчальної літератури. 2003. 224 с. 9. *Донець О.М.* Методи управління бюджетними ризиками при будівництві складних енергетичних об'єктів // Управління проектами і розвиток виробництва. 2004. № 3(11). С. 58 – 66.

Надійшла до редколегії 14.03.2009

Данченко Олена Борисівна, канд. техн. наук, доцент кафедри адміністрування бізнесу Університету економіки та права «КРОК». Адреса: Danchenko_elen@gambler.ru.

Донець Оксана Миколаївна, старший викладач кафедри управління проектами Черкаського державного технологічного університету. Адреса: Україна, 18000, Черкаси, вул. Петровського, 158, кв. 60, тел. (0472) 65-33-54.

Жівотова Тетяна Павлівна, аспірантка кафедри управління проектами Черкаського державного технологічного університету. Керівник Канівського ННБК Черкаського державного технологічного університету.

Олсїнікова Тетяна Юрїївна, старший викладач кафедри інтелектуальних і інформаційних систем Черкаського національного університету ім. Б.Хмельницького. тел. (0472) 31-26-42.

УДК 004.7; 004.8, 007.85

А.Я. КУЗЬМИН, Н.В. ГОЛОВИЙ (ГУСАРЬ), Я. ДАЮБ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМАТОВ ФИНАНСОВОГО САМООБСЛУЖИВАНИЯ

Предлагается разработка модели системы поддержки принятия решений. Производится построение и интерпретация предложенной модели, а также демонстрация новизны данного подхода.

1. Введение

В последнее время в связи с плотным насыщением рынка банковских услуг автоматами финансового самообслуживания сфера управления, исследования и диагностики таких устройств привлекает к себе все больше внимания. На первый план выходит процесс борьбы между сервисными организациями за доли рынка обслуживания банкоматов, в котором уровень обслуживания и время реакции на различные кризисные ситуации играют решающую роль.

Вывод – актуальность исследования данной области очевидна, а наличие интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении, эксплуатации и сопровождении автоматов финансового самообслуживания является неоспоримым достоинством.

2. Постановка задачи

Необходимо построить модель системы поддержки принятия решений в области сервисного обслуживания банкоматов, которая должна обладать широкими функциональными возможностями, предоставлять значение определенных показателей устройств и решать задачи по планированию, прогнозированию и оптимизации деятельности сервисной организации.

Система должна познавать свое окружение и адаптироваться к нему или изменять его с помощью накопленных в процессе функционирования знаний и приобретенных навыков.

3. Основные понятия

В основе построения модели системы лежит понятие *ситуации* как совокупности событий, условий и обстоятельств, в которых протекает исследуемый процесс.

Разнообразие ситуаций создает всю полноту функционирования системы. «...*Ситуация* есть принуждение к принятию решения, свобода же состоит в выборе решения» (N.Hartmann, 1941).

Введем понятие видов ситуаций в деятельности сервисной организации: перспективные (открывающие новые возможности развития)/деструктивные (блокирующие развитие), управляемые / неуправляемые, объективные / субъективные.

Каждая *ситуация* имеет специфическую структуру, т.е. набор устойчивых компонентов, характеризующих исследуемый процесс. Обозначая границы, функции и направленность процесса в определенный промежуток времени, *ситуация* выступает в качестве модели анализа и одновременно служит методом проектирования, позволяя описать неко-

тору совокупность условий и обстоятельств, характеризующих функционирование системы, а также определить решение проблем путем создания более оптимальных условий.

Характеристика ситуации как модели осуществляется путем выделения и анализа тех ее компонентов, которые

- являются относительно устойчивыми и существенными и определяют ее границы;
- могут быть изменены или усовершенствованы.

4. Построение модели

С учетом описанного выше мы можем представить нашу систему деятельности сервисной организации как совокупность ситуаций C_t , характеризующих состояние системы в определенный промежуток времени:

$$Sis = \{C_t\}, t=1, \dots, T, \quad (1)$$

T – период времени процесса с фиксированными моментами t , в которые реализуются C_t , составляющие модель системы.

Каждая ситуация C_t является ассоциативным отображением множества микроситуаций, описывающих состояние компонентов системы, на ее исход:

$$C = \{X, Y, S, U, F\}; \quad (2)$$

Компоненты, входящие в набор, имеют следующие назначения: X – множества входных параметров или микроситуаций (векторные); Y – множества выходных параметров или исходов (векторные); S, U – множества структур и структурных единиц, их составляющих; F – множество базисных функций, реализуемых в узловых элементах.

Обработка информации в рассматриваемой системе основана на методах дробления (грануляции) и ассоциативно-логической обработки отношений, процессов и данных [1].

Необходимость дробления связана с неопределенностью информации в реальных условиях. Предполагается, что соответствующий каждой микроситуации составной информационный объект (переменная, отображение, образ) может быть декомпозирован на некоторые элементы – гранулы. Каждая гранула является набором элементарных частиц, которые связаны вместе неопределенностью, близостью, подобностью и функциональностью.

Формально объект O_c может быть представлен совокупностью гранул, т.е.:

$$O_c = \text{incl_g}(G_1, \dots, G_i, \dots, G_N); \quad (3)$$

Incl_g - отношение объединения.

Каждая из гранул обладает определенным набором атрибутов с их значениями:

$$G_i = \text{has_a}(A_1, \dots, A_j, \dots, A_M); \quad (4)$$

$$A_j = \text{has_v}(V_1, \dots, V_q, \dots, V_Q), \quad (5)$$

A_j – j -й атрибут гранулы G_i ; V_q – q -е значение атрибута A_j ; has_a и has_v – отношение принадлежности атрибута объекту и значения атрибуту соответственно.

В результате мы получили модель системы, представленную в виде совокупности ситуаций, состоящих на самом нижнем уровне из гранул с определенным набором атрибутов. Такая модель станет основой разрабатываемой системы поддержки принятия решений при эксплуатации автоматов финансового самообслуживания и позволит описать предметную область через совокупность объектов с их свойствами.

5. Интерпретация модели

Следующим шагом является выявления связей между составляющими ситуации гранулами.

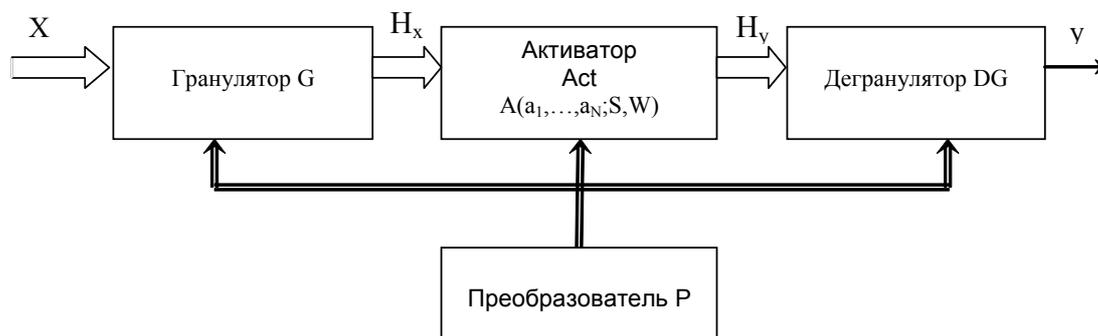
Введем понятие юнита (Unit) как минимального обучаемого элемента, способного самостоятельно обрабатывать информацию в гранулированном виде.

Формализованная информационная модель юнита может быть представлена набором множеств

$$M_c = \{X, W_c, H_x, S_c, H_y, BF, y\}, \quad (6)$$

где $X = \{x_0, \dots, x_n\}$ – множество входных параметров – микроситуаций; $W_c = \{w_0, \dots, w_v\}$ – множество регулируемых весов ($m \times n$); $H_x = \{h_{x1}, \dots, h_{xq}\}$ – множество скрытых входных параметров, соответствующих информационным гранулам на входах; $H_y = \{h_{y1}, \dots, h_{ye}\}$ – множество скрытых выходных параметров, соответствующих информационным гранулам на выходах; $S_c = \{s_{c1}, \dots, s_{ce}\}$ – множество связей скрытых входных и выходных информационных гранул, определяющих цепочку преобразований гранул при активизации этой связи; $BF = \{bf_1, \dots, bf_k\}$ – множество базисных функций; y – выходной параметр юнита.

Такая информационная модель поддерживается структурно-функциональной моделью юнита, представленной на рисунке [2].



Структурная модель юнита

Здесь G – информационный гранулятор, формирующий множество H_x ; Act – активатор, состоящий из множества активаторных элементов a_i , $i=1, \dots, N$, которые выполняют преобразования скрытых информационных параметров и формирование множества H_y в соответствии со связями S_c и весами W_c ; DG – информационный дегранулятор, формирующий выходной параметр y ; P – преобразователь, формирующий множество связей S_c и весов W_c при настройке юнита на отображение $X \rightarrow y$, аппроксимирующее функцию $y = F(X)$.

Юнит является универсальным преобразователем информации (адаптивным аппроксиматором), имеющим n -входов и один выход. Он соответствует в модельном плане биологическому нейрону с его сетью синапсов, через которые организуются связи с другими нейронами [3].

Юниты объединяются в кластер (Cluster). Информационная модель кластера может быть формально представлена набором множеств (6), где $X = (X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_M)$ – представляет собой “склеенное” множество входов юнитов, входящих в кластер; W_N , H_x , H_y – множества весов и скрытых параметров кластера; S_N – множество связей кластера, объединяющее связи юнитов; BF – набор базисных функций активаторных элементов, одинаковый для всех юнитов; скалярный выход y заменен на векторный Y – объединенное множество выходных параметров кластера.

В какой-то мере кластер с частичным объединением юнитов можно считать однослойной сетью клеток с входами, параллельно подведенными к каждой клетке (от каждого входа к каждой клетке). Такое представление кластера применяется в нейроинформатике для конструирования слоистых и модульных нейросетей. В данной работе оно использовано для моделирования кластеров, реализующих поведенческие функции (отношения) с несколькими связанными параметрами, зависящими от ряда общих аргументов [1].

Юниты и кластеры являются базовыми модулями, из которых предполагается строить систему поддержки принятия решений (СППР).

6. Этапы моделирования

Рассмотрим этапы предлагаемой методики на примере исследуемой предметной области.

Этап 1 – определение цели и ее подцелей.

Цель – повышение уровня сервисного обслуживания банкоматов.

Подцели:

- уменьшение времени реакции на возникшую проблему;
- уменьшение времени, потраченного на ремонт устройства;
- оптимизация маршрута перемещения сервисного инженера;
- оптимальное размещение запасных частей на региональных складах;
- максимально быстрая доставка запасных частей с основного склада;
- прогнозирование количества необходимых запчастей на будущий период;
- прогнозирование затрат на командировки сервисным инженерам;
- построение оптимальных маршрутов доставки запчастей и передвижения инженеров.

Этап 2 – формирование ситуации, описывающей состояние предметной области.

Согласно (2) такую ситуацию можно описать совокупностью микроситуаций типа:

микроситуация 1 – описывает состояние парка устройств;

микроситуация 2 – описывает финансовые затраты предприятия в результате сервисного обслуживания (командировки, премии и т.д.);

микроситуация 3 – описывает характеристики сервисного обслуживания парка банкоматов;

микроситуация 4 – описывает деятельность департамента логистики.

Этап 3 – гранулирование микроситуаций.

Учитывая то, что каждая микроситуация ассоциируется с объектом в некотором состоянии, проведем такие исследования.

Рассмотрим **микроситуацию 1**. Объектом данной микроситуации является парк банкоматов O_1 , находящийся в состоянии S_1 . Опишем состояние данного объекта, используя его гранулирование. Таким образом, согласно (3) получаем представление объекта через совокупность гранул. В нашем случае такой гранулой является единица устройства, например, банкомат. После этого необходимо определить атрибуты каждой гранулы и их возможные значения.

Итак, рассмотрим гранулу G_{1i} –автомат финансового самообслуживания. Выделим атрибуты, описывающие его состояние (4): $\{A_{ik}\}$ – параметры установки банкомата; $\{A_{im}\}$ – параметры эксплуатации банкоматов; $\{A_{in}\}$ – параметры, описывающие состояние узлов и блоков; $\{A_{ip}\}$ – другие параметры.

Аналогичным образом, рассматривая **микроситуацию 3**, выделим объект $O_3 = O_1$, находящийся, для этой микроситуации, в состоянии S_3 и гранулированный на составляющие $\{G_{3i}\}$, каждая из которых обладает следующими атрибутами: A_{i1} – количество зарегистрированных заявок; A_{i2} – количество просроченных заявок; A_{i3} – количество невыполненных заявок; A_{i4} – среднее время в ремонте; A_{i5} – количество использованных запчастей; A_{i6} – среднее время выполнения заявки.

В результате мы получим вектор входных параметров X для рассматриваемой ситуации, как совокупность определенных выше атрибутов, имеющий структуру S .

Этап 4 – определение комплексной целевой программы (КЦП).

На данном этапе производится формирование совокупности мероприятий, называемых в дальнейшем «проектами», объединенных единством главной цели и общими ресурсами.

Сформируем КЦП для исследуемой предметной области:

- автоматизация процесса регистрации заявок на сервисное обслуживание;
- оптимизация распределения материальных и человеческих ресурсов;
- повышение квалификации сотрудников сервисной службы;
- оптимизация схемы логистики;
- внедрение средств моментального оповещения;
- введение дополнительных процедур по профилактике устройств;
- создание нестандартных решений по защите устройств от несанкционированного вмешательства.

Применим для полученной целевой программы процедуру гранулирования, т.е. представим каждый исход как микроситуацию, состоящую из множества объектов, обладающих определенным набором атрибутов. В результате, аналогично процедуре с входными параметрами, получим вектор выходных параметров Y , имеющий структуру U .

Таким образом, мы получили отображение множества микроситуаций, описывающих входную информацию на множество микроситуаций, описывающих исходы, т.е. выражение (2).

Этап 5 – построение зависимости между входными и выходными параметрами ситуации.

На данном этапе необходимо найти множество базисных функций, определяющих отображение множества входных параметров в исходы ситуации. Для построения такой зависимости будем использовать понятие юнитов и кластеров, описанное в п.5 настоящей статьи. В результате получим коэффициенты влияния одних параметров на другие и их структурную зависимость.

Этап 6 – вычисление показателей эффективности принятых проектов.

7. Заключение

Новизна данного подхода заключается в использовании оригинального метода, который основывается на рассмотрении исследуемого процесса как совокупности ситуаций, представленных в гранулированном виде. Это позволяет учесть сотни факторов и их прямых и обратных связей, что не под силу при “ручной” технологии поддержки решений, а также динамически оценить альтернативы принимаемого решения.

СППР, построенные таким образом, являются инструментом для оказания помощи лицу, принимающему решение, в решении таких задач:

- количественный анализ влияния внешних факторов на выбранные главную или промежуточные цели;
- определение перспективных направлений выполнения комплексной целевой программы;
- определение показателей относительной эффективности вариантов решений относительно конкретных действий (проектов), направленных на выполнение.

Таким образом, в результате проведенных исследований были разработаны теоретические и прикладные основы построения информационных технологий для автоматизации функциональных задач управления в области сервисного обслуживания банкоматов и предложена модель такой системы, которая позволит увеличить эффективность работы сервисной службы.

Предлагаемая модель используется для решения не одной, а целой совокупности проблем, возникающих при стратегическом планировании в предметной области и повседневной деятельности по управлению объектами предметной области.

Реализация данной системы предполагается с использованием механизма нейронных сетей. Однако для этого еще предстоит решить несколько задач, а именно, выбор и описание существенных параметров предметной области, выявление взаимосвязи между параметрами, оптимизация, выбор структуры и характеристик нейронной сети для реализации системы.

Несмотря на это, следует отметить, что в дальнейшем могут быть созданы интеллектуальные системы с нервно-системной организацией структуры, функций и поведения, в основе которых будут лежать рассмотренные принципы.

Список литературы: 1. *Станкевич Л.А.* Когнитивные нейробиологические системы управления // Проблемы нейрокибернетики. Материалы XII Международной конференции по нейрокибернетике (Ростов-на-Дону, октябрь 1999), Ростов-на-Дону, 1999. 2. *Ларичев О.И., Петровский А.В.* Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. Т.21. М. ВИНТИ, 1987. 3. *Мушик, Мюллер.* Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1992.

Поступила в редколлегию 18.02.2009

Кузмин Александр Яковлевич, д-р техн. наук, проф. кафедры информатики, начальник инновационно-маркетингового отдела ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

Головий (Гусарь) Наталья Владимировна, аспирантка кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: системный анализ данных. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 702 15 15, e-mail: rica1982@mail.ru.

Ясер Даюб, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: системный анализ данных. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина,14, тел. (057) 702 15 15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается возможность моделирования экономических нелинейных процессов на основе использования понятий теории катастроф. Показывается, что широко применяемые модели экономических процессов могут быть преобразованы в каноническое уравнение «сборки» [1], что приводит к возникновению такой области в пространстве фазовых переменных развития, в которой могут произойти скачки либо в лучшую сторону, либо наоборот, типа обвала. В настоящее время в экономике такие свойства представляются весьма актуальными.

1. Введение

В настоящее время, как принято считать, экономические процессы находятся в состояниях, обусловленных мировым кризисом. Однако с нашей точки зрения было бы более правильным считать, что в мире возникла интерференция кризисов, среди которых очевидно наличие кризисов государственного уровня, отраслевого уровня, кризисов на уровне отдельно взятого предприятия и т.д. Среди всего множества кризисов имеют место и кризисы банковской системы. Таким образом, понятие мировой кризис может рассматриваться как результат интерференции множества кризисов. Отсюда актуальным становится вопрос о природе собственно кризиса. Постановка задачи представляет собой следующее: имеется экономическая система, в которой известны зависимость функции от нескольких переменных величин, такая зависимость представляет собой некоторую поверхность в n -мерном пространстве. Если поверхность не имеет особенностей, то анализ различных связей между параметрами (типа изокванты, изокосты) является достаточно изученным. Однако если поверхность имеет особенности, связанные с конкретным типом функций, то в этом случае в экономических системах можно ожидать скачкообразного изменения значения функции при изменении вводимых факторов.

Цель работы состоит в исследовании аналитических функций типа многочлена n -ной степени, применяемых в экономике в качестве производственных функций, функций общих затрат на наличие так называемых «сборок», которые являются предметом изучения в теории катастроф.

Задача заключается в том, чтобы преобразовать модель экономического баланса в каноническое уравнение сборки и найти соотношение между вводимыми факторами, при котором имеет место зарождение области неустойчивых состояний.

Метод заключается в аналитическом доказательстве того, что некоторые виды моделей экономических процессов могут иметь аттракторы.

Структура: Преобразование модели экономического баланса в каноническое уравнение сборки > Определение соотношения между вводимыми факторами, при которых возможна катастрофа в экономической системе > Расчет.

Актуальность исследования «сборок» для экономических проблем состоит в том, что их наличие указывает на негладкий скачкообразный путь развития, при котором могут быть как прогрессивные, так и регрессивные резкие изменения[1].

2. Преобразование модели экономического баланса в каноническое уравнение сборки

Источниками теории катастроф являются теория особенностей гладких отображений Уитни и теория бифуркаций динамических систем Пуанкаре и Андронова[2]. С математической точки зрения теория особенностей является обобщением исследования функций на максимум и минимум. В теории Уитни [3] функции заменены отображениями, т. е. наборами нескольких функций нескольких переменных. Слово «бифуркация» означает раздвоение и употребляется в широком смысле для обозначения всевозможных качественных перестроек различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. Катастро-

фами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий. К. Зиман предложил называть совокупность теории особенностей и ее приложений теорией катастроф. Поскольку в основе теории катастроф лежит теория особенностей гладких отображений, постольку естественно предположить, что если экономические процессы можно представить в терминах анализа поверхностей, описанных в трехмерном пространстве, то нельзя исключать возможность появления «складок» или «сборок», т.е. особенностей, которые являются единственными существующими моделями катастроф.

Известно, что отображение поверхности производства, зависящего от двух вводимых факторов, на плоскость позволяет получать изокванты производственной функции, т. е. функциональную связь «фактор – фактор»[4]. Это означает, что каждой точке поверхности ставится в соответствие точка на плоскости проекции.

Можно предположить, что при определенном образом заданной функции производства на поверхности образуются особенности такого типа, как показано на рис. 1, т.е. на ней могут образоваться сборки. Тогда, если изменение вводимого фактора X происходит в сторону увеличения, то может произойти «обвал производства» и, наоборот, если происходит выведение фактора, его уменьшение, то может произойти скачкообразное увеличение производства. Проанализируем возможность подобного случая: если мы покажем, что модель, описывающую связь экономических характеристик производства можно привести к каноническому уравнению сборки, то отсюда следует, что в моделируемом процессе возможно наличие катастрофы типа сборки.

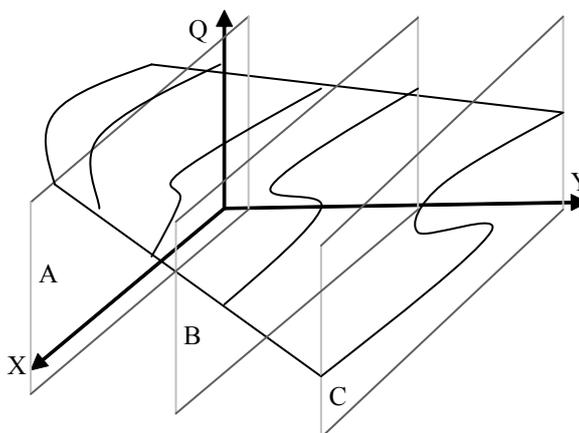


Рис. 1. Появление на поверхности особенности типа «сборки»

В качестве примера моделирования приведем анализ функции издержек некоторого хозяйствующего субъекта на объем производства. Известно, что издержки I являются функцией объема производства Q, а также зависят от внешних факторов X и Y: $I = \frac{Q * Y}{X}$, где Y – относительная величина приращения инвестируемого капитала в производство; X – индекс инфляции.

Как видно из рис. 1, сечение плоскостями A, B, C приводит к образованию в нем абсолютно различных функций, которые являются собственно функциями издержек от одного вводимого фактора - инвестиций. При этом сечения плоскостями (рис.2, A, B, C) соответствуют различным значениям инфляции. Видно, что как только на рис. 1 появляется сборка, сразу же в сечении появляются особенности (рис.2, B, C), а именно стационарные точки, где могут появиться экстремумы, многозначности, перегибы. Проекция на плоскость вводимых факторов становится многозначной функцией (рис.2).

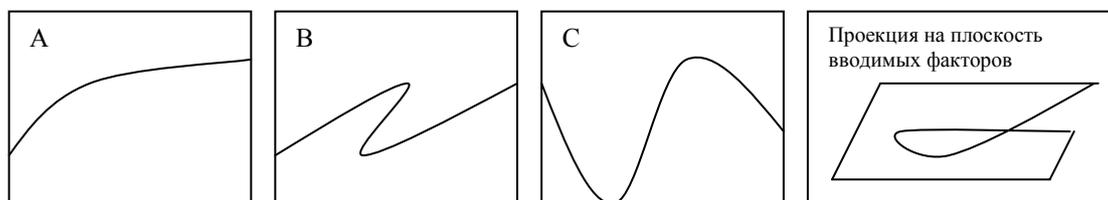


Рис.2. Сечения поверхности функции плоскостями и проекция поверхности на плоскость вводимых факторов

Используя один из допустимых видов описанных выражений, приравняем затраты I к общим затратам фирмы, которые, согласно теории затрат, имеют вид многочлена [4]:

$$\frac{Q * Y}{X} = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^3 \quad (1)$$

Преобразуем уравнение в виде канонического уравнения «сборки» для переменной Q:

$$a_2 Q^3 + (a_1 - \frac{Y}{X})Q + a_0 = 0 . \quad (2)$$

Интегрируем левую часть (2):

$$\begin{aligned} \int Q &= \int (a_1 - \frac{Y}{X})Q dQ + \int a_2 Q^3 dQ + \int a_0 dQ = (a_1 - \frac{Y}{X}) \frac{Q^2}{2} + a_2 \frac{Q^4}{4} + a_0 Q = \\ &= \frac{1}{4} a_2 Q^4 + \frac{1}{2} Q^2 (a_1 - \frac{Y}{X}) + a_0 Q = \frac{1}{4} (4\sqrt[4]{a_2} Q)^4 + \frac{1}{2} (Q \sqrt{a_1 - \frac{Y}{X}})^2 + a_0 Q; \end{aligned}$$

введем замены переменных:

$$Z = 4\sqrt[4]{a_2} Q; \quad a = \frac{a_1 - \frac{Y}{X}}{\sqrt{a_2}}; \quad b = \frac{a_0}{4\sqrt[4]{a_2}} .$$

Получаем следующий вид функции моделируемого процесса:

$$V = \frac{1}{4} Z^4 + \frac{1}{2} a Z^2 + b Z, \quad (3)$$

которая соответствует канонической форме уравнения сборки [1]

$$X(l_0; M_1; M_2) = \frac{1}{4} l_0^4 + \frac{1}{2} M_2 l_0^2 + M_1 l_0 .$$

3. Определение соотношения между вводимыми факторами, при которых возможна катастрофа в экономической системе

Для поиска стационарных точек и возможности их слияния (т.е. наличие так называемых аттракторов) продифференцируем функцию (3) по Z:

$$V' = Z^3 + aZ + b = 0; \quad (4)$$

$$V'' = 3Z^2 + a = 0. \quad (5)$$

Из (5) получаем $Z = \sqrt{\frac{-a}{3}}$ и подставим его в уравнение (4):

$$\left(\sqrt{\frac{-a}{3}}\right)^3 + a\sqrt{\frac{-a}{3}} + b = -\frac{a}{3}\sqrt{\frac{-a}{3}} + a\sqrt{\frac{-a}{3}} + b = a\sqrt{\frac{-a}{3}}\left(-\frac{1}{3} + 1\right) + b = \frac{2}{3}a\sqrt{\frac{-a}{3}} + b = 0 .$$

После несложных преобразований получим

$$27b^2 + 4a^3 = 0. \quad (6)$$

Таким образом, получилось уравнение проекции поверхности балансового уравнения издержек в форме канонического уравнения поверхности катастрофы типа сборки на плоскость вводимых факторов (Y, X).

Подставляем в (6) введенные ранее обозначения:

$$27\left(\frac{a_0}{4\sqrt[4]{a_2}}\right)^2 + 4\left(\frac{a_1 - \frac{Y}{X}}{\sqrt{a_2}}\right)^3 = 0 .$$

Решая это уравнение относительно $\frac{Y}{X}$, получаем

$$27 \frac{a_0^2}{\sqrt{a_2}} = -\frac{4(a_1 - \frac{Y}{X})^3}{a_2 \sqrt{a_2}}; \quad \frac{3}{\sqrt[3]{4}} \sqrt[3]{a_0^2 a_2} + a_1 = \frac{Y}{X}; \quad \frac{3}{\sqrt[3]{4}} a^{\frac{2}{3}} a^{\frac{1}{3}} + a_1 = \frac{Y}{X}. \quad (7)$$

Введя обозначение

$$A = \frac{3}{\sqrt[3]{4}} a^{\frac{2}{3}} a^{\frac{1}{3}} + a_1, \quad (8)$$

с учетом уравнения связи между вводимыми факторами в виде $A = \frac{Y}{X}$ получаем $Y = AX$.

4. Пример

Пусть функция общих затрат предприятия имеет вид: $I = 0,18 + 3 * 10^{-2} Q + 3,13 * 10^{-5} Q^3$. Подставив известные коэффициенты в выражение (8), получим значение коэффициента А:

$$A = \frac{3}{\sqrt[3]{4}} * (0,18)^{\frac{2}{3}} * (3,13 * 10^{-5})^{\frac{1}{3}} + 3 * 10^{-2}; A = 0,03; Y = 0,03X.$$

Таким образом, получено соотношение, позволяющее определить начало области неустойчивых состояний в развитии процесса изменения издержек при изменении вводимых факторов (проекция точки начала сборки Q_0 на плоскость).

5. Выводы

Показаны возможности углубленного анализа экономических процессов при наличии области неустойчивых состояний. Ввиду появления возможности попадания в участок, где существует сборка, необходимо разработать соответствующие меры (технологии), направленные на то чтобы траектория развития производства с такой функцией издержек привела к скачку не в сторону возрастания, а, наоборот, в сторону снижения издержек. В качестве примеров применения такого анализа может быть национальный продукт, общие издержки производства предприятия или другие в том случае, если на основе предшествующих периодов построена аналитическая функция, исследовав которую мы обнаружим особенности, позволяющие выбрать правильные решения о полезности выбираемой траектории развития системы или экономических процессов для ее совершенствования в дальнейшем развитии.

Научная новизна работы состоит в исследовании аналитических функций типа многочлена n -й степени, применяемых в экономике в качестве производственных функций, функций общих затрат и т.д. на наличие так называемых «сборок», которые являются предметом изучения в теории катастроф. Важность «сборок» для экономических проблем состоит в том, что их наличие указывает на негладкий скачкообразный путь развития, при котором могут быть как прогрессивные, так и регрессивные резкие изменения.

Практическая значимость заключается в том, что показаны возможности углубленного анализа экономических процессов при наличии математической модели, учитывающей факторы внешней и внутренней среды. В качестве примеров применения такого анализа может быть национальный продукт, общие издержки производства предприятия или другие в том случае, если на основе предшествующих периодов построена аналитическая функция, исследовав которую мы обнаружим особенности. Это позволит выбрать правильные решения о дальнейшем развитии.

Список литературы: 1. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука. 1990. С. 128. 2. Андронов А.А. Математические проблемы теории автоколебаний // I Всесоюзная конференция по колебаниям. М.; Л.: ГТТИ, 1933. С. 32-72. 3. Андронов А.А. Собр. Соч. М., 1956. с. 85-124. 4. Whitney H. On singularities of Mappings of Euclidean Spaces I. Mappings of the Plane into the Plane // Ann. Math. 1955. V.62. P.374-410. 5. Сью К.К. Управленческая экономика: Пер. с англ. М.: ИНФРА. М, 2000. 671с.

Поступила в редколлегию 22.03.2009

Тимофеев Владимир Александрович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой экономической кибернетики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8 (057) 70-21-490.

Денисова Ирина Георгиевна, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры экономической кибернетики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8 (057) 70-21-490, e-mail: vladira36@rambler.ru

Савченко Наталья Сергеевна, студентка гр. ЭК-05-2 факультета прикладной математики и менеджмента ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 8 (057) 70-21-490, e-mail: Nataxa88@yandex.ru.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА

Рассматривается модель процесса функционирования производственного участка, позволяющая осуществлять моделирование процессов контроля хода производства, базирующегося на использовании единиц оборудования.

Введение

В управлении предприятием подсистема оперативно – диспетчерского управления производством (ОДУП) занимает центральное место, так как является основной функциональной подсистемой интегрированной системы управления предприятием, оказывающей наибольшее влияние на эффективность деятельности предприятия и служащей связующим звеном между всеми другими подсистемами [1].

Диспетчирование представляет собой сочетание централизованного непрерывного контроля и оперативного регулирования хода производства в целях обеспечения равномерного и комплектного выполнения номенклатурного плана. Особое значение для ритмичного хода производства и выполнения плана имеют функции предупредительного контроля отклонений от установленного графика и контроля оперативной подготовки последующих смен. Основными функциями ОДУП являются [1]:

- непрерывный учет текущей информации о фактическом ходе работ по выполнению установленного графика производства и сменно-суточных заданий;
- принятие оперативных мер по предупреждению и устранению отклонений от плана и различных перебоев в ходе производства;
- выявление и анализ причин отклонений от установленных плановых заданий и календарных графиков производства;
- координация текущей работы взаимосвязанных звеньев производства в целях обеспечения ритмичного хода работы по установленному графику;
- организационное руководство оперативной подготовкой регулярного обеспечения выполнения календарных графиков производства.

Диспетчирование успешно служит поставленным целям при четкой организации оперативного планирования производства, непосредственным продолжением которого оно является, регулярности контроля и наблюдения за ходом производства, для чего необходима своевременная и точная оперативная информация о фактическом выполнении сменных заданий и планов-графиков изготовления и выпуска продукции, а также обо всех неполадках, возникающих в процессе производства. Анализ предметной области и литературных источников [1, 2, 4] показал, что при внедрении автоматизированных систем управления производством основное внимание уделяется бизнес-процессам, связанным с поставками, сбытом, административно-финансовым управлением. Проблемам автоматизации основных производственных процессов и задачам оперативно-диспетчерского управления уделяется мало внимания [2]. На производственном уровне большинства машиностроительных предприятий в настоящее время доминирует «лоскутная» автоматизация, отсутствует единая информационная среда, которая могла бы стать основой системы оперативного управления производством на уровне участка, цеха. Первым шагом на пути к эффективному управлению ходом производства является разработка и внедрение автоматизированной системы оперативного учета хода производства. Только при наличии актуальной и достоверной информации о состоянии производства можно ставить и решать задачи его оперативного регулирования. Для синтеза оптимальных регулирующих воздействий на ход производства необходимо располагать адекватной математической моделью производственного процесса.

Цель данного исследования – разработать модель функционирования производственного участка, позволяющую моделировать ход производства, осуществлять непрерывное сравнение выходной информации с входной (плановой) на различных стадиях производства, при котором выявляются отклонения и принимаются решения об их устранении. Использование такой модели в оперативном управлении позволит вносить текущие коррективы в разработанные планы-графики и сменные задания и, тем самым, снабжать органы диспетчеризации необходимыми данными для контроля и регулирования хода производства.

1. Постановка задачи

Рассмотрим основные предпосылки и допущения, лежащие в основе разрабатываемой модели процесса функционирования участка механосборочного производства. Участок располагает оборудованием определенного типа. За плановый период на нем должно быть обработано множество изделий, состоящих из определенного количества компонент. План выпуска готовых изделий задается с разбивкой на подпериоды планового периода (данные для решения задачи получаем из графика сдачи продукции по участку за плановый период времени). Известны технологические маршруты движения компонент в процессе их обработки. Известны нормы затрат времени на обработку каждого компонента, а также время транспортировки от одного рабочего места к другому. Если единица оборудования (ЕО), указанная в маршрутном списке, свободна, то компонент начинает обрабатываться, в противном случае он поступает в очередь на обработку.

2. Формальное описание модели функционирования производственного участка

Процесс поступления и обработки компонент для одного изделия можно представить в виде схемы (рис. 1).

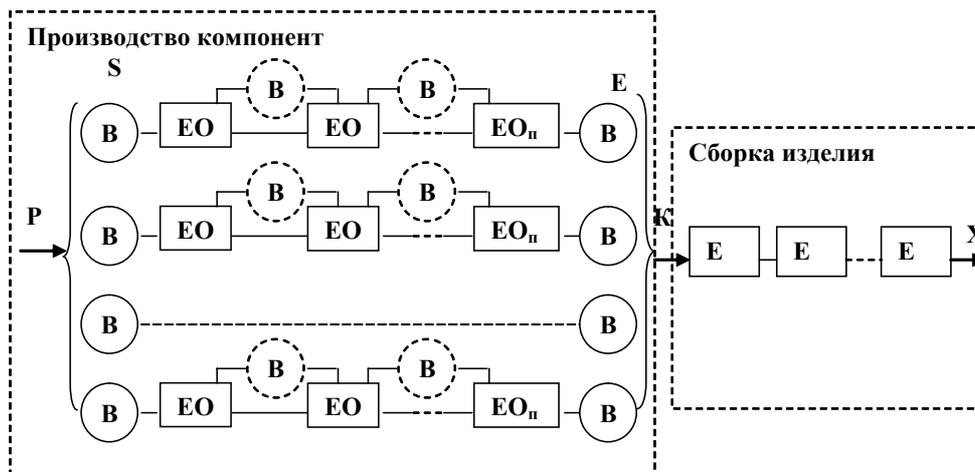


Рис. 1. Линия производства компонент

Для получения математической модели описания функционирования участка производства введем следующие обозначения: X_i – план выпуска изделий; $A = \{a_i; i = 1, M\}$ – множество изделий; K – компоненты, из которых состоит каждое изделие a_i , т.е. каждому a_i соответствует множество: $A_i = \{a_{ik}; i = 1, M, k = 1, K\}$. Изготовление каждого компонента a_{ik} включает последовательность выполнений N_K технологических операций на N_K рабочих местах. Положим t_{ik}^n – длительность обработки компонента a_{ik} на n -м рабочем месте; t_i – длительность операции сборки изделия a_i ; $\tau_{ik}^n, n = 1, n$ – время транспортировки компонент между станками. Опишем условия идеального функционирования производственного участка выражением:

$$\sum_{n=1}^{N_K} t_{ik}^n + \sum_{n=2}^{N_K} \tau_{ik}^n = t_i^1; \forall_k = \overline{1, K}, \forall_i = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Тогда условия допустимого функционирования участка запишем в виде:

$$\sum_{n=1}^{NK} t_{ik}^n + \sum_{n=2}^{NK} \tau_{ik}^n \leq t_i^1. \quad (2)$$

Состояние входных накопителей линий производства компонентов в момент времени $t = j\Delta t$, $j = 1, 2, 3, 4, \dots$ определяется величиной: $B_{ik}^S(t)$; $i = \overline{1, M}$; $K = \overline{1, K}$, а состояние выходных накопителей линий производства компонентов – величиной $B_{ik}^E(t)$.

Опишем изменение состояния накопителей производственного участка на входе и на выходе линии производства выражениями:

$$B_{ik}^S(j+1) = B_{ik}^S(j) + P_{ik}(j+1), \quad (3)$$

$P_{ik}(j+1)$ – приход комплектующих из других цехов ($j, j+1$);

$$B_{ik}^E(j+1) = B_{ik}^E(j) - \frac{\Delta t}{t_i^1} + \frac{\Delta t}{t_{ik}^{Nk}}. \quad (4)$$

Выпуск продукции:

$$X_i(j+1) = X_i(j) + \frac{\Delta t}{t_i}. \quad (5)$$

Для визуализации процесса функционирования производственного участка разработано инструментальное средство – программное окно, которое представлено на рис. 2. Для более точного отображения процесса функционирования рассматриваем следующие состояния ЕО:

- исправно, но не используется;
- в состоянии подготовки к работе;
- в работе;
- неисправно.

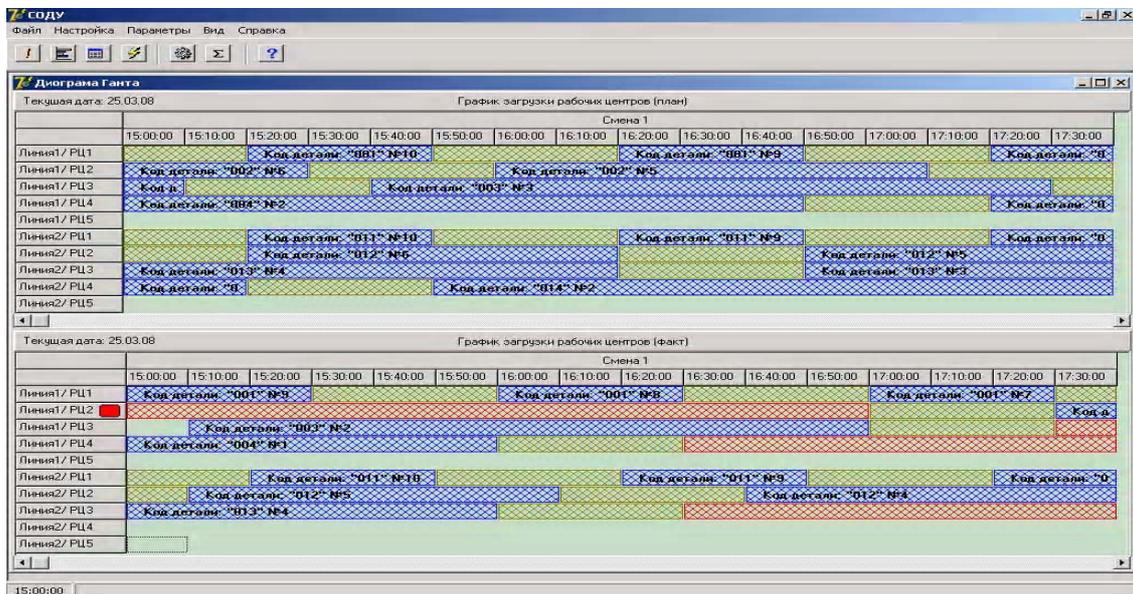


Рис. 2. Программное окно модели функционирования ПУ

Выводы

Полученная модель:

- отображает процесс функционирования производственного участка;
- имеет открытую архитектуру, что позволяет изменять структуру моделируемого участка;

- позволяет в ускоренном масштабе времени воспроизвести различные режимы работы производственного участка, что в реальных условиях невозможно, сравнить варианты и оценить качество планирования и оперативно-диспетчерского управления;
- сохраняет с требуемой наблюдателю степенью адекватности логическую структуру явлений и процессов, а также характер и структуру информации о состоянии производства;
- позволяет осуществлять непрерывный контроль хода производства путем сравнения планового графика загрузки рабочих центров с фактическим состоянием производства;
- позволяет своевременно выявить отклонения от установленных планов-графиков и текущих заданий и оперативно принять меры по их устранению.

Перечисленные свойства модели функционирования ПУ позволяют использовать ее как инструментальное средство для исследования свойств моделей и алгоритмов оперативно-диспетчерского управления производственным участком, в частности для управления простоями и оперативной коррекции планов производства при непредвиденных отказах оборудования.

Список литературы: 1. *Бигель Дж.* Управление производством. Количественный подход. М.: Мир, 1973. 343 с. 2. *Гориков А.Ф., Евтеев Б.В., Кориунов В.А.* и др. Компьютерное моделирование менеджмента: Учебное пособие. М.: Издательство «Экзамен», 2004. 528 с. 3. *Гаврилов Д.А.* Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб: Питер, 2002. 320 с. 4. *Леньшин В.Н., Куминов В.В.* Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию // Мир компьютерной автоматизации. 2002. № 1–2. С. 53–59. 5. *Петренко В.Р., Кашуба С. В.* Моделирование оптимальной последовательности обработки деталей производственного участка // 12 – й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.»: Зб. матеріалів форуму Ч.2. Харків: ХНУРЕ, 2008. 520 с.

Поступила в редколлегию 26.01.2009

Оксанич Ирина Григорьевна, канд. техн. наук, доцент, профессор Кременчугского университета экономики, информационных технологий и управления. Научные интересы: системы оперативного управления производством. Адрес: Украина, 36000, Кременчуг, ул. Пролетарская, 24/37.

Кашуба Светлана Владимировна, доцент Кременчугского университета экономики, информационных технологий и управления. Научные интересы: системы оперативного управления производством. Адрес: Украина, 36000, Кременчуг, ул. Пролетарская, 24/37, e-mail: Kashuba7@mail.ru.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ КАК УПРАВЛЯЕМЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Приводится формулировка процесса проектирования аналоговых цепей на основе применения теории управления. Такой подход позволяет представить задачу оптимизации цепи как управляемый динамический процесс. Задача определения оптимального по быстродействию алгоритма проектирования формулируется как задача минимизации функционала в теории управления. Обсуждаются свойства и характеристики различных стратегий проектирования, которые могут служить основой для построения оптимального алгоритма.

1. Введение

Задача сокращения чрезвычайно большого процессорного времени является одной из существенных проблем проектирования больших систем. Традиционный подход к проектированию включает две основные части: а) анализ модели системы, которая может быть описана алгебраическими или интегро-дифференциальными уравнениями, и б) процедура параметрической оптимизации, благодаря которой достигается оптимум целевой функции. Время, необходимое для анализа модели электронной системы, и время, связанное с расчетом характеристик процедуры оптимизации, растет с увеличением сложности системы.

Известны традиционные методы сокращения необходимого времени анализа системы. Благодаря разреженной структуре матрицы проводимости электронной схемы многие идеи для работы с разреженными матрицами успешно реализованы [1]. Иной путь уменьшения числа операций для анализа электронных схем связан с идеей декомпозиции, т.е. разбиения большой системы на ряд подсистем с дальнейшим анализом этих подсистем и сшиванием результатов для получения полного решения [2–3]. Расширение методов прямого решения было получено также на основе иерархической декомпозиции и представления макромоделей [4].

Техника оптимизации, используемая при оптимизации и проектировании электронных схем, тоже оказывает существенное влияние на общее количество операций и процессорное время [5]. Практические аспекты использования этих методов развиты для задач проектирования электронных схем с учетом оптимизации по различным критериям [6–7]. Фундаментальные проблемы развития, разработки структур и вопросов адаптации САПР рассмотрены в ряде работ [8–9]. Эти идеи были успешно развиты и стали основой для многих учебных и профессиональных пакетов анализа и проектирования электронных схем [10–12].

Изложенные выше идеи проектирования соответствуют традиционному подходу в том смысле, что метод анализа электронной цепи основан на соблюдении законов Кирхгофа. Иная формулировка задачи оптимизации цепи без точного соблюдения законов Кирхгофа предложена в работе [13]. Этот процесс назван обобщенной оптимизацией и был основан на идее игнорирования законов Кирхгофа для части схемы или для всей схемы в целом. При этом требовалось помимо минимизации целевой функции процесса оптимизации минимизировать также невязку системы уравнений модели цепи. В крайнем случае, когда в невязку включались все уравнения математической модели цепи, эта идея была практически реализована в двух системах проектирования, в первой – при оптимизации микроволновой цепи [14], во второй – при синтезе больших аналоговых цепей [15]. Последняя идея может быть определена как традиционная модифицированная стратегия проектирования. В отличие от традиционной стратегии, включающей анализ модели системы на каждом шаге процедуры оптимизации, традиционная модифицированная стратегия проектирования может быть определена как стратегия, вообще не включающая анализ модели в процессе оптимизации.

Задача проектирования системы может быть переформулирована и формализована на основе применения теории управления [16]. Эта новая методология обобщает задачу проектирования и определяет процедуру проектирования системы как динамический процесс с управлением. При этом были определены специальные управляющие функции, введенные искусственно, для управления процессом проектирования путем перераспределения затрат машинного времени между блоком анализа системы и блоком оптимизации. В этом случае появляется множество различных стратегий проектирования, обладающих различным процессорным временем. Можно определить задачу поиска на этом множестве одной из стратегий, наилучшей в смысле быстродействия. С точки зрения машинного времени, оптимальная стратегия проектирования может быть определена как стратегия, которая достигает оптимальную точку целевой функции процесса проектирования за минимальное время. Процесс построения оптимального по времени алгоритма проектирования системы сводится к задаче поиска оптимального управления, т.е. к типичной задаче теории управления.

2. Формулировка задачи

Задача проектирования физической системы может быть сформулирована как процесс минимизации целевой функции $C(X)$ для $X \in R^N$ с ограничениями, где в качестве таковых выступает математическая модель физической системы. Предполагается, что достигнув минимума целевой функции, мы достигаем всех целей проектирования. Это могут быть, например, необходимые заданные частотные или временные характеристики электронной системы.

Предположим, что проектируемая система имеет в качестве математической модели систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$g_j(X) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (1)$$

Вектор X может быть разбит на две части: $X = (X', X'')$, где вектор $X' \in R^K$ – вектор независимых переменных, K – число независимых переменных, вектор $X'' \in R^M$ – вектор зависимых переменных, M – число зависимых переменных и $N = K + M$. Разбиение вектора X на зависимые и независимые переменные является достаточно условным, так как любой параметр может быть принят в качестве независимого или зависимого.

Процесс минимизации целевой функции $C(X)$ для двухшаговой процедуры в общем случае может быть описан следующим векторным уравнением:

$$X^{s+1} = X^s + t_s \cdot H^s(X), \quad (2)$$

где s – номер итерации, t_s – итерационный параметр, $t_s \in R^1$, H – функция, задающая направление уменьшения целевой функции $C(X)$. Вектор H зависит от функции $C(X)$, и зависимость эта определяется примененным методом оптимизации. Это есть типичная формулировка задачи условной оптимизации, при которой (1) является системой ограничений.

Специфический характер процесса проектирования электронных схем состоит в том, что нет необходимости выполнять условия (1) для каждого шага процесса оптимизации и вполне достаточно удовлетворить этим условиям в конечной точке процесса проектирования. Как показано в работе [16], задача (1)-(2) может быть переформулирована так, что все или часть зависимых переменных могут быть трансформированы в независимые. В этом состоит основной принцип реорганизации задачи (1)-(2). При этом некоторые или все уравнения системы (1) исчезают, а вместо них появляется дополнительная штрафная функция, обобщающая целевую функцию $C(X)$. Новая обобщенная целевая функция проектирования $F(X)$ может быть определена, например, как следующая аддитивная функция:

$$F(X) = C(X) + \varphi(X). \quad (3)$$

Структура штрафной функции $\varphi(X)$ должна содержать информацию об уравнениях, исключенных из системы (1). Крайний случай, когда все уравнения системы (1) удалены, можно идентифицировать как модифицированную традиционную стратегию проектирова-

ния. Именно эта стратегия применялась в системах проектирования [14-15]. Число возможных реорганизаций задачи (1)-(2) зависит от числа первоначально зависимых переменных M и равно 2^M . Каждая новая форма задачи (1)-(2) определяет новую стратегию проектирования и соответствующую ей траекторию. В этом случае имеет смысл определение задачи поиска оптимальной стратегии и траектории проектирования, которые обеспечивают минимальное число операций и минимальное компьютерное время. Этот аспект обсуждался в работе [16], где показано, что такая постановка задачи имеет смысл и что оптимальная стратегия может быть отлична как от традиционной стратегии, так и от модифицированной традиционной стратегии проектирования.

Более высокий уровень обобщения проблемы проектирования был получен на основе переформулирования задачи проектирования в терминах теории управления. В этом случае процесс проектирования системы мыслится как управляемый динамический процесс, где управление осуществляется специально заданными функциями, которые могут осуществлять реорганизацию структуры задачи (1)-(2) на каждом шаге процедуры оптимизации. При этом формулируется типичная задача теории управления – задача поиска оптимального управления, позволяющего минимизировать некоторый функционал, в нашем случае компьютерное время. Задача (1)-(2) в таком случае трансформируется в задачу:

$$(1 - u_j)g_j(X) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad (4)$$

$$X^{s+1} = X^s + t_s \cdot H^s(X, U), \quad (5)$$

где вектор направленного движения H зависит не только от вектора X , но также от дополнительного вектора U , компонентами которого являются управляющие функции u_j . Форма вектора H определяется методом оптимизации обобщенной целевой функции (3), где структура дополнительной штрафной функции $\varphi(X)$ может быть задана следующей формулой:

$$\varphi(X^s) = \frac{1}{\varepsilon} \sum_{j=1}^M u_j g_j^2(X^s). \quad (6)$$

Вектор U состоит из M компонент $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, где $u_j \in \Omega$; $\Omega = \{0, 1\}$. Смысл управляющих переменных u_j следующий: уравнение номер j присутствует в системе (4), а член $g_j^2(X)$ удалён из правой части формулы (6) в случае, когда $u_j = 0$, и наоборот, уравнение j удалено из системы (4), а соответствующий член появляется в правой части формулы (6), когда $u_j = 1$. Все управляющие переменные u_j являются функциями текущей точки процесса оптимизации. Полное число различных стратегий, появляющихся внутри той же самой процедуры оптимизации, практически бесконечно. Среди них существует одна или несколько стратегий, достигающих всех целей проектирования за минимальное компьютерное время. Задача поиска оптимальной стратегии сформулирована как типичная задача теории оптимального управления. Основным аспектом такой формулировки является поиск оптимальной структуры управляющего вектора.

Возможно определить процесс проектирования системы в терминах теории управления как в дискретной, так и в непрерывной форме. Процедура оптимизации может быть задана следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U). \quad (7)$$

Структура правой части уравнения (7) зависит от применяемого метода оптимизации и например, для градиентного метода компоненты векторной функции $f(X, U)$ определены следующим образом:

$$f_i(X, U) = -\frac{\delta}{\delta x_i} F(X, U), \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad (8)$$

$$f_i(X, U) = -u_{i-K} \frac{\delta}{\delta x_i} F(X, U) + \frac{(1 - u_{i-K})}{dt} [-x_i' + \eta_i(X)], \quad i = K + 1, K + 2, \dots, N, \quad (8')$$

где оператор $\frac{\delta}{\delta x_i}$ здесь и далее означает $\frac{\delta}{\delta x_i} \varphi(X) = \frac{\partial \varphi(X)}{\partial x_i} + \sum_{p=K+1}^{K+M} \frac{\partial \varphi(X)}{\partial x_p} \frac{\partial x_p}{\partial x_i}$, x_i^s равно

$x_i(t - dt)$ и функция $\eta_i(X)$, записанная в неявном виде, определяет текущее значение переменной x_i^{s+1} ($x_i^{s+1} = \eta_i(X)$), которое находится в результате решения системы (4). Системы (4), (7) определяют процесс проектирования в непрерывной форме. Формулы (7), (8) определяют процесс эволюции для независимых переменных и формулы (7), (8') определяют переменные, которые изначально были определены как зависимые, но могут быть также трансформированы в независимые. Преобразование векторов X' и X'' может быть сделано в любой момент времени. Это приводит к появлению практически неограниченного числа различных траекторий проектирования, порожденных системами (4), (7). Каждая траектория соответствует своей стратегии.

Можно утверждать, что нет принципиального отличия между задачами (5) и (7). Задача (5) определяет управляемый динамический процесс в дискретной форме и задача (7) – в непрерывной форме.

Для минимизации полного компьютерного времени проектирования необходимо найти оптимальное поведение управляющих переменных u_j в течение процесса проектирования. Существует одна трудность при рассмотрении системы (7). Функции $f_i(X, U)$ не являются непрерывными как функции времени в конечном числе точек, так как управляющие переменные u_j принимают значение 0 или 1. Задача минимизации функционала (процессорного времени) для системы (7) с не непрерывными или не гладкими функциями $f_i(X, U)$ может быть сформулирована адекватно на основе известного принципа максимума Понтрягина [17]. Основная проблема применения принципа максимума упирается в неизвестные начальные значения дополнительных функций сопряженной системы. Эта проблема имеет адекватное решение только в случае линейной системы (7), как например в работе [18]. В нелинейном случае применяются приближенные итерационные алгоритмы [19-20].

3. Численные результаты

Идея формулировки задачи проектирования системы как задачи минимизации функционала в теории оптимального управления не зависит от применяемого метода оптимизации и может быть встроена в любую процедуру оптимизации. Численные результаты для различных электронных цепей показали, что оптимальный управляющий вектор U_{opt} может быть найден, и при этом полное процессорное время существенно сокращается. Оптимальная стратегия при этом отлична от традиционной стратегии проектирования, когда $u_j = 0, \forall_{j=1,2,\dots,M}$, и от модифицированной традиционной стратегии, когда $u_j = 1, \forall_{j=1,2,\dots,M}$, т.е. идея, реализованная в работах [14, 15], не является оптимальной с точки зрения процессорного времени. Анализ задачи проектирования различных электронных систем позволяет заключить, что потенциальный выигрыш в машинном времени для оптимальной стратегии по сравнению со стратегией традиционной растет при усложнении системы и при увеличении ее размеров [16]. При анализе нижеследующих примеров были приняты такие характеристики. Процесс проектирования был реализован для постоянного тока. В качестве метода оптимизации был выбран градиентный метод. Функция цели $S(X)$ была определена как сумма квадратов разностей между априори заданными и текущими значениями узловых напряжений для некоторых узлов схемы. Конечное значение функции цели задавалось величиной 10^{-9} .

Пусть анализируется пассивная нелинейная электронная цепь, представленная схемой на рис. 1 и имеющая четыре независимых переменных ($K=4$) в качестве проводимостей y_1, y_2, y_3, y_4 и три зависимых переменных ($M=3$) в качестве узловых напряжений V_1, V_2, V_3 . Нелинейные элементы заданы выражениями: $y_{n1} = a_{n1} + b_{n1} \cdot (V_1 - V_2)^2$, $y_{n2} = a_{n2} + b_{n2} \cdot (V_2 - V_3)^2$.

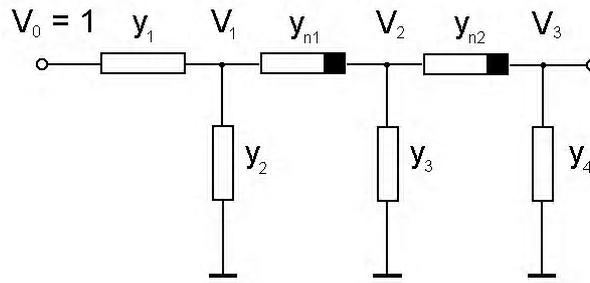


Рис. 1. Схема с четырьмя независимыми ($K=4$) и тремя зависимыми ($M=3$) переменными

Параметры нелинейности b_{n1}, b_{n2} равны 1.0. Компоненты вектора X заданы формулами: $x_1^2 = y_1$, $x_2^2 = y_2$, $x_3^2 = y_3$, $x_4^2 = y_4$, $x_5 = V_1$, $x_6 = V_2$, $x_7 = V_3$. Такое определение компонент вектора X удовлетворяет положительной определенности всех проводимостей, что автоматически снимает проблему физических ограничений для независимых переменных. В этом случае основная система (7) процедуры оптимизации содержит семь уравнений:

$$\frac{dx_i}{dt} = -\frac{\delta}{\delta x_i} F(X, U), \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (9)$$

$$\frac{dx_i}{dt} = -u_{i-4} \frac{\delta}{\delta x_i} F(X, U) + \frac{(1-u_{i-4})}{dt} \{-x_i(t-dt) + \eta_i(X)\}, \quad i = 5, 6, 7,$$

где $F(X, U) = C(X) + \frac{1}{\varepsilon} \sum_{j=1}^3 u_j g_j^2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$. Модель электронной системы включает систему трех нелинейных алгебраических уравнений в соответствии с методом узловых напряжений. Эта система для процесса проектирования записывается в следующей форме:

$$(1-u_j)g_j(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) = 0, \quad j = 1, 2, 3.$$

Результаты анализа полного набора возникающих стратегий проектирования при постоянном управляющем векторе для каждой стратегии представлены в табл. 1. При этом имеется $2^3=8$ различных стратегий. Первая строка таблицы соответствует традиционной стратегии оптимизации цепи. Последняя строка соответствует модифицированной традиционной стратегии. Остальные стратегии суть новые, появившиеся в рамках новой методологии.

Таблица 1

N	Вектор управляющих функций $U(u_1, u_2, u_3)$	Число итераций	Полное процессорное время (сек)
1	(0 0 0)	59	0.229
2	(0 0 1)	167	0.273
3	(0 1 0)	174	0.291
4	(0 1 1)	185	0.154
5	(1 0 0)	63	0.122
6	(1 0 1)	198	0.245
7	(1 1 0)	228	0.258
8	(1 1 1)	293	0.176

Процессорное время для традиционной стратегии с управляющим вектором (000) составляет 0,229 с. Стратегия 5 с управляющим вектором (100) является оптимальной по времени среди всех представленных. Она имеет выигрыш по времени 1,87 раза по сравнению с традиционной стратегией, однако не является оптимальной в общем. Оптимальная, а точнее квазиоптимальная стратегия была найдена путем вариации управляющего вектора U . Полный комплект различных стратегий проектирования табл. 1 в этом случае служит в

качестве структурного базиса для поиска оптимальной стратегии. Результаты этого поиска представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оптимальный вектор управляющих функций $U(u_1, u_2, u_3)$	Число итераций	Точки переключения	Полное процессорное время (сек)	Выигрыш по времени счета
(101); (000); (111)	81	3; 7	0,0636	3,6

Квазиоптимальная стратегия содержит две точки переключения управляющего вектора, и полное процессорное время в этом случае равно 0.0636 с. Эта стратегия имеет выигрыш во времени 3.6 раза по сравнению с традиционной стратегией. Структура и поведение управляющих функций для этого оптимального случая приведены на рис. 2, где t_k – время окончания процесса проектирования.

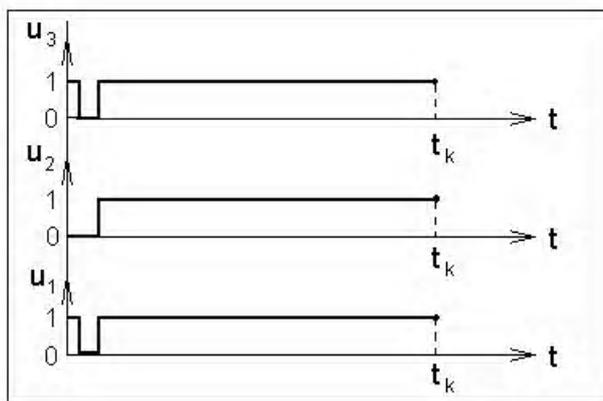


Рис. 2. Оптимальные зависимости управляющих функций

Схема трехкаскадного транзисторного усилителя с семью независимыми переменными ($K=7$) и семью зависимыми переменными ($M=7$) представлена на рис. 3.

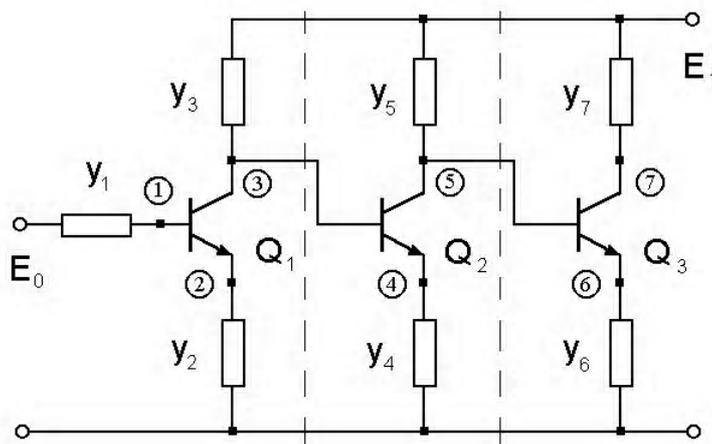


Рис. 3. Схема трехкаскадного транзисторного усилителя, $K=7$, $M=7$

Независимыми переменными являются проводимости $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$, ($K=7$), а зависимыми переменными – узловые напряжения $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$, ($M=7$). Управляющий вектор U включает также семь компонент. Основная система процедуры оптимизации (7) включает 14 уравнений, и модель электронной цепи (4) включает 7 уравнений. Процесс проектирования реализован на постоянном токе с учетом статической модели Эберса-Молла [21] для каждого транзистора. Целевая функция $S(X)$ определена суммой квадратов разностей между априори заданными и текущими значениями напряжений на переходах транзисторов.

Структурный базис этого примера включает $2^7=128$ различных стратегий. Результаты проектирования для традиционной стратегии и некоторых стратегий, имеющих процессорное время меньше, чем традиционная, даны в табл. 3.

Таблица 3

N	Вектор управляющих функций U (u1, u2, ..., u7)	Число итераций	Полное процессорное время (сек)
1	(0 0 0 0 0 0 0)	6379	321.09
2	(0 0 1 0 1 0 1)	922	54.53
3	(0 0 1 0 1 1 0)	1667	80.71
4	(0 0 1 0 1 1 1)	767	35.35
5	(0 0 1 1 1 0 0)	3024	159.67
6	(0 0 1 1 1 0 1)	823	37.73
7	(0 0 1 1 1 1 0)	3068	86.87
8	(0 0 1 1 1 1 1)	553	15.75
9	(0 1 1 0 0 0 0)	2465	83.04
10	(0 1 1 0 1 0 0)	1247	32.48
11	(0 1 1 0 1 1 1)	501	8.82
12	(0 1 1 1 1 0 0)	2643	72.66
13	(0 1 1 1 1 0 1)	507	9.24
14	(0 1 1 1 1 1 0)	3070	67.27
15	(1 0 1 0 1 0 1)	1345	28.07
16	(1 0 1 0 1 1 1)	615	10.01
17	(1 0 1 1 1 0 1)	699	10.71
18	(1 0 1 1 1 1 1)	366	4.97
19	(1 1 1 0 1 0 1)	789	10.43
20	(1 1 1 0 1 1 0)	3893	61.53
21	(1 1 1 0 1 1 1)	749	7.71
22	(1 1 1 1 1 0 0)	4325	90.72
23	(1 1 1 1 1 0 1)	796	8.47
24	(1 1 1 1 1 1 0)	2149	29.26
25	(1 1 1 1 1 1 1)	2031	5.67

Надо заметить, что примерно треть стратегий из 128 имеют процессорное время больше, чем традиционная стратегия, а часть из них вообще не приводит к завершению процесса проектирования при погрешности минимизации функции цели менее 10^{-8} . Стратегия 18 является оптимальной из всего структурного базиса, однако, как и в предыдущем примере, она не является оптимальной в целом. Эта стратегия обеспечивает выигрыш машинного времени в 64.6 раза по сравнению с традиционной. Квазиоптимальная стратегия была получена путем тщательного анализа возможных вариаций управляющего вектора U. Результаты этого анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оптимальный вектор управляющих функций U (u1,u2,u3,u4,u5,u6,u7)	Число итераций	Точки переключения	Полное процессорное время (сек)	Выигрыш по времени счета
(1111111); (1111101)	363	350	1.127	285

Управляющий вектор этой стратегии имеет одну точку переключения. Выигрыш во времени составляет 285 раз. Этот результат позволяет сделать вывод, что потенциальный выигрыш во времени, который возможно получить от оптимальной или квазиоптимальной стратегии, возрастает при усложнении и увеличении размеров проектируемой системы.

В последнем примере для нахождения квази-оптимальной стратегии мы были вынуждены анализировать 128 различных стратегий и на их основе, с учетом возможных вариаций управляющего вектора, конструировать квазиоптимальную траекторию. Ясно, что такой подход правомочен при доказательстве существования стратегий и соответствующих им траекторий, обеспечивающих время меньшее, чем традиционный подход, однако он совершенно не приемлем для реального построения оптимальных стратегий. Потенциальные возможности могут быть реализованы только в случае построения оптимального алгоритма, позволяющего с самого начала и в каждый текущий момент двигаться вдоль опти-

мальной траектории. На данном этапе приоритетными проблемами являются изучение внутренних свойств и возможных ограничений, присущих оптимальному алгоритму, и выработка механизмов, позволяющих производить селекцию различных траекторий проектирования.

4. Заключение

Традиционный алгоритм проектирования систем не является оптимальным по времени. Задача конструирования оптимального алгоритма может быть решена адекватно на основе построения теории оптимального проектирования. Подобная теория может быть развита на основе формулировки проблемы в терминах теории управления. В этом случае необходимо найти оптимальную траекторию проектирования из практически бесконечного множества траекторий, рожденных в рамках обобщенного подхода. Этот поиск может быть осуществлен посредством конструирования оптимального управляющего вектора на основе исследования свойств оптимальной траектории.

Список литературы: 1. *Bunch J.R., Rose D.J.* Sparse matrix computations. New York: Acad. Press, 1976. 2. *Wu F.F.* Solution of large-scale networks by tearing // IEEE Trans. Circuits Syst. 1976. Vol. CAS-23, № 12. P. 706-713. 3. *Sangiovanni-Vincentelli A., Chen L.K., Chua L.O.* An efficient cluster algorithm for tearing large-scale networks // IEEE Trans. Circuits Syst. 1977. Vol. CAS-24, № 12. P. 709-717. 4. *Ruehli A., Sangiovanni-Vincentelli A., Rabbat G.* Time analysis of large-scale circuits containing one-way macromodels // IEEE Trans. Circuits Syst. 1982. Vol. CAS-29, № 3. P. 185-191. 5. *Fletcher R.* Practical methods of optimization. New York: John Wiley and Sons, 1980. 6. *Brayton R.K., Hachtel G.D., Sangiovanni-Vincentelli A.L.* A survey of optimization techniques for integrated-circuit design // Proc. IEEE. 1981. Vol. 69, P. 1334-1362. 7. *Massara R.E.* Optimization methods in electronic circuit design. Harlow. Longman Scientific & Technical, 1991. 8. *Nagel L.W.* SPICE2: A computer program to simulate semiconductor circuits. Electronic Research Laboratory, Rep. No. ERL-M520, University of California Berkeley. 1975. 9. *Ильин В.И.* Ителлектуализация САПР // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30, № 6. С. 5-13. 10. *Сигорский В.П.* Проблемная адаптация в системах автоматизированного проектирования // Изв. высш. учеб. заведений Радиоэлектроника. 1988. Т. 31, № 6. С. 5-22. 11. *Петренко А.И.* Комплексность и адаптивность современных систем автоматизированного проектирования // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. 1988. Т. 31, № 6. С. 27-31. 12. *Норенков И.П.* Разработка структур САПР // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника, 1989. Т. 32, № 6. С. 25-29. 13. *Каширский И.С., Трохименко Я.К.* Обобщенная оптимизация электронных схем. Киев: Техника, 1979. 14. *Rizzoli V., Costanzo A., Cecchetti C.* Numerical optimization of broadband nonlinear microwave circuits // IEEE MTT-S Int. Symp. 1990. Vol. 1. P. 335-338. 15. *Ochotta E.S., Rutenbar R.A., Carley L.R.* Synthesis of high-performance analog circuits in ASTRX/OBLX // IEEE Trans. on CAD. 1996. Vol. 15, № 3. P. 273-294. 16. *Zemliak A.M.* Analog system design problem formulation by optimum control theory // IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2001. Vol. E84-A, № 8. P. 2029-2041. 17. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе П.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969. 18. *Neustadt L.W.* Synthesis of time-optimal control systems // J. of Math. Analysis and Applications. 1960. № 1. P. 484-492. 19. *Крылов И.А., Черноусько Ф.Л.* Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления // ЖВМ и МФ. 1972. Т. 12, № 1. С. 14-34. 20. *Федоренко Р.П.* Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука, 1969. 21. *Massobrio G., P. Antognetti P.* Semiconductor device Modeling with SPICE, New York: Mc. Graw-Hill, Inc., 1993.

Поступила в редколлегию 05.02.2009

Земляк Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент Физико-технического института, Национальный технический университет Украины «КПИ». Научные интересы: анализ и проектирование ВЧ и СВЧ электронных цепей, моделирование, анализ и оптимизация СВЧ приборов, оптимальное проектирование электронных систем. Адрес: Украина, 03056, Киев, пр. Перемоги, 37, корп. 11, тел. +038 044 2416804. E-mail: azemliak@mail.ru.

Маркина Татьяна Михайловна, ассистент Физико-технического института, Национальный технический университет Украины «КПИ». Научные интересы: оптимальное проектирование электронных систем. Адрес: Украина, 03056, Киев, пр. Перемоги, 37, корп. 11, тел. +038 044 2416804. E-mail: martm@inbox.ru.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Рассматриваются различные виды нейронных структур для решения задачи классификации состояний телекоммуникационной сети. Описываются результаты, которые подтверждают эффективность использования конкретных видов нейронных сетей в зависимости от различных исходных данных.

1. Постановка задачи

В настоящее время мировая телекоммуникационная индустрия претерпевает революционные изменения. Постоянное развитие телекоммуникационных технологий, появление новых средств связи ставит перед операторами сетей и провайдерами телекоммуникационных услуг сложные задачи в части поддержания нормативного качества обслуживания. За последние годы структура телекоммуникационных сетей (ТКС) стала более сложной и многоплановой. При проектировании и эксплуатации сетей информационного обмена возникает необходимость в решении ряда задач. Одной из основных в этом ряду является задача разработки моделей процесса управления сетью. Возможная альтернатива классическим методам моделирования процесса управления ТКС являются системы, использующие искусственные нейронные сети. Из сказанного выше можно сделать вывод, что данная задача актуальна.

2. Анализ публикаций по теме исследования

Выделяют следующие основные области применения искусственных нейронных сетей в телекоммуникационных системах [1]:

- управление коммутацией,
- маршрутизация,
- управление трафиком,
- распределение каналов в подвижных системах радиосвязи,
- анализ работы телекоммуникационной сети и выявление аномалий.

В работе [2] аппарат искусственных нейронных сетей используется для моделирования процесса управления маршрутизацией. В течение некоторого времени прибор собирает информацию о состоянии ТКС. На вход нейронной сети поступает информация, в соответствии с которой она находит образ на выходе и устанавливается в состояние равновесия. От анализатора поступает информация в закодированном виде: число узлов в сети; число каналов, соединяющих со следующими узлами в сети; узел назначения; количество возможных маршрутов до узла назначения; пары занятых информационных каналов. На выходе образуется маршрут в зависимости от всех этих факторов.

В работе [3] нейронные сети используются для совершенствования протоколов управления множественным доступом к радиоканалу. Пропускная способность протокола S существенно зависит от суммарного потока запросов на передачу G. При этом жесткий протокол оказывается более эффективным для значений G близких к 1, а гибкий, соответственно, – для значений $G > 1$. Проблема заключается в определении текущего значения G. Статистика работы системы является сложной, и обычными статистическими методами решить задачу не представляется возможным. По сути, она сводится к задаче классификации, которая решается с использованием нейронных сетей. В среднем выигрыш в пропускной способности составляет порядка 5-7 %.

В работе [4] приведены результаты исследования по применению нейросетевых методов для анализа протоколов TCP/IP и выявления аномалий. Нейронные сети используются для обнаружения ситуаций, указывающих на соответствующую аномалию или на непознанную ситуацию, которая может быть аномалией нового типа. Задача нейросетевого

анализа потоков данных рассматривается как задача классификации, в которой разные классы соответствуют нормальной активности, различным сценариям сетевых атак и неопознанным ситуациям.

3. Цель исследования

Проведенный анализ показал, что многие задачи, возникающие в процессе управления телекоммуникационной сетью, формально можно свести к задачам классификации и распознавания образов. В последнее время для решения задач такого класса используются нейронные сети в силу их естественной способности к обобщению фактов. Существует множество различных типов моделей нейронных сетей, видов их структур и не всегда можно определить наиболее эффективную модель для решения конкретной задачи. Цель данной работы – экспериментальным путем провести сравнительный анализ моделей нейронных сетей для решения задачи классификации состояний ТКС. Эта задача в проанализированной литературе не решена.

4. Основная часть

Так как нет разработанной и общепринятой теории применения различных моделей нейронных сетей, для решения задачи классификации состояний телекоммуникационной сети были исследованы следующие типы нейронных структур:

- 1) многослойный персептрон;
- 2) сеть Кохонена;
- 3) сеть Хопфилда.

Рассмотрена телекоммуникационная сеть, которая может находиться в 10 различных состояниях. Каждое состояние характеризовалось набором из 35 признаков (примеры признаков приведены в таблице). Выбор признаков определялся тем, что именно эти переменные варьируются динамически в течение времени наблюдения. Очевидно, что система сбора информации о состоянии сети работала неидеально – и отдельные признаки оказались искаженными. Необходимо было по набору признаков с различной степенью искажения определить, в каком из 10 состояний находится телекоммуникационная сеть. Уровень искажения при этом увеличивался от 2,9 до 51,4%.

Методика проведения эксперимента состояла в следующем: для тестирования нейронной сети при каждом значении шума генерировалось 100 векторов-признаков (каждое состояние телекоммуникационной сети 10 раз), эти данные поступали на вход нейронной сети, а на выходе были получены состояния телекоммуникационной сети. Оценка работы нейронной сети производилась по вероятности правильного распознавания состояния телекоммуникационной сети.

Признак	Описание
interface.iftable.ifentry.ifinucastpkts	Число полученных обычных пакетов
interface.iftable.ifentry.ifinnucastpkts	Число полученных широковещательных и мультикаст-пакетов
interface.iftable.ifentry.ifinerrors	Число ошибок при приеме пакетов
interface.iftable.ifentry.ifoutucastpkts	Число посланных обычных пакетов
interface.iftable.ifentry.ifinnucastpkts	Число посланных широковещательных и мультикаст-пакетов
interface.iftable.ifentry.ifinunknownprotos	Число полученных пакетов с неизвестным кодом протокола
ip.ipinreceives	Полное число IP-дейтограмм, включая полученные с ошибкой
ip.ipinhdrerrors	Число входных IP-дейтограмм с ошибками в заголовке пакета, включая ошибки контрольной суммы, TTL и т.д.

Признак	Описание
ip.ipinaddrerrors	Число полученных пакетов с ошибкой в адресе
ip.ipinunknownprotos	Число входных IP-дейтограмм, с кодами протоколов, которые не поддерживаются данной системой
ip.ipreasreqds	Число полученных фрагментов, которые требуют сборки
ip.ipindelivers	Число IP-дейтограмм, принятых без ошибок (включая ICMP)
icmp.icmpinmsgs	Число полученных icmp-пакетов (другие 10 контролируемых переменных ICMP-группы по соображениям экономии места из списка исключены)
udp.udpin datagrams	Число принятых UDP-дейтограмм
udp.udpoutdatagrams	Число отправленных UDP-дейтограмм
udp.udpnports	Полное число UDP-дейтограмм, где не существует приложения для указанного номера порта
udp.udpinerrors	Число UDP-дейтограмм, которые не могут быть доставлены не по причине отсутствия приложения по указанному порту
tcp.tcpinsegs	Число принятых TCP-сегментов
tcp.tcpoutsegs	Число отправленных TCP-сегментов
tcp.tcpretranssegs	Число TCP -сегментов с повторной пересылкой
tcp.tcpoutrsts	Число сегментов с флагом RST=1
tcp.tcpinerror	Число TCP-сегментов, полученных с ошибкой

Среди большого класса программного обеспечения для моделирования нейронных сетей выбран инструментарий Neural Networks Toolbox пакета прикладных программ MATLAB 6.5 фирмы MathWorks, так как он содержит средства для проектирования, моделирования, разработки и визуализации нейронных сетей, обеспечивает всестороннюю поддержку типовых нейросетевых парадигм и имеет модульную и открытую архитектуру.

1) Многослойный персептрон. Достоинства модели заключаются в том, что она хорошо изучена, имеется большой опыт практического применения. Основными недостатками модели являются низкая сходимость процесса обучения и существенное время обучения.

На вход нейронной сети поступал вектор признаков, состоящий из 35 элементов $\{x_1, x_2, \dots, x_{35}\}$. Выходной вектор $\{y_1, y_2, \dots, y_{10}\}$ содержал 10 элементов, только один из которых равняется 1, остальные – 0. Правильно функционирующая сеть должна была отвечать векторам со значением 1 для элемента, который отвечает состоянию телекоммуникационной сети от 1 до 10. Для решения задачи использовался трехслойный персептрон: 35 нейронов во входном слое, переменное количество нейронов в скрытом слое и 10 нейронов в выходном слое. Переменными параметрами модели были количество нейронов в скрытом слое (10, 15, 20, 25, 30) и параметр скорости обучения (0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5,

0.6, 0.7, 0.8, 0.9). Обучение нейронной сети происходило на основе метода обратного распространения ошибки. На рис. 1. представлены зависимости вероятности правильного распознавания состояния телекоммуникационной сети от степени искажения признаков, давшие лучший результат среди всех вариаций входных данных.

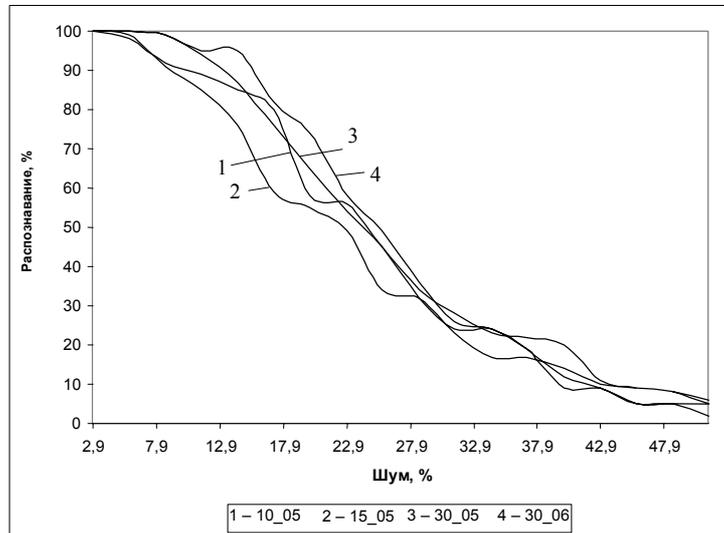


Рис. 1. Результаты распознавания при помощи многослойного персептрона

Анализ полученных результатов показал, что наилучшие результаты распознавания состояния телекоммуникационной сети при помощи трехслойного персептрона были получены при следующих параметрах: 30 нейронов в скрытом слое с уровнем зашумления до 35% и 15 нейронов в скрытом слое, когда уровень шума превышает 42,9%, при средних параметрах скорости обучения (0.6 и 0.5 соответственно).

2) Сеть Кохонена. Модель хорошо зарекомендовала себя при решении задач кластерного анализа, когда заранее известно число кластеров.

Рассматривалась самоорганизующаяся нейронная сеть с единственным слоем, состоящим из 10 нейронов, задача которого заключалась в том, чтобы правильно сгруппировать (кластеризовать) поступающие на нее векторы входных воздействий $\{x_1, x_2, \dots, x_{35}\}$. При моделировании рассматривались нейронные сети с различными топологиями расположения нейронов: прямоугольная сетка, гексагональная сетка и сетка со случайным расположением узлов [5].

Также рассматривалась сеть встречного распространения [6], представляющая собой комбинированную архитектуру конкурирующего слоя Кохонена и слоя Гроссберга. При использовании сети Кохонена рассматривалась задача кластеризации входных данных без участия учителя. В рассматриваемой сети встречного распространения выходы слоя, обучаемого по методу “победитель забирает все”, использовались в качестве входов второго слоя сети, которые координировались (подкреплялись) с помощью учителя. Результаты распознавания представлены на рис. 2.

Анализ полученных результатов показал, что при уровне зашумления до 45% эффективными являются нейронные сети Кохонена, а когда уровень шума превышает 45% целесообразно использовать сеть встречного распространения.

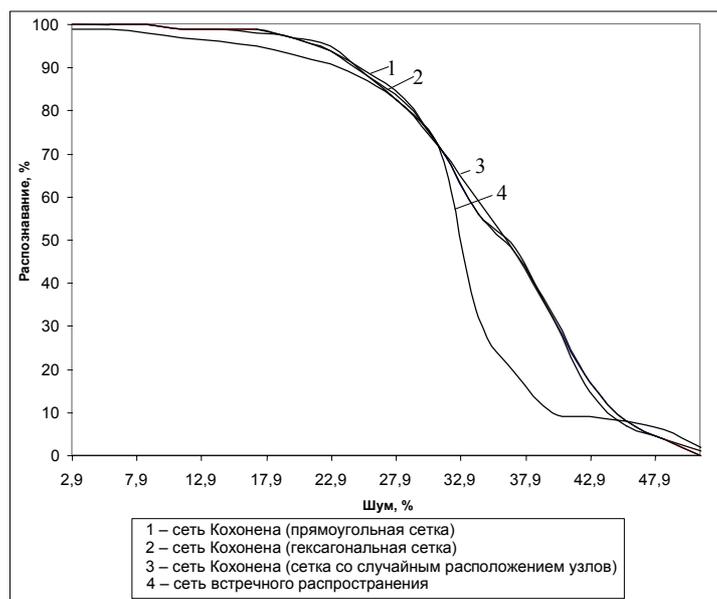


Рис. 2. Результаты распознавания при помощи нейронной сети Кохонена и сети встречного распространения

3) Сеть Хопфилда. Рассматривалась сеть Хопфилда, которая относится к классу рекуррентных сетей, обладающих свойством за конечное число тактов переходить из произвольного начального состояния в состояние устойчивого равновесия. Сеть Хопфилда является одним из наиболее известных типов ассоциативной памяти. Получая на входе зашумленный образ или часть образа, сеть Хопфилда ассоциирует его с одним из ранее запомненных образов.

Также сеть Хопфилда рассматривалась в качестве предварительного фильтра в системе распознавания образов. Результаты распознавания при помощи самостоятельного использования нейронной сети Хопфилда и нейронной сети Хопфилда в сочетании с многослойным персептроном, где сеть Хопфилда выступает в качестве фильтра, представлены на рис. 3.

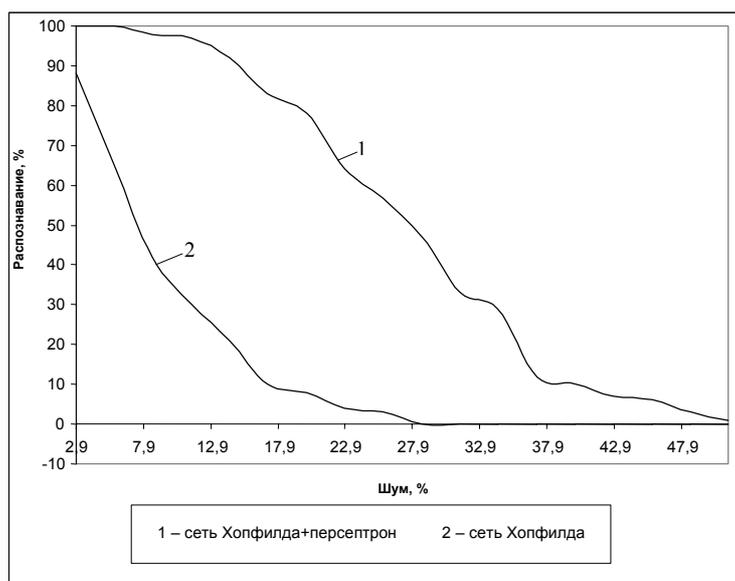


Рис. 3. Результаты распознавания при помощи нейронной сети Хопфилда и сети Хопфилда в сочетании с персептроном

На основании полученных данных можно сделать вывод, что использование сетей Хопфилда в качестве предварительного фильтра в системах распознавания образов может значительно повысить эффективность системы.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Сравнение полученных результатов (рис. 4) показало, что наилучшие результаты распознавания состояния телекоммуникационной сети были получены при помощи нейронной сети Кохонена (с уровнем зашумления до 45%) и сетью встречного распространения (когда уровень шума превышает 45%).

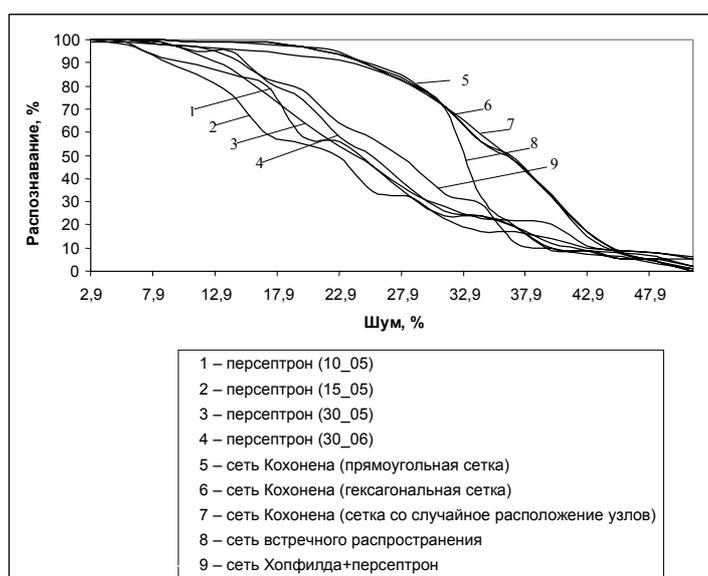


Рис. 4. Результаты распознавания при помощи всех видов нейронных сетей

Таким образом, полученный результат подтверждает распространенное мнение о необходимости объединения различных нейросетевых парадигм в целях повышения эффективности систем на основе нейросетевых технологий. Полученные результаты можно использовать при совершенствовании старых и при разработке новых методов управления ТКС.

Перспективы дальнейших исследований в этом направлении связаны, в первую очередь, с уточнением состава признаков, а также характеризующих ими состояний, и на основе этого с проведением более детальных модельных экспериментов.

Список литературы: 1. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 94 с. 2. Лозинская В.Н. Система управления маршрутизацией телекоммуникационной сети // Мир информации и телекоммуникаций. 2004. №11. С. 325–327. 3. Рассказова И.О. Разработка и исследование эффективности нейросетевых алгоритмов управления в сетях радиосвязи. Рязань, 2006. 4. Сабенко Е.С. Нейросетевые методы в анализе протоколов TCP/IP: Современные проблемы информатизации в информационных системах и телекоммуникациях. 2006. №11. С. 447–449. 5. Хайкин Саймон. Нейронные сети. М.: Вильямс, 2006. 1104 с. 6. Люгер Джордж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2003. 864 с.

Поступила в редколлегию 23.02.2009

Высочина Олеся Сергеевна, аспирантка кафедры теоретической и прикладной системотехники Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Научные интересы: использование нейронных сетей в телекоммуникационных системах. Адрес: Украина, 61077, Харьков, пл. Свободы, 6.

Шматков Сергей Игоревич, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой теоретической и прикладной системотехники Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Научные интересы: системный анализ и моделирование сложных систем. Адрес: Украина, 61077, Харьков, пл. Свободы, 6, тел. (057) 707-50-22.

ПРИНЯТИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассматриваются вопросы принятия решений в условиях многокритериальности, риска и неопределенности. Предлагается модель аналитического вычисления статистических параметров функции плотности распределения обобщенной многофакторной оценки эффективности решений.

1. Введение

В настоящее время очень актуальной является проблема повышения эффективности управления социально-экономическими объектами (СЭО). Это обусловлено тем, что в современных условиях один социально-экономический объект невозможно рассматривать как локально-независимый [1]. Соответственно, процесс управления СЭО существенно усложняется, повышаются требования к его эффективности, под которой понимается своевременность, комплексность и оптимальность принимаемых управляющих решений. Вместе с этим, в настоящее время организационное управление СЭО является в большей степени искусством, чем формальной научно обоснованной процедурой. Это обусловлено тем, что большинство решений приходится принимать в условиях множественности и противоречивости целей, жестких временных и нормативных ограничений большой размерности, высокой информационной неопределенности характеристик как собственно объекта управления, так и окружающей среды, целенаправленного активного противодействия конкурентов и т.д. С формальной точки зрения это означает, что решения необходимо принимать в условиях многокритериальности, риска и неопределенности.

Анализ существующих подходов и формальных методов решения указанных задач показывает, что недостаточное внимание уделяется совместному решению задач многокритериальной оптимизации и принятия решений в условиях риска и неопределенности. Эти задачи, как правило, рассматриваются отдельно, причем задача многокритериальной оптимизации чаще всего решается в детерминированной постановке, без учета интервальной неопределенности, возникающей при идентификации параметров модели многофакторного оценивания, а задачи принятия решения в условиях риска и неопределенности решаются в предположении, что целевая функция является не многокритериальной, а скалярной. Объединение методологий решений этих задач открывает перспективы более адекватного и эффективного решений широкого круга прикладных задач.

2. Постановка задачи исследования

Целью исследования является выбор из допустимого множества решений X единственного наиболее эффективного решения $x^0 \in X$. В формальной постановке это означает, что необходимо решить задачу

$$x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} E(x), \quad (1)$$

где $E(x)$ – обобщенный скалярный показатель качества решений.

При принятии решений в условиях многокритериальности, когда эффективность решения характеризуется кортежем противоречивых разнородных частных показателей (критериев) $\langle k_i(x) \rangle$, $i = \overline{1, n}$, для которых не существует решения $x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} \langle k_i(x) \rangle$, $\forall i = \overline{1, n}$, возникает дополнительная задача вычисления обобщенной скалярной оценки эффективности решений, известной как функции полезности $P(x)$:

$$P(x) = F \langle k_i(x) \rangle, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Данная функция полезности, в конечном счете, может быть представлена в виде:

$$P(x) = \sum_{j=1}^m a_j k_j(x), \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где $a_j, j = \overline{1, m}$ – кортеж параметров модели; $k_j(x), j = \overline{1, m}$ – расширенное пространство характеристик качества решения.

Особенность рассматриваемой ситуации заключается в том, что многофакторная оценка эффективности решения является не точечной детерминированной величиной, а интервальной неопределенной оценкой, что вызвано следующими причинами:

1) коэффициенты a_j независимо от метода их идентификации являются интервальными величинами;

2) значения частных критериев полностью или частично также носят интервальный характер.

Последнее обусловлено тем, что любая система является открытой, т.е. взаимодействует с внешней средой (метасистемой), которая не контролируется локальной системой, а ЛПР не располагает полной информацией о ее состоянии. Это, в свою очередь, означает, что все или часть показателей эффективности решений $k_j(x)$ являются интервально неопределенными.

В настоящей работе рассматривается только стохастическая интервальная неопределенность. Это означает, что информация о распределении значений переменных внутри интервала возможных значений сформулирована в терминах теории вероятности. Следовательно, решение необходимо принимать по модели

$$x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} \sum_{j=1}^m \bar{a}_j \bar{k}_j(x), \quad (4)$$

где знаком “ – ” обозначены случайные величины.

Рассмотрению подходов к решению этой задачи посвящена настоящая статья.

3. Принятие многокритериальных решений с учетом неопределенности исходной информации

Предлагаемый подход основывается на том положении, что задача принятия решений в условиях стохастической неопределенности является двухкритериальной. Это означает, что решение необходимо выбирать с учетом как эффективности, так и вероятности ее реализации.

В соответствии с данным подходом выполнена детерминизация кортежа весовых коэффициентов и разработана модель аналитического вычисления статистических параметров функции плотности распределения обобщенной многофакторной оценки эффективности решений.

Этап 1. *Детерминизация кортежа весовых коэффициентов.* Оценки эффективности решений являются не абсолютными, а относительными, т.е. они устанавливают отношение порядка и силу предпочтения на ограниченном конкретном множестве допустимых решений X . При этом, чтобы получить универсальную метрику, весовые коэффициенты оценки (4) должны удовлетворять требованиям

$$0 \leq a_j \leq 1, \quad \forall j = \overline{1, m}; \quad \sum_{j=1}^m a_j = 1. \quad (5)$$

Это дает возможность выполнить детерминизацию значений кортежа весовых коэффициентов $a_j, j = \overline{1, m}$.

В дальнейшем будем полагать, что оценки математических ожиданий значений весовых коэффициентов $M(a_j), j = \overline{1, m}$ являются заданными.

Как отмечено выше, одним из двух частных критериев оценки эффективности решений в условиях стохастической вероятности является вероятность его реализации. Это означает, что из всех возможных случайных допустимых значений кортежей весовых коэффициентов $a_j, j = \overline{1, m}$ в модели (4) необходимо принять:

$$\bar{a}_j = M(a_j), \forall j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Однако в большинстве случаев это требование невозможно выполнить, так как

$$\sum_{j=1}^m M(a_j) \neq 1. \quad (7)$$

Вместе с этим, учитывая, что коэффициенты $a_j, j = \overline{1, m}$ являются масштабными множителями, а оценка эффективности решений по определению относительна, пронормируем весовые коэффициенты по правилу

$$a_j^H = \frac{M(a_j)}{\sum_{j=1}^m M(a_j)}, \forall j = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Очевидно, в этом случае всегда будет выполняться условие

$$\sum_{j=1}^m a_j^H = 1, \quad (9)$$

и хотя положение экстремального значения оценки эффективности изменится, абсолютное значение останется неизменным в пространстве решений $x \in X$.

Таким образом, случайные коэффициенты a_j в модели (4) можно заменить точечными детерминированными значениями, а модель (4) соответственно примет вид:

$$x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} \sum_{j=1}^m a_j^H \bar{k}_j(x). \quad (10)$$

Этап 2. Аналитическое вычисление стохастической оценки эффективности решений.

Данный этап посвящен синтезу модели вычисления стохастической оценки эффективности решений $x \in X$, т.е. функции полезности:

$$\bar{P}(x) = \sum_{j=1}^m a_j^H \bar{k}_j(x), \quad (11)$$

где a_j^H – детерминированные безразмерные значения весовых коэффициентов; $\bar{k}_j(x)$ – безразмерные случайные величины, с одинаковым интервалом возможных значений $[0, 1]$, т.е. нормализованные разнородные частные критерии.

При решении поставленной задачи в данном подразделе приняты следующие допущения.

1. Предполагается, что известны объективные или субъективные функции распределения вероятностей случайных характеристик $\bar{k}_j(x)$ решений $x \in X$. При этом рассматриваются только два закона распределения вероятностей: нормальный (Гаусса) и равновероятный.

2. Случайные величины $\bar{k}_j(x), j = \overline{1, m}$ взаимно независимы, т.е. не коррелированы.

3. Интервал возможных значений $[a, b]$ всех случайных величин $\bar{k}_j(x), \forall j = \overline{1, m}$ известен. При этом для всех характеристики $\bar{k}_j(x), a=0, b=1$.

Анализ модели (11), показывает, что для вычисления $\bar{P}(x)$ необходимо реализовать операции умножения случайной величины на детерминированный коэффициент и суммирования полученных результатов. Кроме того, пространство переменных $\bar{k}_j(x)$ содержит переменные вида

$$\bar{k}_i^2(x) \text{ и } \bar{k}_i(x) \cdot \bar{k}_r(x), \quad (12)$$

для вычисления которых необходима операция умножения случайных величин.

В соответствии с центральной предельной теоремой [2,3] обобщенная полезность (11) является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. При этом необходимое условие соизмеримости отдельных случайных слагаемых обеспечивается одинаковым интервалом изменения $[0, 1]$.

Нормальный закон распределения полностью и однозначно характеризуется двумя статистическими параметрами: математическим ожиданием и дисперсией (среднеквадратическим отклонением) [2,3]. Это означает, что для вычисления обобщенной стохастической полезности эффективности решений $x \in X$ необходимо вычислить математическое

ожидание $M[\bar{P}(x)] = M[\sum_{j=1}^n a_j k_j(x)]$ и дисперсию $D[\bar{P}(x)] = D[\sum_{j=1}^n a_j \bar{k}_j(x)]$.

Необходимые для этого соответствующие арифметические операции строго определены и имеют вид [2].

Математическое ожидание суммы случайных линейных функций равно

$$M[\sum_{i=1}^n a_i Y_i] = \sum_{i=1}^n a_i M[Y_i], \quad (13)$$

где a_i детерминированные коэффициенты; Y_i – случайные величины.

Дисперсия суммы случайных линейных функций равна

$$D\left[\sum_{i=1}^n a_i Y_i\right] = \sum_{i=1}^n a_i^2 D[Y_i]. \quad (14)$$

Соответственно для произведения нескольких случайных независимых величин

$$M[\prod_{i=1}^n Y_i] = \prod_{i=1}^n M[Y_i], \quad (15)$$

$$D[\prod_{i=1}^n Y_i] = \prod_{i=1}^n D[Y_i]. \quad (16)$$

В соответствии с этим модели вычисления статистических параметров обобщенной стохастической оценки эффективности решений имеют вид

$$M[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m a_j M[\bar{k}_j(x)]; \quad (17)$$

$$D[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m a_j^2 D[\bar{k}_j(x)]. \quad (18)$$

При принятых допущениях о том, что закон распределения вероятностных величин $\bar{k}_j(x)$ задан и интервал их возможных значений известен, определение статистических параметров: математического ожидания $M[\bar{k}_j(x)]$ и дисперсии $D[\bar{k}_j(x)]$, $j = \overline{1, m}$ не вызывает затруднений.

Для нормального закона распределения вероятностей с учетом того, что 99,9 % значений случайной величины попадает в интервал, равный 6σ , получаем

$$D[\bar{k}_j(x)] = \sigma^2[\bar{k}_j(x)] = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2. \quad (19)$$

С учетом того, что $[b-a]=1$, дисперсия равна

$$D[\bar{k}_j(x)] = \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 0,028, \quad \forall j = \overline{1, m}. \quad (20)$$

Соответственно математическое ожидание равно

$$M[\bar{k}_j(x)] = \frac{1}{2} = 0,5, \quad \forall j = \overline{1, m}. \quad (21)$$

Для закона равной вероятности соответствующие формулы имеют вид:

$$M[\bar{k}_j(x)] = \frac{1}{2} = 0,5, \quad \forall j = \overline{1, m}; \quad (22)$$

$$D[\bar{k}_j(x)] = \frac{b-a}{12} = \frac{1}{12} = 0,08, \quad \forall j = \overline{1, m}. \quad (23)$$

С учетом соотношений (20)-(23), полученные модели вычисления математического ожидания и дисперсии стохастической оценки обобщенной полезности решений имеют следующий вид:

а) для нормального закона распределения вероятностей частных характеристик $\bar{k}_j(x)$:

$$M[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m a_j^H \cdot 0,5; \quad (24)$$

$$D[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m (a_j^H)^2 \cdot 0,028; \quad (25)$$

в) для закона равной вероятности:

$$M[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m a_j^H \cdot 0,5; \quad (26)$$

$$D[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m (a_j^H)^2 \cdot 0,08; \quad (27)$$

г) для смеси нормального закона и закона равной вероятности

$$M[\bar{P}(x)] = \sum_{j=1}^m a_j^H \cdot 0,5; \quad (28)$$

$$D[\bar{P}(x)] = \sum_{l=1}^m (a_l^H)^2 \cdot 0,028 + \sum_{L=1}^m a_L^H \cdot 0,08. \quad (29)$$

Как отмечено выше, с учетом центральной предельной теоремы можно считать, что при любой комбинации законов распределения вероятности случайных величин $\bar{k}_j(x)$ обобщенная оценка эффективности решения будет распределена по нормальному закону с функцией плотности распределения вероятностей вида

$$f[\bar{P}(x)] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\bar{P}(x)-M[\bar{P}(x)]]^2}{2\sigma^2}}; \quad (30)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{l=1}^k (a_l^H)^2 \cdot 0,028 + \sum_{L=1}^m (a_L^H)^2 \cdot 0,08}. \quad (31)$$

Таким образом, синтезирована модель аналитического вычисления статистических параметров функции плотности распределения обобщенной многофакторной оценки эффективности решений $\bar{p}(x)$, $x \in X$.

4. Заключение

Впервые предложена модель аналитического вычисления статистических параметров функции плотности распределения обобщенной многофакторной оценки эффективности решений, которая основывается на детерминизации кортежа весовых коэффициентов, учитывает комбинацию закона равной вероятности и нормального закона распределения вероятности случайных величин. Это дает возможность решать задачу принятия решений в условиях стохастической неопределенности с учетом как эффективности, так и вероятности реализации указанных решений.

Список литературы: 1. Соколова Н.А. Необходимые условия развития объектов хозяйственной деятельности / Н.А. Соколова, К.Э. Петров, В.Е. Ходаков // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы: Сб. науч. тр. Херсонского национального технического университета. 2007. №1(19). С. 175-182. 2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. М.: Высшая шк., 2000. 480 с. 3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. М.: Юнити-ДАНА, 2001. 543 с.

Поступила в редколлегию 22.02.2009

Пономаренко Владимир Петрович, соискатель ДП «НИИ Технологии приборостроения». Адрес: Украина, 61010, Харьков, ул.Примакова, 40/42.

Чальый Сергей Федорович, д-р техн. наук, профессор кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

РЕФЕРАТИ

УДК 681.326:519.613

Технології діагностування та відновлення System-in-Package / Є. І. Литвинова // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.4-21.

Запропоновано алгебрологічний та векторно-логічний методи діагностування, призначені для нового конструктивного покоління цифрових систем на кристалах – System-in-Package і основані на використанні заздалегідь побудованої таблиці несправностей. Розроблено алгебро-логічний метод відновлення працездатності функціональних логічних блоків FPGA на основі вирішення задачі покриття, орієнтований на імплементацію в кристал як один з компонентів інфраструктури сервісного обслуговування (I-IP). Метод дозволяє знайти точне та оптимальне рішення у вигляді мінімальної кількості резервних блоків, необхідних для відновлення працездатності логічних блоків кристалу FPDA, при наявності дефектів будь-якої кратності.

Лл. 7. Бібліогр.: 21 назва.

UDC 681.326:519.613

Diagnosis and Testing Technologies for System-in-Package / E.I. Livinova // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.4-21.

Algebra-logical and vector-logical diagnosis methods for new generation of digital system-on-a-chip – system-in-package are proposed. They are based on use the fault detection table. Algebra-logical repair method for FPGA functional logical blocks is developed. It is based on solving the coverage problem and oriented on hardware implementation to a silicon chip as a component of Infrastructure IP. A method allows obtaining an exact solution in the form of minimal quantity of spares, which are necessary to repair of FPGA logical blocks under faults of all multiplicity.

Fig. 7. Ref.: 21 items.

УДК 620.26

Моделювання радіаційного фону приміщень в середовищі Mathcad / Б.В. Дзюндзюк, О.В. Мамонтов, В.А. Рось // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.21-27.

Розглянута проблема радіаційної активності будівельних матеріалів, а також недоліки методик розрахунку радіаційного фону приміщень. Розроблена математична модель радіаційного фону приміщення. Наведені графіки, які підтверджують актуальність роботи.

Лл. 8. Бібліограф.: 4 назви.

UDC 620.26

Modelling of radiation background of rooms by Mathcad / B.V. Dzyundzyuk, A.V. Mamontov, V.A. Ross // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.21-27.

The problem of radiation activity of materials for building is considered. Imperfections of methods of computation of radiation background of apartments are considered. The mathematical model of radiation background of apartment is developed. Are present the graphs which confirm importance of work.

Fig. 8. Ref.: 4 items.

УДК 504.3.05

Моделювання динаміки популяцій екосистеми при антропогенних впливах / О.В. Мамонтов, Г.В. Пронюк // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.27-32.

Для підвищення точності прогнозування чисельності популяції використовується модель Лотки-Вольтерра «хижак-жертва». Розширена модель враховує різні форми взаємодій між живими організмами і дію на екосистему антропогенних чинників. На підставі отриманих даних можна робити висновки про діючі екологічні чинники і закони, а також про виживаємість популяцій в заданих умовах.

Лл. 6. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 504.3.05

Design of dynamics of populatsiy of ecological system at antropogennih influences / A.V. Mamontov, G. V. Proniuk // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.27-32.

For the rise of exactness of prognostication of quantity of population a model is used the Lotki-Volterra «predator-victim». The extended model takes into account different forms of mutual relations between living organisms and influence for ecological system of antropogennih factors. On the basis of finding it is possible to draw conclusions about operating ecological factors and laws, and also about the survivability of populatsiy in the set condition.

Fig. 6. Ref.: 5 items.

УДК 681.586.37 : 004.5

Системне проектування перетворювачів кодів дробових чисел за методом накопичення еквівалентів / М.Я. Какурін, Ю.В. Лопухін, Г.М. Макаренко Ю.С. Замалеєв // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.33-39.

Розглянуто декомпозиційний підхід до системного проектування перетворювачів кодів (ПК) дробів за методом накопичення еквівалентів, що базується на пошуку методом перебору розбиття на блоки, що має мінімальні апаратні витрати. Запропонована узагальнена модель, що описує функціонування багатоблокового формувача еквівалентів, а також алгоритм системного проектування багатоблокового ПК.

Табл. 1. Лл. 5. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 681.586.37 : 004.5

System design of a fractions code converters by the method of accumulation of an equivalents / N. Ya. Kakyurin, Yu. V. Lopuxin, A. N. Makarenko, Yu. S. Zamaleev // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.33-39.

The paper considers a decomposition method of a system design of a fractions code converters by the method of accumulation of an equivalents that based on a search of decomposition with minimum hardware. A general model, that describes a functioning of a multiblock former of equivalents, and also an algorithm of multiblock code converters system design, are proposed.

Tab. 1. Fig. 5 Ref.: 4 items.

УДК 519.71

Оптимізація процесів прийняття рішень з використанням орієнтованих на знання обмежень / Є.І. Кучеренко, Т.В. Смульська // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.39-43.

На основі змістовного аналізу предметної області та існуючих рішень сформульована та вирішена задача оптимізації процесів прийняття рішень з використанням нечітких (fuzzy), орієнтованих на знання обмеження. Визначено умови мінімізації ризиків вантажних перевезень. Запропонована стратегія вирішення практичних задач з урахуванням нечітких обмежень на ступінь ризиків. Ефективність підходу підтверджується практичними реалізаціями.

Лл. 1. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.71

Optimization of decision-making processes is with the use of the limitations oriented to knowledge / Ye.I. Kucherenko, T.V. Smulskaya // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.39-43.

On the basis of rich in content analysis of subject domain and existent decisions the task of optimization of decision-making processes is formulated and decided with the use of unclear (fuzzy), oriented to knowledge of limitation Certainly terms of minimization of risks of freight transportations. Strategy of decision of practical tasks is offered taking into account unclear limits on the degree of risks. Efficiency of approach is confirmed practical realization.

Fig. 1. Ref.: 10 items.

УДК 336.144.31

Метод бюджетування проєктів з врахуванням ризиків / О.Б. Данченко, О.М. Донець, Т.П. Жівотова, Т.Ю. Олейнікова // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.44-49.

Запропонований метод бюджетування є універсальним, може бути використаний в процесі управління проектами будь-якого типу, причому кількість та види бюджетних ризиків можуть також варіюватися залежно від предметної області. При створенні автоматизованої системи бюджетування проєктів доцільно застосовувати запропонований метод бюджетування, що дозволить враховувати та зменшувати бюджетні ризики на всіх етапах життєвого циклу проєкту та підвищити ефективність управління проєктом в цілому. Використання запропонованого методу бюджетування дозволить управляти ризиками при бюджетуванні та використовувати метод гнучкого бюджетування проєктів з врахуванням ризиків у будь-якій предметній області.

Лл. 4. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 336.144.31

Method budgeting of projects with provision for risks / O.B. Danchenko, O.M. Donec, T.P. Givotova, T.U. Olejnikova // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.44-49.

The offered method budgeting there is universal, can be used in process of management project any type moreover amount and types budgetary risk can also vary depending on application domain. When making the automatic system budgeting of project reasonable to use the offered method budgeting, which will allow

to take into account and reduce the budgetary risks on all stage of the life cycle of the project and raise efficiency of management project as a whole. Use the offered method budgeting will allow to control the risk under budgeting and use the method flexible budgeting project c account risk in any application domain.

Fig. 4. Ref.: 9 items.

УДК 004.7; 004.8; 007.85

Розробка моделі системи підтримки прийняття рішень в області сервісного обслуговування автоматів фінансового самообслуговування / О.Я. Кузьомін, Н.В.Головій (Гусарь), Ясер Даюб // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.49-53.

Розглянуто оригінальний метод, що базується на дослідженні процесу як сукупності ситуацій, представлених в гранульованому вигляді, що дозволяє врахувати багато фактів, їх прямих та зворотних зв'язків, що не під силу «ручній» технології підтримки рішень, а також динамічно оцінити альтернативи рішення, яке приймається.

Л. 1. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 004.7; 004.8; 007.85

The development of the supporting model for decision-making in the service operation field of financion selfservng machine/ O.Ya. Kuzemin, N.V.Goloviy, Asir Daub // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.49-53.

The main feature of the viewed approach is original method, which based on the research process like agregated situations presented in graluated looking. It premits to take into account lots of factors and theirs direct and feedback connections, what is beyond manual technologies of the supporting decision and also couldn't dynamically to appreciate alternatives of the accepted decisi

Fig. 1. Ref.: 3 items.

УДК 519.816

Моделювання області нестійких станів у розвитку економічних процесів / В.О. Тимофєєв, І.Г. Денисова, Н.С. Савченко // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.54-57.

Досліджено аналітичні функції типу багаточлена n-го ступеня, застосовувані в економіці як виробничі функції, функції загальних витрат, а також моделювання економічних процесів на основі використання понять теорії катастроф. Основні застосування теорії катастроф являють собою катастрофи типу «збірка», яка складається з більш простого виду (складка).

Л. 2. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.816

A design of area of the unstable states is in development of economic processes / V.O. Timofeev, I. G. Denisova, N.S. Savchenko// Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.54-57.

This work covers the investigation of analytic functions like polynomial functions raised to n- power, applied in economics as production functions, functions of common costs and simulation of economic processes on the basis of catastrophes concepts usage. The basic applications of catastrophes concepts are the catastrophe “assembling”, which consists of the simplest kind (“fold”).

Fig. 2. Ref.: 4 items.

УДК 004.358+519.876.2+65.011.56

Модель процесу функціонування виробничої ділянки / І.Г. Оксаніч, С.В. Кашуба // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С. 58-61.

Розглянуто модель процесу функціонування виробничої ділянки, що дозволяє здійснювати моделювання процесів контролю ходу виробництва, що базується на використанні одиниць устаткування

Л. 2. Бібліогр.: 5 назви.

UDC 004.358+519.876.2+65.011.56

Model of process functioning an industrial site / I.G. Oksanich, S.V. Kashuba // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.58-61.

The model of process functioning of the industrial site is considered, allowing to carry out modeling processes of the control course of the manufacture basing use units of equipment.

Fig. 2. Ref.: 5 items.

УДК 621.372.061

Оптимізація електронних кіл як керований динамічний процес / О.М. Земляк, Т.М. Маркіна // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С.62-69.

Розглянуто процес проектування аналогових кіл на основі застосування теорії керування. Обговорено властивості та характеристики різних стратегій проектування, котрі можуть служити основою для побудови оптимального алгоритму.

Табл. 4. Рис. 3. Бібліогр.: 21 назва.

UDC 621.372.061

Electronic circuit optimization as a controllable dynamic process / A.M. Zemliak, T.M. Markina // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P.62-69.

Process of designing of analog circuits is considered on the basis application of the theory of management. Properties and characteristics of various strategy of designing which can form a basis for construction of optimum algorithm are discussed.

Tab. 4. Fig. 3. Ref.: 21 items.

УДК 621.391

Порівняльний аналіз моделей нейронних структур для вирішення завдання класифікації станів телекомунікаційної мережі / О.С. Височина, С.І. Шматков // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С. 70-75.

Для вирішення завдання класифікації станів телекомунікаційної мережі досліджено різні типи нейронних структур. Описано результати, котрі підтверджують ефективність використання конкретних видів нейронних мереж залежно від різних вихідних даних.

Табл. 1. Лл. 4. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 621.391

Comparative analysis of neural structures models for solving the classification problem of telecommunications network states / O.S. Vysochyna, S.I. Shmatkov // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P. 70 -75.

This paper presents the results of an analysis of neural structures models. The problem under consideration is of great importance for modern society. It's no doubt that one of the basic distinctive features of the modern society is its informatization. At present the device of neural networks has been developed well enough. Neural networks are an exceptionally powerful method of modeling enabling us to reproduce extraordinarily difficult dependences. The aim of our research was to determine the dependence of different neural structures on input data. The studies were directed at solving the classification problem of telecommunications network states.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 6 items.

УДК 519.81

Ухвалення багатокритеріальних рішень в умовах стохастичної невизначеності / В.П. Пономаренко, С.Ф. Чалый // АСУ та прилади автоматики. 2009. Вип. 146. С. 76-80.

Розглянуті питання ухвалення рішень в умовах багатокритеріальності, ризику та невизначеності. Запропонована модель аналітичного обчислення статистичних параметрів функції щільності розподілу узагальненої багатофакторної оцінки ефективності рішень.

Бібліогр.: 3 назви.

UDC 519.81

Acceptance of multicriterion decisions in the conditions of the stochastic vagueness / V.P. Ponomarenko, S.F. Chaliy // Management Information System and Devises. 2009. N 146. P. 76-80.

The questions of making a decision in the conditions of risk and vagueness are examined. The model of analytical calculation of statistical parameters of function of closeness of distributing of the generalized multivariable estimation of efficiency of decisions is offered.

Ref.: 3 items.

ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов научно-технического сборника

"АСУ и приборы автоматики"

Формат страницы — А4 (210x297мм), поля: сверху, справа, слева, снизу – 30 мм. Редактор: Pagemaker 6.0, 6,5 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times New Roman Sug, кегль – 11 пунктов, межстрочное расстояние — 110 %, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи – до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Содержание должно отражать актуальность исследования, постановку задачи, цель, сущность, научные и практические результаты, сравнение с лучшими аналогами, выводы.

Структура рукописи: заголовок, аннотация, текст, литература, реферат на украинском и английском языках, сведения об авторах.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

И.О. ФАМИЛИЯ

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

Аннотация (абзац 5-10 строк, кегль 10) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

1. Название раздела

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись (текстовая строка, расположенная вне рисунка, кегль 10) под иллюстрацией, как показано на рис. 1.

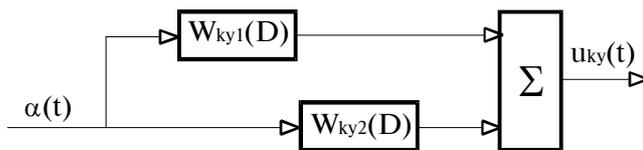


Рисунок 1. Двухзвенная система

Табличный заголовок располагается справа над таблицей, что иллюстрируется табл.1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor и др.

Формулы нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Рекомендуемый кегль формульного набора:

обычный (переменная) – 11 пунктов, крупный индекс – 8, мелкий индекс (над- и подиндекс) – 8, крупный символ (основной) – 12, мелкий (индексный) математический символ – 10:

$$F_{i+j} = \sum_{i=1}^{b^k} F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h^2} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\sum n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом – без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Список литературы (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

Список литературы: 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи / / Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.00

Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Адрес, контактный телефон.

Рефераты на украинском и английском языках. Текст аннотации не должен дублировать реферат.

УДК 000.000.00

Назва статті українською мовою / Ініціали. Прізвище // АСУ та прилади автоматики. 2000. Вип. 00. С. 000-000.

Текст реферату.

Табл. 00. Іл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов

Рукопись, реферат, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией первого автора*, на дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов — для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326.

E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Тематика статей, публикуемых в сборнике:

- Компьютерная инженерия
- Математическое моделирование
- Оптимизация и процессы управления
- Автоматизация проектирования и диагностика
- Информационные интеллектуальные системы
- Проектирование интегральных схем и микросистем
- Компьютерные технологии в образовании

Відповідальний випусковий В.І. Хаханов
Редактор О.П. Гужва
Комп'ютерна верстка Г.В. Хаханова, С.В. Чумаченко

Підп. до друку 27.03.2009. Формат 60x841/8. Умов. друк. арк. .
Обл.-вид. арк. . Тираж 300 прим.
Зам. № . Ціна договірна.

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ).
Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14.

Оригінал-макет підготовлено і збірник віддруковано
в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14.